

# POSZERZAMY HORYZONTY

## TOM XV

### CZEŚĆ II

#### **Redakcja naukowa**

Dr inż. Małgorzata Bogusz

Dr Monika Wojcieszak

Mgr Piotr Rachwał

MONOGRAFIA

SŁUPSK, WRZESIEŃ 2019

## **RECENZENCI:**

**Prof. dr hab. Henryk Sozański** - Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego

**Dr hab. Krzysztof Ejsmont, prof. nadzw. UO** - Uniwersytet Opolski, Wydział Chemii

**Dr hab. Artur Jacek Kożuch prof. nadzw. UHP** - Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Nauk Ekonomicznych i Prawnych

**Dr inż. Małgorzata Bogusz** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr inż. Anna Sieczko** - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk Ekonomicznych

**Dr inż. Piotr Prus** - Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

**Dr inż. Agnieszka Piotrowska-Puchała** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr Jan Zawadka** - Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk Ekonomicznych

**Dr Anna Janicka** - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

**Dr Monika Wojcieszak** - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Ekonomiczno - Społeczny

**Dr Lidia Jabłońska-Porzuczek** - Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Ekonomiczno -Społeczny

**Dr Witold Trela** - Prywatna działalność gospodarcza

## **WYDAWNICTWO:**

Mateusz Weiland Network Solutions

Druk publikacji wykonano na podstawie dostarczonych oryginalnych tekstów, na odpowiedzialność autorów poszczególnych prezentacji.

**ISBN: 978-83-63216-20-7**

# SPIS TREŚCI

## I NAUKI TECHNICZNE, ŚCISŁE ORAZ PRZYRODNICZE

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. ANALIZA AKUMULACJI MN W GLEBACH UŻYTKOWANYCH ROLNICZO W ZLEWNI RZEKI BUG (POLSKA)<br><b>Urszula Tarasiuk</b> .....                                     | 8   |
| 2. BADANIE ZAWARTOŚCI MN W ROŚLINACH WODNYCH RZEKI NURZEC OBCIĄŻONYCH ŚCIEKAMI KOMUNALNYMI<br><b>Urszula Tarasiuk</b> .....                               | 16  |
| 3. SYSTEMY ZNAKOWANIA I PROMOCJI PRODUKTÓW ROLNO- SPOŻYWCZYCH<br><b>Monika Zająkała, Monika Krauze</b> .....                                              | 23  |
| 4. WPŁYW NIEZRÓWNOWAŻONEGO, WIELOLETNIEGO NAWOŻENIA NA PLONOWANIE ORAZ SKŁAD CHEMICZNY ZIARNA I SŁOMY ŻYTA<br><b>Tadeusz Panasiuk</b> .....               | 31  |
| 5. GRUPA NITROWA JAKO PRZEDMIOT BADAŃ W CHEMII STRUKTURALNEJ I OBLICZENIOWEJ<br><b>Anna Jezuita</b> .....                                                 | 41  |
| 6. ZMIANA WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRONOWYCH GRUPY NITROWEJ W WYBRANYCH UKŁADACH PIERŚCIENIOWYCH<br><b>Anna Jezuita</b> .....                                      | 49  |
| 7. SYNTEZA I ZASTOSOWANIE NOWYCH NOŚNIKÓW POLIMEROWYCH Z WYKORZYSTANIEM STRATEGII "CLICK CHEMISTRY"<br><b>Justyna Odrobińska, Dorota Neugebauer</b> ..... | 57  |
| 8. FACTORS AFFECTING THE AMOUNT OF SNOWFALL IN THE WESTERN ALPS BASED ON RESEARCH FROM 2006-2016<br><b>Aneta Walas</b> .....                              | 68  |
| 9. ANALIZA POZIOMU PYŁÓW ZAWIESZONYCH W POWIETRZU W WYBRANYCH MIASTACH WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO<br><b>Monika Załuska</b> .....                             | 74  |
| 10. ZASTOSOWANIE ELEKTROFILTRÓW W OCZYSZCZANIU POWIETRZA<br><b>Monika Załuska</b> .....                                                                   | 85  |
| 11. PODSTAWOWE WYMAGANIA BUDYNKÓW MAGAZYNOWYCH W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA PRACOWNIKÓW PODCZAS ICH UŻYTKOWANIA<br><b>Łukasz Lipski</b> .....                | 93  |
| 12. PODSTAWOWE PROCEDURY BEZPIECZEŃSTWA PODCZAS TRANSPORTU WEWNĄTRZZAKŁADOWEGO<br><b>Łukasz Lipski</b> .....                                              | 103 |
| 13. USPRAWNIENIA TRANSPORTU ŁADUNKÓW WÓZKAMI RĘCZNYMI<br><b>Dariusz Demczuk, Paulina Kostrzewa</b> .....                                                  | 113 |

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14. ANALIZA CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH JAKOŚĆ WIN                                                                |     |
| <b>Barbara Dziedzic</b> .....                                                                                   | 125 |
| 15. TYMCZASOWE ZABEZPIECZENIE WYKOPÓW W ASPEKCIE WIELOKRYTERIALNEGO PODJEMOWANIA DECYZJI                        |     |
| <b>Katarzyna Gałek</b> .....                                                                                    | 133 |
| 16. ANALIZA NUMERYCZNA PRZEPŁYWU PRZEZ TRANSONICZNY DYFUZOR SAJBENA Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA SU2         |     |
| <b>Wiktor Hoffmann</b> .....                                                                                    | 141 |
| 17. BEZWYKOPOWE METODY BUDOWY PRZEWODÓW WODOCIĄGOWO-KANALIZACYJNYCH                                             |     |
| <b>Monika Krauze, Monika Zająkała</b> .....                                                                     | 150 |
| 18. PLATFORMY ODWZOROWUJĄCE RZECZYWISTY RUCH W SYMULATORACH                                                     |     |
| <b>Radosław Krawczyk</b> .....                                                                                  | 156 |
| 19. WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW KODOWYCH W POSZCZEGÓLNYCH DZIEDZINACH ŻYCIA W POLSCE                                 |     |
| <b>Jolanta Martuszevska</b> .....                                                                               | 166 |
| 20. UKŁADY ZAWIESZENIA W POJAZDACH NIEKONWENCJONALNYCH TYPU ŁAZIKI MARSJAŃSKIE ORAZ ROBOTY DO ZADAŃ SPECJALNYCH |     |
| <b>Maciej Pierzgalski</b> .....                                                                                 | 177 |
| 21. PROJEKTOWANIE DLA OSÓB STARSZYCH I NIEPEŁNOSPRAWNYCH                                                        |     |
| <b>Małgorzata Pokajewicz</b> .....                                                                              | 186 |
| 22. INTUICYJNE KONTROLERY RUCHU W ROBOTYCE                                                                      |     |
| <b>Piotr Ptak</b> .....                                                                                         | 196 |
| 23. POJĘCIE SKALOWANIA I RELACJI SAMOPODOBIENSTWA PRZEPŁYWU W TYM SKALOWANIE PROFILI ŚREDNICH                   |     |
| <b>Mathias Romańczyk</b> .....                                                                                  | 206 |
| 24. TURBULENTNA WARSTWA PRZYŚCIENNA I NAPRĘŻENIA REYNOLDSA – DOTYCHCZASOWE BADANIA                              |     |
| <b>Mathias Romańczyk</b> .....                                                                                  | 218 |
| 25. EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH W INSTALACJACH ENERGETYCZNYCH                                                   |     |
| <b>Mathias Romańczyk</b> .....                                                                                  | 231 |
| 26. TECHNOLOGIE CZYSTEGO SPALANIA ORAZ ZWIĄZANE Z TYM KOSZTY                                                    |     |
| <b>Mathias Romańczyk</b> .....                                                                                  | 243 |
| 27. WYSOKOSPRAWNA TECHNOLOGIA IGCC SEKTORA ENERGETYCZNEGO                                                       |     |
| <b>Mathias Romańczyk</b> .....                                                                                  | 255 |
| 28. PRZEGLĄD ZASTOSOWAŃ DRUKU 3D W MEDYCYNIE                                                                    |     |
| <b>Joanna Wiśniowska</b> .....                                                                                  | 271 |



## II NAUKI MEDYCZNE

1. POSTRZEGANIE ŚMIERCI PRZEZ POLSKIE PIEŁĘGNIARKI – BADANIA PILOTAŻOWE  
**Dominika Gniewek, Agnieszka Maj** .....282
2. FLUOR – NIEZBĘDNY ELEMENT HIGIENY JAMY USTNEJ, CZY ZAGROŻENIE DLA ZDROWIA?  
**Karolina Kosmala, Katarzyna Kliniec, Mateusz Mendowski, Krzysztof Przeorski, Marcin Dereziński** .....290
3. SKŁADNIKI AKTYWNE STOSOWANE W PROBLEMACH SKÓRNYCH KOBIET W CIĄŻY  
**Nicola Kubik, Agnieszka Łaska-Jesionowska** .....298
4. METODY TERAPII FARMAKOLOGICZNEJ W LECZENIU TRĄDZIKU POSPOLITEGO  
**Agnieszka Łaska-Jesionowska, Nicola Kubik** .....309
5. WPŁYW DODATKU EKSTRAKTU Z CZARNEGO BZU *SAMBUCUS NIGRA* NA JAKOŚĆ PRODUKTÓW MIĘSNYCH  
**Monika Mazur, Anna M. Salejda, Agnieszka Dauksza, Agnieszka Nawirska-Olszańska, Grażyna Krasnowska** .....317
6. POSTAWA SPOŁECZEŃSTWA WOBEC SZCZEPIEŃ NA GRYPE  
**Mieczysława Myszona – Tarnowska** .....326
7. PORÓD A POZIOM SATYSFAKCJI SEKSUALNEJ. BADANIE ANKIETOWE KOBIET Z GRUPY WIEKOWEJ 25- 35, BĘDĄCYCH DO 2 LAT PO PORODZIE  
**Maria Gerber, Natalia Kusyn, Anna Śliwa**.....334
8. OTYŁOŚĆ – PERSPEKTYWY TERAPEUTYCZNE  
**Szymon Suwała, Mariusz Gawrych, Alicja Bartoszevska-Kubiak, Karolina Matiakowska**.....341
9. OCENA WIEDZY PACJENTÓW Z CUKRZYCĄ TYPU II W ASPEKTCIE WYSTĘPOWANIA PÓŹNYCH POWIKŁAŃ CHOROBY  
**Natalia Frodyma – Stefanik** .....350
10. OCENA WIEDZY PACJENTÓW Z ZAKRESU POPRAWNEGO WYKONYWANIA INIEKCJI INSULINY ZA POMOCĄ WSTRZYKIWACZY TYPU PEN  
**Natalia Frodyma – Stefanik** .....362
11. OPIEKA NAD PACJENTEM Z CUKRZYCĄ – STUDIUM PRZYPADKU  
**Natalia Frodyma – Stefanik** .....371
12. PRZYCZYNY I POWIKŁANIA OTYŁOŚCI  
**Mariusz Gawrych, Wojciech Marszałek, Alicja Bartoszevska-Kubiak, Karolina Matiakowska, Szymon Suwała** .....381
13. METODY OPERACYJNEGO LECZENIA ZWYRODNIENÍ CHRZĄSTKI STAWOWEJ  
**Paweł Gwiadoń, Kamila Borowiec, Natalia Kędra**.....389

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14. POWIKŁANIA INFEKCYJNE PO TRANSPLANTACJI PŁUC<br>U BIORCÓW CHORYCH NA MUKOWISCYTOZĘ. PORÓWNANIE WYNIKÓW<br>BADAŃ PACJENTÓW WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO Z DANymi<br>Z LITERATURY |     |
| <b>Aleksandra Kubera, Anna Maria Wróblewska</b>                                                                                                                                   | 399 |
| 15. IDENTYFIKACJA SOMATYCZNYCH MUTACJI GENU <i>CALR</i><br>W NADPŁYTKOWOŚCI SAMOISTNEJ I MIELOFIBROZIE U PACJENTÓW<br><i>JAK2V617F(-)</i> I <i>MPLW515K/L(-)</i>                  |     |
| <b>Alicja Bartoszevska-Kubiak, Karolina Matiakowska, Szymon Suwała, Mariusz<br/>Gawrych</b>                                                                                       | 410 |
| 16. WPŁYW NANOZŁOTA NA PRZEŻYWALNOŚĆ OSOBNIKÓW <i>DAPHNIA<br/>PULEX</i>                                                                                                           |     |
| <b>Małgorzata Garncarek</b>                                                                                                                                                       | 421 |
| 17. PAMIĘĆ IMMUNOLOGICZNA – SWOISTE MECHANIZMY OBRONY<br>ORGANIZMU PRZED ZAKAŻENIEM                                                                                               |     |
| <b>Malwina Sosnowska, Ada Schollenberger</b>                                                                                                                                      | 431 |
| 18. WRODZONE MECHANIZMY OBRONY GOSPODARZA - PIERWSZA LINIA<br>OBRONY                                                                                                              |     |
| <b>Malwina Sosnowska, Ada Schollenberger</b>                                                                                                                                      | 439 |
| 19. OSTRA BIAŁACZKA SZPIKOWA - MUTACJE <i>NPM1</i> I <i>FLT3</i> A DŁUGOŚĆ<br>CZASU PRZEŻYCIA U CHORYCH                                                                           |     |
| <b>Karolina Matiakowska, Alicja Bartoszevska-Kubiak, Mariusz Gawrych,<br/>Szymon Suwała</b>                                                                                       | 449 |



# I NAUKI ŚCISŁE I PRZYRODNICZE

## 1. ANALIZA AKUMULACJI MN W GLEBACH UŻYTKOWANYCH ROLNICZO W ZLEWNI RZĘKI BUG (POLSKA)

**mgr inż. Urszula Tarasiuk**

Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok,

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska

Email: goszczyk\_urszula@op.pl

**Streszczenie:** Celem niniejszego artykułu stanowi analiza akumulacji manganu w glebach ornych, w zlewni rzeki Bug, w oparciu o badania przeprowadzone przez Państwowy Monitoring Środowiska w latach od 1995 do 2015 roku. Badania te zostały wykonane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Próbkę została pobrana na głębokości od 0 do 20 cm z powierzchni osiagającej wartość około 100 m<sup>2</sup> ([http://www.gios.gov.pl/chemizm\\_gleb/](http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/)). Przeprowadzona analiza wykazała, że średnia koncentracja manganu w glebach użytkowanych rolniczo w obrębie zlewni rzeki Bug wahała się w zakresie od  $149,67 \pm 124,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  do  $369,50 \pm 40,00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Potwierdzono, że wysoko rozwinięta działalność przemysłowa, jaka występuje w województwie mazowieckim wpływa na zwiększoną koncentrację manganu w glebach użytków rolnych, w zlewni rzeki Bug. Głównymi źródłami zanieczyszczeń gleb użytków rolnych w zlewni rzeki Bug mogą stanowić m. in. zakłady metalurgiczne, czy też spalanie węgla i paliw płynnych.

**Słowa kluczowe:** mangan, gleba, zanieczyszczenia antropogeniczne, zlewnia Bug

### 1. Wstęp

Gleba jako jeden z elementów środowiska jest ogniwem w obiegu pierwiastków chemicznych i na skutek roślinności i przeróżnych czynników glebotwórczych ulega ciągłym przekształceniom (Kabata-Pendias, Pendias, 1999). Zanieczyszczenie środowiska glebowego pierwiastkami śladowymi zachodzi na skutek naturalnie zachodzących w tym środowisku procesów, ale pierwiastki te również mogą być uwalniane w wyniku wszelkiego rodzaju działań antropogenicznych, do których zaliczamy m. in. działalność przemysłową, rolnictwo, górnictwo oraz motoryzację (Abioye, 2011, Alkorta i in., 2004, Hung-Yu i in., 2011, Łuksa, 2010, Ossai, 2010, Sekutkowski, Bartniak, 2010, Souza i in., 2013). Pierwiastkiem śladowym zaklasyfikowanym do grupy o wyjątkowo wysokim stopniu potencjalnego zagrożenia należy między innymi mangan (Gworek B. i in., 2004). Mangan w glebie występuje w różnym nasileniu. Jego zawartość zależy od jego stężenia w skale macierzystej, ale również od zachodzących procesów glebotwórczych, które determinują jego profilowe rozmieszczenie (Kabata-Pendias, Pendias, 1999). Mangan oraz jego związki ma niezwykle złożoną geochemię, która zależy od wielu czynników, tj. temperatury, ilości tlenu, odczynu, zawartości materii organicznej i koloidów oraz wartości potencjału redox (Lipiński, 2001; Sykut, Ruszkowska, 2000, Lipiński i in., 2006). Dodatkowo zaobserwowano pewną regularność, w której gleby gliniaste są bogatsze w mangan od gleb piaszczystych, a organiczne od mineralnych. Średnia zawartość manganu w różnego rodzaju i typach gleb

mieszczą się w zakresie  $100 - 1300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Kabata – Pendias, Pendias, 1999). Ponadto wg. Perlak (2000) koncentracja manganu w glebach zależna jest również od wielu czynników antropogenicznych. Niemniej zanieczyszczenie gleb tym pierwiastkiem wiąże się z jego formą, a nie z ilością (Jaworska, 2012).

Celem niniejszego artykułu stanowi przedstawienie zmian akumulacji manganu, w glebach użytków rolnych w obrębie dorzecza rzeki Bug. Wspomnianą analizę wyników przeprowadzono w oparciu o badania przeprowadzone w latach 1995 – 2015, wykonane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach w ramach programu „Monitoring Chemizmu Gleb Ornych Polski”.

## 2. Materiały i metody

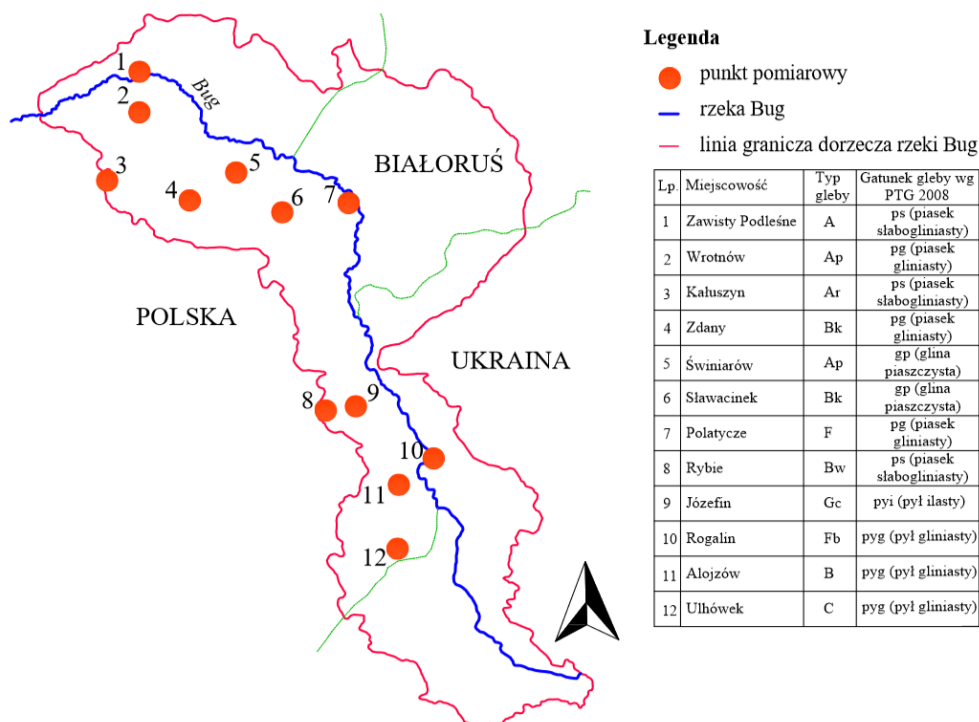
Rzeka Bug przepływa przez terytorium trzech państw: Polski, Ukrainy oraz Białorusi (Rys. 1). W Polsce osiąga łączną długość 224 km, co stanowi ok. 29% całkowitej jej długości. Powierzchnia zlewni rzeki Bug łącznie ma wartość 39,4 tys.  $\text{km}^2$ , z czego najwięcej leży na terytorium Polski, bo aż 19,4 tys.  $\text{km}^2$  (49,2%), na terenie Ukrainy tylko 10,8 tys.  $\text{km}^2$ . Najmniej natomiast w obrębie granic Republiki Białorusi, bo jedynie 9,2 tys.  $\text{km}^2$ . W celu przeprowadzenia analizy zmienności koncentracji manganu w glebach użytków rolnych w obrębie zlewni rzeki Bug, na przełomie lat 1995 - 2015 wykorzystano wartości uzyskane w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, które z kolei zostały przeprowadzone przez Instytut Upraw i Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach. Lokalizację wszystkich punktów pomiarowych z uwzględnieniem granic obiektu badawczego (zlewni rzeki Bug, na terytorium Polski) zobrazowano na rysunku (Rys.1). Próbki gleb pobrano na głębokości warstwy korzeniowej tj. 0 – 0,20 m, z powierzchni około 100  $\text{m}^2$  (Gondek i in., 2005, Kuziemska i in., 2011, Pakuła, 2011). Mangan, jako jeden z pierwiastków śladowych zostały oznaczone przy wykorzystaniu metody spektrometrii ASA (rozwinąć ten skrót). Zanim zmierzono zawartość manganu, próbki gleb zmineralizowano, w systemie zamkniętym CEM Mars-5, przy wykorzystaniu następujących odczynników: kwasu solnego i azotowego ([http://www.gios.gov.pl/chemizm\\_gleb/](http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/)). Na podstawie uzyskanych wyników zawartości manganu w badanych glebach przedstawiono podstawowe dane statystyczne tj. wartości skrajne (najmniejsze i największe). Obliczono m. in. średnie arytmetyczne oraz odchylenie standardowe (SD). Ponadto w kolejnym etapie zobrazowano uzyskane stężenia manganu w przestrzennym rozkładzie, w obrębie granic zlewni rzeki Bug. Wykorzystując w tym celu licencjonowany program Surfer 8.



**Rysunek 1. Obiekt badawczy – zlewnia rzeki Bug w obrębie terytorium Polski**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [www.gios.gov.pl/chemizm\\_gleb/](http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/).

Opis analizowanych próbek gleby przedstawiono na Rys.2. Uwzględniono w niej typ gleby oraz ich gatunek.



**Rysunek 2. Typ i gatunek gleb wg PTG 2008 zlewni rzeki Bug w poszczególnych punktach pomiarowych**

Źródło: [www.gios.gov.pl/chemizm\\_gleb/](http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/).

### 3. Wyniki i dyskusja

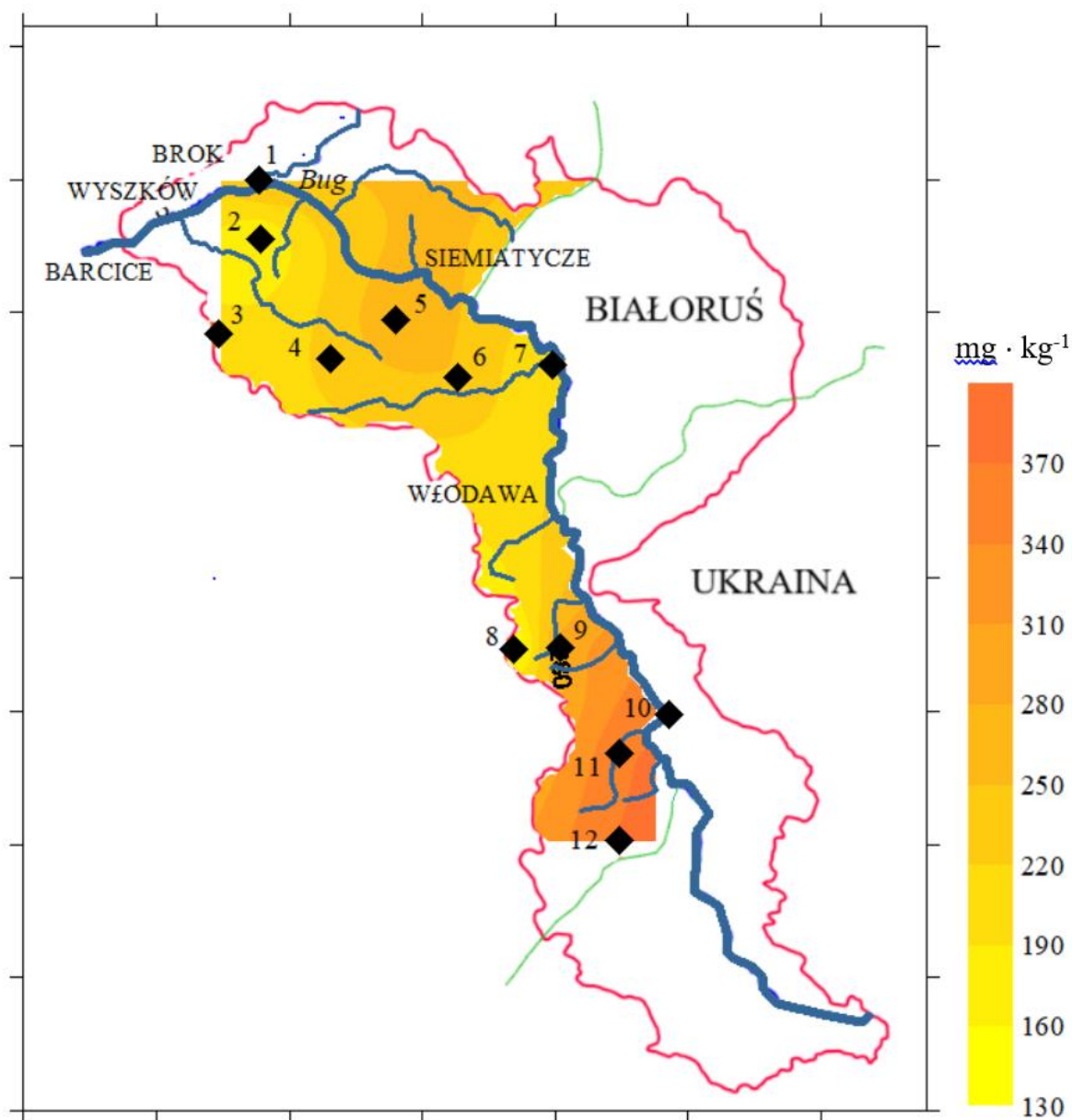
Dane zamieszczone w Tab. 2 wskazują, że zawartość manganu jest zróżnicowana, a średnie zawartości tego pierwiastka mieszczą się w zakresie od  $149,67 \pm 124,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  do  $369,50 \pm 40,00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  dla całej powierzchni zlewni. Minimalną zawartość manganu odnotowano w 2015 roku, w miejscowości Zawisty Podleśne i wynosiło ono  $52 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , na piaskach słabogliniastych. Z kolei maksymalną zawartość manganu odnotowano na poziomie  $428 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , w 1995 roku, w miejscowości Rogalin (pył gliniasty). Porównując przedstawione przez Turekian i Wedepohl (1961) koncentracje Mn w skałach ilastych, które mają wartość  $850 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  obserwuje się brak przekroczeń uzyskanych średnich wartości tego pierwiastka w poszczególnych regionach wodnych. Atlas geochemiczny Polski wskazuje, że średnia arytmetyczna zawartości manganu w glebach Polski wynosi  $267 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Lis i Pasieczna 1995), a z kolei w Europie  $466 \pm 445 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Salmine i in 2005). Podobne stężenia tego pierwiastka uzyskano w południowym rejonie dorzecza rzeki Bug (Tab. 2). Zbliżoną koncentrację dla tego pierwiastka w glebach środkowej i północnej Polski przedstawia Czarnecka i Gworek (1987) określając ją na poziomie równym  $320 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Koncentracje najczęściej spotykane w polskich glebach nie skażonych badanym pierwiastkiem wahają się około  $370 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  (Czarnecka 1989). Z kolei według Kabata-Pendias A. (2011) zawartość badanego pierwiastka w glebach na świecie waha się w zakresie od 411 do  $550 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Wyniki zawartości manganu uzyskane przez Jaworską (2012) w badanych profilach przyjmowały wartości w zakresie od 59,2 do  $332,8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , co pokrywa się z zawartościami tego pierwiastka w dorzeczu rzeki Bug. Natomiast Lis i Pasieczna (1995) podają, że stężenie manganu w glebach Polski są stosunkowo mało zróżnicowane i zwykle nie przekraczają  $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , ale czasami spotyka się większe zawartości w glebach Karpat i Sudetów oraz na Górnym Śląsku. Największe koncentrację manganu odnotowano we wszystkich badanych latach, w pojedynczych miejscowościach tj. Rogalin ( $286 - 428 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), Alojzów ( $332 - 413 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) oraz Ulhówek ( $286 - 413 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), gdzie występują pyły gliniaste. Z kolei według Lipińskiego (2001) najwyższe poziomy manganu występują w glebach gliniastych i wapiennych.

**Tabela 1. Zestawienia wyników statystycznych zawartości manganu [mg·kg<sup>-1</sup>] w glebie (0-20 cm) dla dorzecza rzeki Bug, w latach 1995-2015**

| Gatunek gleby                                   | Miejscowości     | Zawartość manganu |                |                |                |                 |
|-------------------------------------------------|------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                                 |                  | 1995              | 2000           | 2005           | 2010           | 2015            |
| ps (piasek słabogliniasty)                      | Zawisty Podlesne | 213               | 190            | 185            | 136            | 52              |
|                                                 | Kałużyn          | 238               | 197            | 234            | 300            | 325             |
|                                                 | Rybie            | 192               | 165            | 174            | 67             | 72              |
| Średnia arytmetyczna +/- odchylenie standardowe |                  | 214,33 ± 18,80    | 184,00 ± 13,74 | 197,67 ± 26,08 | 167,67 ± 97,72 | 149,67 ± 124,25 |
| pg (piasek gliniasty)                           | Wrotnów          | 163               | 176            | 198            | 274            | 185             |
|                                                 | Zdany            | 218               | 230            | 206            | 262            | 228             |
|                                                 | Polatycze        | 213               | 198            | 198            | 182            | 164             |
| Średnia arytmetyczna +/- odchylenie standardowe |                  | 198,00 ± 24,83    | 201,33 ± 22,17 | 200,67 ± 3,77  | 239,33 ± 40,84 | 192,33 ± 26,64  |
| gp (głina piaszczysta)                          | Świniarów        | 273               | 240            | 290            | 289            | 278             |
|                                                 | Sławacinek       | 217               | 295            | 224            | 278            | 224             |
| Średnia arytmetyczna +/- odchylenie standardowe |                  | 245,00 ± 28,00    | 267,50 ± 27,50 | 257,00 ± 33,00 | 283,50 ± 5,50  | 251,00 ± 27,00  |
| pyi (pył ilasty)                                | Józefin          | 333               | 277            | 270            | 301            | 283             |
| pyg (pył gliniasty)                             | Rogalin          | <b>428</b>        | 388            | 398            | 315            | 286             |
|                                                 | Alojzów          | 332               | 342            | 367            | <b>413</b>     | 362             |
|                                                 | Ułhówek          | 385               | <b>413</b>     | 385            | 392            | 286             |
| Średnia arytmetyczna +/- odchylenie standardowe |                  | 369,50 ± 40,00    | 355,00 ± 51,73 | 355,00 ± 50,29 | 355,25 ± 48,09 | 304,25 ± 33,36  |

Źródło: Opracowanie własne.





**Rysunek 3. Rozkład przestrzenny średniej zawartości manganu na przestrzeni lat 1995 - 2015 w poszczególnych punktach, w glebach ornych zlewni rzeki Bug**

Źródło: Opracowanie własne.

Przestrzenny rozkład koncentracji manganu w zlewni rzeki Bug (Rys. 3) obrazuje, że jedynie w punktach pomiarowych zlokalizowanych w miejscowościach Rogalin, Ułhówek, Józefin i Alojzów wystąpiły zwiększone zawartości badanego pierwiastka. Przeprowadzona analiza stężenia manganu w glebach użytkowanych rolniczo zlewni rzeki Bug, na przełomie lat 1995-2015 potwierdziła wcześniej przeprowadzone badania innych autorów, że wysoko rozwinięta działalność przemysłowa, jaka występuje w województwie mazowieckim może mieć duży wpływ na akumulacje tego pierwiastka w analizowanych glebach.

#### 4. Wnioski

- Średnia zawartość manganu w glebach użytków rolnych w zlewni rzeki Bug mieściła się w zakresie od  $149,67 \pm 124,25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  do  $369,50 \pm 40,00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- Przeprowadzona analiza wyników zawartości manganu potwierdziła, że wysoko rozwinięty przemysł w województwie mazowieckim wpływa na zwiększone ilości manganu w glebach, a jego największe nagromadzenie wystąpiło w glebach, których gatunkiem jest pył gliniasty, w pobliżu następujących miejscowości Rogalin, Ułhówek, Józefin i Alojzów.
- Przeprowadzona analiza stężenia manganu w glebach użytków rolnych zlewni rzeki Bug w latach 1995-2015 potwierdziła wcześniej przeprowadzone badania innych autorów, że wysoko rozwinięta działalność przemysłowa, jaka występuje w województwie mazowieckim może mieć duży wpływ na akumulację tego pierwiastka w analizowanych glebach.

#### Bibliografia:

1. [http://www.gios.gov.pl/chemizm\\_gleb/](http://www.gios.gov.pl/chemizm_gleb/).
2. Abioye O. P.: Biological Remediation of Hydrocarbon and Heavy Metals Contaminated Soil. Earth and Planetary Sciences, Soil Contamination Edited by S. Pascucci 2011, Chapter 7.
3. Alkorta i in., 2004. Recent Findings on the Phytoremediation of Soils Contaminated with Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids Such as Zinc, Cadmium, Lead, and Arsenic. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 3(1):71-90.
4. Czarnecka K. i Gworek B. (1987). Metale w niektórych glebach środkowej i północnej Polski. Roczniki Gleboznawcze T. 38 nr.3.
5. Czarnecka K. (1989). Zawartość niektórych metali ciężkich w glebach wytworzonych z różnych utworów pyłowych. Roczniki Gleboznawcze T. 40 nr 2.
6. Gondek Krzysztof, Filipek-Mazur Barbara, 2005. Degradacja i rekultywacja gruntów. Przyrodnicze użytkowanie odpadów. Inżynieria Ekologiczna Nr 10, 106-114.
7. Gworek B, Barański A, Czarnowski K, Sienkiewicz J, Porębska G., (2004). Procedury oceny ryzyka w zarządzaniu gruntami zanieczyszczonymi metalami ciężkimi. Warszawa: IOŚ; 2000:87-88.
8. Hung-Yu Lai, Shaw-Wei Su, Horng-Yuh Guo, Zueng-Sang Chen: Heavy Metals Contaminated Soils and Phytoremediation Strategies in Tajwan. Earth and Planetary Sciences, Soil Contamination edited by S. Pascucci 2011, Chapter 6.
9. Jaworska H., (2012). Mangan całkowity oraz jego formy mobilne w wybranych glebach pól z okolic Huty Miedzi Głogów. Proceedings of ECOpole.
10. Łuksa A., Mendrycka M., Stawarz M.: Bioremediacja gleb zaolejonych z wykorzystaniem sorbentów. Nafta-Gaz 2010, nr 9, s. 810–818.
11. Kabata – Pendias A., Pendias H. (1999) Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
12. Kabata-Pendias A., (2011). Trace Elements in Soils and Plants – Fourth Edition. CRC Press, str. 203.
13. Kuziemska Beata, Kalembsa Stanisław, Jakubicka Magdalena, 2011. Wpływ wapnowania i dodatku osadu ściekowego na zawartość żelaza, miedzi i cynku

- w Kupkównie Pospolitej (*Dactylis Glomerata* L.) uprawianej na glebie zanieczyszczonej niklem. *Inżynieria Ekologiczna* Nr 27, str. 92-99.
14. Lipiński W., Franczak S., Watros A., (2006). Oddziaływanie składu granulometrycznego, odczynu i materii organicznej gleby na zawartość żelaza i manganu w ziarnie pszenicy. *Krajowa Stacja Chemiczno – Rolnicza w Warszawie*, str. 40.
  15. Lis J., Pasieczna A., 1995 – *Atlas geochemiczny Polski*. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
  16. Pakuła Krzysztof, 2011. Frakcje ołowiu, chromu, cynku, miedzi i niklu w poziomie próchnicznym gleb położonych wzdłuż obwodnicy Siedlec” *Inżynieria Ekologiczna* Nr 27, str. 153-160.
  17. Perlak Z. (2000). Różnicowanie się zawartości metali ciężkich w profilach gleb łąkowych Doliny Odry w rejonie Bytomia Odrzańskiego. *Zesz Probl Post Nauk Roln.*; 471: 1099-1107.
  18. Salminen R. (chief-editor), Batista M.J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., Devos W., Duris M., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein P., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., O'connor P.J., Olsson S.Å., Ottesen R.-T., Petersell V., Plant J.A., Reeder S., Salpeteur I., Sadström H., Siewers U., Steenfel T. A., Tarvainen T., 2005, *geochemical atlas of europe*, part 1 - background information, methodology and maps.
  19. Sekutkowski T., Bartniak M.: Wykorzystanie mikrobiotestu phytotoxkit w wykrywaniu potencjału allelopatycznego mozgi trzcinowatej (*phalaris arundinacea*). *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2009, vol. 54, nr 4, s. 88–93.
  20. Souza R. B., Maziviero T. G., Christofoletti C. A., Pinheiro T. G., Fontanetti C. S.: Soil Contamination with Heavy Metals and Petroleum Derivates: Impact on Edaphic Fauna and Remediation Strategies. *INTECH, Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment* 2013, nr 6, s. 175–203.
  21. Sykut S., Ruszkowska M., (2000). Wymywanie mikroelementów i niektórych pierwiastków śladowych z gleb w lizymetrach. *Nawozy i Nawożenie PTN-CIEC*, 4; 26-34.
  22. Terelak H., Piotrowska M., Motowicka – Terelak T., Stuczyńska T., Pietruch Cz., Budzyńska K., Sroczyński W., (1998). Właściwości chemiczne gleb oraz zawartość metali ciężkich i siarki w glebach i roślinach. *IUNG Puławy*, 1 – 129.
  23. Turekian K.K., Wedephol K.H., (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. America*, 72, s. 175-184.

## 2. BADANIE ZAWARTOŚCI MN W ROŚLINACH WODNYCH RZEKI NURZEC OBCIĄŻONYCH ŚCIEKAMI KOMUNALNYMI

**mgr inż. Urszula Tarasiuk**

Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Technologii w Inżynierii i Ochronie Środowiska

Email: u.tarasiuk@doktoranci.pb.edu.pl

**Streszczenie:** Makrofity mają duży potencjał gromadzenia metali ciężkich wewnątrz ich ciała. Rośliny te mogą gromadzić ciężkie metale 100 000 razy większe niż w wodzie związanej czyli w ich otoczeniu (Gulati i in., 1979; Mishra i in., 2008; Fawzy i in., 2012; Marchand i in., 2014). Dlatego zdolność do wychwytywania metali ciężkich ze środowiska, nawet przy niewielkim stężeniu, czyni makrofity skutecznymi wskaźnikami jakości środowiska wodnego (Maine i in., 2001; Axtell i in., 2003; Miretzky i in., 2004; Hassan i in., 2007; Mishra i in., 2008; Matache i in., 2013). Obszar badawczy stanowi rzeka Nurzec, która stanowi prawostronny dopływ rzeki Bug i przepływa przez 3 powiaty: bielski, hajnowski i wysokomazowiecki. Teren zlewni analizowanej rzeki jest nieznacznie przekształcony, na skutek presji antropogenicznych. Do głównych źródeł zanieczyszczeń tej rzeki stanowią oczyszczalnie ścieków zlokalizowane m. in. w miejscowościach Czeremcha, Brańsk oraz Ciechanowiec (WIOŚ, 2008; Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku, 2012). Celem pracy stanowi analiza wpływu manganu (Mn) w roślinach wodnych (korzeń, łodyga, liść) pobranych w pobliżu zrzutu ścieków oczyszczonych. W ramach badań stężenia analizowanego pierwiastka w makrofitach wyznaczono 11 punktów pomiarowych (10 zlokalizowanych przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych, a 1 u źródła rzeki Nurzec). Wartości Mn były większe w punktach znajdujących się za miejscem zrzutu ścieków oczyszczonych. Największą zawartość Mn odnotowano za oczyszczalnią w Ciechanowcu i Brańsku gdzie, wyniosła kolejno 1845,26 mg·kg<sup>-1</sup>s.m. i 1559,82 mg·kg<sup>-1</sup>s.m. Wykonane badania laboratoryjne dotyczące wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń na obszarach o niewielkim wpływie antropopresji wykazały, że największe koncentracje analizowanych metali jest generowana przez oczyszczalnie ścieków w Ciechanowcu i Brańsku, a w punktach za ujściem ścieków odnotowano zwiększone koncentracje wszystkich analizowanych pierwiastków (Mn).

**Słowa kluczowe:** makrofity, mangan, oczyszczalnia, rzeka Bug

### 1. Wstęp

Odprowadzanie ścieków komunalnych oraz przemysłowych do systemów rzecznych stanowi niezwykle ważny problem środowiskowy i może stwarzać potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego (Banerjee, Gupta 2012). Z tego powodu niezwykle istotne jest zbadanie wpływu działań antropogenicznych, na jakość odbiornika (wód powierzchniowych) (Parween i in. 2017). W ekosystemach wodnych pierwiastki śladowe są gromadzone nie tylko w osadach dennych, ale również w roślinach i zwierzętach. Rośliny wodne tj. makrofity są często wykorzystywane do monitorowania pierwiastków śladowych oraz pestycydów w wodach powierzchniowych (Klump i in., 2002). Makrofity mają duży potencjał gromadzenia metali ciężkich wewnątrz ich ciała. Rośliny te mogą gromadzić ciężkie metale 100 000 razy większe niż w wodzie związanej czyli w ich otoczeniu (Gulati i in., 1979;

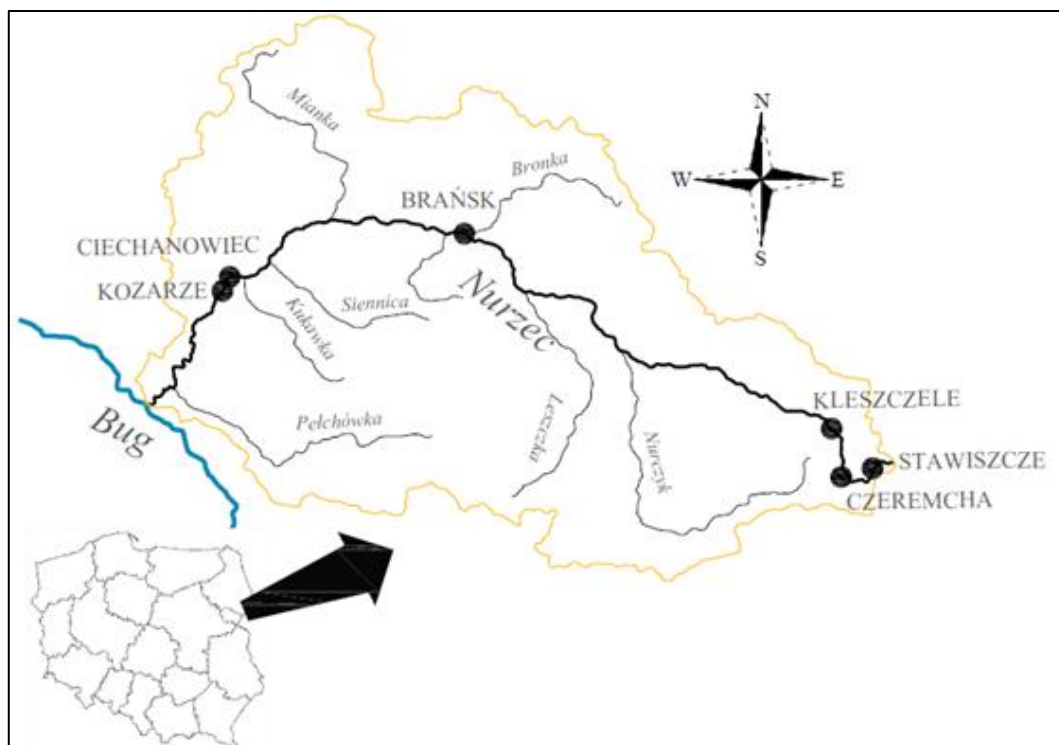
Mishra i in., 2008; Fawzy i in., 2012; Marchand i in., 2014). Dlatego zdolność do wychwytywania metali ciężkich ze środowiska, nawet przy niewielkim stężeniu, czyni makrofity skutecznymi wskaźnikami jakości środowiska wodnego (Maine i in., 2001; Axtell i in., 2003, Miretzky i in., 2004, Hassan i in., 2007, Mishra i in. 2008; Matache i in., 2013). Kilku autorów Bonanno, 2011; Stoltz, Greger, 2002; Vardanyan, Ingole, 2006 wykazało już, że ilość metali pochłanianych przez rośliny była proporcjonalna do ich zawartości w abiotycznych przedziałach środowiska roślinnego i może pomóc w oszacowaniu poziomów zanieczyszczenia w wielu środowiskach wodnych. Według Kabata-Pendias, Pendias (2001) i Lu i in. (2011) rośliny stanowią zbiornik dla wszelkiego rodzaju pierwiastków w komunie wodnej, więc zawartość zanieczyszczeń w roślinach odzwierciedla poziom zanieczyszczeń. Z kolei według Wang, Lewis, 1997 w porównaniu ze zwierzętami, rośliny wodne mają większą lub porównywalną zdolność magazynowania metali ciężkich, a więc są one usuwane częściowo poprzez proces akumulacji ich w biomasie roślin. Innymi słowy stanowią filtry biologiczne w ekosystemach wodnych. Do podobnych wniosków doszli również inni autorzy tj., Jana, 1988; Vardanyan, Ingole, 2006. Ze względu na swoje właściwości, tj. zdolność gromadzenia i biokoncentracji zanieczyszczeń znalazły zastosowanie w procesach fitoremediacji (Brooks, Robinson, 1998; Vardanyan, Ingole, 2006; Mishra i in., 2008; Srivastava i in., 2008). Zawartość pierwiastków śladowych w osadach dennych bądź wodzie odzwierciedla się w ich stężeniach w organizmach żywych tj. rybach, zwierzętach bentosowych czy też makrofitach (Dobicki 2004; Fritioff, Greger 2006; Mazej, Germ 2009; Skorbiłowicz, 2012). Mechanizm procesu bioakumulacji pierwiastków śladowych przez korzenie roślin jest niezwykle złożony i najczęściej stanowi połączenie wielu różnych procesów, takich jak: transport wewnątrzkomórkowy, wymiana kationowa poprzez błony komórkowe oraz procesy ryzosfery (Kabata – Pendias, Pendias, 2001). Gatunki zakorzenione mogą wchłaniać metale przez ich korzonki i kłącza, jak również przez ich liście, ponieważ te ostatnie zapewniają rozszerzony obszar mający zdolność do wychwytywania cząstek stałych, sorbowania jonów metali, gromadzenia oraz segregowania zanieczyszczenia (Welsh, Denny, 1980; Ward, 1987; Bishop, DeWaters, 1988; Levine i in., 1990).

## 2. Materiały i metody

Obszar badawczy stanowi rzeka Nurzec, która stanowi prawostronny dopływ rzeki Bug i przepływa przez 3 powiaty: bielski, hajnowski i wysokomazowiecki. Teren zlewni analizowanej rzeki jest nieznacznie przekształcony, na skutek presji antropogenicznych. Do głównych źródeł zanieczyszczeń tej rzeki stanowią oczyszczalnie ścieków zlokalizowane m. in. w miejscowościach Czeremcha, Brańsk oraz Ciechanowiec (WIOŚ, 2008; Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku, 2012). Nurzec przepływa przez obszary podmokłe i bagienne, swój bieg rozpoczyna w miejscowości Stawiszczce. Łączna długość tej rzeki wynosi 100,2 km, a powierzchnia jej dorzecza ma wartość 2082,6 km<sup>2</sup> (WIOŚ, 2008; Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Białymstoku, 2012).

Celem pracy stanowi analiza wpływu manganu (Mn) w roślinach wodnych (korzeń, łodyga, liść) pobranych w pobliżu zrzutu ścieków oczyszczonych. W ramach badań stężenia analizowanego pierwiastka w makrofitach wyznaczono 11 punktów pomiarowych (10 zlokalizowanych przed i za zrzutem ścieków oczyszczonych, a 1 u źródła rzeki Nurzec). Próbkę roślin pobierano kolejno w następujących miejscowościach: 1 – Stawiszczce, 2,3 –

Czeremcha, 4,5 – Kleszczele, 6,7 – Brańsk, 8,9 – Ciechanowiec, 10,11 – Kozarze (Rys. 1). Pobór został przeprowadzony w okresie intensywnej wegetacji roślin, w 2016 roku. Każdą z próbek roślin wodnych zebrano w odległości ok. 40m od miejsca zrzutu ścieków oczyszczonych (zarówno przed jak i za zrzutem) na rzece Nurzec. Wszystkie punkty przedstawione zostały na rysunku poniżej (Rys. 1).



**Rysunek 1 Punkty poboru próbek osadów dennych na rzece Nurzec**

Źródło: Opracowanie własne.

Określenie odległości, na której nastąpi całkowite wymieszanie, należy rozpatrywać wymiarze pionowym i poprzecznym w danym przekroju rzecznym. Podczas określania stref mieszania stosuje się rozwiązania oparte na parametrach morfologicznych cieków m.in. szerokości koryta rzeki. Jednakże w wielu krajach w Europie przy wyznaczaniu strefy mieszania wykorzystuje się jedynie szerokość rzek (Skorbiłowicz i in. 2017). Ponadto lokalizacja punktów pomiarowych zostały wybrane w taki sposób, aby na uzyskane wyniki nie wpływały inne źródła zanieczyszczeń. W celu wyznaczenia potencjalnych, negatywnych zmian środowiskowych w roślinach wodnych rzek w wyniku odprowadzenia ścieków z oczyszczalni zalecane jest przeprowadzanie badań na odcinkach niezagospodarowanych (Bielski, 2012), w miejscach gdzie brak jest innych źródeł zanieczyszczeń. Każda roślinna próbka (Tab. 1) powstała z połączenia co najmniej 10 pojedynczych próbek (Djingova i in, 2004). Próbkę po przywiezieniu do laboratorium bardzo dokładnie umyto wodą z kranu, a następnie spłukano wodą destylowaną. W kolejnym etapie roślinne próbki suszono do stałej masy w temperaturze 80°C. Następnie próbki, podzielone na korzenie, łodygi i liście poddano procesowi homogenizacji i mineralizacji wykorzystując w tym celu mikrofalowy system CEM. Zawartość metali ciężkich oznaczono metodą AAS. Uzyskane zawartości analizowanego pierwiastka porównano z danymi literaturowymi.

### 3. Wyniki i dyskusja

Do oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska wodnego manganem na obszarach o niewielkim wpływie antropopresji przeprowadzono analizę wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń, do których zaliczamy oczyszczalnie ścieków. Koncentracja badanego pierwiastka w roślinach wodnych rzeki Nurzec przedstawiono w tabeli (Tab. 1). Wartości Mn były większe w punktach znajdujących się za miejscem zrzutu ścieków oczyszczonych. Największą zawartość Mn odnotowano za oczyszczalnią w Ciechanowcu i Brańsku gdzie, wyniosła kolejno 1845,26 mg·kg<sup>-1</sup>s.m. i 1559,82 mg·kg<sup>-1</sup>s.m.

**Tab. 1. Średnie zawartości ± odchylenie standardowe Mn [mg·kg<sup>-1</sup> s.m.] w roślinach wodnych (korzeń, łodyga, liść)**

| Punkty pomiarowe                    |       |    | Średnia zawartość<br>pierwiastków śladowych<br>[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.] |
|-------------------------------------|-------|----|---------------------------------------------------------------------------|
|                                     |       |    | Mn                                                                        |
| Stawiszcze                          |       | 1  | 306,81                                                                    |
| Czeremcha                           | przed | 2  | 287,47                                                                    |
|                                     | za    | 3  | 411,63                                                                    |
| Kleszczele                          | przed | 4  | 299,12                                                                    |
|                                     | za    | 5  | 391,48                                                                    |
| Brańsk                              | przed | 6  | 429,22                                                                    |
|                                     | za    | 7  | 1559,82                                                                   |
| Ciechanowiec                        | przed | 8  | 287,16                                                                    |
|                                     | za    | 9  | 1845,26                                                                   |
| Kozarze                             | przed | 10 | 312,89                                                                    |
|                                     | za    | 11 | 335,62                                                                    |
| <b>Podstawowe dane statystyczne</b> |       |    |                                                                           |
| Średnia ± odchylenie standardowe    |       |    | 587,86 ± 531,11                                                           |
| Mediana                             |       |    | 335,62                                                                    |
| Min                                 |       |    | 287,16                                                                    |
| Max                                 |       |    | 1845,26                                                                   |

Zawartości manganu w miejscowościach Brańsk i Ciechanowiec, gdzie wyniosły one kolejno 1559,82 i 1845,26 mg·kg<sup>-1</sup> są porównywalne do zawartości Mn uzyskanej przez Łojko (2015), tj. 1394 mg·kg<sup>-1</sup> w *Sparganium erectum*. W pozostałych gatunkach tj. *Glyceria maxima*, *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* zawartość manganu była mniejsza i wynosiła kolejno 518, 615, 505 mg·kg<sup>-1</sup>. W każdym z badanych punktów koncentracja manganu przekroczyła naturalną zawartość tego pierwiastka w roślinach wodnych wg klasyfikacji Brooks, Robinson (1998), która wynosi 370 mg·kg<sup>-1</sup>. Prawie dwukrotnie większą zawartością Mn od koncentracji uzyskanych w miejscowościach Brańsk i Ciechanowiec charakteryzowały się rośliny wodne (*H. morsus – ranae*) badane przez Polechońska, Samecka- Cymerman (2015), które osiągnęły wartość 2335 mg·kg<sup>-1</sup>.

#### 4. Wnioski

- W roślinach wodnych rzeki Nurzec stwierdzono wyższą zawartość manganu za zrzutem ścieków oczyszczonych w stosunku do ich zawartości przed zrzutem.
- Wykonane badania laboratoryjne dotyczące wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń na obszarach o niewielkim wpływie antropopresji wykazały, że największe koncentracje analizowanych metali jest generowana przez oczyszczalnie ścieków w Ciechanowcu i Brańsku, a w punktach za ujściem ścieków odnotowano zwiększone koncentracje wszystkich analizowanych pierwiastków (Mn).
- Udowodniono, że działalność badanych oczyszczalni ścieków ma niezaprzeczalny wpływ na zawartość Mn w osadach dennych.

#### Bibliografia:

1. Axtell, N., Sternberg, S., Claussen, K., 2003. Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresour. Technol.* 89, 41–48.
2. Banerjee U, Gupta S., 2012. Impact of industrial waste effluents on river Damodar adjacent to Durgapur industrial complex, West Bengal, India. *An International Journal Devoted to Progress in the Use of Monitoring Data in Assessing Environmental Risks to Man and the Environment*; 185: 2083-2094.
3. Bielski A., 2012. Wpływ zrzutu nieoczyszczonych ścieków na środowisko wodne cieku. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*; t. 15, nr 2, s. 119-142.
4. Bishop, P.L., DeWaters, J., 1988. *Biotechnology for Degradation of Toxic Chemicals in Hazardous Wastes*. Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ.
5. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej w Białymstoku, 2012. Plan zadań ochronnych obszaru Natura 2000. Dolina Górnego Nurca PLB200004.
6. Bonanno G (2011) Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. *Ecotoxicol Environ Saf* 74:1057–1064.
7. Brooks RR, Robinson BH (1998) Aquatic phytoremediation by accumulator plants. In: Brooks RR (ed) *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their roles in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining*. CAB International, Oxon, pp 203–226.
8. Djingova R., Kuleff I., Markert B., 2004. Chemical fingerprinting of plants. *Ecological Research*, 3-11. DOI. 10.1111/j.1440-1703.2003.00602.x.
9. Dobicki W., 2004. Biodostępność metali ciężkich w środowisku jezior Suwalskiego Parku Krajobrazowego, Wyd. Akademii Rolniczej, Wrocław.
10. Fawzy MA, El-sayed Badr N, El-Khatib A, Abo-El-Kassem A (2012) Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in River Nile. *Environ Monit Assess* 184: 1753–1771.
11. Fritioff A., Greger M., 2006. Uptake and distribution of Zn, Cu, Cd and Pb in an aquatic plant *Potamogeton natans*, „*Chemosph.*”, 63, 220 – 227.
12. Gulati KL, Nagpaul KK, Bukhari SS. Uranium, boron, nitrogen, phosphorus and potassium in leaves of mangroves. *Mahasagar—Bull Natl Inst Oceanogr* 1979;12:183– 6.
13. Hassan, S.H., Talat, M., Rai, S., 2007. Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Bioresour. Technol.* 98, 918–928.



14. Jana, S., 1988. Accumulation of Hg and Cr by three aquatic species and subsequent changes in several physiological and biochemical plant parameters. *Water Air Soil Pollut.* 38, 105–109.
15. Kabata-Pendias A, Pendias H (2001) Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington.
16. Klumpp A, Bauer K, Franz-Gerstlein C, de Menezes M. Variation of nutrient and metal concentrations in aquatic macrophytes along the Rio Cachoeira in Bahia (Brazil). *Environment International* 2002; 28: 165-171.
17. Levine, S.N., Rudnick, D.T., Kelly, J.R., Morton, R.D., Buttel, L.A., 1990. Pollution dynamics as influenced by seagrass beds: experiments with tributyltin in *Thalassia* microcosms. *Mar. Environ. Res.* 30, 297–322.
18. Lis J., Pasieczna A., 1995 – Atlas geochemiczny Polski. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
19. Lu Q, He ZL, Graetz DA, Stoffella PJ, Yang X (2011) Uptake and distribution of metals by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Environ Sci Pollut Res* 18:978–986.
20. Łojko, Polechońska, Klink, Kosiba, 2015. Trace metal concentrations and their transfer from sediment to leaves of four common aquatic macrophytes. *Environ Sci Pollut Res* (2015) 22:15123–15131.
21. Maine, M., Duarte, M., Sune, N., 2001. Cadmium uptake by floating macrophytes. *Water Res.* 35, 2629–2634.
22. Marchand L, Nsanganwimana F, Cook BJ, Vystavna Y, Huneau F, Le Coustumer P, et al. Trace element transfer from soil to leaves of macrophytes along the Jalle d'Eysines River, France and their potential use as contamination biomonitors. *Ecological Indicators* 2014; 46: 425-437.
23. Matache ML, Marin C, Rozyłowicz L, Tudorache A (2013) Plants accumulating heavy metals in the Danube River wetlands. *J Environ Health Sci Eng* 11:39.
24. Mazej Z., Germ M., 2009. Trace element accumulation and distribution in four aquatic macrophytes, „*Chemosph.*”, 74, 642 – 647.
25. Miretzky, P., Saralegui, A., Fernandez Cirelli, A., 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere* (57/8), 997–1005.
26. Mishra VK, Upadhyaya AR, Pandey SK, Tripathi BD. Heavy metal pollution induced due to coal mining effluent on surrounding aquatic ecosystem and its management through naturally occurring aquatic macrophytes. *Bioresource Technology* 2008; 99: 930-936.
27. Parween M, Ramanathan AL, Raju N. Waste water management and water quality of river Yamuna in the megacity of Delhi. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2017; 14: 2109-2124.
28. Polechońska L., Samecka-Cymerman A. 015a. Bioaccumulation of macro- and trace elements by European frogbit (*Hydrocharis morsus-ranae* L.) in relation to environmental pollution. *Environmental Science and Pollution Research*. No. 23(4) p. 3469–3480.
29. Skorbiłowicz E. 2012. Studia nad rozmieszczeniem niektórych metali w środowisku wodnym zlewni górnej Narwi. *Rozprawy Naukowe* Nr 222, Białystok, p. 212.
30. Skorbiłowicz M., Skorbiłowicz E., Wójtowicz P., 2017. Metody wyznaczania odległości punktu zrzutu ścieków od przekroju ich całkowitego wymieszania z wodami odbiornika.

31. Srivastava J, Gupta A, Chandra H (2008) Managing water quality with aquatic macrophytes. *Rev Environ Sci Biotechnol* 7:255–266.
32. Stoltz E, Greger M (2002) Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings. *Environ Exp Bot* 47:271–280.
33. Vardanyan LG, Ingole BS (2006) Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake system. *Environ Int* 32:208–218.
34. Wang WC, Lewis MA (1997) Metal accumulation by aquatic macrophytes. In: Wang WC, Gorsuch JW, Hughes JS (eds) *Plants for environment studies*. Lewis Publishers, New York, pp 367–416.
35. Ward, T.J., 1987. Temporal variation of metals in the seagrass *Posidonia australis* and its potential as a sentinel accumulator near a lead smelter. *Mar. Biol.* 95, 315–321.
36. Welsh, R.P.F., Denny, P., 1980. The uptake of lead and copper by submerged aquatic macrophytes in two English lakes. *J. Ecol.* 68, 443–455.
37. WIOŚ Białystok, Białystok (2008). Informacja Podlaskiego Wojewódzkiego Inspektora Ochrony Środowiska w Białymstoku o stanie środowiska na terenie powiatu siemiatyckiego, s. 14- 15.

### **3. SYSTEMY ZNAKOWANIA I PROMOCJI PRODUKTÓW ROLNO- SPOŻYWCZYCH**

**Monika Zająkała, Monika Krauze**

Uniwersytet Technologiczno- Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

Email: monika\_zareba@interia.pl

#### **1. Wstęp**

Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa jest instytucją, której jednym z zadań jest działalność promocyjna i edukacyjna w zakresie promowania i oznaczania polskich produktów żywnościowych, które wyróżnia polskie pochodzenie oraz doskonała jakość. Celem tych działań jest wspieranie pracy rolników, a także rodzimej gospodarki, co w efekcie daje szansę rozwoju sektora rolno-spożywczego w kraju oraz poza jego granicami [www.kowr.gov.pl].

W Polsce działa system znakowania „Polska smakuje”, którego misją jest promowanie żywności o dobrej jakości i walorach smakowych, która została wyprodukowana w Polsce. Program skierowany jest dla konsumentów, celem zapewnienia im możliwości wyboru zdrowych i lokalnych produktów, a także dla zapewnienia rolnikom zbytu na wytworzone przez nich produkty. Ponadto przyznawane są certyfikaty, które świadczą o tradycyjnej recepturze, miejscu wytwarzania oraz spełnieniu wszystkich norm jakościowych. Należą do nich Produkty Regionalne, Produkty Ekologiczne, Certyfikowane Produkty Spożywcze oraz Produkty Spożywcze z Oznaczeniami [www.polskamakuje.pl].

Celem pracy jest przedstawienie systemów znakowania żywności w Polsce, rozumianej jako wspieranie producentów rolnych znakiem Polska smakuje i nadawaniem znaków jakości produktom żywnościowym oraz ich roli we współczesnej gospodarce żywnościowej.

#### **2. Znakowanie żywności**

Proces znakowania żywności ma na celu wskazywanie konsumentom informacji na ich temat. Proces ten ma ułatwiać wybór produktów spośród dostępnych na rynku oraz zwiększać świadomość ludzi na temat wpływu pożywienia i stylu życia na zdrowie i życie. Etykiety na produktach są podstawowym źródłem informacji dla konsumenta. Zawierają dane dotyczące składu produktu, miejsca produkcji, sposobu użytkowania oraz posiadanych certyfikatów lub znaków jakości [Krasowska i Salejda 2011]. Konieczność promowania żywności w przejrzysty sposób wymusiła stosowanie na etykietach znaków graficznych i słów, które gwarantują wysoką jakość surowców wytworzonych w pożądanym warunkach higienicznych. Jednym z nich jest marka „Polska smakuje” (obraz 1).



**Obraz 1. Graficzny znak jakościowy „Polska smakuje” [www.polskasmakuje.pl]**

Działanie Polska smakuje powstało z myślą o promowaniu polskich produktów żywnościowych dla konsumentów, którzy stali się bardziej świadomi i wymagający. Wielu Polaków deklaruje, że jest w stanie zapłacić większą cenę za ten sam produkt, jeżeli ma pewność, że cechuje go wysoka jakość i znane pochodzenia. Ponadto aktualnie obserwuje się trend życia „eko”. Styl ten i coraz pozwala na sprzedaż surowców ekologicznych w wyższych cenach, zachęcając rolników do stopniowego zwiększania areału produkcji ekologicznej. Przyjazna współpraca jednostek certyfikujących z rolnikami pomaga w poszukiwaniu nowych rynków zbytu i daje możliwość rozwoju [Jambor 2007].

Polacy coraz częściej wybierają produkty wyprodukowane w naszym kraju. Dlatego tak ważnym jest budowanie marki polskiej żywności. „Polska smakuje” koordynowane przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa oraz Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Idea promowania polskich produktów rolno- spożywczych pod jednym, czytelnym logo w krótkim czasie stała się bardzo rozpoznawalną marką, która jest chętnie wybierana przez konsumentów. Aby produkt został oznaczony tym logo, musi spełniać następujące wymagania:

- być wyprodukowany w Polsce,
- być produkowany w warunkach przyjaznych środowisku,
- może być uprawiany lub wyhodowany w sposób ekologiczny,
- być wyprodukowany w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju,
- być wytworzony w oparciu o regionalne receptury.

Produkty spełniające te cechy, w zależności między innymi od miejsca produkcji czy sposobu przygotowania mogą zyskać także dodatkowe certyfikaty i oznaczenia.

#### **CERTYFIKOWANE PRODUKTY REGIONALNE**

System obejmuje cztery znaki, które są potwierdzeniem zachowania tradycyjnych i historycznych receptur w danym regionie. Pierwszym z nich jest znak Jakość Tradycja (obraz 2).



**Obraz 2. Logo systemu jakości Jakość Tradycja [www.polskasmakuje.pl]**

System jakości żywności „Jakość Tradycja” został zatwierdzony przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi w 2007 roku. Jego misją jest promocja produktów rolno-spożywczych cechujących się wysoką jakością w porównaniu do innej żywności tego samego rodzaju. Spełnienie założeń regulaminu kontroluje Urząd Patentowy. Posiadacze certyfikatu „Jakość Tradycja” podlegają kontroli zgodności procesu wytwarzania ze wskazaną recepturą. Producenci żywności posiadający na etykietach ten znak jakości zobowiązani są do prowadzenia pełnej dokumentacji wytwarzania i wprowadzania na rynek każdej partii surowców [www.produkty regionalne.pl].

Kolejnymi certyfikatami w ramach systemu są tak zwane trzy znaki smaku:

- Chroniona Nazwa Pochodzenia
- Chronione Oznaczenie Geograficzne
- Gwarantowana Tradycyjna Specjalność.
- Symbole te są Europejskimi znakami jakości, a w Polsce do chwili obecnej odznaczenia te posiada blisko 40 produktów.

Chroniona Nazwa Pochodzenia to symbol jakości, który nawiązuje do miejsca tradycyjnego wyrobu, co podkreśla wyjątkowość regionu. W procesie produkcji używać można jedynie surowców wyprodukowanych na danym regionie, w którym to również musi zostać wyprodukowany oznaczony produkt. Certyfikat ten w Polsce posiada:

- oscypek
- bryndza podhalańska
- karp zatorski
- fasola Piękny Jaś z Doliny Dunajca
- fasola wrzawska
- miody z Sejneńszczyzny/Łódzieszczyzny
- miód spadziowy podkarpacki
- redykołka
- wiśnia Nadwiślanka.

Certyfikat Chronione Oznaczenie Geograficzne otrzymują produkty, które cechuje wysoka jakość, a ich nazwa w czytelny sposób ukazuje miejsce wytwarzania. Ponadto minimum jeden z etapów produkcji wykonywany jest w tym miejscu. W Polsce certyfikat ten posiadają:

- jabłka grójeckie, jabłka łuckie, śliwki szydlowskie, suska sechlońska, truskawki kaszubskie
- ser koryciński swojski, ser smażony wielkopolski
- chleb prądnicki, obwarzanek krakowski, rogal świętomarciński, kołacz śląski, cebularz lubelski, andruty kaliskie
- miód kurpiowski, miód wrzosowy z Borów Dolnośląskich, miód drahimski
- kielbasa Lisiecka, jagnięcina podhalańska
- fasola korczyńska

Gwarantowana Tradycyjna Specjalność odnosi się do tradycji wyrobu. Produkt musi być wyprodukowany w oparciu o recepturę przekazywaną z pokolenia na pokolenie lub metodami tradycyjnymi z tradycyjnych surowców. Tradycyjną specjalnością w Polsce są miody pitne (półtoraki, dwójniaki, trójniaki i czwórniaki), olej rydzowy, pierzekaczewnik (zapiekane ciasto z nadzieniem) oraz wyroby mięsne: kabanosy, kielbasa myśliwska i jałowcowa. Każdy certyfikat Trzech Znaków Smaku posiada swoje logo, które nawiązuje do flagi Unii Europejskiej (obraz 3) [[www.trzyznakismaku.pl](http://www.trzyznakismaku.pl)]



**Obraz 3. Logo trzech znaków jakości [[www.trzyznakismaku.pl](http://www.trzyznakismaku.pl)]**

### **CERTYFIKOWANE PRODUKTY EKOLOGICZNE**

Certyfikat (obraz 4) zapewnia o ekologicznym sposobie wytworzenia produktów. Podkreśla ich zdrowy skład wolny od środków ochrony roślin, nawozów chemicznych, genetycznie modyfikowanych organizmów oraz zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Produkty ekologiczne powstają w zgodzie ze środowiskiem naturalnym, a wszystkie działania przeciwdziałają negatywnym zmianom klimatycznym. Uczestnictwo w programie certyfikacji ekologicznej niesie za sobą liczne obostrzenia, wymagania i urzędnicze procedury. Jednak produkty te sprzedawane są w cenie wyższej niż surowce pochodzące z produkcji konwencjonalnej. Współpraca jednostek certyfikujących z rolnikami i producentami żywności daje szansę na wyspecjalizowanie się rodzinnych gospodarstw rolnych w ekologiczne farmy [[polskasamkuje.pl](http://polskasamkuje.pl)].



**Obraz 4. Logo systemu certyfikowanych produktów ekologicznych**

### **CERTYFIKOWANE PRODUKTY SPOŻYWCZE**

System jakości opierający się na kontroli procesu produkcji. Metodyka określa zasady powstawania produktów z ściśle określonych surowców, które muszą mieć znane pochodzenie i wysoką jakość. W ramach tego systemu wyróżnia się następujące znaki jakości:

- Integrowana Produkcja
- Wieprzowina PQS
- QAFP
- Wołowina QMP.

System Integrowanej Produkcji, zapoczątkowany w 2004 roku kontroluje Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa. Dotyczy produkcji roślinnej, która prowadzona jest w oparciu o zasady ochrony środowiska, przy jednoczesnym wykorzystaniu postępu biologicznego oraz technicznego. Przestrzeganie zasad Integrowanej Produkcji pozwala na wyprodukowanie płodów rolnych wolnych od metali ciężkich oraz pozostałości środków ochrony roślin. Integrowana Produkcja (obraz 5) dotyczy także integrowanej ochrony roślin, która oprócz chemicznej walki z patogenami chorobotwórczymi wykorzystuje także metody biologiczne i fizyczne [[www.gov.pl/web/rolnictwo/integrowana-produkcja-roslin](http://www.gov.pl/web/rolnictwo/integrowana-produkcja-roslin)]



**Obraz 5. Logo IP [[www.piorin.gov.pl](http://www.piorin.gov.pl)]**

System PQS (obraz 6) (Pork Quality System) dotyczy mięsa wieprzowego i funkcjonuje od 2009 roku. Ma na celu kontrolę produkcji mięsa wieprzowego celem uzyskania mięsa wysokiej jakości, czyli pozbawionego nadmiernej ilości tłuszczu. System PQS skierowany jest do hodowców trzody chlewnej, rzeźni oraz przetwórców mięsa.



**Obraz 6. Logotyp Pork Quality System [www.polskasmakuje.pl]**

QAFP (Quality Assurance for Food Products), czyli System Gwarantowanej Jakości Żywności (obraz 7) powstał w 2009 roku. Jego celem jest wypromowanie polskiego mięsa oraz edukacja na temat pożytecznej roli mięsa w diecie człowieka. System pomaga także producentom, którzy osiągają korzyści na każdym etapie produkcji oraz sprzedaży. System ma również integrować wszystkich członków branży mięsnej.



**Obraz 7. Znak jakości: System Gwarantowanej Jakości Żywności [www.polskasmakuje.pl]**

System QMP (Quality Meat Program) (obraz 8) dotyczy mięsa wołowego i powstał w 2008 roku. Krajowy program skierowany jest nie tylko do rolników hodujących bydło mięsne, ale także pozostałych uczestników cyklu produkcyjnego wołowiny kulinarnej wysokiej jakości- rzeźni, producentów i sprzedawców pasz dla bydła oraz firm transportujących żywiec wołowy. Przynależność do systemu obliuguje do przestrzegania standardów QMP potwierdzonych przez Ministerstwo Rolnictwa. Każdego roku wszyscy uczestnicy łańcucha produkcji są kontrolowani przez niezależne organy. Program chroni producenta przed nieuczciwą konkurencją oraz konsumentów przed wprowadzaniem na rynek mięsa słabej jakości.





**Obraz 8. Graficzny znak jakości QMP [www.polskasmakuje.pl]**

### **PRODUKTY SPOŻYWCZE Z OZNACZENIAMI**

Oznaczenia te wyróżniają produkty spożywcze dla konsumenta, który może mieć pewność, że dana żywność posiada wysokie walory smakowe i jakościowe. Znakami z tej kategorii są:

- Culinary Heritage
- Poznaj Dobrą Żywność
- Produkt Polski
- Produkt Tradycyjny
- Produkt Górski.

Projekt Culinary Heritage działa 24 lata i ma na celu promowanie europejskiej żywności produkowanej przez regionalnych rolników i przetwórców. Dziedzictwo kulinarne w Europie pomaga także w edukacji i wspomaganiu rozwoju obszarów wiejskich. Program Poznaj Dobrą Żywność promuje towary o wysokiej jakości i buduje zaufanie konsumenta do produktu. Znak nadawany jest na okres trzech lat. Znak graficzny Produkt Polski zapewnia o polskim pochodzeniu wszystkich surowców koniecznych do wyprodukowania danego produktu. Znak Produkt Tradycyjny opiera się o historyczne i tradycyjne receptury. Znak Produkt Górski informuje konsumenta o miejscu wytwarzania produktu [www.polskasmakuje.pl].

### **3. Podsumowanie**

Bardzo duża ilość produktów rolno- spożywczych na rynku stawia przed konsumentem konieczność wyboru najlepszych z nich. W ostatnich latach obserwujemy zwiększone zainteresowanie jakością produktów i większą świadomość ludzi na temat wpływu pożywienia na zdrowie i życie. Oczekiwania klientów są duże, dlatego podczas zakupów kierują oni się pewnymi kryteriami. Jest to jakość produktu, jego pochodzenie, sposób zapakowania, cena oraz dostępność. Konsumenty pewni jakości produktu są w stanie kupić towar za większą kwotę, aby sprostała im wymaganiom [Niewczas 2013].

Znakowanie żywności ułatwia w znacznym stopniu wybór produktów, które wyróżniają się spośród innych. Są gwarantem między innymi polskiego pochodzenia surowców użytych do produkcji, zapewniają o wysokiej jakości, a także, że proces produkcji nie narusza środowiska naturalnego. Istniejące w Polsce systemy znakowania żywności i ich znaki są rozpoznawalnymi na coraz większą skalę symbolami nowoczesnego i przyjaznego ludziom rolnictwa. Bez wątpienia działania Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, który zatwierdza znaki jakości żywności pozwalają na rozwój rodzinnych gospodarstw rolnych, które produkują w oparciu o tradycyjne zasady, przy jednoczesnym unowocześnieniu zaplecza maszynowego. Pozwala to na rozwój obszarów wiejskich uwzględniający ich zrównoważony rozwój.

**Bibliografia:**

1. Jambor J., Ziellarstwo w Polsce- stan obecny i perspektywy rozwoju, Postępy Fitoterapii (2007), 2/2007, s. 78-81.
2. Krasnowska G., Salejda A.M. (2011). Ocena wiedzy konsumentów na temat znakowania żywności Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2011, 1 (74), 173 – 189.
3. Niewczas M. (2013). Kryteria wyboru żywności. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2013, 6 (91), 204 – 219.

**Wykaz stron internetowych:**

4. [www.trzyznakismaku.pl](http://www.trzyznakismaku.pl).
5. [www.piorin.gov.pl](http://www.piorin.gov.pl) (13.09.2019).
6. [www.kowr.gov.pl](http://www.kowr.gov.pl) (10.09.2019).
7. [www.gov.pl/web/rolnictwo/integrowana-produkcja-roslin](http://www.gov.pl/web/rolnictwo/integrowana-produkcja-roslin) (11.09.2019).
8. [www.polskamakuje.pl](http://www.polskamakuje.pl) (11.09.2019).
9. [www.produktyregionalne.pl](http://www.produktyregionalne.pl) (11.09.2019).

## **4. WPLYW NIEZRÓWNOWAŻONEGO, WIELOLETNIEGO NAWOŻENIA NA PLONOWANIE ORAZ SKŁAD CHEMICZNY ZIARNA I SŁOMY ŻYTA**

**Tadeusz Panasiuk**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny

Wydział Przyrodniczy

Email: tadeusz.panasiuk@wp.pl

### **1. Wstęp**

Długotrwałe, statyczne doświadczenia nawozowe prowadzone przez wiele lat mają bardzo dużą wartość naukową. Służą one w rozwiązywaniu wielu problemów i zagadnień z zakresu chemii rolnej i nawożenia roślin, gdyż są prowadzone na tym samym polu przy niezmiennym schemacie przez wiele lat. Najstarsze z nich to doświadczenia założone w 1843 roku w Rothamsted i Mockern. W Polsce najstarszym tego rodzaju doświadczeniem założonym w 1923 roku, które prowadzi się do dnia dzisiejszego jest wieloletnie doświadczenie nawozowe w Skierniewicach [Fotyma i Mercik, 1992].

Wraz z długookresową dynamiką zmian właściwości gleby, które decydują o jej żyzności i plonowaniu roślin rolniczych, następują odpowiednie trendy plonów roślin. Poznanie tych długookresowych trendów żyzności i produktywności rolniczej gleby i plonowania roślin jest podstawową domeną rolnictwa zrównoważonego, co pozwala chronić środowisko przed jego degradacją. Głównym celem badań prowadzonych za pomocą polowych doświadczeń długookresowych w aspekcie rolnictwa zrównoważonego jest poznanie trendów plonowania, żyzności i jakości gleby oraz określenie i zrozumienie mechanizmów kontrolujących dynamikę przemian węgla, azotu, fosforu ich straty i retencję, jak też zrozumienie procesów kontroli biologicznej aktywności gleby i struktury roślinności w systemach uprawowych [Mądry, Łabętowicz, Gozdowski, 2005].

Żyto (*Secale cereale*) pochodzi z południowo-zachodniej Azji, jednak jego największe uprawy znajdują się w północnej i środkowej Europie. Uważane ono jest za prymitywne zboże, które cechuje się niskim plonowaniem i dużą wrażliwością na porastanie podczas zbiorów. Ma też i wiele zalet m.in. małe wymagania glebowe i nawozowe oraz dość dużą odporność na niskie temperatury, a tym samym zdolność do przetrzymywania. W związku z tym żyto zyskało popularność głównie w rejonach o chłodnym, zmiennym klimacie i stosunkowo słabych glebach, gdzie jego wydajność jest wyższa niż innych zbóż [GUS, 2010].

Fakt dużego udziału zbóż w płodozmianie i zasiewach jest jednym z czynników znacznie ograniczających plonowanie żyta, które najczęściej zajmuje ostatnie miejsce w rotacji w płodozmianie. Jednocześnie im gleba jest bardziej lekka, tym spadek plonowania żyta w płodozmianach z dużym udziałem zbóż jest większy. Największe spadki plonu występują, gdy jest wysiewane jako trzecia i czwarta z kolei roślina zbożowa w płodozmianie, na skutek monotonii wywołanej resztkami pożywnymi i jednostronnym rozwojem drobnoustrojów glebowych [Budzyński, 2000].

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu nie zrównoważonego nawożenia na plonowanie żyta oraz zawartość azotu, fosforu i potasu w ziarnie oraz słomie.

## 2. Materiał i metody

Badania prowadzono w Stacji Doświadczalnej Wydziału Rolnictwa i Biologii SGGW w Skierniewicach w oparciu o wieloletnie statyczne doświadczenie nawozowe kontynuowane nieprzerwalnie od 1923 roku na glebie płowej o składzie granulometrycznym piasku słabogliniastego (zawartość cząstek  $<0,002\text{mm}$  - 7%,  $0,002-0,05\text{mm}$  - 6%,  $>0,05\text{mm}$  - 87%). Gleba ta należy do klasy bonitacyjnej IV a oraz kompleksu przydatności rolniczej żytniego bardzo dobrego. Średnie roczne opady dla Skierniewic wynoszą 528 mm, średnia roczna temperatura wynosi  $7,9^{\circ}\text{C}$ . Średnia długość okresu wegetacji dla Skierniewic wynosi 215 dni. Rośliną uprawianą na badanych polach było żyto odmiany Dańkowskie Złote. Zastosowano dwa typy zmianowania:

- AF1 - dowolne, bez rośliny bobowatej, bez obornika,
- AF2 – dowolne, obornik w dawce  $25\text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$  co 4 lata, żyto w czwartym roku po oborniku.

Zastosowano następujące kombinacje nawozowe: bez nawożenia „0”, NP, NK, PK, NPK, CaNPK

Stosowano następujące dawki nawozów:

- azot –  $90\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  – saletra amonowa,
- fosfor –  $26\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  – superfosfat pojedynczy,
- potas –  $91\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  – sól potasowa.

Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Próbkę materiału roślinnego (ziarno i słoma żyta) do analiz chemicznych pobrano podczas zbiorów w fazie dojrzałości pełnej (BBCH 89). Próbkę roślinną wysuszyliśmy w suszarce w temp.  $45^{\circ}\text{C}$  i zmielono przy użyciu młynka elektrycznego. W tak przygotowanych próbkach oznaczono: zawartość azotu – metodą destylacji oraz (po mineralizacji w mieszaninie kwasów  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HClO}_4$ ) zawartość fosforu – metodą wanadowo-molibdenową i potasu metodą ASA.

## 3. Wyniki i dyskusja

**Tabela 1. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość N w ziarnie żyta ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )**

| Rodzaj nawożenia                                                    | Kombinacje nawozowe |                  |                  |                  |                  |                  | Średnio |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
|                                                                     | 0                   | NP               | NK               | PK               | NPK              | CaNPK            |         |
| Bez obornika                                                        | 13,3<br>(100)*      | 16,7<br>(125,56) | 17,0<br>(127,82) | 13,9<br>(104,51) | 17,2<br>(130,08) | 17,3<br>(130,10) | 15,9    |
| Z obornikiem                                                        | 16,1<br>(100)       | 17,0<br>(105,59) | 17,5<br>(108,70) | 15,3<br>(95,03)  | 17,2<br>(106,53) | 18,0<br>(111,80) | 16,9    |
| Średnio                                                             | 14,7                | 16,9             | 17,3             | 14,6             | 17,3             | 17,7             | -       |
| Wzrost/spadek zawartości azotu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 21,05               | 1,80             | 2,94             | 10,07            | -0,58            | 4,05             | 6,56    |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek zawartości N w ziarnie w stosunku do kombinacji kontrolnej

Uzyskane wyniki badań wskazują, że w obiektach gdzie stosowano zróżnicowane nawożenie mineralne uzyskano wzrost zawartości azotu w ziarnie żyta w stosunku do obiektu kontrolnego. Najniższy wzrost uzyskano na kombinacji PK (4,51%), a największy (30,1%) na kombinacji o pełnym nawożeniu mineralnym (CaNPK). Zawartość azotu w ziarnie wahała się od 13,3 do 17,2 g · kg<sup>-1</sup> (tab. 1). Zawartości te są zgodne z danymi literaturowymi [Czuba i Mazur 1988; Fotyma i Mercik, 1992; Kamińska, Kardasz, Strahl, Szymborska, 1976; Sosulski, 2002]. W badaniach Kamińskiej i in., [1976] wykazano, że wyższą zawartość azotu w ziarnie żyta osiąga się w latach suchych (18,3 g · kg<sup>-1</sup>) w stosunku do mokrych (14,7 g · kg<sup>-1</sup>).

Podobne wyniki badań otrzymali Kuszelewski i Łabętowicz [1989] na polu doświadczalnym w Łyczynie, gdzie zawartość azotu w ziarnie żyta (średnie z lat 1986 i 1987 – lata wilgotne) pomimo wyższego nawożenia azotowego (120 kg N · ha<sup>-1</sup>) (pod żyto i jęczmień) w porównaniu do dawki stosowanej w Skierniewicach (96 kgN · ha<sup>-1</sup>). Zastosowanie łącznego nawożenia mineralnego z obornikiem powodowało dodatkowy wzrost zawartości azotu w ziarnie żyta na wszystkich badanych kombinacjach nawozowych. Zawartość azotu wahała się od 16,1 g · kg<sup>-1</sup> na obiekcie kontrolnym do 18,0 g · kg<sup>-1</sup> na kombinacji Ob + CaNPK. Względne przyrosty zawartości azotu były znacznie niższe niż w przypadku wyłącznego nawożenia mineralnego i wahały się od około 5% na kombinacji NP do 11,8 % na kombinacji Ob + CaNPK. Podobne kierunki zmian odnotowano w badaniach Blecharczyka, Małeckiej, Pudelka, Piechoty [2004] przeprowadzonych na glebie lekkiej, gdzie najmniejszą zawartością azotu w ziarnie żyta charakteryzował się obiekt kontrolny bez nawożenia „0” – 1,64 %, większą zawartością – 1,76 % charakteryzowała się kombinacja NPK. Nawożenie obornikiem obiektu kontrolnego powodowało zawartość 1,80 % azotu w ziarnie żyta. Największą zawartością azotu w ziarnie odznaczała się kombinacja NPK nawożona obornikiem – 1,96 %.

#### **4. Wpływ niezrównoważonego nawożenia na zawartość azotu w słomie żyta**

Poszczególne sposoby nawożenia różnicowały zawartość azotu w słomie. Najwyższą jego zawartość w systemie wyłącznego nawożenia mineralnego zanotowano na obiekcie NK – 5,90 g · kg<sup>-1</sup>, a najniższe na obiektach: PK – 4,97 g · kg<sup>-1</sup>, „0” – 5,0 g · kg<sup>-1</sup> oraz NP – 5,07 g · kg<sup>-1</sup>. W systemie nawożenia mineralno-organicznego najwyższą zawartość azotu w słomie żyta stwierdzono na obiekcie CaNPK – 6,60 g · kg<sup>-1</sup>, najniższe na obiektach NPK – 5,60 g · kg<sup>-1</sup>, i PK – 5,63 g · kg<sup>-1</sup>. Największy przyrost zawartości azotu w słomie pod wpływem zastosowania obornika odnotowano na kombinacji CaNPK – ponad 20 %, również na obiekcie „0” i NP uzyskano duży efekt obornika wynoszący odpowiednio 18,6 i 17,75 %. W przypadku kombinacji NPK stwierdzono bardzo mały efekt obornika równy 0,54 %, natomiast przy nawożeniu azotem i potasem obornik powodował spadek zawartości azotu w słomie (tab.2 ).

**Tabela 2. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość N w słomie żyta ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )**

| Rodzaj nawożenia                                                    | Kombinacje nawozowe |                  |                  |                 |                  |                  |                  |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                                     | 0                   | NP               | NK               | PK              | NPK              | CaNPK            | Średnio          |
| Bez obornika                                                        | 5,00<br>(100,00)    | 5,07<br>(101,40) | 5,90<br>(118,00) | 4,97<br>(99,40) | 5,57<br>(111,40) | 5,47<br>(109,40) | 5,33<br>(107,92) |
| Z obornikiem                                                        | 5,93<br>(100,00)    | 5,97<br>(100,67) | 5,73<br>(96,63)  | 5,63<br>(94,94) | 5,60<br>(94,44)  | 6,60<br>(111,30) | 5,91<br>(99,60)  |
| Średnio                                                             | 5,47                | 5,52             | 5,82             | 5,30            | 5,59             | 6,04             |                  |
| Wzrost/spadek zawartości azotu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 18,60               | 17,75            | -2,88            | 13,28           | 0,54             | 20,66            | 11,32            |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek zawartości N w słomie w stosunku do kombinacji kontrolnej

Zawartość azotu w słomie żyta podawana przez wielu autorów jest różna i waha się w zakresie od 4,6 do 6,2  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Kamińska i in. 1976; Kuszelewski i Łabętowicz, 1989].

### 5. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość fosforu w ziarnie żyta

Z tabeli 3 wynika, że w systemie nawożenia mineralnego zawartość fosforu w ziarnie żyta zawierała się w przedziale 2,91–3,57  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najwyższą zawartość stwierdzono na kombinacji PK (3,57  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a najniższą na kombinacji NK (2,91  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Stosowanie nawożenia obornikowo-mineralnego powodowało na ogół zmniejszenie zawartości fosforu w ziarnie w stosunku do wyłącznego nawożenia mineralnego, przy wyższych plonach roślin. W tym systemie nawożenia najwyższą zawartość fosforu w ziarnie otrzymano na kombinacji PK – 3,56  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najniższą na obiekcie NK – 2,89  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Otrzymane zawartości fosforu są zgodne z danymi literaturowymi w których zawartość fosforu w ziarnie waha się od 3,1–3,92  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Czuba i Mazur, 1988; Kamińska i in., 1976].

Zastosowanie obornika (poła AF2) przyczyniło się do wzrostu zawartości fosforu w ziarnie o 0,1  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  w stosunku do kombinacji o wyłącznym nawożeniu mineralnym. Stosowanie wapnowania w kombinacji CaNPK powodowało przyrost zawartości fosforu w ziarnie żyta średnio 0,24  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  w stosunku do kombinacji NPK.

**Tabela 3. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość P w ziarnie żyta ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )**

| Rodzaj nawożenia                                                      | Kombinacje nawozowe |                  |                 |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                                       | 0                   | NP               | NK              | PK               | NPK              | CaNPK            | Średnia          |
| Bez obornika                                                          | 3,16<br>(100,00)    | 3,18<br>(100,63) | 2,91<br>(92,09) | 3,57<br>(112,97) | 3,36<br>(106,33) | 3,23<br>(102,22) | 3,24<br>(102,85) |
| Z obornikiem                                                          | 3,16<br>(100,00)    | 3,25<br>(102,85) | 2,86<br>(90,51) | 3,55<br>(112,34) | 3,27<br>(103,48) | 3,29<br>(104,11) | 3,23<br>(102,66) |
| Średnia                                                               | 3,16                | 3,22             | 2,89            | 3,56             | 3,32             | 3,26             |                  |
| Wzrost/spadek zawartości fosforu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 0,00                | 2,20             | -1,72           | -0,56            | -2,68            | 1,86             | -0,15            |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek zawartości P w ziarnie w stosunku do kombinacji kontrolnej

Nieco inne wyniki uzyskali Kuszelewski i Łabętowicz [1989], którzy pod wpływem wapnowania otrzymali spadek zawartości fosforu w ziarnie żyta w stosunku do kombinacji niewapnowanych z  $3,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  na  $2,95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , jednak przy znacznie wyższych plonach.

Blecharczyk i in. [2004] w swoich badaniach zwrócili uwagę na korzystne działanie obornika w zwiększaniu zawartości fosforu w ziarnie żyta w stosunku do wyłącznego nawożenia mineralnego.

## 6. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość fosforu w słomie żyta

Zróżnicowane nawożenie wpływało na zmiany zawartości fosforu w słomie żyta (tab.4). Na kombinacjach, gdzie stosowano wyłączne nawożenie mineralne największą ilość fosforu w słomie zaobserwowano na kombinacji PK –  $1,19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najmniejszą na kombinacji NK –  $0,68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W przypadku nawożenia obornikiem połączonego z nawozami mineralnymi najwyższą zawartość fosforu w słomie żyta odnotowano na kombinacji PK –  $1,21 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najniższą charakteryzowała się kombinacja NK –  $0,76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najwyższą średnią z kombinacji zawartość fosforu w słomie uzyskano na kombinacji z nawożeniem fosforowo-potasowym –  $1,20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najniższą średnią zawartość fosforu w słomie uzyskano na kombinacji azotowo-potasowej –  $0,72 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Tabela 4. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość P w słomie żyta ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )**

| Rodzaj nawożenia                                                      | Kombinacje nawozowe |                  |                 |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                                       | 0                   | NP               | NK              | PK               | NPK              | CaNPK            | Średnio          |
| Bez obornika                                                          | 0,74<br>(100,00)    | 1,02<br>(137,84) | 0,68<br>(91,89) | 1,19<br>(160,81) | 0,92<br>(124,32) | 0,99<br>(133,78) | 0,92<br>(129,73) |
| Z obornikiem                                                          | 1,03<br>(100,00)    | 0,93<br>(90,29)  | 0,76<br>(73,79) | 1,21<br>(117,48) | 0,91<br>(88,35)  | 1,19<br>(115,53) | 1,01<br>(97,09)  |
| Średnio                                                               | 0,89                | 0,98             | 0,72            | 1,20             | 0,92             | 1,09             |                  |
| Wzrost/spadek zawartości fosforu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 39,19               | -8,82            | 11,76           | 1,68             | -1,09            | 20,20            | 10,49            |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek zawartości P w słomie w stosunku do kombinacji kontrolnej

Uzyskane wyniki są zgodnie z danymi literaturowymi. Według wielu autorów zawartość fosforu w słomie żyta mieści się w szerokich granicach – od  $0,8$  do  $1,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . [Czuba i Mazur, 1988; Fotyma i Mercik, 1992; Kamińska i in. 1976; Kuszelewski i Łabętowicz, 1989]. Blecharczyk i in., [2004] uzyskali większy wzrost zawartości fosforu w słomie żyta pod wpływem nawożenia organiczno-mineralnego ( $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) w stosunku do kombinacji nawożonych wyłącznie nawozami mineralnymi ( $1,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

## 7. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość potasu w ziarnie żyta

Zastosowane poszczególne kombinacje nawozowe były czynnikiem decydującym o zawartości potasu w ziarnie żyta (tab. 5). W zależności od zastosowanego wieloletniego nawożenia zawartość tego pierwiastka w ziarnie żyta wynosiła od  $4,18$  do  $4,66 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Według badań różnych autorów średnia zawartość potasu w ziarnie żyta zawiera się w zakresie od około  $5$  do ponad  $6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Czuba i Mazur, 1988; Fotyma i Mercik 1992; Kamińska i in., 1976; Sosulski, 2002].

**Tabela 5. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość K w ziarnie żyta ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )**

| Kombinacje nawozowe                                                  | 0             | NP               | NK               | PK               | NPK              | CaNPK            | Średnio |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| Bez obornika                                                         | 4,34<br>(100) | 4,64<br>(106,91) | 4,45<br>(102,53) | 4,58<br>(105,53) | 4,60<br>(105,99) | 4,66<br>(107,37) | 4,55    |
| Z obornikiem                                                         | 4,23<br>(100) | 4,18<br>(92,82)  | 4,07<br>(96,22)  | 4,37<br>(103,31) | 4,39<br>(103,78) | 4,35<br>(102,84) | 4,27    |
| Średnio                                                              | 4,29          | 4,41             | 4,26             | 4,48             | 4,50             | 4,51             | 4,41    |
| Wzrost/spadek zawartości potasu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | -2,53         | -9,91            | -8,54            | -4,59            | -4,57            | -6,65            | -6,13   |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek zawartości K w ziarnie żyta w stosunku do kombinacji kontrolnej.

W systemie nawożenia mineralnego jego ilość zawierała się w przedziale 4,34 – 4,66  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Największą ilość potasu w ziarnie żyta stwierdzono w warunkach pełnego nawożenia mineralnego połączonego z wapnowaniem CaNPK – 4,66  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najmniejszą w warunkach braku nawożenia (obiekt kontrolny) – 4,34  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 5).

Na obiektach nawożonych obornikiem zawartość potasu w ziarnie zawierała się w przedziale 4,07 – 4,39  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . W tym systemie nawożenia największą zawartość potasu w ziarnie żyta stwierdzono w warunkach pełnego nawożenia (NPK) – 4,39  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Natomiast najmniejszą zawartością potasu charakteryzowało się ziarno z obiektów nawożonych azotem i potasem (NK) – 4,07  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 5).

W doświadczeniu tym zastosowanie obornika na wszystkich kombinacjach powodowało obniżenie zawartości potasu w ziarnie żyta, średnio o około 6 %. Największy spadek pod wpływem zastosowania obornika ujawnił się na kombinacji azotowo-fosforowej – prawie 10%, równie duży w przypadku nawożenia azotowo-potasowego – spadek około 8,5%. W warunkach braku nawożenia mineralnego stwierdzono najmniejszy (2,5%) spadek zawartości potasu w ziarnie żyta (tab. 5).

Z badań przeprowadzonych przez Kuszelewskiego i Łabętowicza [1989] na glebie płowej w Łyczynie w systemie nawożenia wyłącznie mineralnego wynika, że najniższe zawartości potasu w ziarnie żyta notowane były w kombinacjach NK – 4,2  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  oraz CaNPK – 4,25  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najwyższe w kombinacjach NP – 4,65  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  oraz NPK – 4,75  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Podobne tendencje wpływu nawożenia mineralnego na zawartość potasu w ziarnie żyta otrzymali Bleharczyk i in., [2004]

## 8. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość potasu w słomie żyta

W przeprowadzonych badaniach wykazano wpływ wieloletniego nie zrównoważonego nawożenia na zmiany zawartości potasu w słomie żyta, która zawierała się w granicach od 10,56 do 14,75  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 6). Jak wskazują badania wielu autorów średnia zawartość potasu w słomie żyta kształtuje się na poziomie 10,0-11,5  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  [Czuba i Mazur 1988; Fotyma i Mercik 1992, Kamińska i in., 1976].

W systemie nawożenia mineralnego średnia dla wszystkich kombinacji nawozowych zawartość potasu w ziarnie żyta kształtowała się na poziomie 13,1  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Najwyższą zawartość tego składnika stwierdzono na kombinacji CaNPK - 14,66  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a najniższą w warunkach braku nawożenia potasem, a więc w kombinacjach NP – 11,11  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  oraz „0” –



11,76 g·kg<sup>-1</sup> (tab. 6). W systemie organiczno-mineralnym średnia dla wszystkich kombinacji nawozowych zawartość potasu w słomie była mniejsza niż przy wyłącznym nawożeniu mineralnym i wynosiła 12,81 g·kg<sup>-1</sup>. Także Kuszelewski i Łabętowicz [1989] oceniając wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość K w słomie żyta stwierdzili, najmniejsze zawartości tego składnika w warunkach braku nawożenia potasem, a więc w obiektach kontrolnym oraz NP.

**Tabela 6. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na zawartość K w słomie żyta (g·kg<sup>-1</sup>)**

| Kombinacje nawozowe                                                  | 0              | NP               | NK                | PK                | NPK               | CaNPK             | Średnio |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Bez obornika                                                         | 11,76<br>(100) | 11,11<br>(94,47) | 13,82<br>(117,52) | 13,18<br>(112,07) | 13,55<br>(115,22) | 14,66<br>(124,66) | 13,01   |
| Z obornikiem                                                         | 11,87<br>(100) | 10,56<br>(88,96) | 12,61<br>(106,23) | 13,18<br>(111,04) | 13,90<br>(117,10) | 14,75<br>(124,26) | 12,81   |
| Średnio                                                              | 11,82          | 10,84            | 13,22             | 13,18             | 13,73             | 14,71             | -       |
| Wzrost/spadek zawartości potasu pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 0,94           | -4,95            | -8,76             | 0,00              | 2,58              | 0,61              | -1,60   |

\* w nawiasach podano względny przyrost/spadek zawartości K w słomie żyta w stosunku do kombinacji kontrolnej

W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono, że zarówno w mineralnym jak i mineralno-organicznym systemie nawożenia wapnowanie przyczynia się do zwiększenia zawartości K w słomie żyta (tab. 6).

Zastosowanie obornika średnio, dla całego doświadczenia spowodowało obniżenie zawartości potasu w słomie o około 1,6%. Spadek zawartości tego pierwiastka w słomie żyta pod wpływem stosowania obornika stwierdzono w obiekcie NK i równy był on 8,8%, oraz w obiekcie NP (spadek o 5%). W przypadku pozostałych badanych kombinacji nawozowych nie stwierdzono wpływu stosowania obornika (kombinacja PK) lub niewielki wzrost zawartości tego składnika w słomie w stosunku do obiektów o wyłącznym nawożeniu mineralnym (tab. 6). Natomiast Kuszelewski i Łabętowicz [1989], Blecharczyk i in., [2004] oraz Sądej i Mazur [2001] wykazali wzrost zawartości potasu w słomie żyta pod wpływem stosowania obornika w stosunku do obiektów o wyłącznym nawożeniu mineralnym.

## 9. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na plon ziarna żyta

**Tabela 7. Wpływ nie zrównoważonego nawożenia na plon ziarna żyta (t · ha<sup>-1</sup>)**

| Kombinacje nawozowe                                       | 0             | NP               | NK               | PK               | NPK              | CaNPK            | Średnio |
|-----------------------------------------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| Bez obornika                                              | 1,28<br>(100) | 3,39<br>(264,84) | 1,36<br>(106,25) | 1,26<br>(98,44)  | 4,25<br>(332,03) | 4,00<br>(312,50) | 2,59    |
| Z obornikiem                                              | 1,80<br>(100) | 3,77<br>(209,44) | 4,36<br>(242,22) | 1,85<br>(102,78) | 4,75<br>(263,89) | 4,88<br>(271,11) | 3,57    |
| Średnio                                                   | 1,54          | 3,58             | 2,86             | 1,56             | 4,50             | 4,44             |         |
| Wzrost/spadek plonów pod wpływem nawożenia obornikiem (%) | 40,63         | 11,21            | 220,59           | 46,83            | 11,76            | 22,00            | 37,77   |

\* w nawiasach podano względny procentowy przyrost/spadek plonu ziarna żyta w stosunku do kombinacji kontrolnej

Stopień zrównoważenia składników pokarmowych w dawce nawozowej ma decydujący wpływ na wielkość otrzymywanych plonów roślin (tab. 7).

W systemie nawożenia mineralnego największe plony uzyskiwano na obiektach o pełnym nawożeniu NPK oraz CaNPK, odpowiednio 4,25 oraz 4,00 t · ha<sup>-1</sup>, najmniejsze uzyskano natomiast na obiektach PK i „0” odpowiednio 1,26 oraz 1,28 t · ha<sup>-1</sup>. Również w systemie organiczno-mineralnym największe plony otrzymywano na kombinacjach CaNPK i NPK, odpowiednio. Natomiast najniższe plony w tym systemie nawożenia uzyskano w warunkach wyłącznego nawożenia obornikiem – 1,80 t · ha<sup>-1</sup> oraz przy nawożeniu fosforem i potasem PK – 1,85 t · ha<sup>-1</sup>. Wpływ nawożenia na plonowanie żyta został potwierdzony w badaniach prowadzonych przez innych autorów. Wykazali oni, że niezależnie od stosowania obornika najmniejsze plony osiąga się w warunkach braku nawożenia oraz nawożenia nie zrównoważonego (NP, NK), a największe przy pełnym nawożeniu mineralnym i wapnowaniu (NPK i CaNPK) [Blecharczyk, 1999; Mercik, Nowosielski, Paul, 1993].

Zastosowany w doświadczeniu obornik powodował znaczący wzrost plonu ziarna żyta w stosunku do obiektów o wyłącznym nawożeniu mineralnym, średnio około 38% dla całego doświadczenia. Natomiast Goralski, Mercik, Gutyska, [1978] wykazali, że stosowanie obornika powoduje wzrost plonowania rzędu 27% w stosunku do obiektów, na których nie stosowano nawożenia organicznego. Najwyższy, ponad dwukrotny, wzrost plonowania pod wpływem zastosowania obornika uzyskano w przypadku kombinacji NK. Stosunkowo niską efektywność stosowania obornika stwierdzono w przypadku kombinacji NP i NPK, na których przyrost plonu wyniósł około 11% w stosunku do obiektów bez obornika (tab. 7.). Pozytywny wpływ stosowania obornika na plonowanie zbóż został potwierdzony w badaniach wielu autorów [Blecharczyk, 1999; Mercik i Stępień, 2006; Stępień, Mercik, Sosulski, 2002].

Zastosowane w doświadczeniu wapnowanie w niewielkim stopniu wpływało na wielkość plonu ziarna żyta. W warunkach wyłącznego nawożenia mineralnego plon uzyskany z obiektów wapnowanych (CaNPK) był o 0,25 t·ha<sup>-1</sup> mniejszy niż na obiektach niewapnowanych (NPK). Natomiast w warunkach stosowania obornika plon z obiektów wapnowanych był o 0,13 t·ha<sup>-1</sup> większy w porównaniu z obiektami bez wapnowania (tab. 7). Podobną zależność zaobserwowali w swoich badaniach Stępień i in. [2002], którzy wykazali, że przy wyłącznym nawożeniu mineralnym na kombinacji wapnowanej (CaNPK) osiągnięto niewiele niższy plon ziarna żyta – 3,98 t·ha<sup>-1</sup> w porównaniu do kombinacji bez wapnowania NPK – 4,01 t·ha<sup>-1</sup>. W warunkach nawożenia organicznego, na kombinacji wapnowanej, otrzymali oni plon ziarna równy 4,24 t·ha<sup>-1</sup>, a więc większy niż w obiekcie niewapnowanym, na którym otrzymano plon równy 4,16 t·ha<sup>-1</sup> [Stępień i in. 2002].

## 10. Wnioski

- Żyto silnie reagowało na nie zrównoważone, wieloletnie nawożenie. Najniższe plony roślin osiągnęto na kombinacjach o najsilniejszym zakwaszeniu gleby (0 oraz NK i PK). Zastosowane nawożenie obornikiem przyczyniło się do istotnego wzrostu plonowania żyta szczególnie na kombinacji NK.
- Najwyższe zawartości azotu w zarówno w ziarnie jak i słomie żyta osiągnęto w kombinacjach z pełnym nawożeniem mineralnym (CaNPK oraz NPK), a najniższe

w kombinacjach, w których azot nie był stosowany (0, PK). Zastosowanie obornika dodatkowo zwiększało zawartość azotu w ziarnie i słomie żyta.

- Najwyższą zawartość fosforu zarówno w ziarnie jak i słomie żyta stwierdzono na obiekcie PK, a najniższą natomiast na obiekcie NK. Podobnie jak w przypadku azotu, stosowanie obornika zwiększało zawartość tego pierwiastka w słomie żyta. Nie stwierdzono takiego wpływu na zawartość fosforu w ziarnie.
- Najwyższą zawartość potasu zarówno w ziarnie jak i słomie żyta stwierdzono na obiekcie o pełnym nawożeniu mineralnym (CaNPK). Najniższe zawartości potasu w ziarnie i słomie żyta odnotowano na obiekcie kontrolnym oraz PN. Stosowanie obornika obniżało zawartość tego pierwiastka w roślinie.

### **Bibliografia:**

1. Bleharczyk A. 1999. Forty-years of fertilizing experiments in Brody with crops grown continuously and in crop rotation. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 465, s. 261 – 272.
2. Bleharczyk A., Małecka I., Pudelko J., Piechota T. 2004. Wpływ wieloletniego nawożenia oraz następstwa roślin na plonowanie i zawartość makroelementów w życie ozimym. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Lublin – Polonia, vol. LIX, nr 1, Sectio E, s. 181 – 187.
3. Budzyński W. 2000. Czynniki ograniczające plonowanie żyta. Krajowa Konferencja Naukowa pt. Uprawa i wykorzystanie żyta w Polsce – stan obecny i przyszłość, Puławy 19 – 20. 10. 2000.
4. Czuba R., Mazur T. 1988. Wpływ nawożenia na jakość plonów. Wyd. PWN Warszawa, s. 53 – 61.
5. Fotyma M., Mercik S. 1992. Chemia rolna. Wyd. PWN Warszawa, 1992, s. 10 - 258
6. Goralski J., Mercik S., Gutyńska B. 1978. Trwałe doświadczenie nawozowe w Skierniewicach. Roczniki Nauk Rolniczych Ser. A, 103(2), s. 11 -130.
7. GUS 2010. Roczniki Branżowe. Rocznik Statystyczny Rolnictwa, Warszawa 2010.
8. Kamińska W., Kardasz T., Strahl A., Szymborska H. 1976. Skład roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. Wyd. IUNG Puławy 1976, s. 8 – 41.
9. Kuszelewski L., Łabętowicz J. 1989. Wpływ zróżnicowanego nawożenia (N, P, K, Ca) i obornika na skład chemiczny roślin i właściwości chemiczno-rolnicze gleby w świetle trwałego doświadczenia na glebie lekkiej. Czynniki zwiększające działanie nawozów – Seminarium Naukowe Warszawa 30 – 31 maja 1989 r., s. 40 – 49
10. Mądry W., Łabętowicz J., Gozdowski D. 2005. Naukowa i aplikacyjna rola długotrwałych doświadczeń polowych. Fragmenta Agronomica 2005(XXII), nr 1(85), s. 172 – 184.
11. Mercik S., Nowosielski O., Paul M. 1993. Wpływ zróżnicowanego nawożenia i zmianowania na zawartość składników pokarmowych w glebie płowej po 35 i 70 latach w statycznych doświadczeniach nawozowych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, z. 37, nr 277, Sesja naukowa Cz. I, s. 85 – 96.
12. Mercik S., Stępień W. 2006. Wpływ wieloletniego nawożenia obornikiem na plonowanie roślin oraz wybrane właściwości gleby. Nawozy i nawożenie. Nr 4(29) Rok VII 4/2006, s. 141 – 149.

13. Sądej W., Mazur T. 2001. Wpływ 29-letniego nawożenia organicznego i mineralnego na zawartość potasu i magnezu w roślinach oraz ich bilans w glebie płowej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych zesz. 480, s. 317 – 327
14. Sosulski T. 2002. Składniki pokarmowe roślin. Chemia rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne, pod redakcją Stanisława Mercika, Wyd. SGGW Warszawa, s. 211.
15. Stępień W., Mercik S., Sosulski T. 2002. Plony, zawartość węgla organicznego oraz formy azotu w glebie i bilans tego składnika w trzech systemach nawożenia w doświadczeniach wieloletnich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 484, s. 601 – 607.

## 5. GRUPA NITROWA JAKO PRZEDMIOT BADAŃ W CHEMII STRUKTURALNEJ I OBLICZENIOWEJ

**Anna Jezuita**

Uniwersytet Opolski

Wydział Chemii

ul. Oleska 48, 45 - 052 Opole

Email: ajezuita@uni.opole.pl

**Streszczenie:** Niezwykle zainteresowanie grupą  $\text{NO}_2$  jako podstawnikiem jest związane z jej silnie elektrono-akceptorowym charakterem ( $\sigma_p = 0.78$  and  $\sigma_{p-} = 1.27$ ) oraz jej wysoką elektroujemnością (4.00). Liczne badania dotyczące opisu właściwości grupy nitrowej opierają się na analizie efektów podstawnikowych z wykorzystaniem modelowania chemii kwantowej. Ponadto aromatyczne pochodne nitrowe mają szerokie zastosowania przemysłowe, m.in. w produkcji barwników, materiałów wybuchowych czy preparatów farmaceutycznych, co również przyczyniło się do rozwoju badań teoretycznych i eksperymentalnych nad właściwościami strukturalnymi pochodnych nitrowych. W niniejszym artykule przedstawiono przegląd badań kwantowo-mechanicznych dotyczących struktury i oddziaływań grupy nitrowej.

### 1. Wstęp

Grupa nitrowa jest jednym z najważniejszych podstawników spotykanych w chemii organicznej. Szczególne zainteresowanie tą grupą wynika z jej silnych właściwości elektrono-akceptorowych (EA) ( $\sigma_p = 0.78$  and  $\sigma_{p-} = 1.27$ ), które istotnie zależą od rodzaju systemu do którego jest przyłączona. Ponadto grupa nitrowa charakteryzuje się wysoką elektroujemnością w skali Paulinga ( $\chi_{\text{NO}_2} = 4,00$  dla położenia współpłaszczyznowo względem pierścienia i  $\chi_{\text{NO}_2} = 4,19$  dla położenia prostopadłego), co powoduje jej silnie indukcyjny wpływ na pozostałą część podstawionej cząsteczki. Z kolei najbardziej wrażliwy parametr strukturalny, długość wiązania C-N, może służyć jako przybliżona miara efektu rezonansu (Exner i Krygowski, 1996). Elektrono-akceptorowy charakter tej grupy wynika z występowania na atomie azotu dużego niedoboru ładunku ujemnego wskutek dodatniej polaryzacji atomu azotu względem atomów tlenu i węgla z którymi jest połączony. Ponadto grupa nitrowa wykazuje dużą zmienność właściwości EA w zależności od układu do którego jest przyłączony (Hammett 1937), co wyraźnie prezentują wartości stałych podstawnikowych:  $\sigma_{p-} = 1.27$  dla fenoli i  $\sigma_p = 0.78$  dla kwasów. Szczegółowy opis grupy nitrowej jako podstawnika został przedstawiony w pracy Exnera i Krygowskiego (Exner i Krygowski, 1996). Podstawienie do aromatycznego pierścienia grupy  $-\text{NO}_2$  powoduje obniżenie jego reaktywności, wskutek zdolności tego podstawnika do wyciągania elektronów  $\pi$  z pierścienia poprzez efekt rezonansowy. Oddziaływanie grupy nitrowej z innymi podstawnikami w układzie powoduje istotne zmiany we właściwościach chemicznych, chemiczno-fizycznych czy biologicznych związków chemicznych.

Aromatyczne pochodne nitrowe mają szerokie zastosowania przemysłowe, m.in. w produkcji barwników (np. 2,4-dinitronaft-1-ol – żółcień Martiusa), nawozów (Rouchaud i in. 2000) oraz materiałów wybuchowych (np. 2,4,6-trinitrotoluen - TNT; 2,4,6-trinitrofenol – kwas pikrynowy) (Infante-Castillo i in. 2012). Ponadto związki te wchodziły w skład wielu

antybiotyków i środków przeciwdrobnoustrojowych, jak na przykład pochodne: nitroimidazolu (metronidazol, ornidazol, megazol, nimorazol), pochodne nitrofuranu czy też występujący naturalnie chloramfenikol, będący pochodną nitrobenzenu. Tak ogromne zastosowania związków nitrowych przyczyniły się rozwoju badań teoretycznych i eksperymentalnych nad właściwościami strukturalnymi pochodnych nitrowych oraz samej grupy nitrowej. Zastosowanie modelowania chemii kwantowej czy analizy strukturalnej danych układów umożliwia określenie parametrów określonej reakcji niezależne od podejść empirycznych przy dostępności pakietów obliczeniowych. W niniejszym artykule przedstawiono przegląd badań kwantowo-mechanicznych dla wybranych pochodnych nitrowych.

## 2. Materiał i metody

Dokonano przeglądu literatury z zakresu badań kwantowo-mechanicznych wybranych nitrowych związków aromatycznych. Analizowano prace, w których badano wpływ grupy nitrowej na właściwości danych układów. Przedstawione badania zostały podzielone na trzy części: badania efektów podstawnikowych grupy nitrowej jako podstawnika, badania kwantowo-mechaniczne wybranych nitrozwiązków wysokoenergetycznych oraz nitrozwiązków wykorzystywanych w przemyśle farmaceutycznym.

## 3. Wyniki i dyskusja

Grupa nitrowa ze względu na swoją budowę jest znakomitym podstawnikiem do badań efektów podstawnikowych (Exner i Krygowski, 1996). Obecność grupy nitrowej zdolnej do silnych interakcji międzycząsteczkowych, może istotnie wpływać na geometrię i strukturę elektronową układów aromatycznych i, w konsekwencji, efektów delokalizacji  $\pi$ -elektronowej, które w konsekwencji wpływają na zmiany właściwości danych układów.

### 3.1. Badania efektu podstawnikowego w wybranych nitrozwiązkach aromatycznych

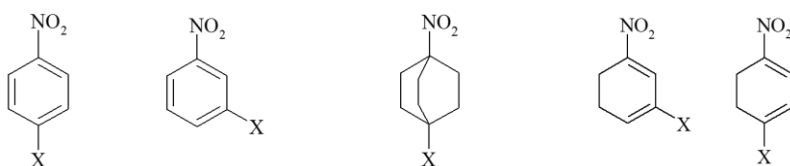
Badania efektu podstawnikowego w pochodnych nitrowych pozwalają oszacować ilościowo w jakim stopniu grupa nitrowa może wpływać na właściwości tych układów, dezaktywując lub aktywując pierścień aromatyczny. Przyłączenie do układu, w którym grupa  $\text{NO}_2$  jest traktowana jako centrum reakcji (stała grupa w danej serii badań), kolejnych podstawników, o różnym charakterze elektronowym, pozwala określić ich wpływ na strukturę elektronową pierścienia, grupy nitrowej oraz całego układu. Taka analiza wpływu podstawnika umożliwia poznanie kierunków zmian reaktywności układu, co jest niezwykle oczekiwane przy projektowaniu związków organicznych o zadanych właściwościach fizyko-chemicznych.

Effekt podstawnikowy grupy nitrowej i nitrozowej w aromatycznych pochodnych metanu, benzenu i Li-fenolanu został zbadany przez Irle i in. (Irle i in. 1995). Badania przeprowadzono za pomocą metod chemii kwantowej (SCF, MP2), a ich geometrie były zgodne z danymi eksperymentalnymi. Analizowano parametry geometryczne gęstość elektronową, ładunki atomowe, rzędy wiązań oraz energie reakcji w celu wyjaśnienia indukcyjnego i mezomerycznego wpływu NO w porównaniu z grupą  $\text{NO}_2$ . Wykazano na podstawie ładunków atomowych, że wpływ efektu indukcyjnego jest addytywny

i w obecności grupy  $\text{NO}_2$  jest silniejszy niż w obecności  $\text{NO}$ . Ponadto w przypadku efektów mezomerycznych w badanych układach, który jest częściowo nieaddytywny jest odwrotnie. Podobne wyniki uzyskano z różnic energii, które wskazywały na silniejsze wzmocnienie rezonansu w *para*-LiO układach dla podstawnika  $\text{NO}$  niż  $\text{NO}_2$ . Wartości gęstości elektronowej jak również eliptyczność wiązania potwierdziły otrzymane wyniki.

Grupa nitrowa jako podstawnik była również przedmiotem badań w ocenie efektów podstawnikowych w pracy Stasyuk i in. (Stasyuk 2015), gdzie analizowano jak zmieniają się właściwości elektrono-akceptorowe grupy  $\text{NO}_2$  wskutek interakcji z podstawnikami o różnych właściwościach elektronowych. W tym celu zastosowano parametr  $\text{cSAR}(\text{X})$  (Sadlej-Sosnowska 2007) jako sumę wszystkich ładunków na wszystkich atomach podstawnika wraz z ładunkiem węgla *ipso* do którego jest przyłączony podstawnik. Im bardziej ujemna wartość  $\text{cSAR}$ , tym większa siła przyciągania elektronów przez podstawnik. W badaniach tych wykazano, że parametr  $\text{cSAR}(\text{NO}_2)$  jest wiarygodnym deskryptorem do ilościowej oceny mocy elektrono-akceptorowej grupy nitrowej jako miejsca reakcji. Ponadto potwierdzono dużą zmienność właściwości akceptorowych grupy  $\text{NO}_2$  w zależności od interakcji z innymi podstawnikami.

Effekt podstawnikowy grupy nitrowej został opisany także w serii pochodnych trzech różnych układów cyklicznych – aromatycznego benzeno, olefinowego cykloheks-1,3-dienu oraz alifatycznego bicyklo[2.2.2]oktanu (Szatyłowicz 2017, Szatyłowicz 2018). Analizowano jak przyłączony do układu podstawnik wpływa na zmiany właściwości elektronowych grupy  $\text{NO}_2$  (klasyczny efekt podstawnikowy) oraz jak grupa  $\text{NO}_2$  może zmieniać właściwości elektronowe podstawnika (odwrotny efekt podstawnikowy) (Schemat 1). Dodatkowo w pochodnych benzenowych badano jak grupa nitrowa może wpływać na strukturę  $\sigma$  i  $\pi$ -elektronową pierścienia. W oparciu o zastosowane parametry kwantowo-mechaniczne (energia stabilizacji efektu podstawnikowego – SESE, ładunek aktywnego regionu podstawnika –  $\text{cSAR}$  oraz model pEDA/sEDA), potwierdzono najsilniejsze interakcje grupy nitrowej z podstawnikami silnie elektrono-donorowymi wskutek działania efektu rezonansowego. Ponadto siła tych oddziaływań zależy również od rodzaju układu do którego podstawniki są przyłączone i zmienia się w sekwencji cykloheks-1,3-dien >benzen > bicyklo[2.2.2]oktan.



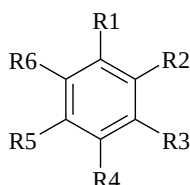
**Schemat 1. Ogólny schemat badanych dipodstawionych układów  $\text{X-R-NO}_2$ , gdzie  $\text{R}$ = benzen, cykloheks-1,3-dien, bicyklo[2.2.2]oktan;  $\text{X}$  =  $\text{NMe}_2$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{OMe}$ ,  $\text{CH}_3$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{CF}_3$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{CHO}$ ,  $\text{COMe}$ ,  $\text{CONH}_2$ ,  $\text{COOH}$ ,  $\text{COCl}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$  (Szatyłowicz 2017, Szatyłowicz 2018)**

Wpływ grupy nitrowej na strukturę elektronową benzeno wskutek tworzenia się wiązania C-N analizowano w pracy Stasyuk i in. (Stasyuk i in. 2016). W badaniach tych wykorzystano ilościową analizę Kohna-Shama (KS-MO) oraz analizy rozkładu energii (EDA). Obliczone parametry pozwoliły wykazać, że wiązanie  $\text{CN}$  w nitrobenzenie jest

słabsze i dłuższe niż analogiczne wiązanie w anilinie, wskutek silniejszego odpychania atomów wodoru pierścienia benzenowego i atomów tlenu grupy  $\text{NO}_2$ . Dodatkowo, w przypadku nitrobenzenu interakcje między donorem a akceptorem prowadzą do obniżenia poziomu  $\pi\text{HOMO}$  na pierścieniu benzenowym, co powoduje dezaktywację pierścienia.

Grupa nitrowa jest bardzo ważnym podstawnikiem biorąc pod uwagę jej silny efekt indukcyjny/pola oraz rezonansowy, gdy podstawnik elektronowy znajduje się w pozycji para. Jest to oczywiste w przypadku *para*- i *meta*-podstawionego benzenu, jako układu odniesienia. Stąd w literaturze podjęto badania, w celu określenia, w jaki sposób interakcje podstawników typu *meta* i *para* zachodzą w pochodnych 1-nitro-4-podstawionego bicyklo [2.2.2] oktanu, jako układu alifatycznego (Krygowski i Ozimiński 2014). W oparciu o zastosowane parametry (stałe podstawnikowe sigma, pEDA/sEDA model, energia stabilizacji efektu podstawnikowego SESE) i wykonane korelacje liniowe, wykazano, że oddziaływanie podstawników w benzenie jest silniejsze niż w pochodnych bicyklo [2.2.2] oktanu. We wszystkich analizowanych przypadkach wartości współczynników nachyleń regresji liniowych dla pochodnych nitro-benzenu były zawsze znacznie większe niż dla pochodnych nitro-bicyklo [2.2.2] oktanu.

Oprócz badań efektów podstawnikowych w dipodstawionych układach aromatycznych, analizowano również wpływ różnej ilości grup nitrowych z różnych pozycji na aromatyczność wielopodstawionych benzenów (Schemat 2). Omelchenko i in. w swojej pracy badali zależności pomiędzy parametrami strukturalnymi, aromatycznością pierścienia i jego „sztywnością” a ilością i pozycją podstawników (Omelchenko i in. 2012). Jako systemy modelowe wykorzystano pochodne aminonitrobenzenu posiadające różną liczbę i pozycję grup aminowych i nitrowych zoptymalizowane z wykorzystaniem metody MP2/cc-pvdz. Wykazano, że kluczowym czynnikiem zmian strukturalnych i energetycznych w analizowanych układach jest tworzenie się wewnątrzcząsteczkowych wiązań wodorowych N – HO pomiędzy sąsiednimi grupami  $\text{NO}_2$  i  $\text{NH}_2$ . Rosnąca liczba takich wiązań ułatwia efekt kooperacji, wywołując znaczące zmiany w geometrii molekularnej, drastycznie przy tym zwiększając elastyczność konformacyjną i zmniejszając aromatyczność cyklicznego układu sprzężonego.

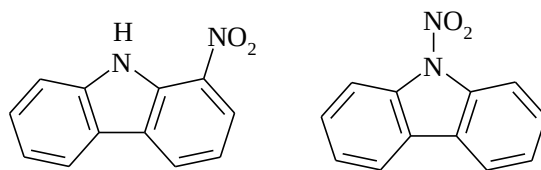


**Schemat 2. Schemat analizowanych układów w badaniach Omelchenko i in. (2012) gdzie R = H,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_2$**

Efekt podstawnikowy grupy  $\text{NO}_2$  został również zbadany w pochodnych karbazolu, które są szeroko stosowane w farmacji i elektronice molekularnej, ponieważ wykazują elektroaktywność i luminescencję (Gajda i in. 2014). Autorzy analizowali, jak grupa nitrowa przyłączona w odpowiednich pozycjach do pierścieni karbazolu (Schemat 3) wpływa na aromatyczność pierścieni arenowych zarówno w stanie ciekłym jak i gazowym. Geometrie



izolowanych cząsteczek (stan gazu) badanych związków otrzymano metodą kwantowo-mechaniczną z wykorzystaniem teorii funkcjonalnej gęstości (DFT).



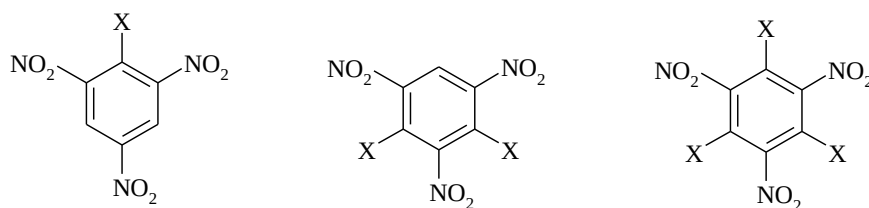
**Schemat 3. Analizowane struktury nitrowych pochodnych karbazolu (Gajda i in. 2014)**

Na podstawie wartości HOMA – ilościowego indeksu aromatyczności, zauważono, że obecność grupy nitrowej powoduje obniżenie aromatyczności pierścieni karbazolowych, z największą czułością dla pierścienia pirolowego. Grupa nitrowa przyłączona bezpośrednio do pierścienia benzenowych w większym stopniu wpływa na ich aromatyczność niż z pozycji N9 – przyłączenia do pierścienia pirolowego.

Inne badanie dotyczące oddziaływań grupy nitrowej na resztę układu dotyczyło oddziaływań grupy NO<sub>2</sub> z udziałem tzw. dziury  $\pi$  (ang.  $\pi$ -hole interaction) umiejscowionej powyżej i poniżej wiązania C-N w układach nitro-metanu i nitro-benzenu (Bauzá i in. 2015). Badanie wykazało, że taka interakcja jest kierunkowa i może być charakteryzowana obecnością punktu krytycznego wiązania, który łączy atom EIR z wiązaniem C – N. Z racji, że grupy nitrowe są szeroko rozpowszechnione wśród małych organicznych, jest zatem uzasadnione poszukiwanie tego typu interakcji  $\pi$ . Badania wewnątrzcząsteczkowe interakcje z udziałem tzw.  $\pi$ -dziury w układach nitroaromatycznych zostały również podjęte w pracy Franconetti i in. (2019), gdzie określono kiedy takie interakcje mogą stabilizować konformer.

### **3.2. Badania kwantowo mechaniczne nitrozwiązków wysokoenergetycznych**

Ważnym punktem w badaniach dotyczących związków wysokoenergetycznych jest możliwość określania i przewidywania właściwości użytkowych oraz cieplno-chemicznych tych materiałów na podstawie ich struktury molekularnej. Nitrowe pochodne metylobenzenu, takie jak: 2,4,6-trinitrotoluen (2,4,6-TNT), 1,3-dimetylo-2,4,6-trinitrobenzen (TNX) czy 1,3,5-trimetylo-2,4,6-trinitrobenzen (TNM) stanowią ważną klasę związków energetycznych. Poszukiwanie zależności pomiędzy właściwościami termicznymi, uderzeniem (Rice i in. 2002), czułością iskry elektrycznej (Zeman 2006) a strukturą molekularną nitrozwiązków aromatycznych jest wciąż przedmiotem wielu badań. Grupa NO<sub>2</sub>, jak już wspomniano jest podstawnikiem silnie elektrono-akceptorowym, ponadto w materiałach wysokoenergetycznych stanowi centrum reakcji, stąd parametry charakteryzujące tą grupę funkcyjną powinny wpływać na zmiany właściwości wybuchowych nitrowych związków aromatycznych. Tego typu badania zostały podjęte przez Zhang i współautorów (Zhang i in. 2005), którzy analizowali zależności pomiędzy ładunkiem zgromadzonym na grupie nitrowej a wrażliwością na uderzenie w wybranych związkach wysokoenergetycznych (Schemat 4).



**Schemat 4. Analizowane struktury X-podstawionych pochodnych 1,3,5-trinitrobenzenu, gdzie X= NH<sub>2</sub>, OH, CH<sub>3</sub>, H, Cl, CHO, COOH, NO<sub>2</sub>**

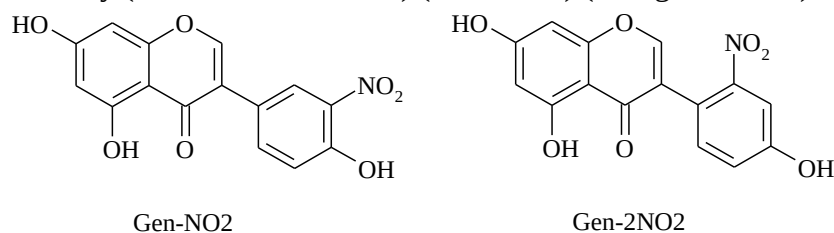
Na podstawie uzyskanych danych, udowodniono, że wartość ładunku grupy –NO<sub>2</sub> (–QNO<sub>2</sub>) można uznać za strukturalny parametr do oceny wrażliwości wybuchowej. Im bardziej ujemny ładunek na grupie nitrowej, tym większa wrażliwość na uderzenie, niezależnie od sposobu przyłączenia grupy nitrowej: e C–NO<sub>2</sub>, N–NO<sub>2</sub>, lub O–NO<sub>2</sub>

Podobną tematykę analizowano w pracy Fayeta i in. (Fayet i in. 2009), gdzie przedstawiono nowe podejście do przewidywania stabilności termicznej dla 22 związków nitroaromatycznych na podstawie obliczeń kwantowo-chemicznych (DFT) i metody ilościowej zależności struktura-właściwość (QSPR). Analizowano różne parametry charakteryzujące grupę nitrową: geometryczne ( $d_{\text{CN}}$ ) elektronowe ( $Q_{\text{NO}_2}$ , potencjał jonizacyjny, powinowactwo elektronowe, elektronegatywność) jak również energetyczne (energia dysocjacji  $d_{\text{CN}}$ , energia atomizacji). W oparciu o przyjęty model wykazano, że wartości wiązań C–NO<sub>2</sub> jak i reaktywność molekularna w największym stopniu korelują z siłą stabilności termicznej.

Badania dotyczące przewidywania wrażliwości na uderzenie nitrozwiązków aromatycznych wciąż budzą zainteresowanie. Głównym celem jest opracowanie takiego modelu, który pozwoli oszacować wrażliwość na uderzenie danego związku wysokoenergetycznego z jak największą dokładnością.

### 3.3. Badania kwantowo-mechaniczne związków nitrowych o znaczeniu farmakologicznym

Istotną rolę badań teoretycznych i strukturalnych danych układów jest możliwość projektowania związków molekularnych o zadanych właściwościach fizykochemicznych w oparciu o metody QSAR (z ang. Quantitative Structure-Activity Relationships) i QSPR (z ang. Quantitative Structure Properties Relationship). Metody te polegają na znalezieniu korelacji pomiędzy strukturą chemiczną (geometrią, strukturą elektronową) danego związku, a jego reaktywnością, tym samym aktywnością biologiczną. W literaturze istnieje wiele prac dotyczących badania wpływu podstawnika –NO<sub>2</sub> na aktywność biologiczną danego związku. Można do nich zaliczyć analizę wpływu grupy NO<sub>2</sub> i NH<sub>2</sub> na aktywność antyoksydacyjną pochodnych genisteiny (Gen–NO<sub>2</sub> i Gen–NH<sub>2</sub>) (Schemat 5) (Wang i in. 2018).



**Schemat 5. Analizowane układy nitro pochodnych genisteiny (Wang i in. 2018)**

Analizowano zdolność genisteiny do wychwytywania wolnych rodników za pomocą teorii funkcjonału gęstości elektronowej (DFT). Jako narzędzia badawcze wykorzystano m.in. wartości entalpii dysocjacji wiązań (BDE), entalpię dysocjacji protonów (PDE), potencjał jonizacyjny (IP) oraz entalpię przenoszenia protonów (ETE) czy potencjał chemiczny ( $\mu$ ). Na podstawie uzyskanych danych stwierdzono, że istnieje silne oddziaływanie wewnątrzcząsteczkowe, wiązanie wodorowe między jedną z grup OH genisteiny a tlenem w grupie nitrowej (Gen-NO<sub>2</sub>), co obniża na reaktywność fenolowych grup hydroksylowych. Ponadto wprowadzenie -NH<sub>2</sub> do układu genisteiny może poprawić aktywność przeciwutleniającą.

Popularnymi nitrozwiązkami heterocyklicznymi mającymi zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym o właściwościach przeciwbakteryjnych są 5-nitrofuran i 5-nitroimidazol. Pires i in. (Pires i in. 2001) analizowali, jak zmieniają się właściwości fizykochemiczne i strukturalne tych układów wskutek przyłączenia różnych podstawników (X= OCH<sub>3</sub>, H, CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, n-C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, Cl, Br, CN, and NO<sub>2</sub>). W oparciu o efekt podstawnikowy i w konsekwencji zmiany wartości IC<sub>50</sub> badano siłę aktywności przeciwbakteryjnej tych związków dla szczepów *S. aureus* i *C. crescentus*.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione przykłady badań dotyczących grupy nitrowej i nitrozwiązków w ujęciu kwantowo-mechanicznym obrazują szeroki zakres zainteresowań pochodnymi nitrowymi. Analiza efektów podstawnikowych w nitrowych układach cyklicznych pozwala określić wzajemne interakcje pomiędzy układem a przyłączonymi do niego grupami funkcyjnymi, w szczególności silną elektrono-akceptorową grupą NO<sub>2</sub>. Poznanie efektów podstawnikowych grupy nitrowej w różnych systemach pozwala na ich przemysłowe zastosowania, jak projektowanie związków molekularnych o zadanych właściwościach biologicznych i fizykochemicznych przy zastosowaniu metoda QSAR czy przewidywanie siły wybuchowej związków wysokoenergetycznych. Ponadto stosowanie różnych parametrów kwantowo-mechanicznych w analizie strukturalnej danych związków daje możliwości większej precyzji oszacowania zmian właściwości tych układów.

#### Bibliografia:

1. Bauzá A., Mooibroek T.J., Frontera A. (2015) Directionality of  $\pi$ -holes in nitro compounds. ChemComm. 51:1491-1493.
2. Exner O., Krygowski T.M. (1996) The Nitro Group as Substituent. Chem. Soc. Rev. 25:71-75.
3. Fayet G., Rotureau P., Joubert L., Adamo C. (2009) On the prediction of thermal stability of nitroaromatic compounds using quantum chemical calculations. J. Hazard. Mater. 171: 845–850.
4. Gajda K., Zarychta B., Kopka K., Daszkiewicz Z., Ejsmont K. (2014) Substituent effects in nitro derivatives of carbazoles investigated by comparison of low-temperature crystallographic studies with density functional theory (DFT) calculations. Acta Crystal. C Struct. Chem. 70:987-991.

5. Hammett L.P. (1937) The Effect of Structure upon the Reactions of Organic Compounds. Benzene Derivatives. J. Am. Chem. Soc. 59, 96-103.
6. Infante-Castillo R., Hern'andez-Rivera S.P. (2012) Predicting Heats of Explosion of Nitroaromatic Compounds through NBO Charges and <sup>15</sup>NNMR Chemical Shifts of Nitro Groups. Adv. Phys. Chem. 6: ID 304686.
7. Irle S., Krygowski T.M., Niu J.E., Schwarz W.H.E. (1995) Substituent Effects of -NO and -NO<sub>2</sub> Groups in Aromatic Systems. J. Org. Chem. 60:6744-6755.
8. Krygowski T.M., Oziminski W.P. (2014) Substituent effects in 1-nitro-4-substituted bicyclo[2.2.2]octane derivatives: inductive or field effects? J. Mol. Mod. 20: 2352-2359.
9. Omelchenko I.V., Shishkin O.V., Gorb L., Hill F.C., Leszczynski J. (2012) Properties, aromaticity, and substituents effects in poly nitro- and amino-substituted benzenes. Struct Chem. 23: 1585-1597.
10. Pires J.R., Saito C., Gomes S.L., Giesbrecht A.M., Amaral A.T. (2001) Investigation of 5-Nitrofuran Derivatives: Synthesis, Antibacterial Activity, and Quantitative Structure–Activity Relationships. J. Med. Chem, 44: 3673–3681.
11. Rouchaud, J., Neus O., Cools K., Bulcke R. (2000) Dissipation of the triketone mesotrione herbicide in the soil of corn crops grown on different soil types. Toxicol. Environ. Chem 77:31–40.
12. Sadlej-Sosnowska N (2007) Substituent Active Region - A Gate for Communication of Substituent Charge with the Rest of a Molecule: Monosubstituted Benzenes. Chem. Phys. Lett. 447, 192-196.
13. Stasyuk O., Szatyłowicz H., Fonseca Guerra C., Krygowski T.M. (2015) Theoretical study of electron-attracting ability of the nitro group: classical and reverse substituent effects. Struct. Chem. 26:905-913.
14. Stasyuk O.A., Szatyłowicz H., Krygowski T.M., Fonseca Guerra C. (2016). How amino and nitro substituents direct electrophilic aromatic substitution in benzene: an explanation with Kohn–Sham molecular orbital theory and Voronoi deformation density analysis. Phys Chem Chem Phys, 18:11624–11633.
15. Szatyłowicz H., Jezuita A., Ejsmont K., Krygowski T.M. (2017) Classical and Reverse Substituent Effects in *Meta*- and *Para*-Substituted Nitrobenzene Derivatives. Struct. Chem. 28, 1125-1132.
16. Szatyłowicz H., Jezuita A., Siodla T., Varaksin K.S., Ejsmont K., Shahamirian M., Krygowski T.M. (2018) How far the substituent effects in disubstituted cyclohexa-1,3-diene derivatives differ from those in bicyclo[2.2.2]octane and benzene? Struct Chem 29:1201-1212.
17. Wang L., Yang .F, Zhao X., Li Y. (2018) Effects of nitro- and amino-group on the antioxidant activity of genistein: a theoretical study. Food Chemistry. 275:339-345.
18. Zhang C., Shu Y., Huang Y., Zhao X., Dong H. (2005) Investigation of correlation between impacts sensitivities of nitro group charges in nitro compounds, J. Phys. Chem. B 109:8978–8982.

## 6. ZMIANA WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRONOWYCH GRUPY NITROWEJ W WYBRANYCH UKŁADACH PIERŚCIENIOWYCH

**Anna Jezuita**

Uniwersytet Opolski

Wydział Chemii

ul. Oleska 48, 45 - 052 Opole

Email: [ajezuita@uni.opole.pl](mailto:ajezuita@uni.opole.pl)

**Streszczenie:** Charakter elektronowy podstawnika może być opisany w sposób ilościowy za pomocą parametru cSAR, który wykazuje zgodność ze stałymi podstawnikowymi Hammetta. Im bardziej ujemna wartość cSAR(X) tym silniejsze właściwości elektrono-akceptorowe podstawnika. Siła elektronowa podstawnika zależy od wielu czynników, m.in. od rodzaju układu do którego jest on przyłączony, otoczenia innych podstawników w odpowiedniej pozycji oraz orientacji w przestrzeni. Przedmiotem badania było określenie jak pozycja podstawienia i stopień skręcenia płaszczyzny grupy nitrowej wpływa na jej charakter elektronowy w wybranych nitrozwiązkach aromatycznych zawierających skondensowane pierścienie benzenowe.

### 1. Wstęp

Pierwszy ilościowy opis właściwości elektronowych podstawników został zaproponowany przez Louisa Placka Hammetta, który wprowadził stałe podstawnikowe ( $\sigma_p$  i  $\sigma_m$ ) charakteryzujące dany podstawnik (Hammett 1937). Stałe podstawnikowe to liczby określające względną zdolność podstawnika do wyciągnięcia (podstawniki elektrono-akceptorowe, EA) lub wprowadzenia (podstawniki elektrono-donorowe, ED) elektronów do miejsca reakcji. Wartość i znak stałych podstawnikowych informują o tym, jak podstawnik wpływa na gęstość elektronową w centrum reakcyjnym lub w transmierze. W pozycji *para*, podstawniki o charakterze EA charakteryzują się dodatnimi wartościami stałych podstawnikowych (np.  $\sigma_{\text{NO}_2} = 0.78$ ,  $\sigma_{\text{Cl}} = 0.23$ ), natomiast podstawniki ED opisują ujemne wartości sigma (np.  $\sigma_{\text{NH}_2} = -0.66$ ,  $\sigma_{\text{OH}} = -0.37$ ) (Hansch 1991). Hammett wprowadził stałe podstawnikowe  $\sigma$  ( $\sigma_p$  i  $\sigma_m$ ) bazując na eksperymentalnie wyznaczonych stałych równowagi dysocjacji dla *meta*- i *para* podstawionego kwasu benzoowego i niepodstawionego (Rys. 2), co przedstawia poniższy wzór:

$$\sigma_{p(m)} = \log [K_{p(m)}(X)] - \lg K$$

gdzie K i  $K_{p(m)}(X)$  określają wartości stałych dysocjacji dla niepodstawionych i *meta/para* dipodstawionych pochodnych kwasu benzoowego.

Stałe Hammetta zostały wyznaczone dla konkretnych pochodnych benzenowych o zdefiniowanym charakterze grupy funkcyjnej ( $\text{Y}=\text{COOH}$  i  $\text{COO}^-$ ). Stąd w przypadku charakterystyki podstawnika w układach różniących się strukturalnie od modelowych układów kwasu benzoowego, mogą one działać nieprawidłowo. Z tych powodów, w literaturze zaproponowano kolejno nowe skale podstawnikowe jak również metody

kwantowo-mechaniczne, które pozwalają określić charakter elektronowy podstawników niezależnie od systemu do którego jest przyłączony podstawnik.

Jedną z wiarygodnych metod określania zmian właściwości elektronowych podstawników wskutek interakcji z innymi grupami funkcyjnymi jest bazujący na strukturze elektronowej parametr cSAR(X) (z ang. *Charge of Active Region*). Parametr ten jest zdefiniowany jako suma ładunków atomowych na poszczególnych atomach podstawnika wraz z ładunkiem węgla ipso do którego przyłączony jest podstawnik (Sadlej-Sosnowska 2007):

$$\text{cSAR}(X) = q(X) + q(C_{\text{ipso}})$$

Wartość cSAR(X) dla danego podstawnika określa jego charakter elektronowy. Im bardziej ujemna wartość cSAR(X) tym silniejsze właściwości elektrono-akceptorowe podstawnika. W przeciwieństwie do ładunków atomowych na podstawniku,  $q(X)$ , wartości cSAR(X) dobrze korelują ze stałymi podstawnikowymi sigma.

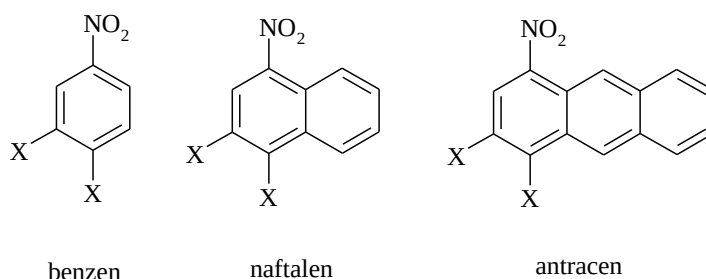
Dotychczasowe badania efektów podstawnikowych z zastosowaniem parametru cSAR dotyczą głównie mono i di-podstawionych pochodnych benzenowych jako systemu modelowego. (Pross 1981, Sadlej Sosnowska 2007, Szatyłowicz 2016, Stasyuk 2016, Szatyłowicz 2017). Ważne jest również spojrzenie na efekt podstawnikowy w aromatycznych pierścieniach policyklicznych jak naftalen (Krygowski 2007) czy antracen. Krygowski i in. (2007) analizowali zmiany aromatyczności w podstawionym naftalenie w porównaniu do podstawionego benzenu w oparciu ilościowe indeksy aromatyczności. Benzen jest podstawowym układem aromatycznym, natomiast naftalen bicyklicznym układem złożonym z dwóch aromatycznych benzenów. Elektrony  $\pi$  w tej cząsteczce są jeszcze bardziej zdelokalizowane niż te w prostszej cząsteczce benzenu. Podobnie jak benzen, naftalen ma budowę płaską i posiada  $4n + 2$  (10) elektronów  $\pi$ , co daje mu stabilizujące i rezonujące właściwości aromatyczne wspólne z benzenem. Antracen z kolei jest tricyklicznym węglowodorem aromatycznym złożonym z trzech skondensowanych pierścieni benzenowych o  $4n + 2$  (14) elektronów  $\pi$ .

Przyłączenie grupy  $\text{NO}_2$  do pierścienia aromatycznego, jako podstawnika o silnie elektrono-akceptorowym (EA) charakterze i wysokiej elektroujemności, istotnie wpływa na przepływ elektronów  $\pi$  w układzie. Elektrono-akceptorowy charakter tej grupy wynika z występowania na atomie N dużego niedoboru ładunku ujemnego przez dodatnią polaryzację atomu azotu względem atomów tlenu i węgla z którymi jest połączony. Ponadto grupa nitrowa charakteryzuje się silnym efektem rezonansowym i indukcyjnym wskutek czego silnie oddziałuje z resztą układu. Efekt indukcyjny związany z elektroujemnością atomów N i O oraz polarnością wiązań i jest realizowany przez wiązania. Z kolei efekt rezonansowy (mezo-meryczny) związany jest z nakładaniem się orbitali  $p$  podstawnika  $\text{NO}_2$  oraz pierścienia aromatycznego i jest przenoszony przez wiązania  $\pi$ . W zależności od pozycji podstawienia oraz stopnia skręcenia grupa  $\text{NO}_2$  wykazuje różną moc elektrono-akceptorową uzależnioną również od struktury układu do którego jest przyłączona. Celem prezentowanego badania była analiza zmian właściwości elektrono-akceptorowych grupy nitrowej przyłączonej do różnych układów aromatycznych w różnych pozycjach podstawienia i konformacji. Badano mono- i di-podstawione pochodne benzenu, naftalenu i antracenu, co pozwoliło określić jak

różny typ układu może wpływać na charakter grupy nitrowej mierzony przy pomocy parametru cSAR.

## 2. Materiał i metody

Zbadano jak zmieniają się właściwości elektrono-akceptorowe grup nitrowych przyłączonych do różnych układów aromatycznych: benzen, naftalenu i antracenu (Schemat 1). Analizowano zmianę ładunku grupy nitrowej przyłączonej w różnych pozycjach do badanych układów. Ponadto określono, w jakim stopniu charakter elektrono-akceptorowy grupy nitrowej zależy od jej stopnia skręcenia ( $90^\circ$ ) w stosunku do płaszczyzny pierścienia.



**Schemat 1. Schemat analizowanych układów nitrowych pochodnych benzen, naftalenu i antracenu z podstawnikami nitrowymi w odpowiednich pozycjach (X = H, NO<sub>2</sub>)**

Ostatnim etapem badania było porównanie zmian aromatyczności w analizowanych pierścieniach cyklicznych w zależności od położenia grupy nitrowej w układzie.

Właściwości elektrono-akceptorowe grupy nitrowej scharakteryzowano z wykorzystaniem modelu cSAR(X) (*Charge of Substituent Active Region*). Parametr cSAR(X) jest definiowany jako suma wszystkich ładunków atomów podstawnika wraz z ładunkiem węgla *ipso*, do którego podstawnik jest przyłączony (Sadlej-Sosnowska 2007) :

$$\text{cSAR (X)} = q(\text{X}) + q(\text{C}_{\text{ipso}})$$

Model ten pozwala określić przepływ ładunku pomiędzy dwoma podstawnikami przyłączonymi do układu wskutek ich interakcji. Im bardziej ujemna wartość cSAR, tym bardziej elektrono-akceptorowy jest podstawnik. Należy zaznaczyć, że parametr ten może być stosowany dla każdego analizowanego układu, gdyż opisuje lokalnie zmianę struktury elektronowej w obrębie podstawnika.

Zmiany w strukturze elektronowej pierścieni wskutek działania grupy nitrowej określono na podstawie wartości indeksu aromatyczności – HOMA (Harmonic Oscillator Model of Aromaticity) (Krygowski 1993). Indeks geometryczny HOMA określa aromatyczność każdego cyklicznego układu  $\pi$ -elektronowego i jest obliczany jako suma kwadratów odchyłeń długości wiązań układu rzeczywistego w stosunku do czysto aromatycznego, co przedstawia wzór:

$$\text{HOMA} = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha (R_{\text{opt}} - R_i)^2$$

gdzie,  $n$  oznacza liczbę wiązań,  $\alpha = 257,7$  jest współczynnikiem normalizacyjnym,  $R_{\text{opt.}} = 1.388 \text{ \AA}$  to optymalna długość wiązania danego typu, natomiast  $R_i$  jest równe długości  $i$ -tego wiązania. Im większa wartość HOMA, tym silniejszy charakter aromatyczny posiada dany pierścień.

Dla wszystkich analizowanych układów wykonano optymalizację bez żadnych ograniczeń symetrii za pomocą programu Gaussian 09 z wykorzystaniem metody DFT/B3LYP / 6-311 ++ G \*\*. Do obliczenia ładunków cSAR wykorzystano metodę NBO (Natural Bond Orbital) w programie NBO 6.0 (Glendening i in. 2013).

### 3. Wyniki i dyskusja

Analizowane układy benzenu (BEN), naftalenu (NAF) i antracenu (ANT) różnią się przede wszystkim ilością skondensowanych pierścieni benzenowych, tym samym ilością elektronów  $\pi$  w układzie. Efekt podstawnikowy grupy  $\text{NO}_2$  w badanych pochodnych wybranych układów cyklicznych można interpretować jako opis zmian właściwości obserwowanych w  $\text{NO}_2$  wskutek działania drugiego podstawnika lub transmittera. Pierwszym etapem analizy było określenie jak zmienia się wartość parametru cSAR( $\text{NO}_2$ ) czyli elektronowy charakter grupy nitrowej w zależności od jej ułożenia w stosunku do płaszczyzny pierścienia w monopodstawionych trzech układach cyklicznych. Obliczone wartości cSAR( $\text{NO}_2$ ), długości wiązań CN będące miarą efektu rezonansowego oraz wartości HOMA zostały przedstawione w tabeli 1.

**Tabela 1. Obliczone wartości cSAR( $\text{NO}_2$ ), długości wiązania C-N oraz wartości HOMA dla badanych monopodstawionych nitropochodnych benzenu, naftalenu i antracenu**

| $\text{NO}_2\text{-R}$ | cSAR( $\text{NO}_2$ ) |            | $d_{\text{CN}}$ |            | HOMA* |            |
|------------------------|-----------------------|------------|-----------------|------------|-------|------------|
|                        | 0                     | $90^\circ$ | 0               | $90^\circ$ | 0     | $90^\circ$ |
| BEN                    | -0.2021               | -0.1099    | 1.4815          | 1.4831     | 0.994 | 0.994      |
| NAF                    | -0.2002               | -0.0948    | 1.4864          | 1.4843     | 0.722 | 0.786      |
| ANT                    | -0.1823               | -0.1072    | 1.4773          | 1.4842     | 0.597 | 0.632      |

0 – grupa  $\text{NO}_2$  ułożona współpłaszczyznowo w stosunku do R

$90^\circ$  – grupa  $\text{NO}_2$  ułożona prostopadłe w stosunku do R

\*HOMA pierścienia do którego przyłączony był podstawnik

Z danych zawartych w tabeli 1, na podstawie wartości cSAR( $\text{NO}_2$ ) można zauważyć, że siła elektrono-akceptorowa grupy  $\text{NO}_2$  zmniejsza się wraz ze wzrostem stopnia kondensacji pierścieni benzenowych, w sekwencji od BEN (-0.202) > NAF (-0.200) > ANT (-0.182). Ponadto skrócenie grupy nitrowej o  $90^\circ$  w stosunku do pierścienia benzenowego powoduje obniżenie wartości cSAR o ponad 50%, co jest związane ze zmniejszeniem przepływu elektronów  $\pi$  w układzie. Grupa nitrowa w pozycji prostopadłej do układu wykazuje silniejszy efekt indukcyjny, stąd ilościowo mniej elektronów przyciąga z pierścienia benzenowego. To oznacza, że w ułożeniu koplarnym do płaszczyzny pierścienia grupa nitrowa ma zdolność przyciągania większej ilości elektronów niż ułożona prostopadłe. Zaprezentowane dane dla naftalenu pokazują, że ilość elektronów pomiędzy różnym



ułożeniem grupy  $\text{NO}_2$  różni się dwukrotnie. W przypadku monopodstawionego antracenu, charakter elektronowy grupy nitrowej skróconej o  $90^\circ$  jest zbliżony jak w układzie benzeny. Drugim etapem badań było porównanie jak zmienia się  $\text{cSAR}(\text{NO}_2)$  w analizowanych układach, gdy przyłączone są dwie grupy  $\text{NO}_2$  w różnych pozycjach podstawienia (*para*, *meta*) i różnej konformacji. Analizowano wzajemne interakcje dwóch podstawników o silnych właściwościach elektrono-akceptorowych przyłączonych do odpowiedniego układu transmitującego.

**Tabela 2. Obliczone wartości  $\text{cSAR}(\text{NO}_2)$  dla badanych dipodstawionych nitropochodnych benzeny (BEN), naftalenu (NAF) i antracenu (ANT)**

| $\text{NO}_2\text{-R-NO}_2$ | pozycja | $\text{cSAR}(\text{NO}_2)$ (1) |                    | $\text{cSAR}(\text{NO}_2)$ (3)/(4) (5) |                    |
|-----------------------------|---------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------------|--------------------|
|                             |         | $0^\circ$                      | $90^\circ$         | $0^\circ$                              | $90^\circ$         |
| BEN                         | 1-4     | -0.1692                        | -0.0881            | -0.1692                                | -0.0881<br>-0.0910 |
|                             |         | -0.1760                        |                    |                                        |                    |
|                             | 1-3     | -0.1678                        | -0.0739<br>-0.0829 | -0.1678                                | -0.0739            |
|                             |         |                                |                    | -0.1592                                |                    |
| NAF                         | 1-4     | -0.1205                        | -0.0829            | -0.1205                                | -0.0829            |
|                             |         |                                |                    |                                        |                    |
|                             | 1-3     | -0.1055                        | -0.1055            | -0.1993                                | -0.1062            |
|                             |         | -0.0794                        |                    |                                        |                    |
| ANT                         | 1-4     | -0.1618                        | -0.0931            | -0.1618                                | -0.0931            |
|                             |         |                                |                    |                                        |                    |
|                             |         |                                |                    |                                        |                    |
|                             | 1-3     | -0.1262                        | -0.0841            | -0.1262                                | -0.0841<br>-0.0394 |
|                             |         | -0.2085                        |                    |                                        |                    |
|                             |         |                                |                    |                                        |                    |
|                             | 1-3     | -0.0891                        | -0.0566            | -0.2230                                | -0.1107<br>-0.1290 |
|                             |         |                                |                    |                                        |                    |
|                             |         | -0.1632                        |                    |                                        |                    |

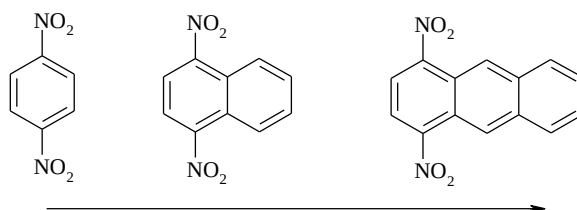
$0^\circ$  – grupa  $\text{NO}_2$  ułożona współpłaszczyznowo w stosunku do R

$90^\circ$  – grupa  $\text{NO}_2$  ułożona prostopadle w stosunku do R

Obecność kolejnego podstawnika nitrowego w układzie obniża siłę elektrono-akceptorową grupy nitrowej, gdyż elektrony  $\pi$  są wyciągane z pierścienia przez dwie grupy nitrowe. Zdolność akceptorowa grupy nitrowej w BEN obniża się z -0.2021 do -0.1690, czyli o niecałe 20%. W przypadku pochodnych benzenowych można zauważyć również, że podstawniki nitrowe występujące w pozycji *para* w stosunku do siebie opisane są przez wyższe wartości  $\text{cSAR}$  niż kiedy są one w pozycji *meta*. Podobnie jak w przypadku monopodstawionych układów, prostopadłe ułożenie grupy  $\text{NO}_2$  w stosunku do pierścienia benzenowego osłabia jej elektrono-akceptorowość (wartości  $\text{cSAR}$  na poziomie 0.08). W przypadku występowania dwóch grup nitrowych w pozycji *para*, przy czym jedna jest zorientowana koplarnie a druga prostopadle, można zaobserwować również obniżenie siły

przyciągania przez obie grupy  $\text{NO}_2$  (cSAR równy -0.176 i -0.091, odpowiednio dla formy koplanarnej i prostopadłej).

Naftalen i antracen są układami złożonymi ze skondensowanych pierścieni benzenowych. W sytuacji, gdy dwie grupy nitrowe znajdują się w pozycji *para* w strukturze naftalenu i antracenu, ich właściwości elektronowe ulegają osłabieniu w większym stopniu niż w benzenie (Schemat 2). Dla układu naftalenowego, w którym obie grupy  $\text{NO}_2$  są podstawione w pozycji 1-4 względem siebie, można zaobserwować zmniejszenie wartości cSAR z -0.2002 do -0.1205 dla grup w konformacji koplanarnej oraz z -0.0948 do -0.0829 dla grup nitrowych zorientowanych prostopadłe do płaszczyzny pierścienia. Analizowano również ładunek zlokalizowany na grupie nitrowej i węgla *ipso*, jeśli dwie grupy nitrowe zostały podstawione do dwóch pierścieni naftalenu w pozycjach 1-5. Zaobserwowano, że w tym przypadku parametr cSAR wykazuje podobną zmienność jak w sytuacji *para* podstawienia.



**Schemat 2. Zmiana siły elektrono-akceptorowej grup nitrowych w analizowanych układach benzenu, naftalenu i antracenu**

Należy zauważyć, że we wszystkich analizowanych przypadkach skreślenie grupy nitrowej znacznie osłabia jej moc elektronową, z uwagi na brak możliwości przepływu elektronów  $\pi$ . Dodatkowo, to osłabienie zwiększa się ze wzrostem ilości skondensowanych pierścieni benzenowych i najslabiej elektrony są przyciągane przez grupę nitrową w układzie antracenu.

W prezentowanym badaniu analizowano również w jaki sposób przyłączone grupy nitrowe zmieniają strukturę  $\pi$ -elektronową pierścieni badanych układów. Grupa nitrowa jest podstawnikiem silnie elektrono-akceptorowym (EA), dlatego jego oddziaływanie na układ transmitujący istotnie wpływa na jego strukturę  $\pi$ -elektronową. Ponadto interakcje grupy  $\text{NO}_2$  z kolejnymi grupami  $\text{NO}_2$  przyłączonymi do pierścieni benzenu, w zależności od pozycji podstawienia, dążą do stabilizacji przepływu elektronów pi wskutek „konkurencji” o elektrony przez grupy nitrowe.

Analizowano wpływ podstawnika w zależności od pozycji podstawienia na strukturę elektronową pierścienia benzenu, naftalenu i antracenu. W tym celu zastosowano model HOMA określający zmianę aromatyczności. Z danych wynikających z tabeli 1. można zauważyć, że wartości HOMA dla układów skondensowanych są niższe niż dla pierścienia benzenowego, co jest zgodne z ogólnie przyjętą koncepcją charakteru aromatycznego. Ponadto zaobserwowano, że w przypadku mono-podstawionych układów, jeżeli grupa nitrowa jest ułożona prostopadłe do pierścienia, to wartości HOMA są wyższe niż w przypadku ułożenia koplanarnego we wszystkich trzech układach. Wartości te pokazują, że z pozycji prostopadłej grupa nitrowa w mniejszym stopniu zmienia aromatyczności pierścieni

niż z pozycji współpłaszczyznowej. Dla di-nitropodstawionych układów wartości HOMA zostały przedstawione w Tabeli 3.

**Tabela 3. Obliczone wartości HOMA dla badanych dipodstawionych nitropochodnych benzenu, naftalenu i antracenu**

| NO <sub>2</sub> -<br>R-NO <sub>2</sub> | pozycja | HOMA (1) |       |        | HOMA (2) |       |        | HOMA (3) |       |        |
|----------------------------------------|---------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|----------|-------|--------|
|                                        |         | 0°       | 90°   | 0°/90° | 0°       | 90°   | 0°/90° | 0°       | 90°   | 0°/90° |
| BEN                                    | 1-4     | 0.998    | 0.999 | 0.999  |          |       |        |          |       |        |
|                                        | 1-3     | 0.997    | 0.998 | 0.997  |          |       |        |          |       |        |
| NAF                                    | 1-4     | 0.726    | 0.784 |        | 0.739    | 0.788 |        |          |       |        |
|                                        | 1-3     | 0.714    | 0.785 |        | 0.747    | 0.789 |        |          |       |        |
| ANT                                    | 1-4     | 0.556    | 0.628 | 0.546  | 0.679    | 0.724 | 0.684  | 0.658    | 0.640 | 0.664  |
|                                        | 1-3     | 0.562    | 0.632 | 0.564  | 0.680    | 0.724 | 0.684  | 0.667    | 0.637 | 0.658  |

0°/90° - dwie grupy NO<sub>2</sub>, z czego jedna ułożona jest koplanarnie, a druga prostopadle względem pierścienia benzenowego

Obecność grupy nitrowej, wskutek wyciągania elektronów z pierścienia powoduje zmniejszenie jego aromatycznego charakteru, tym samym zmniejszenie wartości HOMA w porównaniu do aromatycznego benzenu (HOMA = 1). Pojawienie się w układzie kolejnego podstawnika (grupy NO<sub>2</sub>) powoduje, w zależności od pozycji w układzie (*para* (1-4), *meta* (1-3) w stosunku do grupy nitrowej) zmianę wartości indeksu HOMA (Tab.3). Z danych zawartych w Tabeli 3 można zaobserwować, że wartości HOMA dla pierścieni benzenowych obu konformacji maleją wraz ze wzrostem ilości pierścieni w układzie, średnio w stosunku 5:3:1. W przypadku pochodnych benzenu, stopień skręcenia grupy nitrowej nie wpływa na zmianę aromatyczności pierścienia, co jest zobrazowane brakiem różnic w wartościach HOMA. Analizując wartości HOMA dla pochodnych naftalenu, można zauważyć że skondensowane pierścienie benzenowe są bardziej aromatyczne kiedy grupa nitrowa jest ułożona prostopadle do płaszczyzny pierścieni.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Analiza efektów podstawnikowych w nitrowych układach cyklicznych umożliwia określenie wzajemnych interakcji pomiędzy układem a przyłączonymi do niego grupami nitrowymi. Charakter podstawnika oraz jego lokacja w danym układzie aromatycznym prowadzą do zmian jego zdolności elektronowych jak również do zmian struktury  $\pi$ -elektronowej układu transmitującego. W pracy określono jak zmieniają się właściwości elektrono-akceptorowe grupy nitrowej w zależności od rodzaju układu do którego była przyłączona. Badania wykonano dla nitrowych pochodnych benzenu, naftalenu oraz antracenu z wykorzystaniem wartości parametru cSAR. Na podstawie uzyskanych danych zauważono, że skręcenie grupy nitrowej w układzie do pozycji prostopadłej względem płaszczyzny pierścienia powoduje obniżenie siły przyciągania elektronów z pierścienia przez grupę nitrową zarówno w mono jak i di-podstawionych układach. Ponadto zaobserwowano, że wartości cSAR maleją (stają się mniej ujemne) wraz ze wzrostem liczby skondensowanych pierścieni benzenowych. Im więcej skondensowanych pierścieni benzenowych, tym mniejsza moc elektrono-akceptorowa grupy nitrowej. W badaniu określono również, jak grupa NO<sub>2</sub> może wpływać na aromatyczność pierścieni analizowanych układów. Zauważono, że

skręcenie grupy nitrowej o  $90^\circ$  w stosunku do płaszczyzny pierścienia nieznacznie wpływa na zmiany w aromatyczności.

Nitrozwiązki aromatyczne znajdują szerokie zastosowanie na skalę przemysłową, tym samym grupa nitrowa jako podstawnik jest przedmiotem wielu badań w chemii organicznej i dziedzinach pokrewnych. Poznanie czynników wpływających na zmiany właściwości elektronowych grupy  $\text{NO}_2$  względem różnych układów aromatycznych pozwala charakteryzować naturę oddziaływań tej grupy, co może posłużyć w projektowaniu nitrozwiązków molekularnych o zadanych właściwościach biologicznych i fizykochemicznych przy zastosowaniu metody QSAR.

### Bibliografia:

1. Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., et. al. (2009) Gaussian 09, Revision D.01, Gaussian, Inc., Wallingford CT.
2. Glendening E.D., Badenhoop J.K., Reed A.E., Carpenter J.E., Bohmann J.A., Morales C.M., Landis C.R., Weinhold F. (2013) NBO 6.0. Theoretical Chemistry Institute, University of Wisconsin, Madison.
3. Hammett L.P. (1937) The Effect of Structure upon the Reactions of Organic Compounds. Benzene Derivatives. J. Am. Chem. Soc. 59, 96-103.
4. Hansch C., Leo A., Taft R.W. (1991) A survey of Hammett substituent constants and resonance and field parameters. *Chem Rev* 91:165-195.
5. Krygowski T.M. (1993) Crystallographic Studies Of Inter- and Intramolecular Interactions Reflected in Aromatic Character of  $\pi$ -Electron Systems, J. Inf. Comput. Sci. 33, 70-78.
6. Krygowski T.M., Palusiak M., Płonka A., Zachara-Horeglad J.E. (2007) Relationship between substituent effect and aromaticity – Part III: naphthalene as a transmitting moiety for substituent effect. J. Phys. Org. Chem. 20: 297–306.
7. Pross A., Radom L. (1981) A Theoretical Approach to Substituent Interactions in Substituted Benzenes. In: Progress in Physical Organic Chemistry, ed. Taft R.W., Volume 13, Wiley & Sons.
8. Sadlej-Sosnowska N. (2007) Substituent Active Region - A Gate for Communication of Substituent Charge with the Rest of a Molecule: Monosubstituted Benzenes. Chem. Phys. Lett. 447, 192-196.
9. Stasyuk O., Szatyłowicz H., Fonseca Guerra C., Krygowski T.M. (2015) Theoretical study of electron-attracting ability of the nitro group: classical and reverse substituent effects. Struct. Chem. 26:905-913.
10. Szatyłowicz H., Stasyuk O., Fonseca Guerra C., Krygowski T.M. (2016) Effect of Intra- and Intermolecular Interactions on the Properties of para-Substituted Nitrobenzene Derivatives. Crystals, 6, 29.
11. Szatyłowicz H., Jezuita A., Ejsmont K., Krygowski T.M. (2017) Classical and Reverse Substituent Effects in *Meta*- and *Para*-Substituted Nitrobenzene Derivatives. Struct. Chem. 28, 1125-1132.

## 7. SYNTEZA I ZASTOSOWANIE NOWYCH NOŚNIKÓW POLIMEROWYCH Z WYKORZYSTANIEM STRATEGII "CLICK CHEMISTRY"

**Justyna Odrobińska, Dorota Neugebauer**

Politechnika Śląska

Wydział Chemiczny

Katedra Fizykochemii i Technologii Polimerów

Email: justyna.odrobinska@polsl.pl

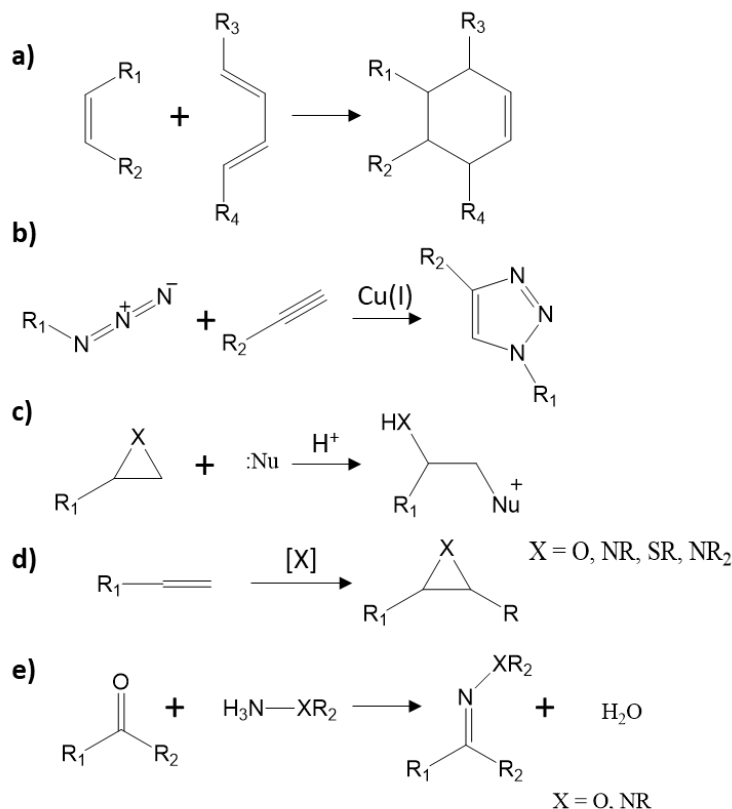
### 1. Wstęp

Reakcje „click chemistry” to zachodzące z dużą wydajnością i szybkością procesy sprzęgania odpowiednich grup funkcyjnych, dzięki czemu zyskały bardzo duże zainteresowanie i są często wykorzystywane w wielu obszarach chemii materiałowej, m.in. w projektowaniu nowych leków i ich nośników, znakowaniu cząstek biologicznych, inżynierii tkankowej. Pojęcie „click chemistry” zostało wprowadzone w 1998 roku przez K.B. Sharplessa, który opisał te reakcje jako szybkie, niezłożone, łatwe do przeprowadzenia i nie generujące szkodliwych produktów [Kolb, Finn, Sharpless, 2001], co okazało się dogodnością w projektowaniu koniugatów polimer-lek. Z kolei zastosowanie systemów dostarczania związków biologicznie aktywnych, w tym leków (*ang. Drug Delivery Systems, DDS*) początkowo w medycynie, przyczyniło się do nowego podejścia w projektowaniu preparatów farmaceutycznych i kosmetycznych. Dzięki kontrolowanemu uwalnianiu, wywołanemu przez właściwy bodziec, substancja biochemiczna może zadziałać we właściwym miejscu w optymalnych dawkach, które nie przekraczają progu toksyczności. Podłożem takich systemów może być wielkocząsteczkowy nośnik, który powinien charakteryzować się nietoksycznością, nieimmunogennością, biokompatybilnością i opcjonalnie biodegradowalnością. Trudnością w projektowaniu i wytwarzaniu nowych układów jest często kosztowna i złożona procedura syntetyczna, której wydajność jest niezadowalająca ze względu na duży udział produktów ubocznych. Rozwiązaniem powyższych problemów może być wykorzystanie w syntezie reakcji „click”. W pracy opisano nie tylko podstawowe rodzaje tych reakcji, ale przede wszystkim skupiono się na przeglądzie nośników polimerowych otrzymywanych z wykorzystaniem reakcji „click”.

### 2. Klasyfikacja reakcji „click chemistry”

Podstawowe cechy decydujące o zaklasyfikowaniu reakcji do grupy reakcji „click” to: wysoka wydajność, brak wrażliwości na obecność tlenu i wody, regiospecyficzność i stereospecyficzność, brak szkodliwych produktów ubocznych, możliwość przeprowadzenia reakcji bez użycia rozpuszczalnika lub z użyciem rozpuszczalnika łatwego do usunięcia, a także łagodne warunki reakcji i łatwość wyizolowania produktu. Wyżej wymienione kryteria chemii „click” spełniają m. in. cztery podstawowe typy reakcji: cykloaddycja związków nienasyconych (cykloaddycja Dielsa-Aldera oraz 1,3-dipolarna cykloaddycja Huisgena), substytucja nukleofilowa (szczególnie reakcja otwarcia pierścienia w elektrofilowych układach heterocyklicznych tj. epoksydy, azyrydyny, tirany), reakcje

z udziałem wiązań nienasyconych węgiel-węgiel oraz reakcje grupy karbonylowej w układach niealdolowych (np. tworzenie moczników, tiomoczników, amidów) (Rys. 1) [Kolb H.C. i in., 2001].



**Rysunek 1. Typy reakcji "click", a) cykloaddycja Dielsa-Aldera; b) 1,3-dipolarna cykloaddycja Huisgena; c) nukleofilowe otwarcie pierścienia; d) reakcje addycji do wiązania podwójnego; e) reakcje typu niealdolowego z karbonylem**

Wśród wymienionych typów reakcji największe zainteresowanie zyskały reakcje 1,3-dipolarnej cykloaddycji Huisgena (ang. *Huisgen 1,3-dipolar cycloaddition*, HDC) zachodzące pomiędzy azydkiem i terminalnym alkinem (Rys. 1b). W przypadku prowadzenia reakcji HDC bez katalizatora otrzymuje się mieszaninę 1,4- i 1,5-dipodstawionych triazoli, natomiast zastosowanie katalizatora nie tylko przyspiesza reakcję, ale także gwarantuje regiospecyficzność otrzymanych produktów [Gładysz i Milecki, 2014]. Ważny jest także wybór odpowiedniego katalizatora, ponieważ katalizator miedziowy (Cu(I)) prowadzi do powstania wyłącznie triazoli 1,4-podstawionych, z kolei zastosowanie związków rutenu zapewnia utworzenie izomerów 1,5-postawionych. Głównymi zaletami reakcji HDC są fizjologiczna bierność substratów, wysoka stabilność azydków wobec wody i tlenu [Shinde, Lende, Parkale, 2015] oraz możliwość stosowania różnych rozpuszczalników, a także szerokiego zakresu pH i temperatur [Rostovtsev i in., 2002]. Reakcje HDC mogą być wykorzystywane do otrzymania związków biokompatybilnych, dlatego znajdują zastosowanie w produkcji materiałów biomedycznych, a także w procesie biotransformacji żywych

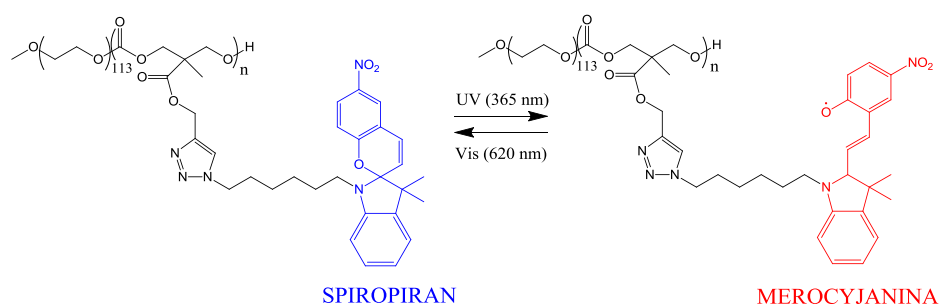
komórek i modyfikacji kwasów nukleinowych (możliwość otrzymania farmaceutyków nowej generacji).

Dużą popularność wśród reakcji „click” zdobyła także cykloaddycja Dielsa-Aldera, jedna z najczęściej stosowanych w chemii organicznej reakcji, za którą w 1950 roku naukowcy Otto Diels i Kurt Alder otrzymali Nagrodę Nobla. Reakcja ta polega na cykloaddycji pomiędzy bogatym w elektrony dienem (np. furan, cyklopentadien i ich pochodne), a ubogim elektronowo dienofilem (np. pochodne kwasu maleinowego) z wytworzeniem trwałego adduktu cykloheksanu (Rys. 1a). Cykloaddycję Dielsa-Aldera cechuje odwracalność termiczna, wysokie wydajności reakcji, brak wykrywalnych reakcji ubocznych i konieczności stosowania katalizatorów, a także możliwość prowadzenia reakcji w bardzo łagodnych warunkach (roztwory wodne, obojętne pH, umiarkowana temperatura) [Tasdelen, 2011]. Reakcje te wykazują duże możliwości tworzenia materiałów tzw. „szytych na miarę”, czyli zaprojektowanych i otrzymanych do pełnienia konkretnej funkcji, charakteryzujących się określonymi z góry właściwościami. Ponadto istnieje możliwość otrzymania polimerów o zróżnicowanej topologii np. polimerów liniowych, szczepionych, gwiazdzystych, dendrymerów, a także o różnej strukturze biokoniugatów i materiałów hybrydowych [Tasdelen, 2011].

Rosnące zapotrzebowanie na zróżnicowane właściwości dostępnych preparatów kosmetycznych i leków wymaga zastosowania reakcji prostych i wydajnych. Chemia „click” została opracowana w celu syntezy leków, jednak największe zastosowanie znalazła w syntezie i modyfikacjach polimerów [Rostovtsev i in., 2002].

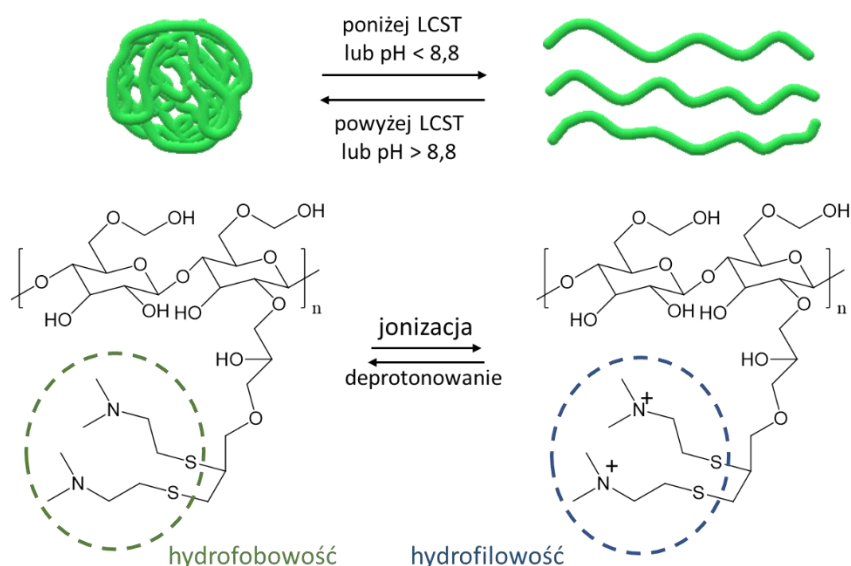
### 3. Nośniki polimerowe otrzymane z wykorzystaniem reakcji „click”

Szczególnie często stosując strategię „click” otrzymuje się polimery wrażliwe na różne czynniki zarówno zewnętrzne, egzogenne (temperatura, światło, pole elektryczne i magnetyczne, ultradźwięki), jak i wewnętrzne, endogenne (reakcje redox, pH, stężenie enzymów) [Dai, Chen i Zhang, 2019]. W przypadku syntezy nośników leków, wrażliwość polimerów na bodźce umożliwia kontrolowane uwalnianie substancji aktywnych i monitorowanie ich stężenia. Reakcję „click” wykorzystano np. do syntezy szczepionych poliaminokwasów, a także alifatycznych poliwęglanów o właściwościach termoczułych [Wang i in., 2019]. Przykładem jest szczepienie funkcjonalizowanego azydkiem glikolu oligoetylenowego na poli( $\gamma$ -propargilo-*L*-glutaminianie), w którym enkapsulowano doksorubicynę (DOX). Przyspieszenie procesu uwalniania DOX było możliwe po obniżeniu temperatury [Ding i in., 2013]. Ciekawym przykładem odpowiedzi na bodziec egzogeny tj. światło są micelle utworzone z poliwęglanu z enkapsulowaną kumaryną, które w zależności od długości fali światła mogą ulegać degradacji i uwalniać substancję aktywną lub ponownie samoorganizować się i „reenkapsulować” lek. Jest to możliwe dzięki obecności w strukturze poliwęglanu jednostki spiropiranu dołączonego do polimeru z wykorzystaniem reakcji „click” i ulegającego odwracalnej zmianie struktury chemicznej w merocyjaninę przy odpowiednich długościach fali światła (Rys.2) [Hu i in., 2015].



**Rysunek 2. Odwracalna zmiana struktury chemicznej spiropiranu w merocyjaninę**

Dobrym rozwiązaniem jest także stworzenie miceli reagujących na zmianę pH. W przypadku chorób nowotworowych nośniki takie wyzwalają lek w odpowiedzi na silnie kwasowe mikrośrodowisko zmian nowotworowych. Obecność m.in. wiązania oksymowego zapewnia uwalnianie substancji aktywnych w warunkach kwasowych, dlatego dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie go w nośnikach pH-czułych [Ganivada i in., 2016]. Coraz częściej spotykanym rozwiązaniem jest jednak tworzenie nośników polimerowych, w szczególności miceli, reagujących na zmianę więcej niż jednego czynnika np. pH i temperatura. Nośnik taki zsyntezowano w wyniku eteryfikacji hydroksyetyloskrobi eterem glicydylopropargilowym, a następnie reakcji „click” z 2-(dimetyloamino)etanotiolem. Otrzymany układ jest zdolny do micelizacji DOX, a także ochrony leku w warunkach alkalicznych wykazując jednocześnie dobrą zdolność do jego uwalniania w warunkach kwasowych (Rys.3) [Kwanghyok, Ju, Xiu, Her and Son, 2018].



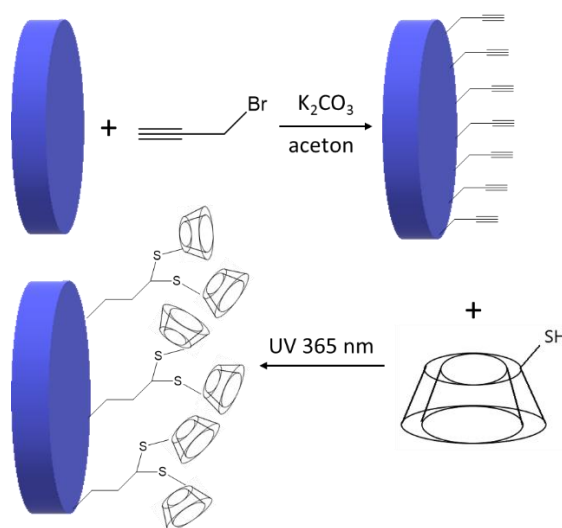
**Rysunek 3. Zachowanie miceli wrażliwych jednocześnie na zmiany pH i temperatury**

Innym bodźcem, który może wywołać degradację i rozpad miceli są enzymy, które naturalnie występują w organizmach żywych i charakteryzują się wysoką selektywnością. Powszechnie stosowane metaloproteazy macierzy (MMP) degradują wszelkiego rodzaju białka macierzy zewnątrzkomórkowej. Depeptylacja wywołana przez MMP, skutecznie aktywuje rozpad miceli i szybkie uwolnienie enkapsulowanego leku (np. DOX) wewnątrz



komórek nowotworowych [Ke i in., 2016]. Przykładem takiego układu są micelle tworzone przez kopolimer otrzymany w wyniku reakcji „click” pomiędzy funkcjonalizowanym azydkiem glikolem polietylenowym (PEGN<sub>3</sub>) i peptydem z terminalną grupą alkinową, a następnie polimeryzacji z otwarciem pierścienia (ang. *Ring Opening Polymerization*, ROP) *N*-karboksybezwodnika  $\beta$ -benzylo-L-asparginianu i częściowej hydrolizy segmentów  $\beta$ -benzylo-L-asparginianu.

Ponadto, reakcję „click” wykorzystano do modyfikacji tradycyjnych hydrożeli, co spowodowało poprawę ich zdolności dostarczania substancji aktywnych. W tym celu powierzchnię hydrożelu utworzonego z metakrylanu 2-hydroksyetylu (HEMA) poddano alkinowaniu wykorzystując 3-bromo-1-propyn, a następnie przeprowadzono reakcję „click” (tiol-yne) z  $\beta$ -cyklodekstryną (Rys.4). Przeprowadzona funkcjonalizacja skutkowała większą hydrofilowością układu, a także zwiększoną odpornością hydrożelu na białko. Ponadto zaobserwowano większą zdolność enkapsulacji leku w modyfikowanym hydrożelu, a także jego kontrolowane uwalnianie [Hu, Tan, Wang, Chen, 2016].



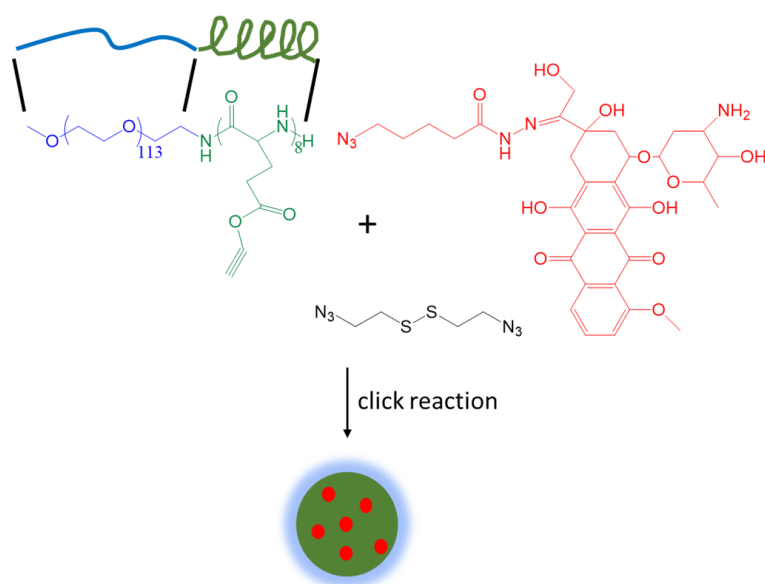
**Rysunek 4. Modyfikacja hydrożelu  $\beta$ -cyklodekstryną z wykorzystaniem reakcji „click”**

W kontekście hydrożeli, reakcje „click” mogą być również wykorzystane do procesu sieciowania. Rozwiązanie takie zastosowano podczas syntezy hydrożeli na bazie alginianu, które zyskują coraz większą uwagę jako nośniki dostarczania leków. Większość tego typu hydrożeli otrzymywana jest z zastosowaniem tradycyjnych strategii sieciowania, co skutkuje ich słabą stabilnością długoterminową. Rozwiązaniem okazało się zastąpienie tradycyjnego sieciowania reakcją Dielsa-Aldera zachodzącą pomiędzy funkcjonalizowaną furfuryloaminą alginianem, a bismaleimidami. Zabieg ten znacznie wpłynął na poprawę stabilności hydrożelu i możliwość dostarczania substancji aktywnych (np. waniliny) [García-Astrain and Avérous, 2018].

Polimeryczne proleki utworzone przez koniugację leków z polimerami okazały się bardzo obiecujące w terapii przeciwnowotworowej, ze względu na lepszą farmakokinetykę w porównaniu z niemodyfikowanymi cząsteczkami leku, rozpuszczalność w wodzie i eliminację przedwczesnego uwalniania leku. Wykorzystując chemię „click” otrzymano podwójnie wrażliwy nanożel prolekowy, wykazujący zwiększoną stabilność podczas krążenia

i selektywne uwalnianie leku w komórkach rakowych. W tym przypadku reakcja „click” została wykorzystana zarówno do procesu sieciowania, jak i utworzenia koniugatu polimer – lek (DOX) (Rys.5). W porównaniu z wolną DOX i nieusieciowaną micelą proleku, taki nanożel gromadził się głównie w miejscu guza i dużo mniej w zdrowych narządach, co zapewniało zwiększoną skuteczność przeciwnowotworową i zmniejszoną toksyczność uboczną w stosunku do zdrowych tkanek [Zhang i in., 2016].

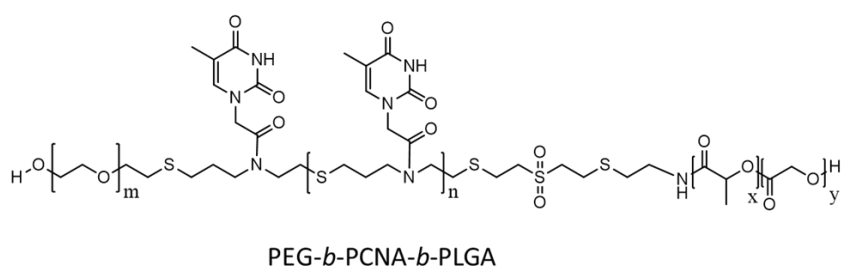
Innym przykładem jest polimeryczny prolek z jednoczesnym sprzężeniem kamptotecyny (CPT) i DOX, wykazujący wrażliwość nie tylko na pH, ale również czynniki redukujące. CPT funkcjonalizowaną grupą hydroksylową wykorzystano jako inicjator polimeryzacji dwóch cyklicznych monomerów fosforanowych, z których jeden posiadał wiązanie alkinowe. Zaś DOX funkcjonalizowana grupą azydkową, posiadająca dodatkowo w swojej strukturze wiązanie hydrazone (nie trwałe w środowisku kwasowym) została przyłączona do polimeru w wyniku reakcji „click”. Polimer taki tworzył stabilne nanocząstki uwalniając jednocześnie CPT i DOX w środowisku komórek nowotworowych, a ponadto wykazywał biokompatybilność i biodegradowalność oraz małą toksyczność [Dong i in., 2019].



**Rysunek 5. Synteza koniugatu polimer (nanożel) – lek (DOX)**

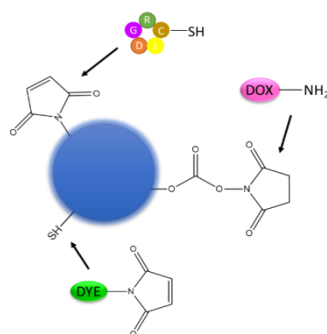
Najnowsze doniesienia literaturowe wskazują także na wykorzystanie reakcji „click” w otrzymywaniu polimerowych nośników genów. Z kolei jednoczesne podawanie leków przeciwnowotworowych i krótkich interferujących kwasów rybonukleinowych (siRNA) zwiększa skuteczność terapii przeciwnowotworowej, głównie ze względu na możliwość przezwyciężenia lekooporności. Jednak różnice chemiczne między kwasami nukleinowymi o charakterze jonowym, a lekami hydrofobowymi utrudniają zamknięcie obu składników w obrębie jednego nośnika, co stwarza potrzebę prowadzenia badań dotyczących sposobu ich współdostarczania. Opracowano m.in. nośnik oparty na chitozanie, którego odpowiednie grupy hydroksylowe zostały przekształcone w azydkowe i poddane reakcji „click” z funkcjonalizowaną alkinem poli(*N*-ε-karbobenzyl-L-lizyną), natomiast do grup aminowych został przyłączony transaktywator transkrypcji. Badania potwierdziły zdolności

tego typu nośników do wydajnego współdostarczania leków i genów bezpośrednio do jądra komórek rakowych [Wang i in., 2019]. Ponadto, opisano możliwość modyfikacji stosowanego już z powodzeniem blokowego kopolimeru zawierającego segment poli(laktyd-co-glikolid) (PLGA) i PEG (PEG-*b*-PLGA). Nośnik ten pomimo ukierunkowanego dostarczania leków do chemioterapii wykazywał bardzo słabą enkapsulację DNA lub RNA. Wykazano, że wprowadzenie dodatkowego segmentu, tj. syntetycznego analogu DNA (tzw. kwasu nukleinowego typu „click” tiol-ene, CNA) znacznie poprawia efekt enkapsulacji DNA przez nanocząstki kopolimeru trójblokowego PEG-*b*-PCNA-*b*-PLGA i jego dostarczanie do jąder komórkowych (Rys.6) [Harguindeguy i in., 2017].



**Rysunek 6. Struktura kopolimeru PEG-*b*-PCNA-*b*-PLGA**

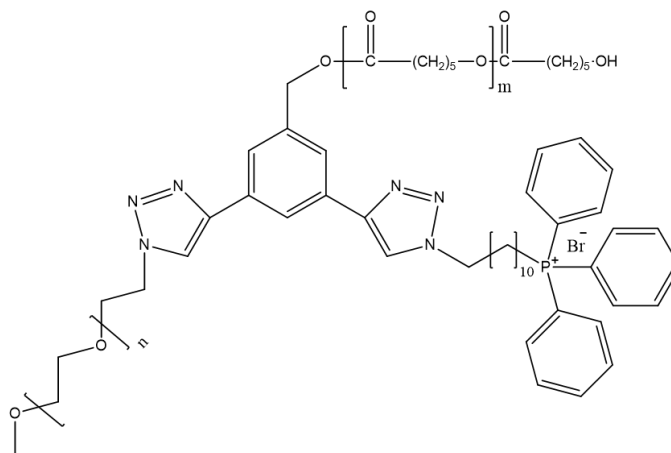
Kluczowe znaczenie ma również dostarczenie leku, bądź innej substancji aktywnej do ściśle określonego miejsca w organizmie, czyli tzw. terapia celowana, a często wykorzystywanymi nośnikami o takich właściwościach są nanożele wielofunkcyjne. W przypadku nanożelu posiadający trzy rodzaje reaktywnych grup funkcyjnych (hydroksylową aktywowaną za pomocą węglanu *N,N'*-disukcynoimidylu, maleimidową i tiolową), które mogą zostać poddane modyfikacjom (głównie poprzez reakcję „click”), aby nadać nośnikowi odpowiednią aktywność biologiczną. Do opisanego nanożelu przyłączono jednocześnie przeciwnowotworowy lek DOX, fluorescencyjny barwnik indocyjaninę i peptyd ukierunkowany na komórki rakowe, co zapewniło nie tylko dostarczanie leku, ale także terapię celowaną (Rys.7) [Chambre, Degirmenci, Sanyal, Sanyal, 2018].



**Rysunek 7. Schematyczna struktura wielofunkcyjnego nanożelu i możliwości modyfikacji jego grup funkcyjnych**

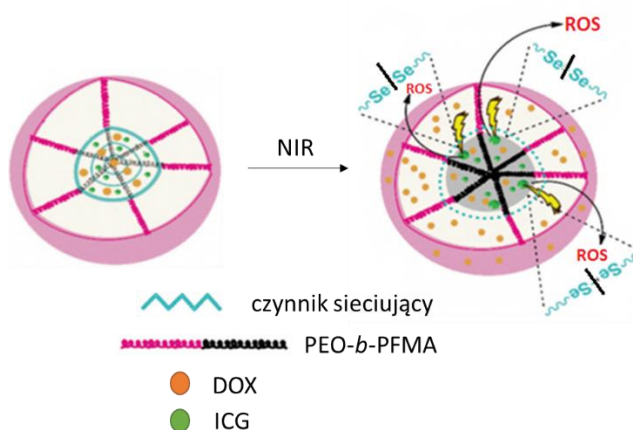
Inne wielofunkcyjne nanonośniki otrzymano w celu dostarczania koenzymu Q10 wprost do mitochondriów. Należą do nich polimery miktoramienne utworzone z PEG, poli(ε-kaprolaktonu) i bromku trifenylofosfoniowego przy użyciu kombinacji chemii „click”

i polimeryzacji z otwarciem pierścienia (Rys.8) [Sharma i in., 2012].



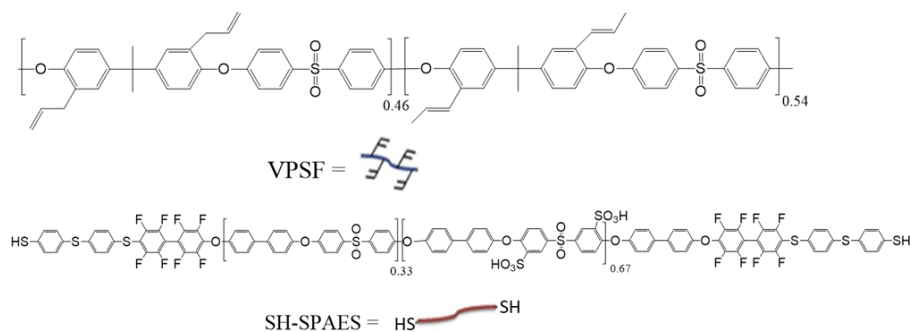
**Rysunek 8. Struktura wielofunkcyjnego nanonośnika dostarczającego koenzym Q10**

Biokompatybilny kopolimer blokowy zawierający PEG i poli(metakrylan furfurylu) (PEG-*b*-PFMA) wykazywał wrażliwość na promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni (NIR) ze względu na obecność jednostek zieleni indocyjaninowej (ICG). Ponadto układ zawierał nowy bismaleimidowy diselenkowy środek sieciujący, który włączono do układu dzięki reakcji Dielsa-Aldera, a także DOX. Promieniowanie NIR powoduje wytwarzanie przez ICG reaktywnych form tlenu, które mogą rozszczepiać wiązania diselenkowe w rdzeniu miceli niszcząc w efekcie strukturę usieciowaną. Pozwala to na szybkie uwolnienie DOX i prowadzi do znacznie zwiększonej apoptozy w ludzkich komórkach raka wątrobowokomórkowego (Rys.9) [Salma i in., 2018].



**Rysunek 9. Budowa miceli PEG-*b*-PFMA i ich zachowanie w wyniku promieniowania NIR**

Silnie sulfonowane membrany poli(arylenoeterosulfonowe) (SPAES) otrzymano w wyniku reakcji „click” typu tiol-ene pomiędzy SPAES z grupami tiolowymi, a polisulfonem funkcjonalizowanym grupą winylową. Układy te cechuje duża stabilność fizykochemiczna i właściwości elektrochemiczne, dzięki czemu mogą być stosowane w ogniwach paliwowych jako membrany do wymiany protonów (Rys. 10) [Han i in., 2019].



**Rysunek 10. Funkcjonalizowane substraty poddawane reakcji „click” do otrzymywania membran**

#### 4. Podsumowanie

Otrzymywanie nowych, ulepszonych nośników substancji biologicznie aktywnych jest ważnym aspektem szczególnie dzisiejszej medycyny, ale również kosmetologii i innych dziedzin życia. Duży nacisk na terapię celowaną, kontrolowane uwalnianie, wielofunkcyjność i wrażliwość na bodźce sprawia, że do syntezy potrzebne są reakcje wykazujące się szczególnymi właściwościami. Ponadto ważna jest ekonomia, czyli niskie koszty produkcji przy zachowaniu wysokiej wydajności, a także ekologia tj. nietoksyczne substraty, brak szkodliwych produktów ubocznych. Wszystkie te aspekty są gwarantowane przez reakcje „click chemistry”, które są coraz bardziej popularne i chętnie wykorzystywane do syntezy polimerowych nośników leków o czym świadczy przegląd literatury z ostatniego dziesięciolecia.

#### Bibliografia:

1. Chambre L., Degirmenci A., Sanyal R., Sanyal A. (2018). Multi-functional nanogels as theranostic platforms: exploiting reversible and nonreversible linkages for targeting, imaging, and drug delivery. *Bioconjugate Chemistry*, 29, s. 1885-1896.
2. Dai Y., Chen X., Zhang X. (2019). Recent advances in stimuli-responsive polymeric micelles via click chemistry. *Polymer Chemistry*, 10, s. 34-44.
3. Ding J.X., Zhao L., Li D., Xiao C.S., Zhuang X.L., Chen X.S. (2013). Thermo-responsive “hairy-rod” polypeptides for smart antitumor drug delivery. *Polymer Chemistry*, 4, s. 3345-3356.
4. Dong S., Sun Y., Liu J., Li L., He J., Zhang M., Ni P. (2019). Multifunctional polymeric prodrug with simultaneous conjugating camptothecin and doxorubicin for pH/reduction dual-responsive drug delivery. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11, s. 8740-8748.
5. Ganivada M.N., Kumar P., Kanjilal P., Dinda H., Das Sarma J., Shunmugam R. (2016). Polycarbonate-based biodegradable copolymers for stimuli responsive targeted drug delivery. *Polymer Chemistry*, 7, s. 4237-4245.
6. García-Astrain C., Avérous L. (2018). Synthesis and evaluation of functional alginate hydrogels based on click chemistry for drug delivery applications. *Carbohydrate Polymers*, 190, s. 271-280.
7. Gładysz M., Milecki J. (2014). Zastosowania "Click Chemistry" w modyfikacjach nukleozydów i oligonukleotydów. *Wiadomości Chemiczne*, 68, s. 7-8.

8. Han J., Kim K., Kim J., Kim S., Choi S-W., Lee H., Kim J-J., Kim T-H., Sung Y-E., Lee J-C. (2019). Cross-linked highly sulfonated poly(arylene ether sulfone) membranes prepared by in-situ casting and thiol-ene click reaction for fuel cell application. *Journal of Membrane Science*, 579, s. 70-78.
9. Harguindey A., Domaille D.W., Fairbanks B.D., Wagner J., Bowman C.N., Cha J.N. (2017). Synthesis and assembly of click-nucleic-acid-containing PEG-PLGA nanoparticles for DNA delivery. *Advanced Materials*, 29, s. 1700743-1700749.
10. Hu D., Peng H., Niu Y., Li Y., Xia Y., Li L., He J., Liu X., Xia X., Lu Y., Xu W. (2015). Reversibly light-responsive biodegradable poly(carbonate) micelles constructed via CuAAC reaction. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 53, s. 750-760.
11. Hu X., Tan H., Wang X., Chen P. (2016). Surface functionalization of hydrogel by thiol-yne click chemistry for drug delivery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 489, s. 297-304.
12. Ke W.D., Li J.J., Zhao K.J., Zhao Z.S., Han Y., Wang Y.H., Yin W., Zhang P., Ge Z.S. (2016). Modular design and facile synthesis of enzyme-responsive peptide-linked block copolymers for efficient delivery of doxorubicin. *Biomacromolecules*, 17, s. 3268-3276.
13. Kolb H. C., Finn M. C., Sharpless K.B. (2001). Click chemistry: diverse chemical function from a few good reactions. *Angewandte Chemie International Edition*, 40, s. 2004-2021.
14. Kwanghyok J. K., Ju B., Xiu J., Her R., Son S. (2018). Temperature and pH dual responsive 2-(dimethylamino)ethanethiol modified starch derivatives via a thiol-yne reaction for drug delivery. *Colloid and Polymer Science*, 296, s. 627-636.
15. Rostovtsev V. V., Green L. G., Fokin V. V., Sharpless K. B. (2002). A stepwise Huisgen cycloaddition process: copper(I)-catalyzed regioselective "ligation" of azides and terminal alkynes. *Angewandte Chemie International Edition*, 41, s. 2596-2599.
16. Salma S.A., Patil M.P., Kim D.W., Le C.M.Q., Ahn B-H., Kim G-D., Lim K.T. (2018). Near-infrared light-responsive, diselenide containing core-cross-linked micelles prepared by the Diels-Alder click reaction for photocontrollable drug release application. *Polymer Chemistry*, 9, s. 4813-4823.
17. Sharma A., Soliman G.M., Al-Hajaj N., Sharma R., Maysinger D., Kakkar A. (2012). Design and evaluation of multifunctional nanocarriers for selective delivery of coenzyme Q10 to mitochondria. *Biomacromolecules*, 13, s. 239-252.
18. Shinde V. S., Lende D. B., Parkale V. V. (2015). Click reaction: a new approach in chemistry. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 4, s. 821-823.
19. Tasdelen M. A. (2011). Diels-Alder "click" reactions: recent applications in polymer and material science. *Polymer Chemistry*, 2, s. 2133-2145.
20. Wang D., Wang J., Huang H., Zhao Z., Gunatillake P.A., Hao X. (2019). Brush-shaped RAFT polymer micelles as nanocarriers for a ruthenium (II) complex photodynamic anticancer drug. *European Polymer Journal*, 113, s. 267-275.
21. Wang G-H., Cai Y-Y., Du J-K., Li L., Li Q., Yang H-K., Lin J-T. (2019). TAT-conjugated chitosan cationic micelle for nuclear-targeted drug and gene co-delivery. *Colloids and Surfaces B: Biointerface*, 162, s. 326-334.

22. Zhang Y., Ding J., Li M., Chen X., Xiao C., Zhuang X., Huang Y., Chen X. (2016). One-step “click chemistry”-synthesized cross-linked prodrug nanogel for highly selective intracellular drug delivery and upregulated antitumor efficacy. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 817, s. 10673-10682.

### **Podziękowanie**

Praca finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2017-2020, jako projekt badawczy w ramach programu „Diamantowy Grant” nr 04/040/DG\_17/0072.

## 8. FACTORS AFFECTING THE AMOUNT OF SNOWFALL IN THE WESTERN ALPS BASED ON RESEARCH FROM 2006-2016

**Aneta Walas**

Uniwersytet Łódzki

Wydział Nauk Geograficznych

Email: aneta.walas2@gmail.com

**Key words:** snowfall, precipitation, Alps, mountains, atmospheric circulation

### 1. Introduction

A significant part of the Italian, Swiss and French rivers start in Alps. Mostly they are supplied with water by the melting glaciers. Low snowfall and high air temperature carry the risk that the snow cover start to fade. This can reduce rivers flow, what is a huge problem for people living in settlements below and for hydroelectric power stations, which use flow rates. Moreover, the vanishing snow cover may lead to the need of closing winter sport centers. As a result of intensive melting glaciers in the mountains, mass movements like crawling and landslide are initiated. The area previously position under ice is highly exposed to erosion, because it is not covered by vegetation. Monitoring of glaciers and change of thermal and precipitation conditions is important, but it is difficult due to the large spatial variability. In this paper I will discuss thermal and precipitation data from 2006-2017 with particular attention to snowfall. Five stations located at different heights - from 847 m a.s.l. up to 1970 m a.s.l., located in the Western Alps - will be used for the analysis. The main purpose of the work is to examine the impact of several different factors. To this purpose comparisons of snowfall heights during different weather conditions will be made and the effect of station location (factors such as air temperature, type of atmospheric circulation, nao indicator and station location on the amount of snowfall) on snowfall will be examined.

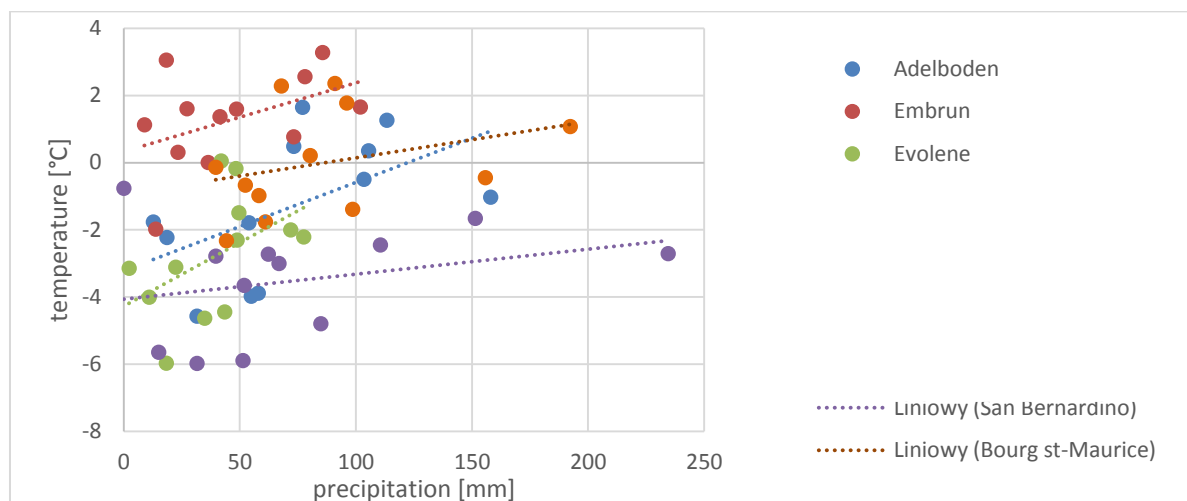
### 2. Working Methods

Five stations were selected for the analysis (Ebrun [975 m a.s.l.], Bourg-st. Maurice [868 m a.s.l.], Adelboden [1320 m a.s.l.], Evolene-Villaz [1828 m a.s.l.] and San Bernardino [1620 m a.s.l.]). This stations are located in the western Alps. Data on daily changes on air temperature, precipitations and phase of precipitation are taken from the tutiempo.com [5] website. Additionally, air circulation calendars compiled by P.Piotrkowski were used to analyze the impact of precipitation amount. Atmospheric circulation calendars were created based on 700 hPa geopotential values. To identified eight cyclonal and anticyclonal types of atmospheric circulation, an automatic method of determining types of atmospheric circulation was used. Based on the components of geostrophic wind speed and geostrophic wind vorticity, the direction of advection and the nature of atmospheric circulation were determined as the day with the predominant type of atmospheric circulation, it was assumed this one, which was recorded at least three times in the next 5 measurements (Piotrowski P. i Jędruszek J., 2013). The length of the data series related to the precipitation phase is not equal for all stations and depends on availability of data. For this reason, average monthly snow totals are analyzed, rather than comparisons of annual snowfall totals at different stations.



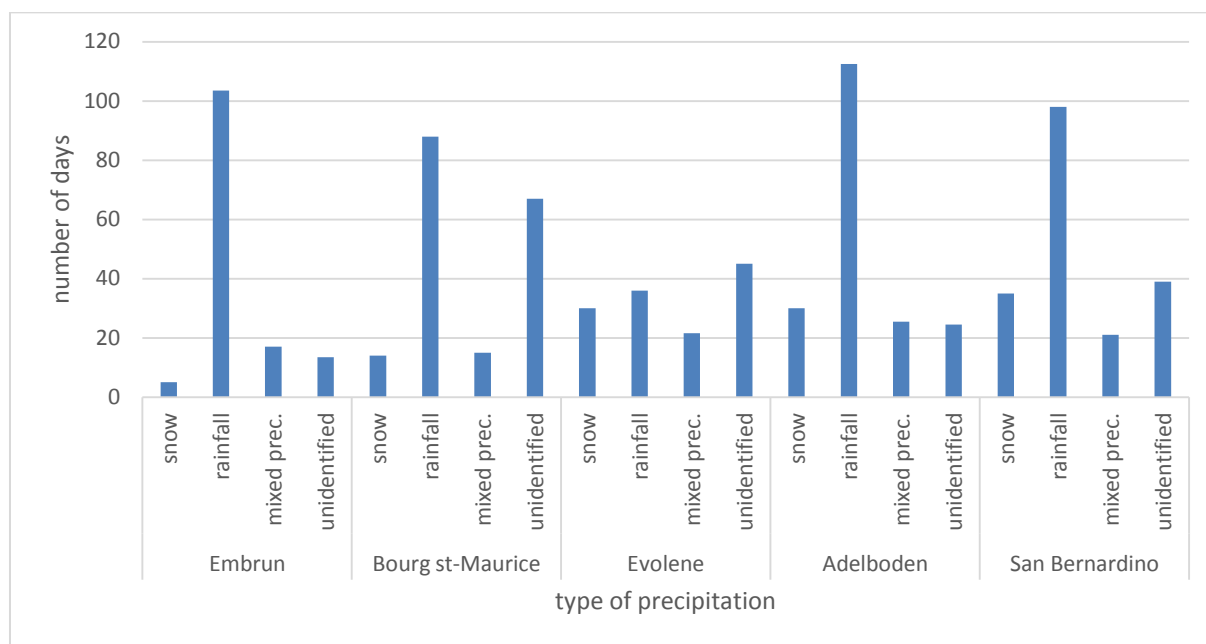
### 3. Results

According to naukaoklimacie.pl [6]- the higher the winter temperature, the higher the winterfall is. These words are confirmed by the example of a graph showing the average temperature and rainfall at stations in January. However, the situation was different at some stations in December, when higher average temperatures were accompanied by lower rainfall. The biggest correlation between temperature and amount of snowfall was observed at Adelboden station. [Fig.1] At San Bernardino station low correlation factor was probably called by rare, intense precipitation, which are characteristic for this place. This could affect significantly on average values.



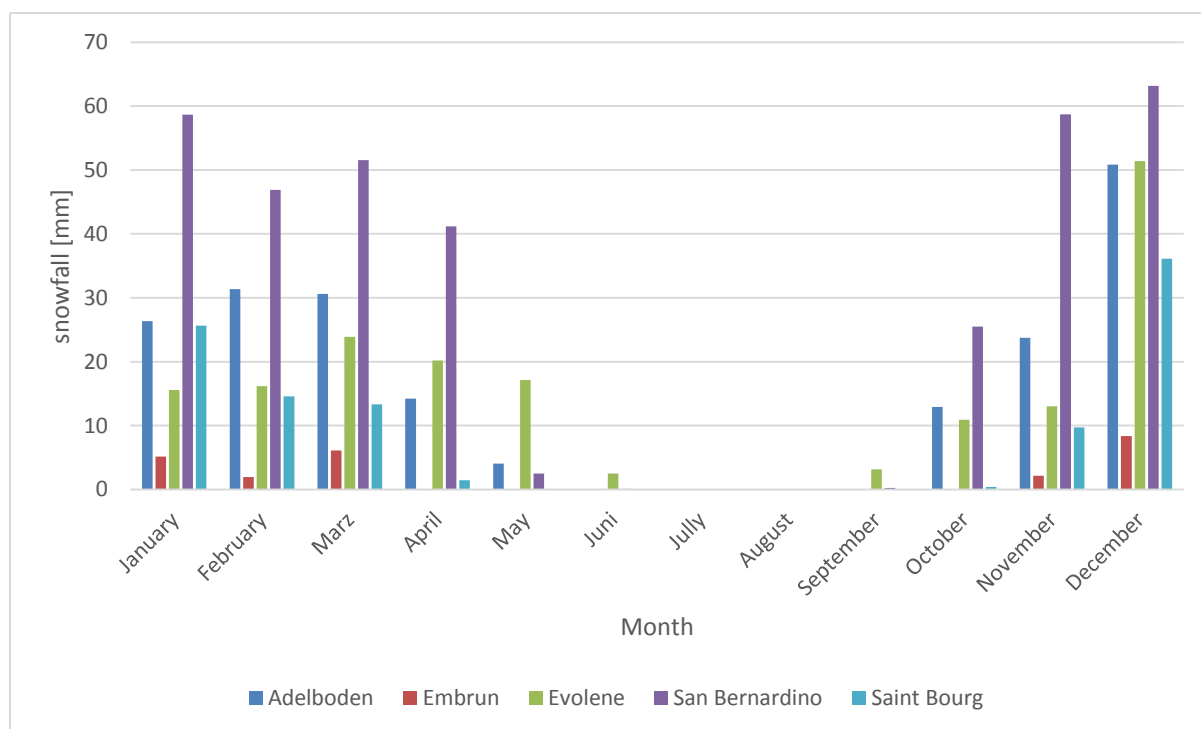
**Figure 1 The comparison of average temperature and precipitation for January in the years 2006-2017**

At all stations, the most days of the year with snowfall occurred at the San Bernardino station (about 35 days per year). Such a large result was mainly due to the high number of days with precipitation in general and the low temperature in the cold half-year. However, on average, rainfall was observed at this station more than 75 days per year. Days with snowfall at Bourg st-Maurice stations (14 days per year) and especially at Embrun station (5 days per year) were rare. Days with rain constituted a much larger proportion. It is caused by the location of the station below 1000 m a.s.l. and the situation the closest situation to the equator. The advantage of days with rain over days with snow at the Adelboden station is also clear - rainfall days there were almost four times as frequent. The increase in the number of days with snow is associated with higher latitudes and higher altitude at which the stations are located. Only at Evolene-Villaz station days with snow fall was more often than days with any other types of precipitation (30 days per year). The annual amounts of days with snowfall at Evolene and Adelboden station is almost the same. However, in conjunction with the relatively low average snowfall at this station, the yearly sum of precipitation is lower than for the Adelboden station. This is confirmed by the words of Witmer U. (1986), who conducted research from November 1970 - April 1980 and stated that the lowest snowfall is observed in Valais (southwestern Alps). Despite that numbers of days with snowfall is same, the average of precipitation is much lower and this makes the Valais valley one of the driest places in Alps.



**Figure 2 The average annual numbers of days with precipitation with division by type of precipitation**

The highest snowfall at every analyzed meteorological station occurs in December. In this month average snowfall at three stations (Adelboden, Evolene and San Bernardino) was higher than 30 mm/month. Among the selected stations, the highest sums this month are recorded at San Bernardino station. At the Evolene and Adelboden stations, which divide 700 meters high, it rains 100 mm/year less at Evolene than at Adelboden. Research posts located in Embrun and Bourg st-Maurice are at a similar height, but the first of them lies on the southern slope, in the shadow of high mountain ranges. It made that snowfall at this both stations, which are several kilometers apart means that the sum of snowfall varies significantly - at Bourg st-Maurice station they are three times higher. Southernmost station extension of the station and the altitude below 1000 m a.s.l cause that average monthly snowfall in 2006-2017 was observed from November to April. The highest amounts were observed at stations located on the southern slopes like San Bernardino and Adelboden. Although Evolene is on the southern slope, snowfall is low. This is because it is in the shadow shade - it is in a valley surrounded by high peaks. Evolene station is located near the Valais region, divides them less than 10 km, this area due to this location is one of the driest places in the Alps, just like Tyrol (Schwarb et al., 2001). Snowfall is observed the longest at the highest stations - this is closely related to the lower air temperature.



**Figure 2 The average monthly sums of snowfall from 2006 to 2017**

Most days with snowfall were observed during the advection from west direction during cyclonic circulation, these conditions were also conducive to high average daily snowfall at the stations: Adelboden, San Bernardino and Embrun. However, the number of days with precipitation at Embrun station is very low (Tab. 1). The highest average daily snowfall was observed during cyclonal circulation from southwest direction. Again, high average snowfall is associated with observations at the stations of Adelboden, San Bernardino and Embrun. During the cyclonic atmospheric circulation from west, southwest and northwest directions, frequent snowfall is observed at the stations of San Bernardino, Adelboden and Evolene. They are also accompanied by high average snowfall at the stations of Embrun, San Bernardino and Adelboden. A large number of days with advection from the west, southwest and northwest make them crucial in creating snowfall conditions for this region. High daily sums of snowfall are also observed during advection from east direction. However, this is a rare direction of advection for this area, and thus, the data cannot be treated as statistically significant. The highest average snowfall at Evolene station was observed during advection from directions where snowfall was rare. A much larger part of the total snowfall is observed during cyclonic atmospheric circulation, just as a higher number of days with precipitation is observed during low-pressure atmospheric circulation. It is surprising that a fairly large proportion of days with precipitation at Evolene station were in days when atmospheric circulation was high pressure, especially during advection from the northwest and west directions. However, low average precipitation totals accompanied them also. Although the station is at a high altitude, rfall is rare there and is very inefficient, because the air passing over the mountains that surround the valley flows down as drier and heats up as altitude decreases. Only thermal inversions can promote precipitation in this area. Although the number of days with snowfall at the station Embrun is much lower than at the station Bourg st-Maurice, its average snowfall sums are higher.

**Table 1. Average daily sums of snowfall depending on the direction of advection in the years 2006-2016**

|     | St. Bourg |           | Evelo |           | Adel |           | Embr |           | S. Ber |           |
|-----|-----------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|--------|-----------|
|     | day       | snow fall | day   | snow fall | day  | snow fall | day  | snow fall | day    | snow fall |
| Na  | 0,1       | 0,25      | 0,1   | 7,11      | 0,5  | 11,09     | -    | -         | 0,8    | 1,56      |
| NEa | -         | -         | 0,1   | 2,03      | 0,1  | 8,89      | -    | -         | -      | -         |
| Ea  | -         | -         | -     | -         | -    | -         | -    | -         | -      | -         |
| SEa | -         | -         | -     | -         | -    | -         | -    | -         | -      | -         |
| Sa  | -         | -         | -     | -         | -    | -         | -    | -         | -      | -         |
| SWa | 0,2       | 2,03      | 0,3   | 2,10      | 0,3  | 6,35      | 0,1  | 3,30      | 0,8    | 3,30      |
| Wa  | 0,2       | 2,48      | 2,4   | 0,53      | 0,6  | 7,50      | 0,4  | 1,08      | 2,2    | 6,84      |
| NWa | 1,3       | 0,94      | 3,7   | 0,44      | 1,8  | 5,10      | 0,3  | 9,84      | 1,2    | 5,12      |
| Nc  | 2,5       | 0,63      | 3,3   | 0,64      | 5,8  | 5,99      | 0,9  | 6,67      | 2,0    | 4,14      |
| NEc | 0,6       | 0,59      | 1,3   | 1,42      | 1,6  | 3,71      | 0,2  | 0,38      | 1,4    | 3,15      |
| Ec  | 0,5       | 1,30      | 0,3   | 9,02      | 0,9  | 5,33      | 0,2  | 1,27      | 0,8    | 10,50     |
| SEc | -         | -         | 0,1   | 7,11      | -    | -         | -    | -         | 0,6    | 2,03      |
| Sc  | 0,1       | 0,25      | 0,1   | 7,87      | -    | -         | -    | -         | 1,8    | 12,62     |
| SWc | 0,8       | 0,99      | 2,9   | 1,36      | 1,9  | 13,05     | 0,3  | 13,38     | 9,2    | 17,80     |
| Wc  | 3,8       | 0,51      | 8,4   | 0,34      | 7,0  | 7,05      | 1,1  | 7,28      | 8,8    | 10,06     |
| NWc | 3,9       | 0,79      | 7,3   | 0,30      | 8,3  | 8,81      | 1,8  | 4,82      | 5,0    | 6,76      |

#### 4. Summary

Summarizing the results of the analysis:

- Western advection has the greatest impact on snowfall, because it occurs most often in this latitude and is associated with high snowfall and a high number of days with precipitation.
- The highest snowfall at most stations is associated with the inflow of air masses from the southwest, west and northwest during low-pressure atmospheric circulation.
- Advection from the direction of the slope is usually associated with a greater number of days with snow and higher amounts of snowfall - for example, San Bernardino and Adelboden.
- As Barry showed (1981), slope exposure and the height of the surrounding mountain ranges have a much greater impact on the amount of snowfall than the height at which the station is located.
- We can expect the largest amount of snowfall in December. Depending on the height of the station, height and length of time it occurs, snowfall varies - the higher the station is located, the the longer the snowfall lasts.

#### Bibliography:

1. Barry R.G., 1981, Mountain weather and climate, Methuen, London and New York.
2. Piotrowski P. and Jędruszek J. (2013) Projections of thermal conditions for Poland for winters 2021–2050 in relation to atmospheric circulation Meteorologische Zeitschrift 22 (5), 569-575

3. Schwarb M., Daly C., Frei C. and Schar C. (2001) Mittlere jährliche Niederschlagshohen im europäischen Alpenraum. In Gruppe fur Hydrologie, Universit at Bern: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Berne: Landeshydrologie, Bundesamt fur Wasserund Geologie, volume 2.6.
4. Witmer U.(1986) Erfassung, Bearbeitung und Kartieren von Schneedaten in der Schweiz. Geogr. Bernensia.

**Websites:**

5. Tutiempo.com
6. Naukaokliamcie.pl

## 9. ANALIZA POZIOMU PYŁÓW ZAWIESZONYCH W POWIETRZU W WYBRANYCH MIASTACH WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO

**Monika Załuska**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji

Email: m.wysocka@doktoranci.pb.edu.pl

### Streszczenie:

Obecnie człowiek wywiera duży wpływ na środowisko naturalne, powodując w nim znaczące zmiany. Działalność człowieka, zwłaszcza w sektorze energetycznym i transportowym, generuje zanieczyszczenie różnych komponentów środowiska: wody, gleby, powietrza. Powietrze zewnętrzne można opisać jako mieszaninę gazów i mikrocząsteczek zanieczyszczeń różnego pochodzenia, zarówno antropogenicznego jak i naturalnego. Jakkolwiek nie mamy wpływu na emisję naturalną, jaką są pożary lasów, wybuchy wulkanów, pylenie roślin, to możemy istotnie ograniczyć emisję zanieczyszczeń natury antropogenicznej. Emisja substancji stanowiących źródło zanieczyszczeń powietrza wywiera różnorodne skutki – negatywnie wpływa na zdrowie ludzi oraz pogarsza stan środowiska naturalnego. Negatywne działanie zanieczyszczeń jest uzależnione od wielu czynników, przede wszystkim stężenia, właściwości fizykochemicznych oraz okresu oddziaływania na środowisko. Wśród wielu szkodliwych zanieczyszczeń powietrza, bardzo problematyczne są pyły zawieszone PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>. Ich negatywny wpływ na zdrowie i życie społeczeństwa jest ciągle aktualny, a skutki oddziaływania, zwłaszcza długotrwałego, nieustannie badane.

Celem opracowania jest analiza poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> w wybranych miastach województwa podlaskiego podczas sezonu grzewczego, porównanie z normami oraz końcowa ocena jakości powietrza atmosferycznego.

**Słowa kluczowe:** PM<sub>10</sub>, zanieczyszczenie powietrza, spaliny, jakość powietrza, pyły zawieszone

### 1. Wstęp

Rozwój gospodarczy, który pociąga za sobą wzmożoną działalność antropogeniczną jest przyczyną wzrostu poziomu zanieczyszczeń w powietrzu. Wśród nich można wyróżnić wiele związków obniżających jakość powietrza, w tym pyły zawieszone. Przeważająca część emisji pyłów zawieszonych następuje na skutek działalności człowieka, a jest spowodowana działalnością przemysłową, procesami spalania paliw w elektrociepłowniach oraz pojazdach (Le Quere i Raupach, 2009).

Poniżej przedstawiono główne kategorie źródeł emisji zanieczyszczeń pyłowych do powietrza (Rys.1).



**Rysunek 1. Źródła emisji zanieczyszczeń pyłowych do powietrza**

Źródło: Juda-Rezler K.(red.) (2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Można wyodrębnić pięć głównych kategorii źródeł emisji pyłów do powietrza atmosferycznego. Są nimi: energetyka zawodowa, energetyka przemysłowa, technologie wykorzystywane w przemyśle, źródła mobilne (silniki spalinowe pojazdów) oraz inne źródła stacjonarne (np. kotłownie lokalne i przydomowe, rolnictwo). W przypadku źródeł antropogenicznych w Polsce, głównymi nośnikami energii pierwotnej są węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny, przy przeważającym udziale paliw stałych (Nadziakiewicz, 2005, Juda-Rezler (red.), 2016, GUS, 2014). Skład stosowanych paliw stałych to głównie węgiel, wodór i siarka, ale także niepalne składniki mineralne, które podczas procesu spalania przekształcają się w cząstki żużlu i gruboziarnisty pył. Zazwyczaj cząstki pyłu ulegają rozdrobnieniu, co powoduje powstanie pyłu dyspersyjnego. Natomiast składniki mineralne w wysokiej temperaturze spalania ulegają częściowemu odparowaniu, sublimacji, a następnie kondensacji, co prowadzi do powstania pyłów koloidalnych. Ogólnie rozróżniamy następujące rodzaje pyłów zawieszonych, z uwagi na rozmiar cząstek (Juda-Rezler (red.), 2016):

- całkowity pył zawieszony (TSP – z ang. *Total Suspended Particles*),
- pył PM<sub>10</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek mniejszej niż 10  $\mu\text{m}$ ,
- pył drobny PM<sub>2,5</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek mniejszej niż 2,5  $\mu\text{m}$ ,
- pył submikronowy PM<sub>1</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek mniejszej niż 1,0  $\mu\text{m}$ ,
- pył ultradrobny PM<sub>0,1</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek poniżej 0,1  $\mu\text{m}$ .

Cząstki pyłów zawieszonych unoszących się w powietrzu atmosferycznym ujemnie wpływają na zdrowie ludzi i środowisko naturalne. Ich mikroskopijne rozmiary sprzyjają przedostawaniu się cząstek do płuc oraz układu krwionośnego, co powoduje przenikanie niebezpiecznych substancji w aż do struktur komórkowych. Pyły wykazują działanie rakotwórcze, alergiczne i drażniące organizm, powodują choroby układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. W połączeniu z wysoką zawartością wilgoci w powietrzu tworzą toksyczny smog, który jest bezpośrednią przyczyną dolegliwości zdrowotnych (Nantka, 2011, Kaiser, 2010, Cincinelli, 2017, Gładyszewska–Fiedoruk, 2013 i 2016). Dowiedziono, że długotrwała ekspozycja na pyły skraca życie przeciętnego mieszkańca Unii Europejskiej o około 8 miesięcy i jest przyczyną zwiększonej umieralności (Asikainen A., Wargocki P. i in. 2016, Asikainen A., Hänninen O., 2013).

## 2. Materiały i metody

Poniższe porównanie zawartości pyłów zawieszonych w powietrzu atmosferycznym oparto na ciągłym monitoringu i analizie stężeń zanieczyszczeń. To najlepsza metoda, pozwalająca na analizę składu mieszaniny powietrza i zanieczyszczeń w długim okresie, a następnie na ustalenie przyczyn zanieczyszczenia i zaplanowanie działań polepszających jakość powietrza (Chen i Winderlich, 2012, Gaj, 2016).

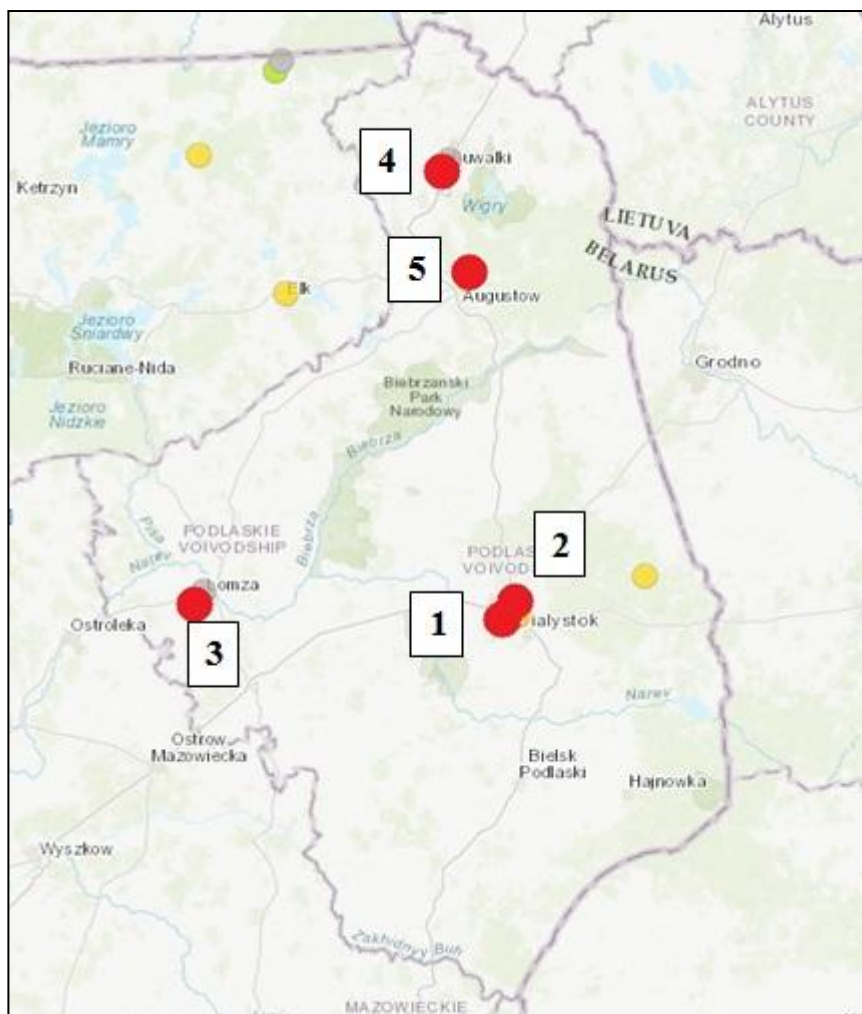
Województwo podlaskie charakteryzuje się niskim poziomem zawartości zanieczyszczeń w powietrzu, jednak z uwagi na obecne tereny leśne, liczne parki narodowe i rezerваты przyrody należy zwrócić szczególną uwagę na ciągły monitoring jakości powietrza i zapobieganie zanieczyszczeniom. Należy scharakteryzować województwo podlaskie pod kątem zagrożeń zanieczyszczenia powietrza:

- głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza jest opalanie kotłowni przydomowych paliwem niskiej jakości, co w okresie grzewczym powoduje tzw. niską emisję,
- poziom zanieczyszczeń przekraczający normy jest głównie notowany w okresie zimowym, czyli podczas zwiększonej emisji spalin z systemów grzewczych,
- zanieczyszczenia powietrza pochodzą również z sektora transportowego, jednak sieć dróg nie jest zbyt rozbudowana.

Na cele monitoringu zanieczyszczeń powietrza w województwie podlaskim działa pięć stacji pomiarowo-badawczych należących do Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Na stacjach monitorowane są stężenia następujących zanieczyszczeń: pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, tlenku węgla (CO), tlenków azotu NO<sub>x</sub>, tlenku siarki (SO<sub>2</sub>), metali ciężkich, zawartych w pyłe PM<sub>10</sub> (kadm, nikiel, ołów), ozonu (O<sub>3</sub>), benzenu (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

Na poniższej mapie (Rys. 2.) zobrazowano lokalizację stacji pomiarowych monitoringu powietrza na terenie województwa podlaskiego.





**Rysunek 2. Mapa stacji pomiarowych WIOŚ w województwie podlaskim**

Źródło: <http://powietrze.gios.gov.pl> (dostęp: 26.08.2019).

Stacje są zlokalizowane w następujących miastach na terenie województwa podlaskiego:

- stacja nr 1 – Białystok (ul. Waszyngtona),
- stacja nr 2 – Białystok (ul. Warszawska),
- stacja nr 3 – Łomża,
- stacja nr 4 – Suwałki,
- stacja nr 5 – Augustów (stacja mobilna).

W poniższej tabeli przedstawiono szczegółową specyfikację każdej ze stacji pomiarowych (Tab. 1.).

**Tabela 1. Szczegółowe informacje dotyczące stacji pomiarowych WIOŚ w województwie podlaskim**

| <b>Lokalizacja stacji Cecha</b> | <b>1 – Białystok</b>                                                                              | <b>2 – Białystok</b>                                   | <b>3 – Łomża</b>                                                                     | <b>4 – Suwałki</b>                               | <b>5 – Augustów</b>                                                             |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Kod krajowy/<br>międzynarodowy  | PdBialWaszyn / PL0148A                                                                            | PdBialWarsza/ PL0496A                                  | PdLomSikorsk/ PL0151A                                                                | PdSuwPułaskp/ PL0706A                            | PdAugustoZdrM OB/ PL0675A                                                       |
| Strefa                          | Aglomeracja Białostocka                                                                           | Aglomeracja Białostocka                                | strefa podlaska                                                                      | strefa podlaska                                  | strefa podlaska                                                                 |
| Nazwa stacji                    | Białystok-Miejska                                                                                 | Białystok-Warszawska                                   | Łomża, Sikorskiego 48/94                                                             | Suwałki, ul. Pułaskiego 26                       | Augustów - mobilne                                                              |
| Adres                           | Białystok, ul. Waszyngtona 16                                                                     | Białystok, ul. Warszawska 75A                          | Łomża, ul. Sikorskiego 48/94                                                         | Suwałki, ul. Pułaskiego 26                       | Augustów, ul. Zdrojowa                                                          |
| Mierzone stężenia               | pomiar automatyczny: PM2,5, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, benzen, pomiar manualny: PM10 | pomiar automatyczny: ozon, PM2,5 pomiar manualny: PM10 | pomiar automatyczny: SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , PM10 pomiar manualny: PM2,5 | pomiar automatyczny: PM2,5 pomiar manualny: PM10 | pomiar automatyczny: S O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, ozon, PM2,5, PM10 |
| Data rozpoczęcia pomiarów       | 2004-09-01                                                                                        | 2010-01-01                                             | 2002-01-01                                                                           | 2018-08-01                                       | 2017-01-01                                                                      |
| Wysokość n.p.m.                 | 145 m                                                                                             | 145 m                                                  | 128 m                                                                                | 169 m                                            | 126 m                                                                           |
| Typ obszaru                     | miejski                                                                                           | miejski                                                | miejski                                                                              | miejski                                          | miejski                                                                         |

Źródło: <http://www.wios.bialystok.pl> (dostęp 25.08.2019)

Pomiar pyłów zawieszonych jest prowadzony za pomocą certyfikowanych urządzeń oraz według określonej metody, co dokładnie opisano w Tab. 2.

**Tabela 2. Szczegółowe informacje dotyczące urządzeń pomiarowych i metody badawczej**

| Urządzenie pomiarowe                                         | Opis metody i dokładność pomiaru                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analizator PM10 – MLU TEOM1400a                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Istota działania: pomiar stężenia pyłu zawieszonego (PM10) w sposób ciągły metodą mikrowagi oscylacyjnej.</li> <li>Próg wykrywalności poniżej <math>0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> dla średnich 1-godzinnych przy prędkości przepływu powietrza równej 3 l/min.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Analizator pyłu zawieszonego PM2,5 – MetOne BAM 1020         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Istota działania: BAM-1020 automatycznie mierzy i rejestruje poziomy stężenia cząstek stałych w powietrzu (w mg lub <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>), stosując zasadę tłumienia promieniowania beta.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Pobornik pyłu zawieszonego PM10 – Comde-Derenda PNS 18T      | <ul style="list-style-type: none"> <li>PNS łączy próbnik o małej /średniej objętości (LVS lub MVS) i zmieniać filtrów w obudowie ze stali nierdzewnej. Zbiera drobne cząstki stałe na filtrach do pobierania próbek zgodnie z EN 12341: 2014 (PM10 i PM2.5). W tym celu pompa próżniowa zasysa powietrze z otoczenia, a system frakcjonuje unoszące się w powietrzu cząstki we wlocie do pobierania próbek. Powietrze zawierające pożądaną frakcję drobnych cząstek przechodzi następnie przez filtr, gdzie cząstki są gromadzone i udostępniane do późniejszej oceny lub analizy grawimetrycznej.</li> </ul> |
| Pobornik pyłu zawieszonego PM2,5 i PM10 – MCZ MicroPNS LVS16 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sterowany mikrokomputerem kolektor gazu do automatycznego próbkowania pyłu na filtrach membranowych o średnicy 47 mm lub 50 mm wg. z normą EN 12341. Automatyczne przełączanie w celu sekwencyjnego dopuszczenia do 16 filtrów. Przepływ gazu jest określany za pomocą kompensacji ciśnienia i temperatury i jest uwzględniany przez elektroniczną jednostkę sterującą w postaci zmiennej korygującej.</li> </ul>                                                                                                                                                      |

Źródło: <http://www.wios.bialystok.pl> (dostęp 25.08.2019).

Do analizy porównawczej wybrano pięć stacji pomiarowych na terenie województwa podlaskiego (Rys. 2.), gdzie rejestrowano stężenie pyłu zawieszonego PM10 w okresie od 1 października 2018 r. do 15 maja 2019 r., czyli podczas trwania okresu grzewczego. Kolejnym krokiem jest porównanie wartości pomiarów z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 poz. 1031).

**Tabela 3. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń powietrza**

| Substancja             | Okres uśredniania<br>wyników pomiarów | Dopuszczalny<br>poziom substancji w<br>powietrzu [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] | Dopuszczalna<br>przekraczania<br>dopuszczalnego w ciągu roku | częstość<br>poziomu |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|
| Pył zawieszony<br>PM10 | 24 godziny                            | 50                                                                            | 35 razy                                                      |                     |
|                        | rok kalendarzowy                      | 40                                                                            | -                                                            |                     |

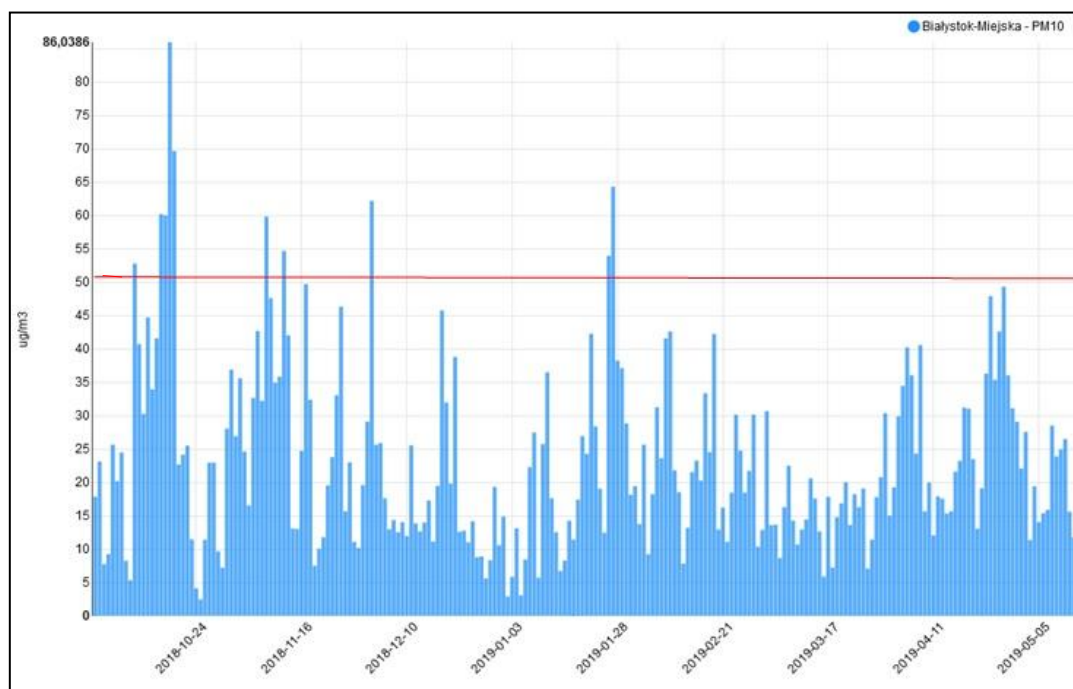
Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.)

\*) Poziom dopuszczalny dla pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> do osiągnięcia do dnia 1.01.2015 r. (faza I).

\*\*) Poziom dopuszczalny dla pyłu zawieszonego PM<sub>2,5</sub> do osiągnięcia do dnia 1.01.2020 r. (faza II).

### 3. Wyniki i dyskusja

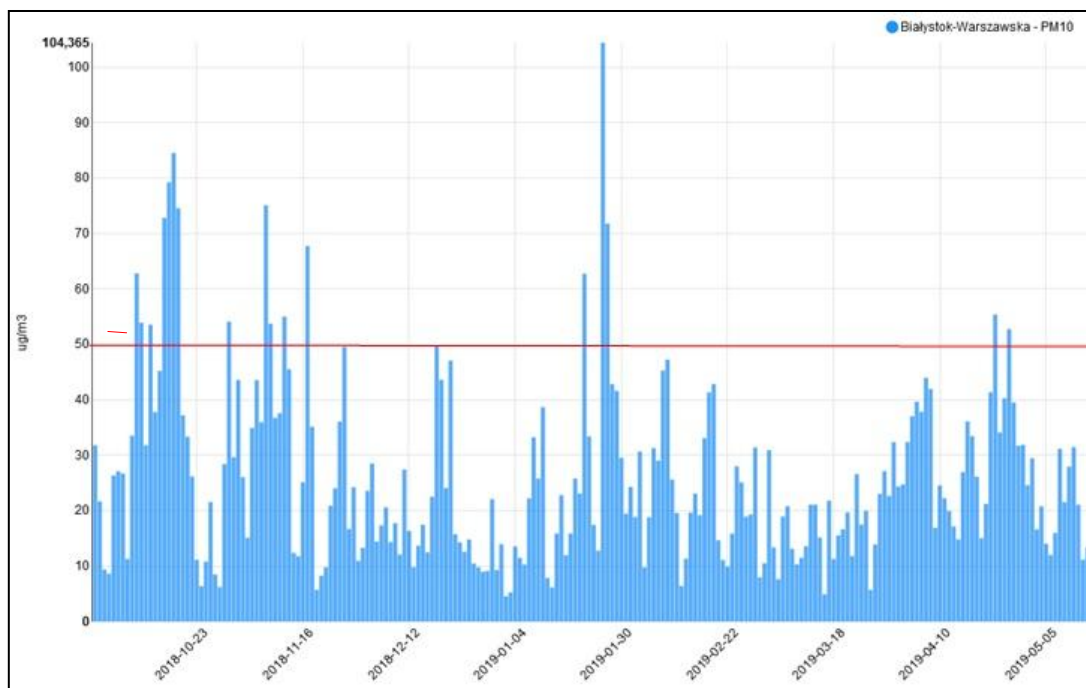
Dane poddane analizie pobrano ze strony <http://powietrze.gios.gov.pl>, pomiarów dokonał Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Białymstoku. Dopuszczalny poziom stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> w powietrzu w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  wynosi wg Rozporządzenia (Dz. U. 2012 poz. 1031) dla uśredniania 24-godzinnego 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 3. Stężenie PM<sub>10</sub> w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okresie 01.10.2018-15.05.2019 (stacja nr 1 – Białystok)**

Źródło: Dane ze stacji WIOŚ PdBiałWaszyn/ PL0148A.

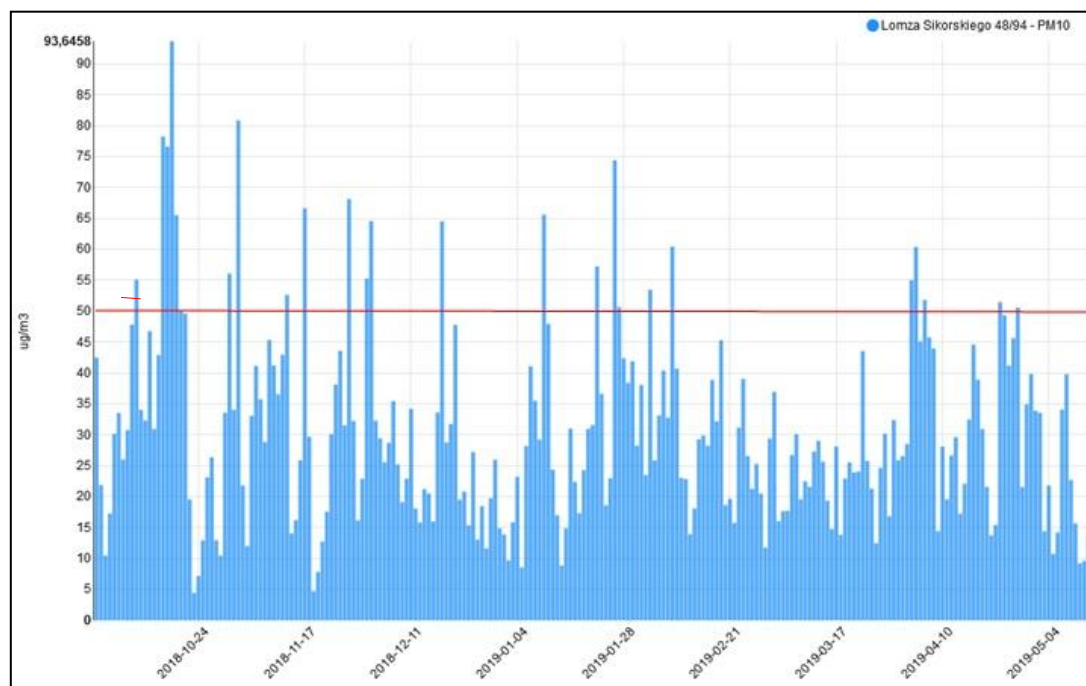
Wykres (Rys. 3.) przedstawia stężenie PM<sub>10</sub> podczas okresu grzewczego, odnotowane na stacji nr 1 w Białymstoku na ul. Waszyngtona, w okresie 01.10.2018-15.05.2019. W badanym przedziale czasowym odnotowano 10 dni, w których nastąpiły przekroczenia poziomu normy, czyli 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny poziom stężenia PM<sub>10</sub> wyniósł 86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , natomiast minimalny poziom to 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 4. Stężenie PM10 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okresie 01.10.2018-15.05.2019 (stacja nr 2 – Białystok)**

Źródło: Dane ze stacji WIOŚ PdBiałWarsza/PL0496A.

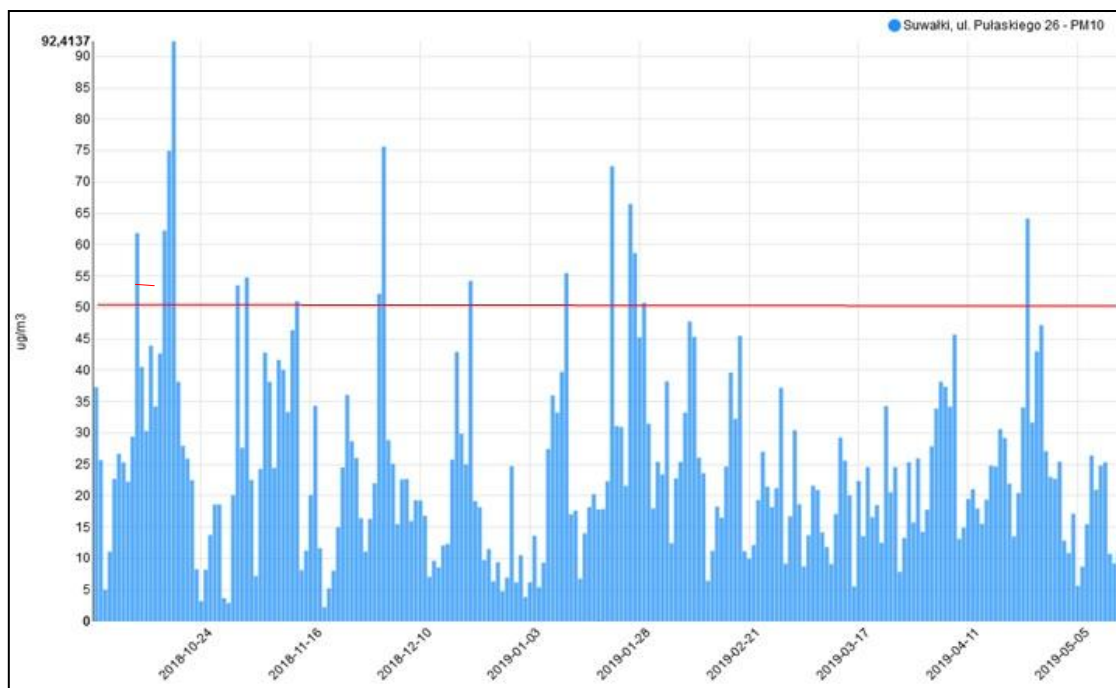
Wykres (Rys. 4.) przedstawia stężenie PM10 podczas okresu grzewczego, odnotowane na stacji nr 2 w Białymstoku na ul. Warszawskiej. W badanym przedziale czasowym odnotowano 17 dni, w których nastąpiły przekroczenia poziomu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny poziom stężenia PM10 wyniósł  $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , natomiast minimalny poziom to  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 5. Stężenie PM10 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okresie 01.10.2018-15.05.2019 (stacja nr 3 – Łomża)**

Źródło: Dane ze stacji WIOŚ PdLomSikorsk/PL0151A.

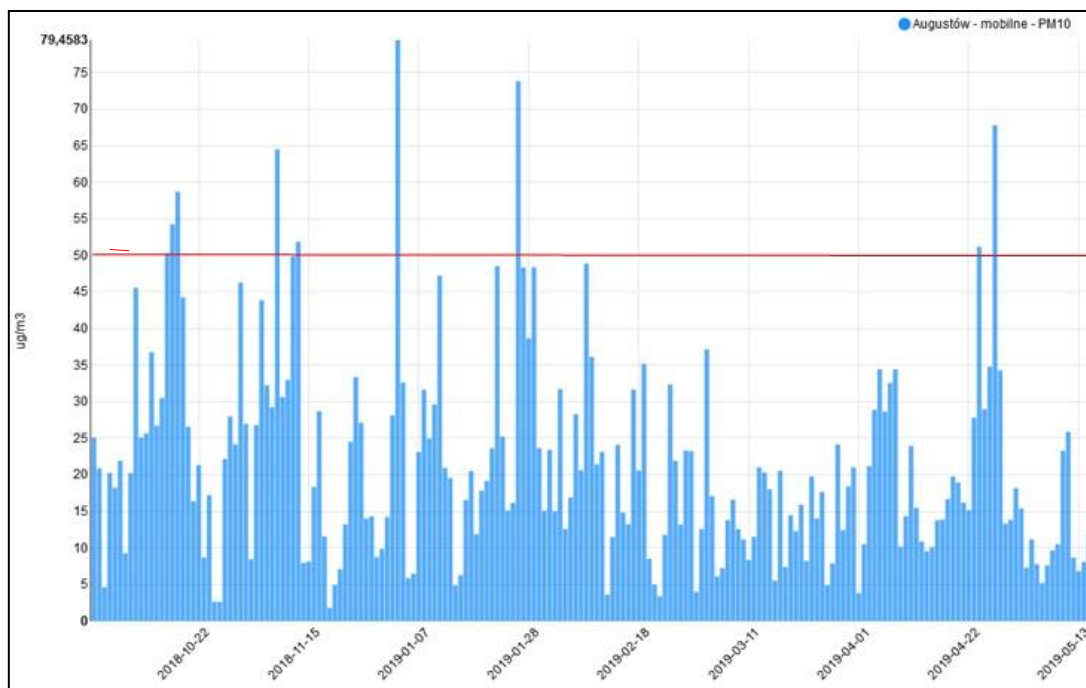
Wykres (Rys. 5.) przedstawia stężenie PM10 podczas okresu grzewczego, odnotowane na stacji nr 3 w Łomży na ul. Sikorskiego. W badanym przedziale czasowym odnotowano aż 25 dni, w których poziom stężenia PM10 przekroczył  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny poziom stężenia PM10 wyniósł  $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , natomiast minimalny poziom to  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 6. Stężenie PM10 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okresie 01.10.2018-15.05.2019 (stacja nr 4 – Suwałki)**

Źródło: Dane ze stacji WIOŚ PdSuwPulaskp/PL0706A.

Wykres (Rys. 6.) przedstawia stężenie PM10 podczas okresu grzewczego, odnotowane na stacji nr 4 w Suwałkach na ul. Pułaskiego, w okresie 01.10.2018-15.05.2019. W badanym przedziale czasowym odnotowano 16 dni, w których nastąpiło przekroczenie poziomu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny poziom stężenia PM10 wyniósł  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , natomiast minimalny poziom to  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Rysunek 7. Stężenie PM10 w  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w okresie 01.10.2018-15.05.2019 (stacja nr 5 – Augustów)**

Źródło: Dane ze stacji WIOŚ PdAugustoZdrMOB/PL0675A.

Powyższy wykres (Rys. 7.) obrazuje stężenie PM10 podczas okresu grzewczego, odnotowane na stacji mobilnej nr 5 w Augustowie na ul. Zdrojowej. W badanym przedziale czasowym odnotowano 10 dni, w których poziom stężenia PM10 przekroczył  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Maksymalny poziom stężenia PM10 wyniósł  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , natomiast minimalny poziom  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4. Wnioski

Niska jakość powietrza atmosferycznego wywołuje niekorzystne efekty ekonomiczne, społeczne i zdrowotne, dlatego ważnym działaniem jest ciągły monitoring poziomu zanieczyszczeń i wdrażanie działań polepszających jakość powietrza.

Analiza porównawcza stężenia PM10 podczas sezonu grzewczego w czterech wybranych miastach województwa podlaskiego pokazuje, że odnotowano przekroczenia dopuszczalnego poziomu  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Najniższą jakość powietrza w sezonie grzewczym stwierdzono w Łomży, gdzie przekroczenia wystąpiły podczas 25 dni. Przekroczenia norm najrzadziej występowały na stacji w Białymstoku na ul. Waszyngtona oraz w Augustowie, gdzie odnotowano 10 dni ze stężeniem wyższym niż  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pomimo, że jakość powietrza w wybranych miastach pod kątem pyłu PM10 jest zadowalająca, należy monitorować poziom zanieczyszczeń, zwłaszcza, że Podlasie leży na terenie Zielonych Płuc Polski.

**Artykuł został sfinansowany przy pomocy środków dla młodych naukowców, numer pracy własnej: MB/WBiŚ/15/2018, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Polsce.**



**Bibliografia:**

1. Asikainen A., Carrer P., Kephelopoulou S., Fernandes E., Wargocki P., Hänninen O. (2016) Reducing Burden of Disease from Residential Indoor Air Exposures in Europe (HEALTHVENT Project). *Environmental Health*, Vol.15 (Suppl 1).
2. Asikainen A., Hänninen O. (2013). Efficient reduction of indoor exposures. Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. Report 2/2013, National Institute of Health and Welfare, Tampere.
3. Chen H., Winderlich J. (2012). Validation of Routine Continuous Airborne CO<sub>2</sub> Observations near the Białystok Tall Tower. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(4), s. 873–889.
4. Cincinelli A., Martellini T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, no. 11, s. 1286.
5. Gaj K. (2016). Powietrze atmosferyczne: jakość, zagrożenia, ochrona: praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
6. Gładyszewska-Fiedoruk K. (2013). Jakość powietrza wewnętrznego ze szczególnym uwzględnieniem stężenia dwutlenku węgla. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
7. Gładyszewska-Fiedoruk K., Nieciecki M. (2016). Indoor Air Quality in a Multi-car Garage. *Energy Procedia*, 95, s. 132-39.
8. GUS (2014). Ochrona Środowiska 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
9. Juda-Rezler K.(red.) (2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
10. Kaiser K. (2010). Tlenek i dwutlenek węgla w pomieszczeniach. *Rynek Instalacyjny*, 9, s. 90-96.
11. Le Quere C., Raupach M. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, s. 831–836.
12. Nadziakiewicz J. (2005). Źródła zanieczyszczenia powietrza i metody oczyszczania gazów z zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom.
13. Nantka M.B. (2011). Wentylacja z elementami klimatyzacji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 1031 z późn. zm.)

**Wykaz stron internetowych:**

15. <http://www.wios.bialystok.pl>, 25.08.2019.
16. <http://powietrze.gios.gov.pl>, 26.08.2019.



## 10. ZASTOSOWANIE ELEKTROFILTRÓW W OCZYSZCZANIU POWIETRZA

**Monika Załuska**

Politechnika Białostocka

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji

Email: m.wysocka@doktoranci.pb.edu.pl

### Streszczenie:

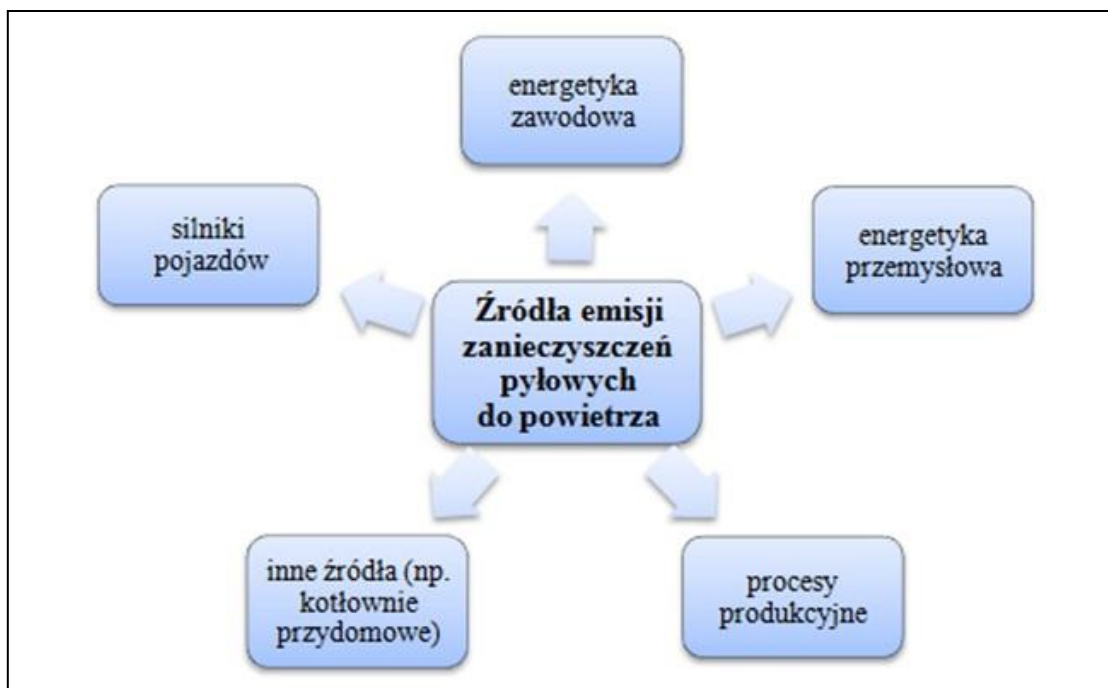
Sektor przemysłowy i energetyczny powodują emisję zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego. Niska jakość powietrza jest przyczyną wielu chorób i obniżonego komfortu życia społeczeństwa. W celu polepszenia jakości powietrza prawodawstwo krajowe i unijne narzuca standardy emisyjne dla poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń. Przestrzeganie wytycznych, co do czystości powietrza jest możliwe dzięki systemom oczyszczania spalin, które wykorzystują m.in. elektrofiltry, które są ekonomicznym i niezwykle skutecznym rozwiązaniem w procesach oczyszczania powietrza z pyłów. Ze względu na prostą zasadę działania i zdolność do oczyszczania dużych strumieni gazów, elektrofiltry są popularną metodą odpylania. Z uwagi na różnorodność rozwiązań technicznych, elektrofiltry mogą być łatwo dostosowane do potrzeb danego zakładu produkcyjnego czy elektrowni. Ponadto są narzędziem do osiągnięcia standardów emisyjnych dla pyłów PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, a co się z tym wiąże – do podwyższenia jakości powietrza w Polsce. W artykule omówiono przemysłowe zanieczyszczenia powietrza, skupiając się na pyłach PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, przedstawiono budowę, zasadę działania oraz rodzaje elektrofiltrów, a także standardy emisyjne dotyczące pyłów.

**Słowa kluczowe:** elektrofiltry, oczyszczanie powietrza, pyły zawieszone, zanieczyszczenie powietrza, jakość powietrza

### 1. Przemysłowe zanieczyszczenia powietrza

Wzrost poziomu zanieczyszczeń w powietrzu jest bezpośrednio związany z rozwojem gospodarczym, który wiąże się ze wzmożoną ingerencją człowieka w środowisko. Zanieczyszczenia, w tym pyły, znacząco obniżają jakość powietrza atmosferycznego. Dominująca część emisji cząstek stałych następuje w wyniku działalności człowieka, a wynika głównie z funkcjonowania przemysłu, procesów spalania paliw w sektorze energetycznym oraz silnikach pojazdów (Le Quere i Raupach, 2009).

Poniżej przedstawiono główne kategorie źródeł emisji zanieczyszczeń pyłowych do powietrza (Rys.1.).



**Rysunek 1. Źródła emisji zanieczyszczeń pyłowych do powietrza**

Źródło: Juda-Rezler K. (red.) (2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Wyróżnia się pięć podstawowych typów źródeł emisji zanieczyszczeń pyłowych do powietrza, są to: energetyka zawodowa, energetyka przemysłowa, przemysłowe procesy produkcyjne, silniki pojazdów oraz inne źródła stacjonarne (np. kotłownie przydomowe i lokalne). W przypadku procesów spalania, zanieczyszczenia natury antropogenicznej powstają głównie z nośników energii pierwotnej, którymi są węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa i gaz ziemny, przy przeważającym udziale paliw stałych (Nadziakiewicz, 2005, Juda-Rezler (red.), 2016, GUS, 2014). Paliwa stałe składają się głównie z węgla, wodoru i siarki, ale również z niepalnych składników mineralnych, przekształcających się podczas spalania w cząsteczki żużlu i pyłu. Jednym z największych problemów wynikających ze spalania paliw jest powstawanie pyłów zawieszonych (PM), które są przyczyną powstawania smogu. To poważny problem wielu krajów Europy, głównie z terenami uprzemysłowionymi, gdzie podstawą energetyki jest węgiel kamienny i brunatny. W Polsce problem zanieczyszczenia pyłami jest ciągle aktualny, można jednak zauważyć pozytywną tendencję obniżania poziomu stężenia PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> w powietrzu (Tab. 1.)

**Tabela 1. Stężenia PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> w powietrzu w latach 2010-2016 (w µg/m<sup>3</sup>)**

| Rodzaj zanieczyszczenia | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|
| PM <sub>2.5</sub>       | 58,5 | 44,8 | 51,5 | 39,0 | 35,5 |
| PM <sub>10</sub>        | 82,2 | 76,2 | 83,7 | 80,6 | 58,7 |

Źródło: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/poland> (dostęp: 01.09.2019 r.).

Ze względu na rozmiar cząstek, wyróżniamy następujące rodzaje pyłów zawieszonych (Juda-Rezler (red.), 2016):

- TSP – całkowity pył zawieszony (TSP – z ang. *Total Suspended Particles*),
- PM<sub>10</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek mniejszej od 10  $\mu\text{m}$ ,
- PM<sub>2,5</sub> – frakcja pyłu zawieszonego o średnicy cząstek mniejszej niż 2,5  $\mu\text{m}$ ,
- PM<sub>1</sub> – pył submikronowy zawieszony o średnicy cząstek mniejszej niż 1,0  $\mu\text{m}$ ,
- PM<sub>0,1</sub> - pył ultradrobny zawieszony o średnicy cząstek poniżej 0,1  $\mu\text{m}$ ,

Drobne rozmiary pyłu zawieszonego obecnego w powietrzu powodują, że z dużą łatwością przedostaje się on do ludzkiego organizmu, a w konsekwencji negatywnie wpływa na zdrowie i życie człowieka, obciążając układ oddechowy i krwionośny, co generuje różnego rodzaju choroby, a nawet przedwczesną śmierć. Pyły zawieszone charakteryzują się działaniem rakotwórczym, alergizującym i drażniącym, a w połączeniu z wysoką wilgotnością powietrza tworzą trującą mieszaninę smogu, który bezpośrednio powoduje dolegliwości zdrowotne (Cincinelli, 2017, Gładyszewska–Fiedoruk, 2013 i 2016, Gaj, 2016). Zbadano, że długotrwałe przebywanie w środowisku z wysokim stężeniem pyłów skraca życie przeciętnego mieszkańca UE o ok. 8 miesięcy i jest przyczyną zwiększonej umieralności (Asikainen A., Wargocki P. i in. 2016, Asikainen A., Hänninen O., 2013).

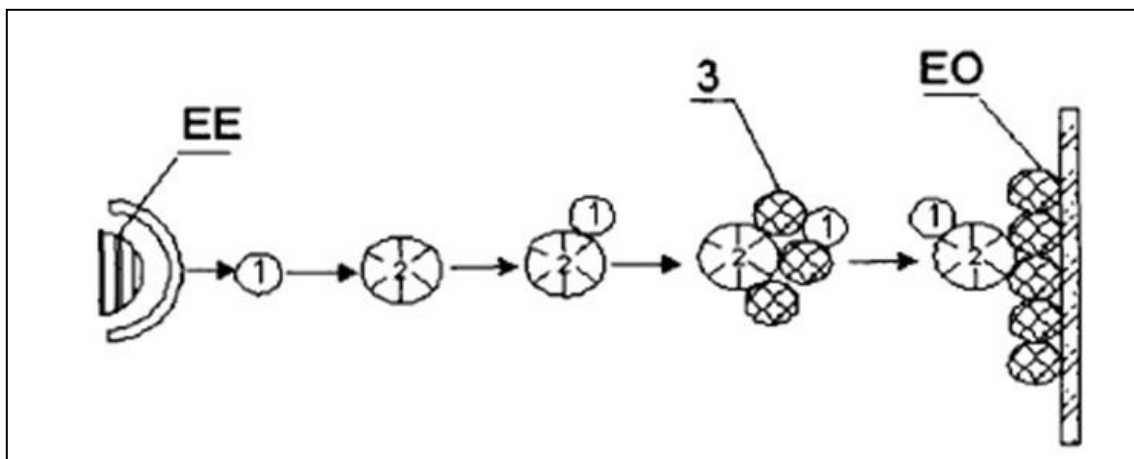
Szkodliwe działanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko i człowieka wymusiło opracowanie systemów oczyszczających powietrze. Ochrona środowiska i zdrowia społeczeństwa, a także normy krajowe i europejskie narzucają wartości dopuszczalne emisji pyłów, które muszą być dotrzymane przez elektrociepłownie i zakłady przemysłowe.

## 2. Czym są elektrofiltry?

### 2.1. Budowa i mechanizm działania elektrofiltru

Elektrofiltrami nazywamy urządzenia, których zasada działania opiera się na wykorzystaniu zjawiska elektrostatycznego do odpylania gazów (Tracz P. i in., 2016). To jedne z najstarszych urządzeń odpylających, a ich zasadę działania opracował Cottrell już w 1910 r. Bezpośrednie działanie sił pola elektrycznego na cząstki pyłu sprawia, że elektrofiltry odznaczają się wysoką efektywnością wykorzystania energii przy jednocześnie małym spadku ciśnienia gazu (50-200 Pa). Pozwala to na odpylanie dużych strumieni zanieczyszczonego gazu również w wysokich temperaturach. Odpylanie w elektrofiltrach nie jest pozbawione wad, które w określonych warunkach może obniżać sprawność odpylania, a są nimi: wrażliwość na zmiany właściwości fizycznych i chemicznych spalin oraz na objętość strumienia gazu oczyszczanego czy też możliwość zablokowania filtra przez szybkie gromadzenie się pyłów. Zasada działania elektrofiltru jest całkiem prosta, jednak proces odpylania dość skomplikowany, ponieważ jest zależny od szeregu parametrów, m.in. od aparatury i technologii procesów przemysłowych (Warych J., 1998).

Na poniższym schemacie (Rys. 2.) przedstawiono istotę działania pola elektrostatycznego w elektrofiltrze. Pod wpływem działania sił elektrycznych następuje przemieszczanie się cząstek pyłu (Iller E., Chmielewska D.K., 2002).



**Rysunek 2. Schemat ładowania i wydzielania cząstek aerozolowych w polu elektrostatycznym w elektrofiltrze**

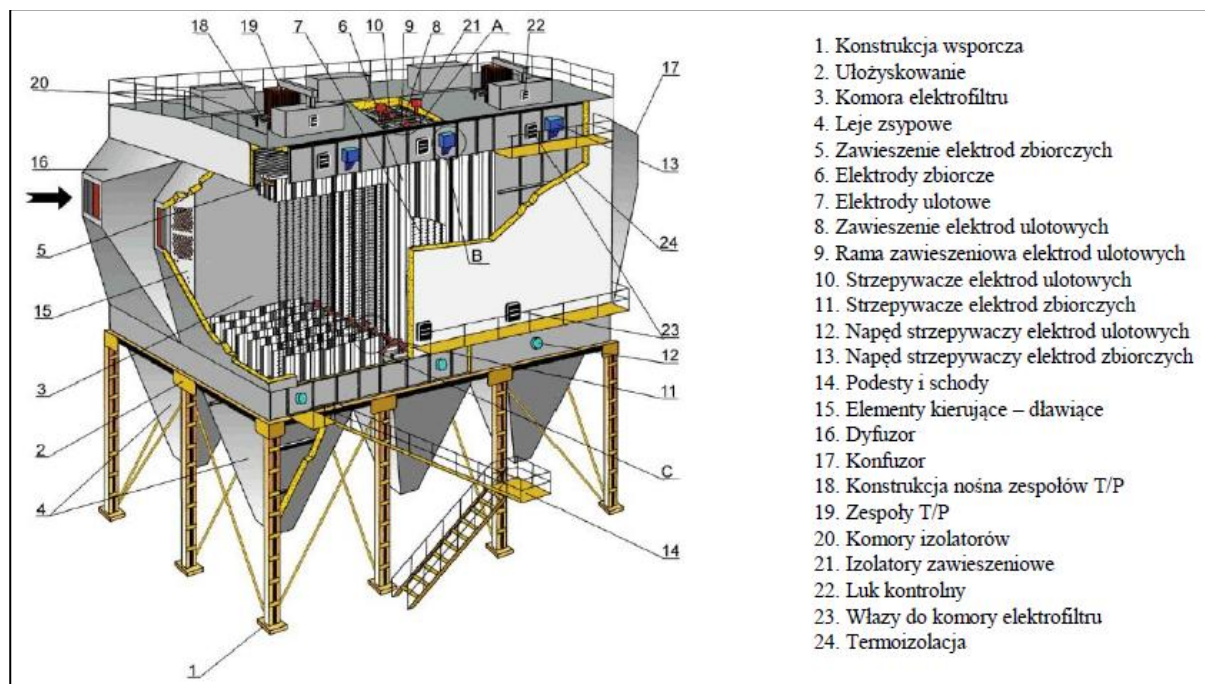
(EE – elektroda emisyjna, EO – elektroda osadcząca, 1 – swobodny elektron, 2 – cząsteczka gazu, 3 – cząsteczka pyłu)

Źródło: Iller E., Chmielewska D.K. (2002). Badania parametrów pracy małowadymowego elektrofiltru do usuwania aerozoli higroskopijnych soli amonowych z gazów odlotowych. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2002.

Odpylanie spalin przebiega w następujący sposób (Iller E., Chmielewska D.K., 2002):

- wysokie napięcie przyłożone do elektrod emisyjnych powoduje wyładowanie, podczas którego emitowane są elektrony swobodne, jonizujące cząsteczki gazu ładunkiem ujemnym,
- naładowane cząsteczki gazowe przemieszczają się ku elektrodzie o przeciwnym biegunie,
- gazowe jony ujemne pod wpływem działania pola elektrostatycznego przesuwają się do elektrod osadczych, osadzają się na ziarnach pyłu unoszących się w strumieniu spalin i nadają im ujemny ładunek,
- wpływ pola elektrycznego powoduje przemieszczanie się naładowanych cząstek pyłu w kierunku elektrod osadczych,
- zetknięcie cząstek pyłu z elektrodą osadczą powoduje oddanie ładunku elektrycznego i pozostanie pyłu na elektrodzie,
- warstwa osadu pyłowego staje się coraz grubsza i odrywa się od ścianek filtru pod wpływem działania grawitacji lub jest usuwana strzepywaczem do leja zsypowego,
- użycie przenośnika zgrzeblowego oraz podajnika pozwala na usunięcie produktu stałego z elektrofiltru.

Podstawowymi elementami składowymi elektrofiltru są: komora, wyposażenie i zespół zasilający (elektryczny). Zależnie od typu elektrofiltru (patrz pkt 2.2.) wyposażenie komory jest zróżnicowane. Wielostrefowa konstrukcja filtru pozwala na zamontowanie odrębnych zespołów zasilających w poszczególnych strefach, co umożliwia dostosowanie napięcia zasilającego do warunków gazowo-pyłowych. Takie działanie podnosi efektywność odpylania spalin. Poniżej przedstawiono budowę elektrofiltru poziomego (Rys. 3.).



**Rysunek 3. Budowa elektrofiltru poziomego**

Źródło: Tracz P., Biały L., Waclawiak K. (2016). Directions of improvements of modern electrostatic precipitators. Archives of Waste Management and Environmental Protection, 18, 1, s. 45-60.

## 2.2. Rodzaje elektrofiltrów

Wszystkie elektrofiltry wykorzystują pole elektrostatyczne do wychwytywania cząstek, jednak można wyróżnić wiele ich rodzajów ze względu na konstrukcję czy produkt końcowy oczyszczania. Rodzaje elektrofiltrów przedstawia poniższy schemat (Rys. 4.)



**Rysunek 4. Klasyfikacja elektrofiltrów ze względu na różne kryteria**

Źródło: Iller E., Chmielewska D.K. (2002). Badania parametrów pracy małogabarytowego elektrofiltru do usuwania aerozoli higroskopijnych soli amonowych z gazów odlotowych. IChTJ, Warszawa 2002.

Pierwszym kryterium podziału jest liczba pracujących równolegle i tworzących oddzielne ciągi gazowe sekcji, gdzie wyróżnia się elektrofiltry jednosekcyjne, dwusekcyjne, trójsekcyjne i wielosekcyjne. Filtry są dzielone na sekcje w przypadku usuwania pyłów z dużych objętości gazu. Takie rozwiązanie umożliwia naprawę elektrofiltru bez konieczności wyłączania z pracy całego odpylacza. Drugie kryterium klasyfikacji to stan fizyczny wydzielanych cząstek pyłu, gdzie wyodrębnia się elektrofiltry suche i mokre. Wybór metody mokrej lub suchej odpylania okazuje się być wypadkową właściwości układu gazowo-pyłowego, wybranej technologii odpylania oraz wymaganej sprawności działania urządzenia. Kolejnym kryterium podziału elektrofiltrów jest układ stref ładowania i wydzielania cząstek pyłowych z gazu. W tym przypadku wyróżnia się elektrofiltry jednostopniowe, które posiadają strefę ładowania i wydzielania cząstek pyłowych we wspólnym polu elektrostatycznym oraz elektrofiltry dwustopniowe z odseparowanymi strefami. Filtry z dwustopniowym oczyszczaniem są wyposażone w elektrody, które pełnią odrębne funkcje. W stopniu wlotowym (I) na skutek działania potencjału dodatniego zetkniętego z elektrodą emisyjną pojawia się wyładowanie korowe i ładowanie mikrocząstek pyłowych. Po krótkim czasie ekspozycji aerozolu w strefie wlotowej (I), następuje przepływ strumienia spalin do strefy drugiej, gdzie zanieczyszczenia pyłowe są osadzane na elektrodzie osadczącej (w formie płyty lub cylindra). Okres przebywania cząstek w strefie drugiego stopnia oczyszczania jest kilka razy dłuższy niż w stopniu wlotowym, co skutkuje efektywnym oddzieleniem pyłów z aerozolu. Z uwagi na kierunek przepływu aerozolu względem powierzchni ziemi wyodrębnia się elektrofiltry poziome i pionowe. Pierwsze z nich zajmują wprawdzie dużą powierzchnię, jednak umożliwiają szeregowe umieszczenie w komorze co najmniej dwóch pól elektrycznych, co podwyższa skuteczność odpylania i gwarantuje dość wysoką stabilność pracy urządzenia (Lutyński J., 1965, Warych J., 1998, Iller E. i Chmielewska D.K., 2002).

### 3. Standardy emisji

Procesy energetyczne i przemysłowe nierozzerwalnie wiążą się ze spalaniem paliw, a co za tym idzie – z emisją zanieczyszczeń do atmosfery, w tym pyłów (PM). Urządzenia odpylające, w tym elektrofiltry, mają za zadanie zatrzymywać cząstki i uniemożliwić im nadmierne przedostawanie się do powietrza atmosferycznego. Obecnie, normy emisji regulują przepisy krajowe oraz unijne. Poniżej przedstawiono dopuszczalne progi emisji pyłów do powietrza według Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 1 marca 2018 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów (Dz.U. 2018 poz.680) (Tab. 2.).

**Tabela 2. Standardy emisyjne pyłu dla źródeł opalanych paliwami stałymi i ciekłymi, z wyłączeniem silników**

| Nominalna moc cieplna źródła w MW | Standardy emisyjne pyłu w mg/m <sup>3</sup> <sub>u</sub> |                        |                                                                                                   |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                   | przy zawartości 6% tlenu w gazach odlotowych             |                        | przy zawartości tlenu w gazach odlotowych: dla turbin gazowych – 15%, dla pozostałych źródeł – 3% |
|                                   | biomasa i torf                                           | pozostałe paliwa stałe | paliwa ciekłe                                                                                     |
| ≥ 50 i ≤ 100                      | 30                                                       | 30                     | 30                                                                                                |
| > 100 i ≤ 300                     | 20                                                       | 25                     | 25                                                                                                |
| > 300                             | 20                                                       | 20                     | 20                                                                                                |

Źródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 marca 2018 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów (Dz.U. 2018 poz.680).

Tabela 2. zawiera informacje dotyczące dopuszczalnych poziomów emisji pyłów do powietrza w zależności od nominalnej mocy cieplnej źródła. Podniesienie standardów dotyczących starych i nowo powstających instalacji, a także obniżenie dopuszczalnych poziomów emisji z pewnością przyczyni się do lepszej jakości powietrza. Osiągnięcie standardów krajowych i unijnych jest możliwe dzięki nowoczesnym rozwiązaniom w systemach spalania oraz m.in. elektrofiltrów, które posiadają wysoką skuteczność odpylania, sięgającą do 99%.

#### 4. Podsumowanie

Elektrofiltry są ekonomicznym i niezwykle skutecznym rozwiązaniem w procesach oczyszczania powietrza z pyłów. Sektor energetyczny jak i przemysłowy szeroko stosuje tego rodzaju odpylacze, w celu osiągnięcia standardów emisji dyktowanych przez przepisy krajowe i unijne.

Ze względu na prostą zasadę działania i zdolność do oczyszczania dużych strumieni gazów, elektrofiltry są popularną metodą odpylania. Z uwagi na różnorodność rozwiązań technicznych, elektrofiltry mogą być łatwo dostosowane do potrzeb danego zakładu produkcyjnego czy elektrowni. Ponadto są narzędziem do osiągnięcia standardów emisyjnych dla pyłów PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, a co się z tym wiąże – do podwyższenia jakości powietrza w Polsce.

Artykuł został sfinansowany przy pomocy środków dla młodych naukowców, numer pracy własnej: MB/WBiŚ/15/2018, finansowanych przez Ministerstwo Nauk i Szkolnictwa Wyższego w Polsce.

#### Bibliografia:

1. Asikainen A., Carrer P., Kephelopoulous S., Fernandes E., Wargocki P., Hänninen O. (2016) Reducing Burden of Disease from Residential Indoor Air Exposures in Europe (HEALTHVENT Project). Environmental Health, Vol.15 (Suppl 1).

2. Asikainen A., Hänninen O. (2013). Efficient reduction of indoor exposures. Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. Report 2/2013, National Institute of Health and Welfare, Tampere.
3. Cincinelli A., Martellini T. (2017). Indoor Air Quality and Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, no. 11, s. 1286.
4. Gaj K. (2016). Powietrze atmosferyczne: jakość, zagrożenia, ochrona: praca zbiorowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
5. Gładyszewska-Fiedoruk K. (2013). Jakość powietrza wewnętrznego ze szczególnym uwzględnieniem stężenia dwutlenku węgla. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok.
6. GUS (2014). Ochrona Środowiska 2014, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
7. Iller E., Chmielewska D.K. (2002). Badania parametrów pracy małogabarytowego elektrofiltru do usuwania aerozoli higroskopijnych soli amonowych z gazów odlotowych. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2002.
8. Juda-Rezler K.(red.)(2016). Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
9. Le Quere C., Raupach M. (2009). Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*, 2, s. 831–836.
10. Lutyński J. (1965). Elektrostatyczne odpylanie. WNT, Warszawa.
11. Nadziakiewicz J. (2005). Źródła zanieczyszczenia powietrza i metody oczyszczania gazów z zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom.
12. Gładyszewska-Fiedoruk K., Nieciecki M. (2016). Indoor Air Quality in a Multi-car Garage. *Energy Procedia*, 95,s. 132-39.
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 marca 2018 r. w sprawie standardów emisyjnych dla niektórych rodzajów instalacji, źródeł spalania paliw oraz urządzeń spalania lub współspalania odpadów (Dz.U. 2018 poz.680)
14. Tracz P., Biały L., Waclawiak K. (2016). Directions of improvements of modern electrostatic precipitators. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 18, 1, s. 45-60.
15. Warych J. (1998). Oczyszczanie gazów – procesy i aparatura. WNT, Warszawa.

**Wykaz stron internetowych:**

15. <http://www.wios.bialystok.pl>, 25.08.2019.
16. <http://powietrze.gios.gov.pl>, 26.08.2019.
17. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/poland>, 01.09.2019.



## **11. PODSTAWOWE WYMAGANIA BUDYNKÓW MAGAZYNOWYCH W ASPEKcie BEZPIECZEŃSTWA PRACOWNIKÓW PODCZAS ICH UŻYTKOWANIA**

**Łukasz Lipski**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wydział Humanistyczny

Instytut Nauk Społecznych i Bezpieczeństwa

Email: lipski.lukasz111@gmail.com

0000-0001-6171-5286

### **1. Wstęp**

W związku z rozwojem handlu i usług pojęcie „magazyn” zostało w ostatnich latach bardzo rozszerzone: z jednostki organizacyjnej przeznaczonej do magazynowania zapasów przekształcił się w miejsce dystrybucji towarów – od przedsiębiorstwa handlowego do wielu producentów, jak też od producentów do sieci handlowych. Magazyn to obecnie już nie pomieszczenie czy budynek przy przedsiębiorstwie, a coraz częściej część dużej firmy logistycznej zarządzającej planowaniem, realizowaniem i kontrolowaniem sprawnego i efektywnego przepływu surowców, materiałów, wyrobów gotowych od producenta do konsumenta [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\_nfpb=true&\_pageLabel=P30001831335539182278&html\_tresc\_root\_id=10118&html\_tresc\_id=10300&html\_klucz=19558 - dostępność dnia 24.08 2019 r.].

W artykule zaprezentowano kryteria jakie muszą spełniać obiekty magazynowe w celu prawidłowego składowania i przechowywania materiałów różnego rodzaju oraz przedstawiono niebezpieczeństwa jakie mogą w nich wystąpić wraz z ukazaniem środków zapobiegawczych zagrożeniom podczas ich użytkowania przez pracowników.

Praca ma charakter przeglądowy i ma na celu uświadomienie czytelnikowi jak ważne jest przestrzeganie przepisów związanych z bezpieczeństwem w miejscu pracy. Zagrożenia jakie mogą wystąpić podczas eksploatacji budynków mogą spowodować trwałe uszczerbek na zdrowiu oraz doprowadzić do śmierci wielu osób znajdujących się na obiekcie magazynowym.

### **2. Podstawowe kryteria jakie powinien spełniać budynek magazynowy**

Podstawowe wymagania jakie muszą spełniać obiekty magazynowe zawarte są w:

- Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie,
- Ustawie z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane,
- Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy,
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 11 stycznia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów.

Budynki magazynowe muszą być odpowiednio dostosowane do rodzaju przechowywanych materiałów, stosowanych systemów transportu oraz liczby zatrudnionych pracowników, tak by zapewnić im odpowiednie – wymagane przepisami warunki bezpieczeństwa i higieny pracy. Jeżeli w obiekcie zatrudnione będą również osoby niepełnosprawne (w szczególności poruszające się na wózkach inwalidzkich), to warunki należy dostosować do potrzeb i możliwości tych osób [L. Zieliński, BHP w magazynie, Wiedza i praktyka, Warszawa 2015 s. 12].

**Tabela 1. Klasyfikacja obiektów magazynowych**

| Klasyfikacja obiektów magazynowych                                             |                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Kryteria podziału                                                              | Rodzaje obiektów                                   |
| rodzaje budowli                                                                | otwarte: place składowe, baseny, doły              |
|                                                                                | półotwarte: wiaty                                  |
|                                                                                | zamknięte: niskie, piętrowe, wysokiego składowania |
|                                                                                | Specjalne: silosy, cysterny                        |
| rodzaju wyposażenia w urządzenia do składowania                                | niskie składowania do 4,2 m                        |
|                                                                                | średniego składowania od 4,2 do 7,2 m              |
|                                                                                | wysokiego składowania powyżej 7,2m                 |
| rodzaju działalności prowadzonej przez przedsiębiorstwo wykorzystujące magazyn | przemysłowe                                        |
|                                                                                | handlowe                                           |
|                                                                                | transportowe                                       |
|                                                                                | usługowe                                           |
|                                                                                | skupu                                              |
| pełnionej funkcji                                                              | magazyn zapasów – w zakładach produkcyjnych        |
|                                                                                | magazyn przeładunkowy – w firmach transportowych   |
|                                                                                | magazyn dystrybucyjny – w firmach zaopatrzeniowych |
| sposobu użytkowania                                                            | własne                                             |
|                                                                                | usługowe                                           |
|                                                                                | wspólne                                            |
|                                                                                | międzybranżowe                                     |
|                                                                                | regionalne                                         |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: L. Zieliński, BHP w magazynie, Wiedza i praktyka, Warszawa 2015 s. 9, 10.

Budynki magazynów, w których znajdują się pomieszczenia pracy, powinny być projektowane i budowane zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, prawa budowlanego oraz ochrony przeciwpożarowej. Innymi słowy, muszą być zbudowane i utrzymywane zgodnie z wymaganiami określonymi w przepisach techniczno-budowlanych. W szczególności trzeba zadbać o spełnienie wymagań dotyczących bezpieczeństwa:

- konstrukcji,
- pożarowego,

- użytkowania,
- odpowiednich warunków higienicznych i zdrowotnych
- ochrony środowiska,
- oszczędności energii,
- odpowiedniej izolacyjności cieplnej ścian i innych przegród [L. Zieliński, BHP w magazynie, Wiedza i praktyka, Warszawa 2015 s. 10, 11].

Budynki magazynów powinny być wyposażone, w zależności od wymagań, w pełny zakres instalacji, a mianowicie:

- instalacje oświetleniowe i energetyczne,
- instalacje klimatyczne – umożliwiające utrzymanie wymaganych parametrów mikroklimatu przestrzeni magazynowej,
- instalacje centralnego ogrzewania,
- instalacje wodno-kanalizacyjne,
- instalacje przeciwpożarowe oraz odgromowe w celu zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego towarów, budynku magazynowego i jego otoczenia,
- instalacje, sprzęt i urządzenia stosowane w sytuacjach awaryjnych w warunkach przechowywania niebezpiecznych substancji chemicznych w celu ochrony personelu magazynowego oraz ochrony środowiska [K. Myrcha, Problemy bezpieczeństwa i higieny pracy w magazynach, Mechanik 7/2013 s. 499].

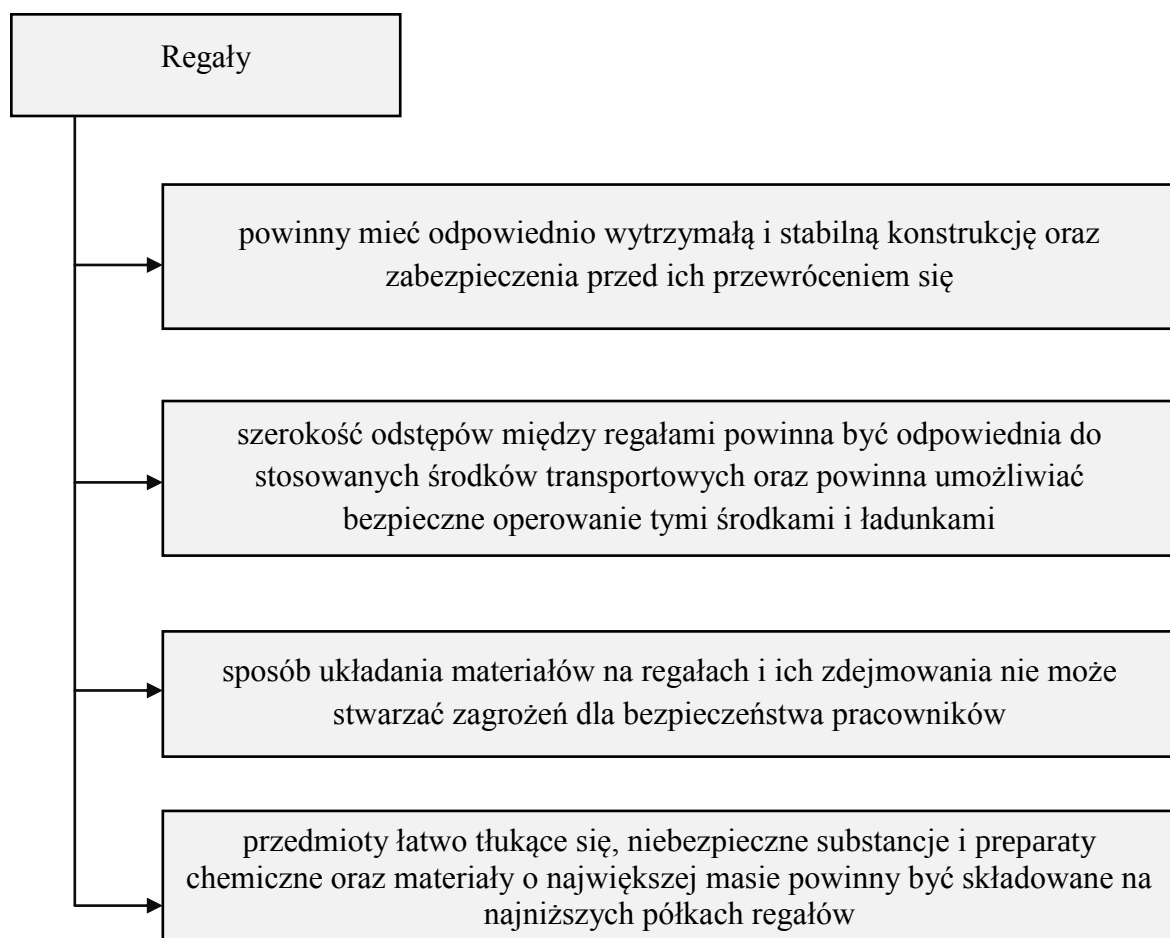
Urządzenia do składowania. Są to urządzenia, których rozwiązanie konstrukcyjne umożliwia układanie, opieranie bądź zawieszanie przechowywanych w magazynie towarów. Na podstawie cech użytkowych urządzenia do składowania dzieli się na następujące grupy:

- regały,
- stojaki,
- wieszaki,
- podkłady,
- zasieki,
- urządzenia specjalizowane.

Do urządzeń magazynowych, posiadających wpływ na warunki przechowywania w procesach magazynowania, zaliczyć należy:

- urządzenia do składowania,
- urządzenia klimatyzacyjno – wentylacyjne,
- urządzenia ochrony przeciwpożarowej,
- urządzenia zabezpieczenia [A. Wojciechowski, Infrastruktura w przechowywaniu towarów (cz. 2), Logistyka 01/2007, s. 37].

Regały to urządzenia o budowie przestrzennej wielopoziomowej, przeznaczone do składowania zapasów bezpośrednio na ich elementach konstrukcyjnych lub przy wykorzystaniu urządzeń pomocniczych bezpośrednio na elementach konstrukcyjnych regałów stałych lub przejezdnych [Adam Wojciechowski, Infrastruktura w przechowywaniu towarów (cz. 2), Logistyka 01/2007, s. 37].



**Rysunek 1. Regał jako podstawowe urządzenie przeznaczone do bezpiecznego składowania zapasów**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 69, § 70.

### 3. Zagrożenia jakie mogą wystąpić w budynkach magazynowych

Zagrożenia wypadkowe podczas wykonywania czynności związanych ze składowaniem wyrobów mogą mieć miejsce wówczas, gdy:

- pracownik może zostać przygnieciony przez regał ze względu na zawalenie się regału wynikające ze stosowania systemu regałów niezgodnie z przeznaczeniem lub z powodu braku odpowiedniej wiedzy lub źle pojętej oszczędności np.:
  - używanie systemu regałów o nieodpowiednich wymaganiach obciążeniowych w stosunku do składowanych ładunków,
  - błędów popełnianych podczas obliczeń przy projektowaniu systemu regałów,
  - świadomego odchudzania konstrukcji systemu regałów, (mówimy o zagrożeniu przygnieceniem, zgnieceniem, uderzeniem przez regał, będący czynnikiem stwarzającym zagrożenie) [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym w magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 4].

Zagrożenie przygnieceniem, zgnieceniem, uderzeniem przez regał lub spadającą paletę może nastąpić na skutek:

- złego posadowienia systemu regałów na podłożu, które nie zapewnia im właściwej stateczności,
- montażu niezgodnie z projektem lub dokumentacją techniczną producenta,
- pomijanie urządzeń ochronnych itp.,
- montażu systemu regałów przez osoby nie posiadające odpowiedniego przygotowania,
- przystępowania do użytkowania systemu regałów bez odbioru przez nadzór techniczny,
- stosowania nieodpowiednich urządzeń transportowych do obsługi regałów,
- naruszenia konstrukcji regału, osłabiania konstrukcji regału poprzez wielokrotne, regularne uderzanie w jakąś część regału. Regały wysokiego składowania należą do systemów statycznych, które oblicza się pod względem oddziaływania sił pionowych. Zawsze jednak przegrają w konfrontacji z działaniem dynamicznych i wielotonowych np. wózków widłowych, które potrafią wyrzucić na nie potężne siły poziome,
- braku bieżących i okresowych kontroli i konserwacji elementów systemu regałów,
- stosowanie elementów nie sprawdzonych – zdeformowanych i skorodowanych),
- braku odpowiedniej szerokości korytarzy roboczych,
- źle dobranych wymiary trawersów poziomych do gniazd paletowych,
- nieodpowiedniej odległości między regałami (między „plecami”) w przypadku regałów dwurzędowych,
- zastawiania regałów jakimikolwiek paletami, przedmiotami, itp. [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 4, 5].

W analizach wpływu czynnika ludzkiego na przyczynę wypadku najczęściej pomija się zmienne psychologiczne przypisane indywidualnej jednostce, jako dane trudne do uzyskania i obarczone błędami pomiaru. Zachowania pracowników w sytuacji ryzyka mogą być następstwem:

- świadomych wyborów przy pełnej analizie korzyści i strat,
- nawyków i przyzwyczajeń,
- naśladowania postępowania innych osób,
- podporządkowania się zasadom i normom [M. Goszczyńska, Człowiek wobec zagrożeń. Psychospołeczne uwarunkowania oceny i akceptacji ryzyka, Wyd. Żak, Warszawa 1997, s. 44].

#### **4. Zapobieganie zagrożeniom na terenie budynków magazynowych**

Najczęściej towary są składowane na paletach. Właściwe formowanie palet polega na takim ułożeniu wyrobów, aby nie zostały przekroczone parametry wymiarowe oraz nośność palety. Zapobieganie zagrożeniom wypadkowym od magazynowanych towarów polega na sprawdzeniu ich kształtu, wymiarów, stanu zabezpieczenia oraz doborze odpowiedniej paletowej jednostki ładunkowej. Do zabezpieczenia wyrobów na paletach należy stosować folie (termokurczliwe i rozciągliwe) lub taśmy (stalowe i elastyczne) w zależności od wielkości i sztywności opakowań. Należy pamiętać, że towarów w niewłaściwych opakowaniach transportowych i zbiorczych oraz w uszkodzonych opakowaniach nie można

wprowadzać do strefy składowania i składować na regałach. Przy rozładunku towarów w uszkodzonych opakowaniach należy zachować szczególną ostrożność, a po rozładunku opakowanie wymienić lub naprawić, jeśli jest to możliwe [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 10].

Zasady zapobiegania zagrożeniom wypadkowym obejmujące przede wszystkim działania techniczne i organizacyjne, takie jak:

- unikanie zagrożeń poprzez rozwiązania konstrukcyjne i stosowanie technicznych środków ochronnych dla:
  - urządzeń transportowych do przemieszczania towarów,
  - urządzeń do składowania towarów,
  - dróg transportowych,
- informowanie o zagrożeniu np.:
  - barwy,
  - znaki bezpieczeństwa,
  - ostrzeżenia,
  - instrukcje,
- kształtowanie bezpiecznych zachowań pracowników transportu wewnętrznego [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 8]

Czytelność, widoczność i słyszalność stosowanych znaków i sygnałów bezpieczeństwa nie może być zmniejszana poprzez:

- umieszczanie wielu znaków lub sygnałów blisko siebie,
- jednoczesne stosowanie dwóch sygnałów świetlnych lub wysyłanie dwóch sygnałów dźwiękowych,
- stosowanie sygnału świetlnego blisko innego źródła światła,
- stosowanie sygnałów dźwiękowych przy dużym poziomie hałasu (tła) wynikającego np. z procesu produkcyjnego,
- zastosowania nieodpowiedniego wzoru znaku,
- stosowanie niewystarczającej liczby znaków lub sygnałów oraz ich niewłaściwe umiejscowienie,
- niewystarczającą dbałość o stan techniczny [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 10, 11].

Jeżeli w pomieszczeniu pracy, w którym zatrudniona jest jedna osoba, mogą w sytuacji awaryjnej wystąpić zagrożenia dla zdrowia lub życia pracowników, a w szczególności zagrożenia:

- pożarowe,
- wybuchowe,

- porażenia prądem elektrycznym,
- wydzielanie się gazów lub par substancji sklasyfikowanych jako niebezpieczne pracodawca wprowadza obowiązek meldowania się tej osoby w ustalony sposób w oznaczonych porach [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 43 ust. 1].

Pomieszczenia pracy, w których przebywają pracownicy, nie mogą być zamykane w sposób uniemożliwiający wyjście z pomieszczenia. Jeżeli istnieją względy wymagające zamykania pomieszczeń w czasie pracy przed osobami nieupoważnionymi, należy stosować przy drzwiach zamki uniemożliwiające wejście z zewnątrz, a jednocześnie umożliwiające wyjście z pomieszczenia bez użycia klucza. W takiej sytuacji należy przewidzieć możliwość powiadamiania pracowników znajdujących się w takich pomieszczeniach o niebezpieczeństwie grożącym z zewnątrz [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 23].

Przeładunek materiałów niebezpiecznych:

- powinien odbywać się w miejscu do tego przystosowanym, przy wykorzystaniu odpowiednich do tego celu urządzeń oraz środków ochrony zbiorowej i indywidualnej chroniących przed zagrożeniami i skutkami zagrożeń, szczególnie pochodzących od elektryczności statycznej oraz występujących przy przelewaniu cieczy,
- w miejscu przeładunku materiałów niebezpiecznych nie mogą przebywać osoby nie zatrudnione przy tych pracach [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 100].

W pomieszczeniach, w których występuje niebezpieczeństwo obłania pracowników środkami żrącymi lub zapalenia odzieży na pracowniku, powinny być zainstalowane wodne natryski ratunkowe do obmycia całego ciała oraz oddzielne urządzenia do płukania oczu, które powinny, w zrazie potrzeby, umożliwiać ich natychmiastowe uruchomienie samoczynne lub w inny sposób – z uwzględnieniem ograniczonej sprawności osób z nich korzystających. Natryski i urządzenia powinny być zasilane wodą nie ogrzewaną i działać niezawodnie bez względu na warunki atmosferyczne. Przy wyjściu z pomieszczenia, w którym odbywa się praca przy użyciu materiałów zakaźnych lub toksycznych powinna znajdować się co najmniej jedna umywalka z doprowadzoną do niej ciepłą wodą – na każdych dwudziestu pracowników jednocześnie zatrudnionych, lecz nie mniej niż jedna umywalka przy mniejszej liczbie zatrudnionych [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 103].

Materiały i inne przedmioty, powinny być magazynowane w pomieszczeniach i miejscach do tego przeznaczonych. Pomieszczenia magazynowe powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa, stosownie do rodzaju i właściwości składowanych w nich materiałów zewnątrz [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 63, ust. 1].

Przedmioty, których wymiary, kształt i masa decydują o ich indywidualnym sposobie składowania, powinny być ustawiane lub układane stabilnie, z uwzględnieniem położenia ich środka ciężkości, tak aby zapobiec ich wywróceniu się lub spadnięciu [Rozporządzenie

Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 71].

**Tabela 2. Prawidłowe składowanie materiałów w pomieszczeniach magazynowych**

| Składowanie materiałów w pomieszczeniach magazynowych                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Przy składowaniu materiałów należy zapewnić:                                                                                                                                                                      | Sposób składowania materiałów niebezpiecznych:                                                                                                                                                                        |
| określić dla każdego rodzaju składowanego materiału miejsce, sposób i dopuszczalną wysokość składowania                                                                                                           | zachowanie dodatkowych wymagań specyficznych dla składowania materiałów i ich stosowania                                                                                                                              |
| zapewnić, aby masa składowanego ładunku nie przekraczała dopuszczalnego obciążenia urządzeń przeznaczonych do składowania (regałów, podestów itp.)                                                                | przestrzeganie ograniczeń dotyczących wspólnego składowania i stosowania materiałów<br>zachowanie temperatur, wilgotności i ochronę przed nasłonecznieniem stosownie do rodzaju materiałów niebezpiecznych            |
| zapewnić, aby masa składowanego ładunku, łącznie z masą urządzeń przeznaczonych do jego składowania i transportu, nie przekraczała dopuszczalnego obciążenia podłóg i stropów, na których odbywa się składowanie. | rozmieszczenie materiałów w sposób umożliwiający prowadzenie kontroli składowania i składowanych materiałów.<br>przestrzeganie zasad rotacji z zachowaniem dopuszczalnego czasu składowania poszczególnych materiałów |
| wywiesić czytelne informacje o dopuszczalnym obciążeniu podłóg, stropów i urządzeń przeznaczonych do składowania                                                                                                  | ograniczenie ilości jednocześnie składowanych materiałów do ilości dopuszczalnej dla danego materiału i danego pomieszczenia                                                                                          |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 68, ust. 1, § 99, ust. 1.

## 5. Obowiązki pracodawcy zapewniające bezpieczeństwo w budynkach magazynowych oraz pomieszczeniach pracowniczych

Pracodawca jest obowiązany:

- zapewnić pracownikom sprawnie funkcjonujący system pierwszej pomocy w razie wypadku oraz środki do udzielania pierwszej pomocy. W szczególności pracodawca powinien zapewnić:
  - punkty pierwszej pomocy w wydziałach (oddziałach), w których wykonywane są prace powodujące duże ryzyko wypadku lub związane z wydzielaniem się par, gazów albo pyłów substancji sklasyfikowanych jako niebezpieczne ze względu na ostre działanie toksyczne,
  - apteczki w poszczególnych wydziałach (oddziałach) zakładu pracy,
- ilość, usytuowanie i wyposażenie punktów pierwszej pomocy i apteczek powinny być ustalone w porozumieniu z lekarzem sprawującym profilaktyczną opiekę zdrowotną nad pracownikami, z uwzględnieniem rodzajów i nasilenia występujących zagrożeń,
- na każdej zmianie powinna być powierzana wyznaczonym pracownikom, przeszkolonym w udzielaniu pierwszej pomocy,
- w punktach pierwszej pomocy i przy apteczkach, w widocznych miejscach, powinny być wywieszone instrukcje o udzielaniu pierwszej pomocy w razie wypadku oraz



wykazy pracowników. Punkty pierwszej pomocy i miejsca usytuowania apteczek powinny być odpowiednio oznakowane, zgodnie z Polską Normą, i łatwo dostępne [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 44].

Pracodawca jest obowiązany udostępnić pracownikom, do stałego korzystania, aktualne instrukcje bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczące:

- stosowanych w zakładzie procesów technologicznych oraz wykonywania prac związanych z zagrożeniami wypadkowymi lub zagrożeniami zdrowia pracowników,
- obsługi maszyn i innych urządzeń technicznych,
- postępowania z materiałami szkodliwymi dla zdrowia i niebezpiecznymi;
- udzielania pierwszej pomocy [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 41 ust. 1].

Do każdego stanowiska pracy powinno być zapewnione:

- bezpieczne i wygodne dojście, przy czym jego wysokość na całej długości nie powinna być mniejsza w świetle niż 2 m.,
- w przypadkach uzasadnionych względami konstrukcyjnymi maszyn i innych urządzeń technicznych dopuszcza się zmniejszenie wysokości dojścia do 1,8 m przy jego odpowiednim zabezpieczeniu i oznakowaniu znakami bezpieczeństwa zgodnymi z Polską Normą,
- przejścia między maszynami a innymi urządzeniami lub ścianami przeznaczone tylko do obsługi tych urządzeń powinny mieć szerokość co najmniej 0,75 m; jeżeli w przejściach tych odbywa się ruch dwukierunkowy, szerokość ich powinna wynosić co najmniej 1 m.,
- pracodawca zatrudniający pracowników niepełnosprawnych powinien zapewnić dostosowanie stanowisk pracy oraz dojść do nich - do potrzeb i możliwości tych pracowników, wynikających ze zmniejszonej sprawności [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 47, § 48].

Pracodawca ma obowiązek stosować znaki i sygnały bezpieczeństwa wszędzie tam, gdzie nie można zlikwidować zagrożenia środkami ochrony zbiorowej lub innymi środkami. Znaki bezpieczeństwa stosowane w przedsiębiorstwach powinny być umieszczane:

- przy wejściu, w przypadku ogólnego zagrożenia lub w najbliższym otoczeniu określonego zagrożenia,
- na wysokości linii wzroku,
- w miejscu dobrze oświetlonym, łatwo dostępnym i widocznym [K. Myrcha, Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB, s. 11].

Instrukcje, powinny w sposób zrozumiały dla pracowników wskazywać czynności, które należy wykonać przed rozpoczęciem danej pracy, zasady i sposoby bezpiecznego wykonywania pracy, czynności do wykonania po jej zakończeniu oraz zasady postępowania w sytuacjach awaryjnych stwarzających zagrożenia dla życia lub zdrowia pracowników.

Instrukcje dotyczące prac związanych ze stosowaniem niebezpiecznych substancji i preparatów chemicznych powinny uwzględniać informacje zawarte w kartach charakterystyki tych substancji i preparatów [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 41 ust. 2].

## 6. Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że występowanie wypadków przy pracy w magazynie związane jest z występowaniem potencjalnych zagrożeń. Aby zatem zmniejszyć ich liczbę i następstwa, a w rezultacie obniżyć koszty, konieczna jest prawidłowa identyfikacja zagrożeń wypadkowych oraz innych nieprawidłowości mających wpływ na powstawanie tych zagrożeń, oraz podjęcie odpowiednich działań, prowadzących do eliminacji lub ograniczenia zidentyfikowanych zagrożeń oraz ograniczania ryzyka wypadkowego [K. Myrcha, Problemy bezpieczeństwa i higieny pracy w magazynach, *Mechanik* 7/2013, s. 503].

Budynek, jego układ funkcjonalny i przestrzenny, ustrój konstrukcyjny oraz rozwiązania techniczne i materiałowe elementów budowlanych powinny być zaprojektowane i wykonane w sposób odpowiadający wymaganiom wynikającym z jego usytuowania i przeznaczenia oraz z odnoszących się do niego przepisów rozporządzenia i przepisów odrębnych [Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, § 44].

## Bibliografia:

1. Goszczyńska M. (1997). Człowiek wobec zagrożeń. Psychospołeczne uwarunkowania oceny i akceptacji ryzyka, Wyd. Żak.
2. Myrcha K., Ocena zagrożeń zawodowych oraz opracowanie metod zapobiegania wypadkom występującym w magazynach wysokiego składowania, Praca zrealizowana na podstawie umowy nr TZ/370/25/07/F z dnia 25.07.2007 r. pomiędzy ZUS i CIOP-PIB.
3. Myrcha K.(2013). Problemy Bezpieczeństwa i Higieny Pracy w Magazynach, *Mechanik* 7/2013.
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r., Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690.
5. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy z dnia 26.09.1997 r., Dz.U. 1997 nr 129 poz. 844.
6. Wojciechowski A.(2007). Infrastruktura w przechowywaniu towarów (cz. 2), *Logistyka* 01/2007.
7. Zieliński L. (2015). BHP w magazynie, Wiedza i praktyka.

## Wykaz stron internetowych:

8. [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P30001831335539182278&html\\_tresc\\_root\\_id=10118&html\\_tresc\\_id=10300&html\\_klucz=19558](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P30001831335539182278&html_tresc_root_id=10118&html_tresc_id=10300&html_klucz=19558) – [dostępność dnia 24.08 2019 r.].

## 12. PODSTAWOWE PROCEDURY BEZPIECZEŃSTWA PODCZAS TRANSPORTU WEWNĄTRZZAKŁADOWEGO

**Łukasz Lipski**

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Wydział Humanistyczny

Instytut Nauk Społecznych i Bezpieczeństwa

Email: lipski.lukasz111@gmail.com

0000-0001-6171-5286

### 1. Wstęp

Transportem nazywamy zespół czynności związanych z przemieszczaniem masy towarowej przy użyciu odpowiednich środków. Zespół czynności związanych z przemieszczaniem obejmuje zarówno samo przemieszczanie z miejsca na miejsce, jak i wszelkie czynności, jakie do tego celu mogą być konieczne, do których należą czynności ładunkowe (załadunek, wyładunek, względnie przeładunek) oraz czynności manipulacyjne [K. Myrcha, Zapobieganie zagrożeniom wypadkowym w transporcie wewnętrznym, Znaki i sygnały bezpieczeństwa Warszawa, CIOP, 2002. s. 1].

Pod pojęciem transportu wewnątrzzakładowego należy rozumieć transport, odbywający się na terenie całego przedsiębiorstwa po przekroczeniu jego bramy: a zatem transport na drogach wewnątrzzakładowych oraz wewnątrz hal magazynowych [Definicja na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 1, ust. 1 pkt 7a].

Transport wewnątrzzakładowy jest elementem nieodłącznym w działalności przedsiębiorstwa. Odnosi się on przede wszystkim do przewozów na małe odległości, które zależą od wielkości przedsiębiorstwa produkcyjnego, jego przestrzennego rozproszenia, elementów infrastruktury procesu produkcyjnego, a także ich lokalizacji. Transport wewnątrzzakładowy ma na celu dokonanie przemieszczenia ładunków, towarów, urządzeń technicznych w zakładzie pracy od momentu przejęcia ich z transportu zewnętrznego poprzez magazyny, pomieszczenia produkcyjne lub handlowe, aż do momentu ich wydania [<https://asystentbhp.pl/organizacja-ruchu-w-transporcie-wewnatrzaka-774/?page=2> dostępność dnia 04.09.2019 r.]

Zagadnienia transportu wewnętrznego nabierają coraz większego znaczenia z punktu widzenia racjonalizacji produkcji i dystrybucji. Każdy bowiem materiał, bądź towar posiada tylko wtedy określoną wartość, jeśli można nim dysponować w miejscu, w którym jest on potrzebny i we właściwym czasie. Istnieje zatem konieczność traktowania transportu nie jako odrębnej czynności zorientowanej na obiekt, ale jako procesu związanego z realizacją konkretnej funkcji oraz z systemem produkcyjnym [K. Dohn, Organizacja procesów transportu wewnętrznego – studia przypadków, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej 2009, s. 48].

## **2. Wymagania dotyczące prawidłowej oraz bezpiecznej organizacji ruchu wewnątrzzakładowego**

Organizacja transportu musi być dostosowana do specyfiki danego przedsiębiorstwa. Powinna ona zapewniać bezpieczne i niezawodne przemieszczenie ładunków przy jak najmniejszych kosztach. Odpowiednia i sprawna organizacja transportu wewnątrzzakładowego ma na celu przemieszczenie określonej ilości ładunku po możliwie najkrótszych drogach, przy jednoczesnym możliwie jak najmniejszym zużyciu środków transportowych. Transport wewnątrz zakładu obejmuje takie czynności jak:

- ładowanie,
- rozładowywanie,
- przenoszenie,
- przesuwanie,
- przewożenie,
- przeładowywanie

[<https://asystentbhp.pl/organizacja-ruchu-w-transportcie-wewnatrzaka-774/?page=2>  
dostępność dnia 04.09.2019 r.].

Pracodawca w celu zapewnienia bezpieczeństwa ma obowiązek:

- opracować zasady ruchu na drogach wewnątrzzakładowych, zgodnych z przepisami prawa o ruchu drogowym;
- powinien określić maksymalne prędkości środków transportu i komunikacji na drogach wewnątrzzakładowych uzależnione od m.in.:
  - natężenia ruchu;
  - szerokości dróg;
  - widoczności;
- dopilnować aby drogi były odpowiednio oznakowane znakami drogowymi zgodnymi z przepisami prawa o ruchu drogowym;
- podczas transportu, składowania i stosowania materiałów niebezpiecznych powinien zastosować odpowiednie środki ochrony zbiorowej i indywidualnej chroniące pracowników przed szkodliwym lub niebezpiecznym działaniem tych materiałów;
- przy obsłudze urządzeń transportu zmechanizowanego powinien zatrudniać tylko osoby o kwalifikacjach właściwych do obsługi określonego urządzenia.
- powinien zapewnić zastosowanie odpowiednich rozwiązań organizacyjnych i technicznych, zwłaszcza w zakresie wyposażenia technicznego, w celu wyeliminowania potrzeby ręcznego przemieszczania ciężarów.
- Jeśli nie ma możliwości uniknięcia ręcznego przemieszczania ciężarów, należy podjąć odpowiednie przedsięwzięcia, w tym wyposażyć pracowników w niezbędne środki w celu zmniejszenia uciążliwości i zagrożeń związanych z wykonywaniem tych czynności.

[Na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 62, § 65, § 66].

Szerokość dróg magazynowych uwarunkowana jest parametrami geometrycznymi środka transportowego lub ładunku, liczbą pasm ruchu oraz istnieniem ruchu pieszego. Szerokość dróg magazynowych na zakrętach dla silnikowych lub bezsilnikowych środków

transportowych zależy od wymiarów środka transportowego lub ładunku, jeśli ładunek przekracza gabaryty środka transportowego wartości promienia zawracania wewnętrznego powinny być tak dobrane aby w krańcowych przypadkach luz manipulacyjny między obrysem środka transportowego ładunku a skrajną drogą winien wynosić minimum 15 cm. Nawierzchnia dróg transportowych powinna być jednoznacznie wytyczona i utwardzona, odporna na zużycie, odznaczać się dobrą przyczepnością, nie wytwarzać kurz, przy ruchu pojazdów, być nie śliska i łatwo zmywalna oraz dawała się łatwo i szybko naprawiać, Ponadto drogi transportowe powinny zapewniać dobrą widoczność, łatwość pokonywania zakrętów, nie powinny mieć pochyłości, spadzistych ramp, przewężeń i niskich stropów [K. Myrcha, Zapobieganie zagrożeniom wypadkowym w transporcie wewnętrznym, Znaki i sygnały bezpieczeństwa Warszawa, CIOP, 2002. s. 10, 11].

**Tabela 1. Minimalne szerokości dróg w zakładzie pracy**

| Przeznaczenie drogi                                                                                                                            |                                             | Minimalna szerokość drogi w cm na odcinkach prostych |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                                                                                                                                |                                             | Dla bezsilnikowych środków transportowych            | Dla silnikowych środków transportowych |
| Ruch jednokierunkowy                                                                                                                           | Tylko dla pieszego z ładunkiem              | $b = a + 30$<br>nie mniej niż 120                    | -                                      |
|                                                                                                                                                | Tylko dla środków transportowych            | $b = a + 60$<br>nie mniej niż 120                    | $b = a + 60$<br>nie mniej niż 120      |
|                                                                                                                                                | Dla środków transportowych i ruchu pieszego | $b = a + 90$                                         | $b = a + 100$                          |
| Ruch dwukierunkowy                                                                                                                             | Tylko dla pieszego z ładunkiem              | $b = 2a + 60$                                        | -                                      |
|                                                                                                                                                | Tylko dla środków transportowych            | $b = 2a + 90$                                        | $b = 2a + 90$                          |
|                                                                                                                                                | Dla środków transportowych i ruchu pieszego | $b = 2a + 180$                                       | $b = 2a + 200$                         |
| <u>Objaśnienia:</u><br><b>a</b> – szerokość człowieka z ładunkiem lub środka transportowego,<br><b>b</b> – szerokość drogi transportowej w cm. |                                             |                                                      |                                        |

Źródło: Opracowanie na podstawie: <https://www.portalbhp.pl/transport-i-magazynowanie/minimalne-szerokosci-drog-w-akladzie-pracy-4082.html> (dostępność dnia 24.08.2019 r.).

Podczas odbywania się ruchu wewnątrzzakładowego ważną rolę odgrywa stosowanie sygnałów bezpieczeństwa oraz odpowiednie oznakowanie wraz z dostępem do instrukcji, które pracodawca powinien zapewnić swoim pracownikom. Instrukcja powinna obejmować w szczególności znaczenie znaków i sygnałów oraz zasady zachowania się pracowników, których mogą one dotyczyć. Prawidłowe oznakowanie oraz stosowanie sygnałów bezpieczeństwa:

- Łącznie mogą być stosowane:
  - sygnały świetlne i komunikaty słowne;
  - sygnały ręczne i komunikaty słowne;
  - sygnały świetlne i sygnały dźwiękowe.
- Znaki zakazu, ostrzegawcze, nakazu, ewakuacyjne i informacyjne powinny być stosowane jako znaki stałe.
- Miejsca, w których istnieje ryzyko upadku lub kolizji z przeszkodami, powinny być na stałe oznaczone barwą bezpieczeństwa lub znakiem bezpieczeństwa.
- Drogi powinny być na stałe oznaczone barwą bezpieczeństwa.
- Stosowane znaki i sygnały powinny być odpowiednio czytelne, widoczne i słyszalne. Ich czytelność, widoczność i słyszalność nie może być zmniejszana przede wszystkim przez:
  - jednoczesne stosowanie znaków lub sygnałów tego samego rodzaju. W szczególności należy unikać:
    - stosowanie sygnału świetlnego blisko innego źródła światła;
    - umieszczanie zbyt wielu znaków lub sygnałów blisko siebie;
    - jednoczesnego stosowania dwóch sygnałów świetlnych, które łatwo mogą być pomyłone;
    - używania jednocześnie dwóch sygnałów dźwiękowych;
    - stosowania sygnałów dźwiękowych przy zbyt dużym natężeniu hałasu tła (otoczenia);
  - zastosowanie nieodpowiedniego wzoru znaku;
  - niewystarczającą dbałość o stan techniczny lub prawidłowe funkcjonowanie urządzeń sygnalizacyjnych;
  - niewystarczającą liczbę znaków lub sygnałów oraz ich nieodpowiednie umiejscowienie.
- Liczba i umiejscowienie urządzeń sygnalizacyjnych i znaków bezpieczeństwa powinny być uzależnione od wielkości terenu, na którym są stosowane, oraz od rodzajów i poziomu występujących zagrożeń.
- Znaki bezpieczeństwa i urządzenia sygnalizacyjne powinny być sprawdzane, czyszczone i konserwowane w regularnych odstępach czasu oraz, w zależności od potrzeb, naprawiane i wymieniane, tak aby zapewnić spełnianie przez nie funkcji informacyjnej i sygnalizacyjnej.
- Sygnały świetlne, sygnały dźwiękowe i komunikaty słowne powinny być stosowane, gdy wymaga tego sytuacja, w celu zasygnalizowania niebezpieczeństwa i wezwania ludzi do podjęcia określonych działań albo do ewakuacji.
- Znaki i sygnały bezpieczeństwa, wymagające zasilania energią elektryczną, w razie przerwy w dopływie tej energii powinny mieć zapewnione zasilanie awaryjne, chyba że przerwa ta spowoduje ustanie zagrożenia.
- Zadziałanie sygnału świetlnego lub sygnału dźwiękowego powinno nastąpić w czasie, kiedy jest to niezbędne z uwagi na bezpieczeństwo pracowników; działanie tego sygnału powinno trwać do czasu ustania zagrożenia.

- Przed zastosowaniem sygnałów świetlnych lub sygnałów dźwiękowych należy upewnić się, że działają poprawnie i niezawodnie.
- Jeśli zdolność słyszenia lub widzenia pracowników jest ograniczona, w szczególności w związku ze stosowaniem środków ochrony indywidualnej, znaki i sygnały bezpieczeństwa powinny być dostosowane do możliwości percepcyjnych pracowników.
- [Na podstawie: Załącznika nr 1. Szczegółowe zasady stosowania znaków i sygnałów bezpieczeństwa do Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy].

**Tabela 2. Wymagania dotyczące oznaczania przeszkód, niebezpiecznych miejsc i dróg**

| Miejsca oraz drogi w zakładzie pracy, do których pracownicy mają dostęp podczas pracy, a w których istnieje ryzyko kolizji z przeszkodami oraz pojazdami, upadku lub spadania przedmiotów |                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Miejsca w zakładzie pracy                                                                                                                                                                 | Drogi w budynkach                                                                                                                                                                                        |
| powinny być oznakowane skośnymi pasami - na przemian żółtymi i czarnymi lub czerwonymi i białymi                                                                                          | powinny być wyraźnie wyznaczone za pomocą ciągłych pasów o dobrze widocznej barwie (z uwzględnieniem barwy podłoża) - najlepiej żółtej lub białej                                                        |
| Żółte i czarne lub białe i czerwone pasy powinny być narysowane pod kątem około 45° i powinny mieć zbliżone wymiary                                                                       | Rozmieszczenie pasów wyznaczających drogi powinno uwzględniać niezbędną (bezpieczną) odległość między pojazdami i jakąkolwiek przeszkodą mogącą znajdować się w pobliżu oraz między pieszymi i pojazdami |
| Wymiary oznaczenia, powinny być odpowiednie do rozmiaru przeszkody lub niebezpiecznego miejsca                                                                                            |                                                                                                                                                                                                          |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy, § 12, § 13.

Czynniki zapewniające prawidłowe oraz bezpieczne odbywanie się ruchu wewnątrz zakładowego:

- Pracodawca jest obowiązany zapewnić na terenie zakładu pracy wykonane i oznakowane, zgodnie z Polskimi Normami i właściwymi przepisami:
  - dróg komunikacyjnych i transportowych;
  - dróg dla pieszych;
  - przejść;
  - dojazdów pożarowych.
- Pracodawca jest obowiązany utrzymywać drogi i przejścia oraz dojazdy pożarowe w stanie nieistwarzającym zagrożeń dla użytkowników:
- Drogi i przejścia oraz dojazdy pożarowe nie mogą prowadzić przez miejsca, w których występują zagrożenia dla ich użytkowników.
- Drogi i przejścia powinny posiadać wymiary odpowiednie do liczby potencjalnych użytkowników oraz rodzajów i wielkości stosowanych urządzeń transportowych i przemieszczanych ładunków. Minimalne wymiary dróg i przejść określają Polskie Normy.

- Nawierzchnia dróg, placów manewrowych, postojowych i składowych, dojazdów pożarowych i przejść powinna być równa i twarda lub utwardzona oraz posiadać nośność odpowiednią do obciążenia wynikającego ze stosowanych środków transportowych oraz przemieszczanych i składowanych materiałów.
- Drogi, przejścia oraz place manewrowe, postojowe i składowe powinny posiadać urządzenia lub inne rozwiązania techniczne zapewniające odprowadzanie wód opadowych.
- Na drogach transportowych i w magazynach nie powinny występować progi ani stopnie.
  - W przypadku zróżnicowania poziomów podłogi, różnice te powinny być wyrównane pochylniami o nachyleniu dostosowanym do rodzaju używanego środka transportu, ale nie większym niż 8 %;
  - Pochylnie powinny umożliwiać bezpieczne poruszanie się pracowników i dogodny transport ładunków.

[Na podstawie: Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 4, § 5, § 6].

Masa ładunków przemieszczanych przy użyciu środków transportowych nie powinna przekraczać dopuszczalnej nośności lub udźwigu danego środka transportowego. Masa i rozmieszczenie ładunku na środkach transportowych powinny zapewniać bezpieczne warunki przewozu i przeładunku. Ładunek powinien być zabezpieczony w szczególności przed upadkiem, przemieszczeniem i zsypywaniem się ze środka transportu [Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy § 64].

Urządzenia transportowe powinny mieć deklarację zgodności wydaną przez producenta, dystrybutora lub dostawcę i spełniać wymagania zasadnicze lub minimalne w zależności od wieku urządzenia transportowego. Nośność lub udźwig danego urządzenia transportowego powinny być dostosowane do masy przemieszczanych ładunków, natomiast rozmieszczenie ładunku na urządzeniach transportowych powinno zapewniać bezpieczne warunki przewozu i przeładunku. Ładunek trzeba zabezpieczyć – w szczególności przed upadkiem, przemieszczeniem z urządzenia transportu. Podstawą zapewnienia bezpieczeństwa podczas użytkowania urządzeń transportowych jest właściwe dbanie o ich stan techniczny oraz stan stosowanego wyposażenia pomocniczego, wyposażanie w odpowiednie zabezpieczenia i instalacje zapewniające bezpieczne i higieniczne warunki pracy tych urządzeń, np. smarowanie części ruchomych, ponadto poddawanie wymaganej kontroli UDT, zorganizowanie dla tych urządzeń odpowiednich warunków do codziennej kontroli stanu technicznego (przed i po pracy), okresowych przeglądów, napraw, remontów zgodnie z instrukcją obsługi opracowaną przez producenta, przestrzeganie norm dotyczących wielkości załadunku urządzeń, prędkości jazdy, zabezpieczenie ładunków podczas transportu, dopuszczanie do obsługi urządzeń transportowych tylko uprawnionych i przeszkolonych pracowników [K. Myrcha, Problemy bezpieczeństwa i higieny pracy w magazynach, *Mechanik* 7/2013, s. 502].

Odpowiednie oświetlenie oraz dobra widoczność są podstawowymi czynnikami zapewniającymi bezpieczeństwo pracy oraz prawidłową logistykę z wykorzystaniem wózków



widłowych. Dlatego też, organizacja wózków widłowych w ruchu wewnątrzzakładowym jest uzależniona od zastosowania technicznych systemów zabezpieczeń.

**Tabela 4. Wykorzystane technicznych systemów zabezpieczeń**

| Techniczne systemy zabezpieczeń poprawiających jakość procesów magazynowania |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| system zabezpieczeń                                                          | opis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| lustra bezpieczeństwa                                                        | stosunkowo często w magazynach występują miejsca słabo bądź zupełnie niewidoczne dla operatora wózka widłowego. Stwarza to realne zagrożenie dla bezpieczeństwa osób przebywających w obrębie przestrzeni magazynowej. Dlatego też, aby zwiększyć ich bezpieczeństwo, wykorzystuje się pionowe i poziome lustra, które istotnie poprawiają widoczność zarówno operatorom wózków widłowych, jak i innym pracownikom przebywającym w magazynie                |
| zblizeniowe systemy bezpieczeństwa                                           | jednak same lustra nie zawsze są wystarczającym rozwiązaniem. Szczególnie w sytuacji, gdy nie ma możliwości umieszczenia zwierciadeł w polu widzenia operatora wózka widłowego. W związku z tym, coraz większą popularnością cieszą się nowoczesne systemy bezpieczeństwa, przede wszystkim systemy RFID (Radio Frequency Identification), które wykorzystują promieniowanie o częstotliwości radiowej do rozpoznawania obecności osób w sferze pracy wózka |
| system do obsługi drzwi automatycznych                                       | coraz częstsze zastosowanie mają również czujniki na podczerwień, które służą do uruchamiania automatycznych drzwi. Takie receptory są umieszczane zazwyczaj nad drzwiami, dzięki czemu zapewniają szeroki obszar wykrywania nadjeżdżającego wózka widłowego, niezależnie od jego kierunku jazdy                                                                                                                                                            |
| wydzielone przejścia dla pieszych w magazynie                                | w przypadku niektórych magazynów niezbędne mogą okazać się również przejścia dla pieszych. Mogą one być zarówno sterowane ręcznie, jak i w pełni zautomatyzowane. To rozwiązanie uznawane jest za jedno z najefektywniejszych, jeśli chodzi o zapewnienie bezpieczeństwa pracownikom w magazynie                                                                                                                                                            |

Zródło: Opracowanie własne na podstawie: [https://www.researchgate.net/publication/291829898\\_Logistyka\\_i\\_bezpieczenstwo\\_w\\_procesie\\_magazynowania\\_Logistics\\_and\\_safety\\_in\\_the\\_process\\_of\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/291829898_Logistyka_i_bezpieczenstwo_w_procesie_magazynowania_Logistics_and_safety_in_the_process_of_storage) (dostępność dnia 04.09.2019 r.).

### 3. Podstawowe zasady bezpieczeństwa podczas wykonywania ręcznych prac transportowych w pomieszczeniach magazynowych

Podstawowym powodem występowania zagrożeń jest nieprzestrzeganie podstawowych zasad bezpieczeństwa, istotnych podczas wykonywania ręcznych prac transportowych, wynikających z obowiązujących regulacji prawnych i wymagań technicznych wskazanych w normach. Celem zmniejszenia lub ograniczenia zagrożeń i uciążliwości podczas wykonywania ręcznych prac transportowych należy zwrócić uwagę na istotne wytyczne prawidłowego ich wykonywania, decydujące o poziomie występowania zagrożeń. M.in. należy:

- transportując przedmioty ręcznie starać się utrzymywać ciało w pozycji neutralnej lub zbliżonej do neutralnej,

- podnosząc przedmiot znajdujący się na podłodze umieścić go pomiędzy lekko ugiętymi kolanami, stopy rozstawić płasko i pewnie na podłodze w odległości ok. 40 cm od siebie, plecy utrzymywać wyprostowane, a głowę odchylić nieco do tyłu,
- czynności podnoszenia i opuszczania przedmiotu wykonywać bez pośpiechu, utrzymując ładunek z przodu ciała,
- przenosząc ładunek utrzymywać go jak najbliżej ciała, unikając w ten sposób wzrostu siły koniecznej do jego utrzymania,
- jeżeli pozwalają na to wymiary i kształt ładunku, przenosić go w rękach opuszczonych i wyprostowanych w stawie łokciowym,
- podczas podnoszenia i opuszczania przedmiotów eliminować jednocześnie skręcenie i pochylenie tułowia powyżej 45° od pozycji neutralnej,
- podczas wykonywania pracy unikać podnoszenia przedmiotów powyżej barków,
- jeżeli jest to możliwe, duże i ciężkie ładunki podzielić na mniejsze, łatwiejsze do przeniesienia,
- w miarę możliwości, podnoszenie i przenoszenie zastępować poziomym ciągnięciem i pchaniem,
- przenosząc ładunki dwuręcznie starać się równomiernie rozłożyć obciążenie,
- nie przenosić przedmiotów z niestabilnym środkiem ciężkości,
- pracowników przenoszących przedmioty w zespołach dobrać, uwzględniając ich wymagany równy wzrost,
- podczas wykonywania ręcznych prac transportowych unikać wykonywania pracy w tempie wymuszonym.

Wskazane zasady wykonywania ręcznych prac transportowych traktować należy jako podstawowe kryterium zgodności, uwzględniane podczas oceny ryzyka zawodowego [J. Tobis, A. Górny, Bezpieczeństwo ręcznych prac transportowych w magazynie – identyfikacja i ocena zagrożeń związanych z przenoszeniem i podnoszeniem ładunków, Logistyka 2014, Tom nr 3, s. 6346].

**Tabela 5. Dopuszczalna masa ładunku przemieszczanego na wózku po terenie płaskim o twardej i gładkiej nawierzchni, łącznie z masą wózka**

| Warunki przemieszczenia ładunków                              | Mężczyźni      |                         | Kobiety        |                         |
|---------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
|                                                               | wózki 2-kołowe | wózki 3 i więcej kołowe | wózki 2-kołowe | wózki 3 i więcej kołowe |
| Przemieszczanie po terenie o nachyleniu nieprzekraczającym 5% | 350 kg         | 450 kg                  | 140 kg         | 180 kg                  |
| Przemieszczanie po terenie o nachyleniu większym niż 5%       | 250 kg         | 350 kg                  | 100 kg         | 140 kg                  |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie tabeli: Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych z dnia 25.04.2017r. Dz. U z 2018 r. poz. 1139, § 21.

**Tabela 6. Ręczne przemieszczanie przedmiotów przez jednego pracownika**

| Dopuszczalna maksymalna masa przenoszonych przedmiotów przez jednego pracownika                                                                                                                                                                                                                                                 |                                       |                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| czynność                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | dla kobiet                            | dla mężczyzn                          |
| Masa przedmiotów podnoszonych i przenoszonych nie może przekraczać przy pracy:                                                                                                                                                                                                                                                  | 12 kg – stałej,<br>20 kg – dorywczej. | 30 kg – stałej,<br>50 kg – dorywczej. |
| Masa przedmiotów podnoszonych na wysokość powyżej obręczy barkowej nie może przekraczać przy pracy:                                                                                                                                                                                                                             | 8 kg – stałej,<br>14 kg – dorywczej.  | 21 kg – stałej,<br>35 kg – dorywczej. |
| Jeżeli przedmioty są przenoszone na odległość przekraczającą 25 metrów, masa przenoszonych przedmiotów nie może przekraczać:                                                                                                                                                                                                    | 12 kg                                 | 30 kg                                 |
| Jeżeli przedmioty są przenoszone pod górę po nierównej powierzchni, pochylniach lub schodach, których maksymalny kąt nachylenia nie przekracza 30°, a wysokość przekracza 4 metry, niezależnie od odległości, na jaką przedmioty są przenoszone, to masa tych przedmiotów nie może przekraczać:                                 | 12 kg                                 | 30 kg                                 |
| Jeżeli przedmioty są przenoszone przez jednego pracownika pod górę po nierównej powierzchni, pochylniach lub schodach, których maksymalny kąt nachylenia przekracza 30°, a wysokość przekracza 4 metry, niezależnie od odległości, na jaką przedmioty są przenoszone, to masa tych przedmiotów nie może przekraczać przy pracy: | 8 kg – stałej,<br>12 kg – dorywczej.  | 20 kg – stałej,<br>30 kg – dorywczej. |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych z dnia 25.04.2017 r. Dz. U z 2018 r. poz. 1139, § 13.

#### 4. Podsumowanie

Podczas ręcznego przemieszczania przedmiotów, szczególnie obciążonymi częściami ciała pracownika są odcinek lędźwiowy kręgosłupa i kończyny górne. Najczęściej stosowane sposoby wykonywania pracy powodują przyjmowanie pozycji ciała odbiegającej od neutralnej. Zazwyczaj jest to spowodowane dużą masą przenoszonego ładunku i jego nieregularnym kształtem, brakiem możliwości prawidłowego pochwycenia ładunku, ograniczoną przestrzenią pracy oraz niestosowaniem się do instrukcji ręcznego transportowania przedmiotów. Skutkami utrzymywania przez dłuższy czas wymuszonej pozycji ciała mogą być schorzenia i urazy układu mięśniowo-szkieletowego (zwłaszcza kręgosłupa) oraz bóle mięśni i stawów [J. Tobis, A. Górny, Bezpieczeństwo ręcznych prac transportowych w magazynie – identyfikacja i ocena zagrożeń związanych z przenoszeniem i podnoszeniem ładunków, Logistyka 2014, Tom nr 3, s. 6346].

Ze względu na bezpieczeństwo pracy dobór urządzeń transportowych powinien być dostosowany do specyfiki przedsiębiorstwa a następnie być poprzedzony oceną ryzyka wypadkowego i na tej podstawie powinny zostać określone cechy i funkcje środków bezpieczeństwa, w jakie powinny zostać wyposażone urządzenia transportowe [K. Myrcha, Zapobieganie zagrożeniom wypadkowym w transporcie wewnętrznym, Znaki i sygnały bezpieczeństwa Warszawa, CIOP, 2002. s. 8].

**Bibliografia:**

1. Dohn K. (2009). Organizacja procesów transportu wewnętrznego – studia przypadków, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej.
2. Myrcha K. (2013). Problemy bezpieczeństwa i higieny pracy w magazynach, Mechanik nr 7/2013.
3. Myrcha K. (2002). Zapobieganie zagrożeniom wypadkowym w transporcie wewnętrznym, Znaki i sygnały bezpieczeństwa Warszawa, CIOP.
4. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy ręcznych pracach transportowych z dnia 25.04.2017r., Dz. U z 2018 r. poz. 1139.
5. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy z dnia 26.09.1997r., Dz.U. 1997 nr 129 poz. 844.
6. Tobis J., Górny A. (2014). Bezpieczeństwo ręcznych prac transportowych w magazynie – identyfikacja i ocena zagrożeń związanych z przenoszeniem i podnoszeniem ładunków, Logistyka, Tom nr 3.
7. Załącznik nr 1. Szczegółowe zasady stosowania znaków i sygnałów bezpieczeństwa do Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26.09.1997r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.

**Wykaz stron internetowych:**

8. <https://asystentbhp.pl/organizacja-ruchu-w-transportie-wewnatrzaka-774/?page=2> [dostępność dnia 04.09.2019 r.].
9. <https://www.portalbhp.pl/transport-i-magazynowanie/minimalne-szerokosci-drog-w-akladzie-pracy-4082.html> [dostępność dnia 24.08.2019 r.].
10. [https://www.researchgate.net/publication/291829898\\_Logistyka\\_i\\_bezpieczenstwo\\_w\\_pracach\\_magazynowania\\_Logistics\\_and\\_safety\\_in\\_the\\_process\\_of\\_storage](https://www.researchgate.net/publication/291829898_Logistyka_i_bezpieczenstwo_w_pracach_magazynowania_Logistics_and_safety_in_the_process_of_storage) [dostępność dnia 04.09.2019 r.].

### 13. USPRAWNIENIA TRANSPORTU ŁADUNKÓW WÓZKAMI RĘCZNYMI

**Dariusz Demczuk**

Politechnika Świętokrzyska

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Email: [dariusz.demczuk@gmail.com](mailto:dariusz.demczuk@gmail.com)

**Paulina Kostrzewa**

Politechnika Świętokrzyska

Wydział Budownictwa i Architektury,

Email: [pkostrzewa@tu.kielce.pl](mailto:pkostrzewa@tu.kielce.pl)

**Streszczenie:** Transport po schodach jest niejednokrotnie uciążliwy ze względu na masę bądź gabaryty ładunku. Popularnością cieszą się ręczne wózki schodowe, które znacznie ułatwiają transport schodowy. Zastosowanie odpowiedniego typu wózka do transportu po schodach oraz wyposażenie go w napęd, daje możliwość bezpiecznego i wszechstronnego jego zastosowania. Udoskonalenie ręcznych wózków schodowych poprzez instalację napędu elektrycznego, w jeszcze lepszym stopniu usprawni transport przedmiotów między piętrami i znacznie odciąży osoby, których praca zawodowa jest z takim transportem związana. W pracy została przedstawiona koncepcja wózka schodowego napędzanego silnikiem elektrycznym oraz wykonany został projekt konstrukcji wspomnianego wózka. Szczegółowo przeanalizowano konstrukcje dostępnych na rynku modeli wózków i dobrano najlepszą do montażu napędu.

**Słowa kluczowe:** wózek schodowy, transport, ładunek, projekt konstrukcji

**Abstract:** Transporting on stairs is often onerous due to the weight or dimensions of the load. Manual staircases are very popular, which greatly facilitate stair transportation. The use of the right type of trolley for stairs and equipping it with a drive gives the possibility of its safe and versatile use. Improvement of manual staircases by installing an electric drive will further improve the transport of objects between floors and will significantly relieve people whose professional work is associated with such transport. The work presents the concept of a staircase powered by an electric motor and a design project of the said chair has been made. The designs of wheelchair models available on the market were analyzed in detail and the best one for the drive assembly was selected

**Keywords:** stair trolley, transport, load, structure design

#### 1. Wstęp

Przenoszenie ciężkich przedmiotów na wyższe piętra jest ciężką pracą, szczególnie w przypadku braku urządzeń do podnoszenia (windy, przenośnik itp.). Ponadto, większość budynków jest strukturalnie zatłoczona. Oznacza to, że nie jest wyposażona w windy ani schody ruchome. W związku z powyższym poszukuje się nowych rozwiązań bądź udoskonala istniejące, aby jak najbardziej można było zminimalizować niedogodności związane z ręcznym transportem ciężkich ładunków między różnymi poziomami.

Wózek ręczny to małe urządzenie transportowe służące do przenoszenia ciężkich

ładunków z jednego miejsca do drugiego. Jest to bardzo powszechne narzędzie używane w wielu branżach, które transportują fizycznie produkty. Wózek ręczny jest także nazywany „wózkiem transportowym” lub po prostu „wózkiem”. Wózek ręczny jest często używany przez osoby pracujące w magazynach, które organizują i uzupełniają towary w sklepach detalicznych. Przy prawidłowym stosowaniu wózki mogą chronić ludzi przed urazami kręgosłupa i innymi problemami zdrowotnymi, które mogą powstać w wyniku podnoszenia ciężkich ładunków.

Wózek transportowy jest przydatnym sprzętem wszędzie tam, gdzie musimy przenosić wiele ciężkich przedmiotów z miejsca na miejsce. Znajduje zastosowanie w wielu firmach i przedsiębiorstwach, może przydać się również w prywatnych celach. Wózek transportowy według definicji [wikipedia.org] to środek transportu wewnętrznego, którego zasięg jest ograniczony, ruch przerywany a ich głównym celem jest transport ładunków. Wózki transportowe szybko zyskały popularność i powstało ich wiele odmian. Różnorodność wózków transportowych sprawiała, że konieczne stało się ich usystematyzowanie według kryteriów wynikających z ich cech konstrukcyjnych lub użytkowych. [wikipedia.org].

Wózki ręczne w większości przypadków pracują na płaskim terenie. Ich użyteczność zmniejsza się, gdy konieczne staje się przemieszczenie obiektu po nieregularnej powierzchni. Dostawcy paczek często przeciągają załadowane wózki ręczne po schodach, aby dotrzeć do drzwi wejściowych budynku. Całe przeznaczenie konwencjonalnego wózka ręcznego polega na unikaniu podnoszenia i przenoszenia ciężkich przedmiotów. Podnoszenie wózka ręcznego na schodach jest sprzeczne z przeznaczeniem urządzenia, ponieważ użytkownik musi zapewnić wystarczającą siłę skierowaną do góry, aby podnieść całą wagę wózka i jego zawartość. Co więcej, geometria wózka ręcznego sprawia, że prawie niemożliwe jest podnoszenie nogami, tak jak jest to właściwe. Znaczne obciążenie jest nakładane na mięśnie grzbietu, a ryzyko urazu operatora znacznie się zwiększa. Wyciągnięcie standardowego wózka ręcznego po schodach wymaga od operatora wózka nagłego i silnego szarpnięcia wózka w górę. Ten ruch może spowodować uszkodzenie przedmiotów ładowanych na wózku lub spowodować ich całkowite wypadnięcie. Wózek ręczny, który mógłby przemieszczać się po schodach bez konieczności podnoszenia go przez użytkownika, poprawiłby bezpieczeństwo transportu ciężkich przedmiotów na nieregularnych powierzchniach.

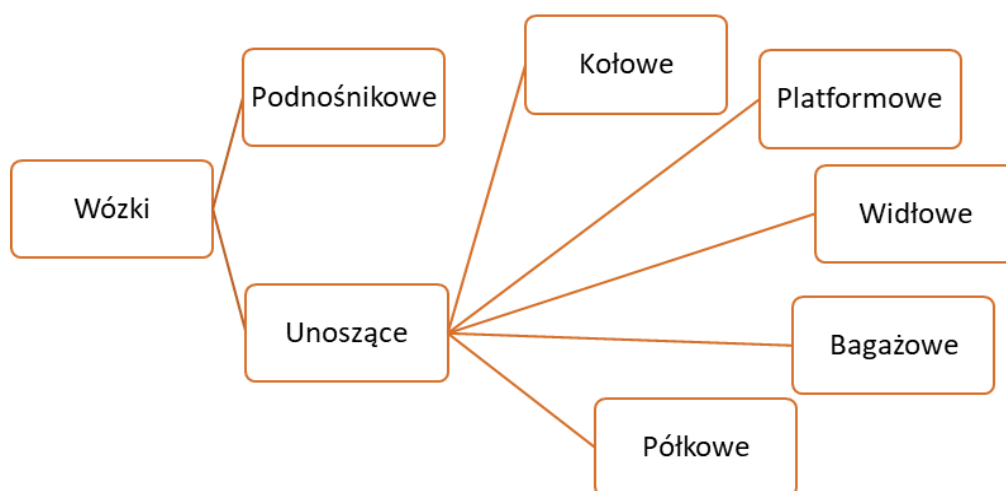
Na rynku widoczne jest zapotrzebowanie na wózki przeznaczone do transportu po schodach. Na chwilę obecną istnieje kilka typów wózków schodowych, różniących się przede wszystkim ilością kół i ich zamocowaniem. Nowością są wózki schodowe z własnym napędem, który sprawia, że praca z nimi jest jeszcze bardziej komfortowa.

Celem pracy jest opracowanie nowej konstrukcji wózka do transportu po schodach oraz wyposażenie go w własny napęd.

## 2. Klasyfikacja i budowa wózków ręcznych

Zgodnie z klasyfikacją PN-ISO 5053 z marca 1999 r [pzn.pkn.pl] oraz postanowieniami rozporządzenia [Dz.U. 2002 nr 120 Poz. 1021 ze zmianami z 2003 nr 28 poz. 240] Rady Ministrów z 3 lutego 2003 r., wózki podnoszące dzielą się na:

- Wózki podnośnikowe
- Wózki unoszące



**Rysunek 1. Schemat podziału wózków podnośnikowych i unoszących**

Wózki podnośnikowe podlegają dozorowi Urzędu Dozoru Technicznego. Są to wózki z przymocowaną platformą, widłami lub innymi urządzeniami umożliwiającymi manipulowanie ładunkiem. Wózki podnośnikowe są przystosowane przede wszystkim do podnoszenia ładunku ułożonego na paletach na wysokość, która umożliwia zarówno składowanie jak i pobieranie ładunku.

Kontrolom Urzędu Dozoru Technicznego podlegają wózki, które są wyposażone w mechaniczny napęd podnoszenia (spalinowy, elektryczny, hydrauliczny), nie wymagające bezpośredniego działania siły mięśni człowieka podczas podnoszenia ładunku.

Wózki unoszące, to grupa wózków, która nie podlega dozorowi technicznemu. Są one określane jako wózki z przymocowaną platformą lub widłami. Wózki unoszące są dostosowane do podnoszenia ładunku na wysokość, która umożliwi transport ładunku. Aby móc obsługiwać wózki unoszące nie są wymagane specjalistyczne uprawnienia UDT czy IMBiGS. Zgodnie z rozporządzeniem [Dz. U. nr 70, Poz. 650 ze zmianami z 2003 r. nr 65, Poz. 603] Ministra Gospodarki z 10 maja 2002r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy użytkowaniu wózków jezdniowych z napędem silnikowym, operator takiej maszyny musi mieć ukończone 18 lat i posiadać imienne zezwolenie od pracodawcy lub wykonawcy robót.

Typowy wózek ręczny składa się z dwóch małych kółek umieszczonych pod nośną platformą oraz ma zwykle dwa uchwyty na ramie nośnej. Te uchwyty służą do popychania, ciągnięcia i manewrowania urządzeniem. Istnieją różne kombinacje uchwytów i ich montażu. Uchwyty mogą wystawać z górnej tylnej części ramy lub zakrzywiać się od tyłu, tworząc jeden ciągły uchwyt w postaci ramy.



**Rysunek 2. Różne typy wózków schodowych**

Pusty wózek ręczny zwykle stoi pionowo w kształcie litery „L”, a produkty są zwykle na nim układane w postaci stosu na platformie. Po umieszczeniu towaru na miejscu, wózek jest odchylany do tyłu, tak aby ładunek był zrównoważony między platformą a ramą nośną. Zwłaszcza w przypadku przenoszenia ciężkich lub delikatnych materiałów, osoba obsługująca wózek powinna ostrożnie ustawić go w pozycji pionowej, aby upewnić się, że nic nie spadnie z platformy. Przód ramy może być dowolnie kształtowany, w zależności od typu oraz kształtu przewożonych elementów, np. zakrzywiony na bębny i beczki. Czasami wózek ręczny ma również paski do mocowania luźnego ładunku podczas transportu.

Osoby zajmujące się na co dzień transportem różnych przedmiotów i materiałów chętnie używają wózka ręcznego, szczególnie podczas przenoszenia przedmiotów, które są układane w stosy (pudła, skrzynki lub paczki). Cięższe przedmioty są zazwyczaj układane na spodzie wózka ręcznego, a lżejsze na górze. Użytkownicy wózków ręcznych muszą uważać, aby nie układać ładunku za wysoko, żeby nie blokować sobie widoczności bądź żeby ładunek nie stał się niestabilny. Zasadniczo bezpieczne jest ładowanie ręcznego wózka do poziomu jego uchwytów lub górnej części ramy. Ładunek jest następnie przesuwany na koła z ruchem do tyłu. Użytkownik może manewrować ładunkiem, kierując go w lewo, w prawo lub do przodu.

### **3. Analiza wielokryterialna doboru typu wózka**

Przeprowadzona została analiza techniczno – ekonomiczna różnych rozwiązań w ujęciu wielokryterialnym (wybór 3 – 7 kryteriów z grup: technologicznej, konstrukcyjnej, ekonomicznej, ekologicznej, eksploatacyjnej).

Doboru typu wózka dokonano na podstawie wieloczynnikowej analizy techniczno – ekonomicznej. Różne wózki były porównywane między sobą według następujących kryteriów:

- Udźwig
- Zwrotność
- Dostępność na rynku części zamiennych
- Koszt
- Trwałość
- Wygląd
- Wygoda obsługi



- Waga konstrukcji wózka

By analiza była czytelna i przejrzysta, do jej przeprowadzenia wybrano najistotniejsze sześć kryteriów.

**Tabela 1. Porównanie typów wózków**

| LP. | KRYTERIA                              | Wózek schodowy 2-kołowy | Wózek schodowy 6-kołowy | Wózek schodowy 10-kołowy |
|-----|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1.  | Udźwig                                | Do 200 kg               | Do 200 kg               | 230 kg                   |
| 2.  | Trwałość                              | Średnia                 | Wysoka                  | Wysoka                   |
| 3.  | Dostępność na rynku części zamiennych | Bardzo dobra            | Bardzo dobra            | Bardzo dobra             |
| 4.  | Wygoda obsługi                        | Średnia                 | Bardzo dobra            | Bardzo dobra             |
| 5.  | Waga wózka                            | Około 13-18 kg          | 14-19 kg                | 15-20 kg                 |
| 6.  | Koszt*                                | Około 420 zł            | Około 440zł             | Około 500 zł             |

\*Ceny wg producenta P.P.U.H. WIZ s.c. W. i Z. Zborowski na dzień 10.07.2019r. [wiz-wozki.com.pl]

**Tabela 2. Porównanie typów wózków wraz z przydzieleniem ocen**

| LP. | KRYTERIA                              | Wózek schodowy 2-kołowy | Wózek schodowy 6-kołowy | Wózek schodowy 10-kołowy |
|-----|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1.  | Udźwig                                | 4                       | 4                       | 5                        |
| 2.  | Trwałość                              | 3                       | 5                       | 5                        |
| 3.  | Dostępność na rynku części zamiennych | 5                       | 5                       | 5                        |
| 4.  | Wygoda obsługi                        | 3                       | 5                       | 5                        |
| 5.  | Waga wózka                            | 5                       | 4                       | 3                        |
| 6.  | Koszt                                 | 4                       | 4                       | 3                        |

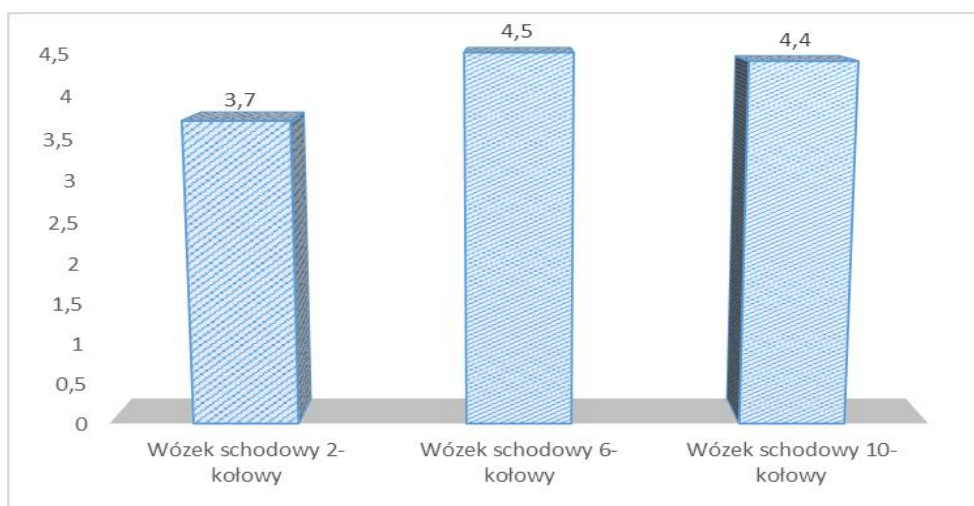
W tabeli została zastosowana skala punktacji o 2 do 5. Im wyższa liczba tym wynik lepszy.

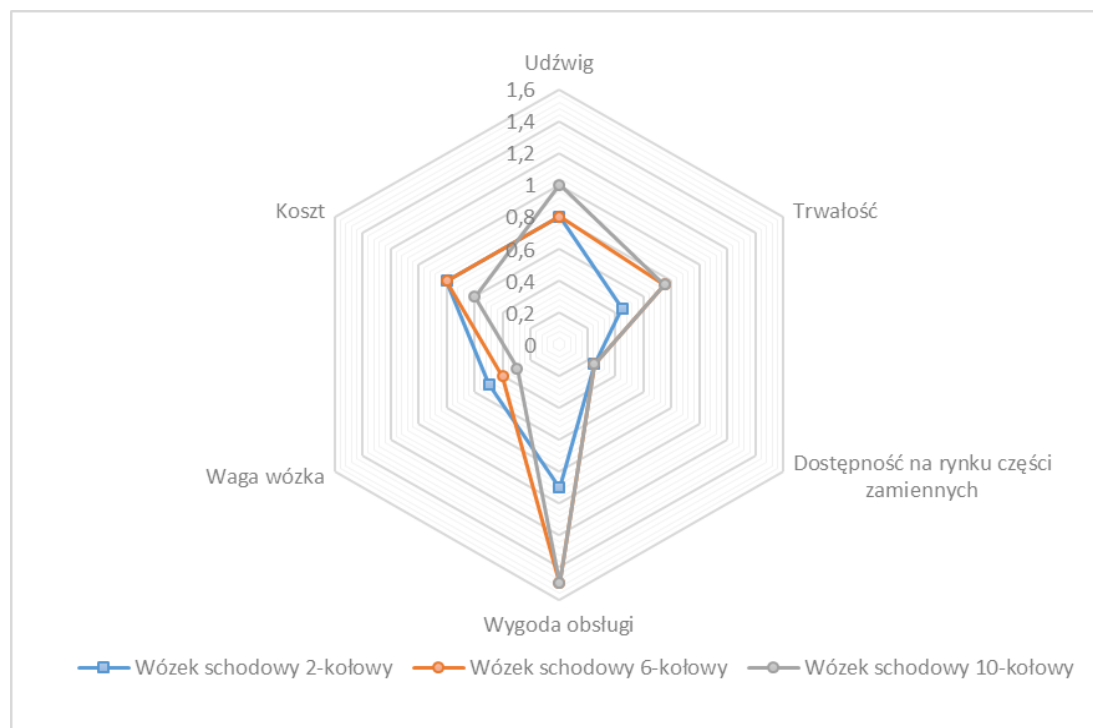
**Tabela 3. Waga poszczególnych parametrów**

| LP.  | KRYTERIA                              | Waga |
|------|---------------------------------------|------|
| 1.   | Udźwig                                | 0,20 |
| 2.   | Trwałość                              | 0,15 |
| 3.   | Dostępność na rynku części zamiennych | 0,05 |
| 4.   | Wygoda obsługi                        | 0,30 |
| 5.   | Waga wózka                            | 0,10 |
| 6.   | Koszt                                 | 0,20 |
| Suma |                                       | 1,00 |

**Tabela 4. Porównanie metod wykonania inwestycji z uwzględnieniem ważności poszczególnych parametrów**

| LP.  | KRYTERIA                              | Wózek schodowy 2-kołowy | Wózek schodowy 6-kołowy | Wózek schodowy 10-kołowy |
|------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1.   | Udźwig                                | 0,8                     | 0,8                     | 1,0                      |
| 2.   | Trwałość                              | 0,45                    | 0,75                    | 0,75                     |
| 3.   | Dostępność na rynku części zamiennych | 0,25                    | 0,25                    | 0,25                     |
| 4.   | Wygoda obsługi                        | 0,9                     | 1,5                     | 1,5                      |
| 5.   | Waga wózka                            | 0,5                     | 0,4                     | 0,3                      |
| 6.   | Koszt                                 | 0,8                     | 0,8                     | 0,6                      |
| Suma |                                       | 3,7                     | 4,5                     | 4,4                      |

**Rysunek 3. Ogólny wykres obrazujący ocenę poszczególnych typów wózków**



**Rysunek 4. Szczegółowy wykres porównujący poszczególne parametry różnych typów wózków**

Na podstawie analizy wielokryterialnej zdecydowano się na zaprojektowanie wózka 6-kołowego. Decydującym kryterium były wygoda obsługi, koszt i udźwig.

Wózek 6-kołowy składa się z dwóch podzespołów po 3 koła w konfiguracji „Tri-Star” z obu stron wózka. Koło Tri-Star zostało zaprojektowane w 1967 r. przez Roberta i Johna Forsytha z Lockheed Aircraft Corporation. Koło Tri-Star działa jak zwykłe koło na płaskim podłożu, ale ma zdolność do wznoszenia się automatycznie, gdy napotkana zostanie przeszkoda w toczeniu. Ta konstrukcja koła składa się z trzech opon, z których każda jest zamontowana na oddzielnym wale. Wały te znajdują się w wierzchołkach trójkąta równobocznego. Trzy wałki są skierowane do czwartego centralnego szybu (do którego może być przymocowany silnik). Te trójkwieździaste zestawy kół mogą z łatwością pokonywać wiele rodzajów terenu, w tym piasek i błoto; mogą również pozwolić pojazdowi na wznoszenie się nad małymi przeszkodami, takimi jak skały, dziury i schody. Zespół kół może być napędzany za pomocą przekładni.

Podczas jazdy wózkiem, dwa z trzech kół mają kontakt z podłożem. Trzecie koło znajduje się w górze, aż dolne przednie koło uderzy w przeszkodę. Przeszkoda uniemożliwia ruch koła przedniego, ale nie wpływa na ruch osi napędowej. Powoduje to, że górne koło obraca się do przodu, tak jak nowe przednie koło. Koło to zwykle ląduje na górze przeszkody i pozwala reszcie zespołu na przechodzenie przez przeszkodę.

#### 4. Dobór napędu

Po doborze odpowiedniego typu wózka, kolejnym krokiem w opracowaniu projektu był dobór napędu pojazdu. Do budowy pojazdów elektrycznych są stosowane następujące silniki [Plamitzer, 1982]:

- prądu stałego (komutatorowe ze wzbudzeniem elektromagnetycznym i komutatorowe ze wzbudzeniem magnesami trwałymi);
- prądu zmiennego trójfazowe (synchroniczne z trapezoidalnym kształtem siły elektromotorycznej, synchroniczne z sinusoidalnym kształtem siły elektromotorycznej, synchroniczne reluktancyjne przełączalne, asynchroniczne klatkowe).

Silniki prądu stałego można zasiląć bezpośrednio z przełączalnych akumulatorów lub poprzez oporniki rozruchowe (nie wymagają przetwornicy energoelektronicznej). Jednak to rozwiązanie jest mało praktyczne i niestety uniemożliwia późniejsze kształtowanie parametrów napędu. Jeśli chodzi o silniki prądu zmiennego to wymagają one przetwornicy energoelektronicznej. Silniki z magnesami trwałymi posiadają większą sprawność niż silniki bez magnesów. Dotyczy to jednak tylko silników w zakresie prędkości od 0 do prędkości znamionowej, ponieważ w takim zakresie prędkości nie pobierają prądu na wzbudzenie silnika z akumulatorów. Wspomniane silniki można stosować do napędu bezpośredniego jak również do napędu pośredniego z użyciem przekładni. [Kurdziel, 1977; Kurdziel, 1965].

O osiągnięciach pojazdu będzie decydował wybrany napęd, zatem przy jego doborze bardzo istotne są parametry silnika: moc, prędkość i moment obrotowy.

Po analizie różnych typów napędów, do konstrukcji wózka wybrano silnik szczotkowy DC 24V 550W model XYD-2 wolnobieżny motoreduktor MAGMA POLSKA [magma Polska.pl]. Wybrany silnik najczęściej jest stosowany przy skuterach, quadach oraz maszynach przemysłowych.

Dane techniczne silnika:

- silnik szczotkowy 24 V,
- pobór prądu 26 A,
- moc 550 W,
- zasilanie 24 V DC,
- pobór prądu 26 A,
- obroty 160 obr./minutę.

Prędkość obrotowa:

$$n = 160 \left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$$

Prędkość kątowna

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 160}{60} = 16,75 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Moc silnika

$$P = 550[W]$$

$$P = M \cdot \omega \rightarrow M = \frac{P}{\omega}$$

Moment obrotowy silnika

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{550}{16,75} = 32,84 \text{ Nm}$$

$$M = F_1 \cdot r \rightarrow F_1 = \frac{M}{r_1}$$

$$r = 0,009 \text{ m} = 9 \text{ mm}$$

$$F_1 = \frac{M}{r} = \frac{32,84}{0,009} = 3648 \text{ N} = 364,8 \text{ kg}$$

Przy uwzględnieniu zastosowanych przekładni:

Prędkość obrotowa ramy koła Tri-Star

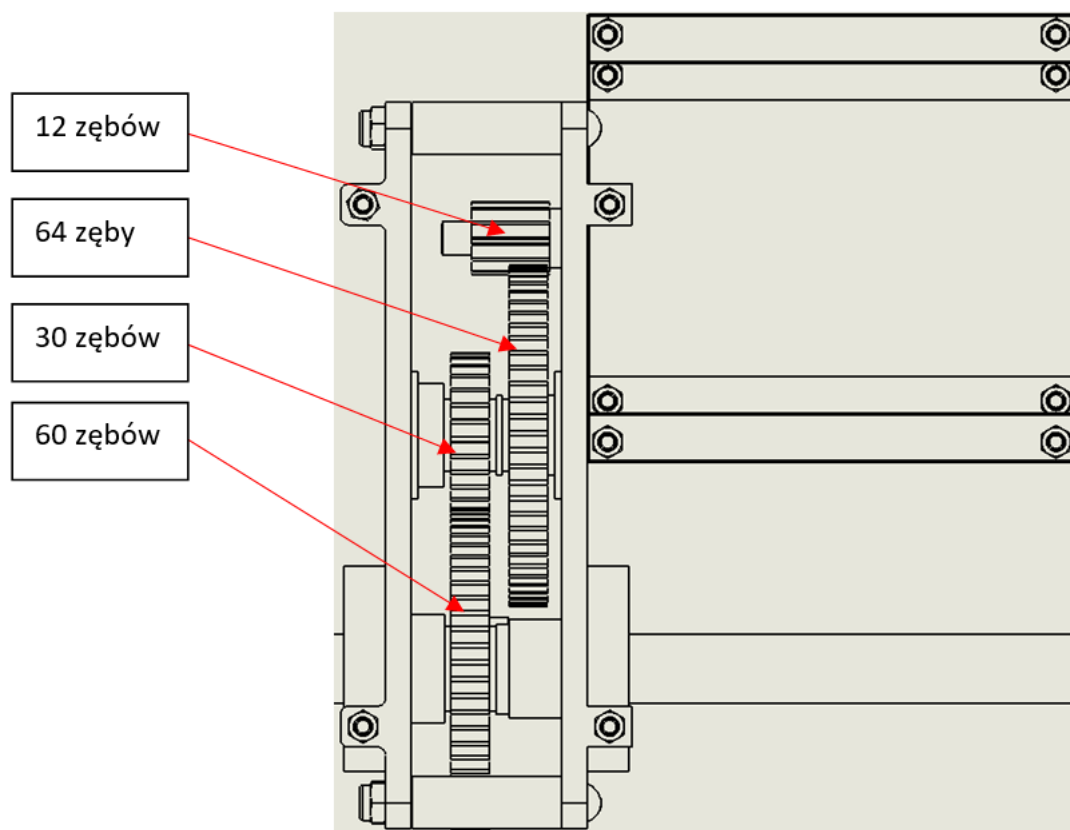
$$n = 160 \left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \cdot \frac{12}{64} \cdot \frac{30}{60} = 15 \left[ \frac{\text{obr}}{\text{min}} \right]$$

Prędkość kątowna ramy koła Tri-Star

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 15}{60} = 1,57 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Moment obrotowy ramy koła Tri-Star

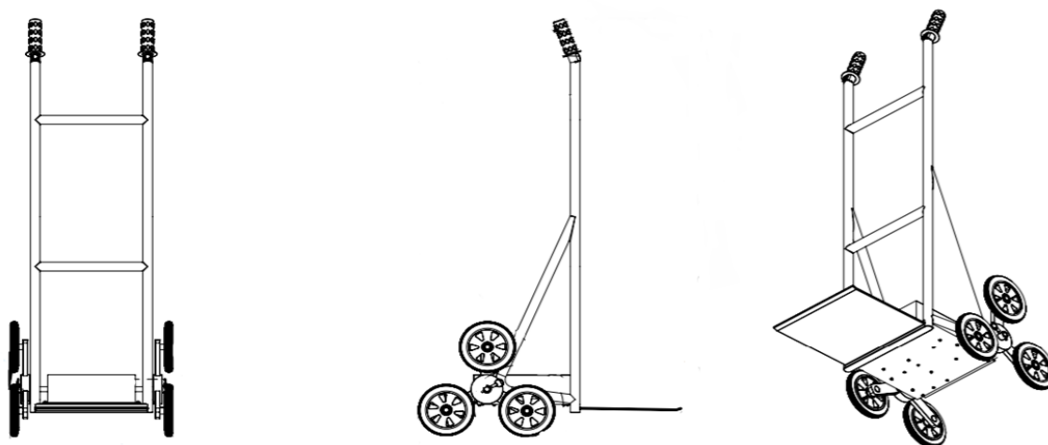
$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{550 \text{ W}}{1,57} = 350,32 \text{ [Nm]}$$



**Rysunek 5. Widok kół zębatach w przekładni**

### 5. Konstrukcja wózka do transportu po schodach w programie CAD

Konstrukcję wózka postanowiono wykonać w programie SOLIDWORKS 2016, w związku z wieloma zaletami programu jak i intuicyjnym interfejsem. Konstrukcja wózka była podzielona na kilka etapów prac, od konstrukcji ramy wózka, przez konstrukcję kół, automatyzację wózka przy użyciu silnika elektrycznego, aż po konstrukcję zabezpieczenia napędu i osłon. Początkowo zaprojektowano ramę, miejsce montażu silnika oraz koła. Zaplanowano rozmieszczenie śrub, łączników i kabli. W antypoślizgowej rękojeści umieszczono mechanizm włączający silnik i sterujący urządzeniem.



**Rysunek 6. Model wózka**

## 6. Wnioski

W pracy wykazano potrzebę rozwoju i unowocześniania mobilnych wózków schodowych. Wózki ręczne oraz wózki schodowe są chętnie wykorzystywane w dużych firmach, jak również przez prywatne osoby. Ogromnym ułatwieniem dla transportu po schodach jest instalacja w wózkach odpowiedniego napędu. W związku z czym celem pracy było opracowanie projektu zautomatyzowanego wózka schodowego.

Pierwszym etapem pracy było zbadanie rynku pod względem rodzajów dostępnych wózków oraz zapotrzebowaniem na konkretne ich typy. Przeprowadzono liczne analizy wielokryterialne, dzięki którym dobrano odpowiedni typ wózka schodowego, rodzaj napędu jak również materiały do jego wykonania. Wybrany i zaprojektowany został wózek trójkołowy, którego ramę wykonano ze stali a koła oraz uchwyty z gumy. Po analizie różnych typów napędów, do konstrukcji wózka wybrano silnik szczotkowy DC 24V 550W model XYD-2 wolnobieżny motoreduktor MAGMA POLSKA. Dobrany napęd ułatwi przenoszenie ciężkich przedmiotów między piętrami, a także znacznie poprawi funkcjonalność wózka schodowego.

Konstrukcję wózka, rysunki złożeniowe i wykonawcze utworzono w programie graficznym SOLIDWORKS 2016. Prace w programie rozpoczęto od stworzenia głównej ramy wózka, platformy, na której będą układane ładunki oraz wzmocnienia ramy. Następnie zaprojektowano koło, oponę, uchwyty wózka oraz obudowę silnika umieszczoną za platformą. Ergonomia wózka i jego wysokość została dostosowana do wzrostu przeciętnego człowieka. Szerokość, kształt i grubość rękojeści dobrano tak, żeby wózkiem można było komfortowo manewrować i pewnie trzymać. Gotowy model silnika pobrano z dedykowanych stron internetowych i wbudowano w projekt.

Wózki ręczne są bardzo przydatne i popularne jednak w konfrontacji z nierównym podłożem bądź schodami stają się niefunkcjonalne. Zastosowanie odpowiedniego typu wózka do transportu po schodach oraz wyposażenie go w napęd, daje możliwość bezpiecznego i wszechstronnego jego zastosowania.

### Bibliografia:

1. Kurdziel R. (1977). Elektronika dla ZSZ - część I. Warszawa: WSiP.
2. Kurdziel R. (1965). Podstawy elektrotechniki. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
3. Plamitzer A. M. (1982). Maszyny elektryczne. Warszawa: Wyd. Naukowo-Techniczne, s. 579-584.
4. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 lipca 2002 r. w sprawie rodzajów urządzeń technicznych podlegających dozorowi technicznemu. Tj. Dz.U. 2002 nr 120 Poz. 1021 ze zmianami z 2003 nr 28 poz. 240.
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 10 maja 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy użytkowaniu wózków jezdniowych z napędem silnikowym. Tj. Dz. U. nr 70, Poz. 650 ze zmianami z 2003 r. nr 65, Poz. 603.

### Wykaz stron internetowych:

6. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Wózek\\_transportowy](https://pl.wikipedia.org/wiki/Wózek_transportowy)\_<dostęp on-line: 2019.07.01>

7. Unizeto Technologies SA, Wykaz aktualnych PN, [pzn.pkn.pl](http://pzn.pkn.pl) <dostęp on-line: 2019.07.01>
8. <https://www.wiz-wozki.com.pl/> <dostęp on-line: 2019.07.01>
9. <http://www.magmapolska.pl/> <dostęp on-line: 2019.07.01>



## 14. ANALIZA CZYNNIKÓW DETERMINUJĄCYCH JAKOŚĆ WIN

**Barbara Dziedzic**

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

Wydział Towaroznawstwa i Zarządzania Produktem

Email: dziedzicbarbaraa@gmail.com

### 1. Wstęp

W produkcji winna kluczowe znaczenie mają: lokalizacja winnicy, sposób prowadzenia winnicy, odmiany winorośli, metody winifikacji oraz umiejętności i talent winiarza. Wino jest doskonałym odzwierciedleniem swojego *terroir*, czyli unikatowego splotu warunków geologicznych i klimatycznych, w którym jest produkowane. W przypadku wina, za *terroir* uważane są: gleba oraz skała, która pod nią jest położona, wysokość nad poziomem morza, orientacja wobec słońca, stopień nachylenia terenu, mikroklimat (m.in. deszcze, wiatry, wahania temperatur, wilgotność).

W niniejszej publikacji przeanalizowano najważniejsze czynniki determinujące jakość win.

### 2. Warunki glebowe

Oprócz odmiany winorośli oraz sposobu winifikacji istotnym czynnikiem decydującym o jakości wina jest gleba, czyli podłoże, w którym ukorzeniają się krzewy winne. Uważa się, że krzew winny mówi o jakości podłoża, które jest pamięcią natury. Smak wina jest odzwierciedleniem etapów powstawania kolejnych warstw gleby oraz powstałego w ten sposób obrazu całości warunków glebowych [winaniemieckie.pl].

Zróżnicowanie smakowe a także szeroki wybór odmian win jest spowodowany zróżnicowaną strukturą glebową regionów winiarskich. Począwszy od kruchych podłoży łupkowych, piaszczystych czy twardego granitu, poprzez gleby gliniaste oraz lessowe, skończywszy na umiejętnościach winiarza, to wszystko ma wpływ na szeroką ofertę win na całym świecie [winaniemieckie.pl].

Charakter wina, jego smak, aromat, konsystencja oraz barwa zależą od *terroir*, natomiast jakość od producenta wina. *Terroir*, to czysto francuskie pojęcie, które oznacza poczucie miejsca. Termin ten określa unikatowy splot warunków klimatycznych oraz geologicznych, w których wytwarzany jest konkretny produkt. W *terroir* zawarty jest klimat, gleba oraz ukształtowanie terenu. W przypadku wytwarzania wina, *terroir* to: gleba, ziemia, leżąca pod glebą skała, nachylenie terenu, wysokość nad poziomem morza, mikroklimat (m.in. wiatry, deszcze, wilgotność, zmiany temperatur itd.), orientacja wobec słońca. Każda winnica ma swój jedyny, indywidualny i niepowtarzalny *terroir* [Halliday i Johnson; Mallet].

Winorośl nie jest rośliną trudną czy wybredną w kwestii warunków glebowych. Winnice można zakładać na glebach uważanych za stosunkowo suche oraz ubogie. Przykładem są gleby piaszczyste. Gleba dobrana w odpowiedni sposób może przyczynić się do poprawy jakości wina, zwiększyć szansę na uzyskiwanie bardziej regularnych plonów a także zmniejszyć ryzyko oraz koszty związane z uprawą winorośli. Grunty te mogą być zakwalifikowane nawet do klasy VI botanicznej, która określa grunty uważane za mało

przydatne pod uprawy. Gleby zbyt wilgotne, ubite oraz ciężkie nie są odpowiednie dla winorośli. Natomiast służą jej gleby o umiarkowanej wilgotności, przepuszczalne i przewiewne. Nie zaleca się sadzenia winorośli na glebach zbyt płaskich, które zalegają pod litą skałą, bądź warstwą zbitych oraz nieprzepuszczalnych ilów i glin. Nie jest to idealne środowisko, w szczególności dla miejsc, w których nie panują wysokie temperatury, ponieważ system korzeniowy winorośli rozwija się relatywnie szybko i blisko powierzchni gruntu, przez co jest narażony na przemarzanie. Przepuszczalna warstwa gleby oraz podglebia, która jest dostępna dla korzeni powinna sięgać minimum 40 cm w przypadku gleb zwartych, np. gleb gliniastych, a 60 cm dla gleb lekkich i luźnych np. gleb piaszczystych. Ponadto, w miejscach przeznaczonych na sadzenie winorośli poziom wód gruntowych nie powinien przekraczać 2-3m nad powierzchnię. Zbyt wysoki poziom wody oraz wysoka wilgotność podłoża jest odpowiedzialna za gnicie systemu korzeniowego oraz choroby bakteryjne i grzybicze drewna, czego konsekwencją może być obumarcie krzewów. Natomiast na glebach luźnych, przepuszczalnych (głównie piaszczystych) może być wymagane okresowe nawadnianie winorośli, w szczególności w początkowym okresie, w którym rozwija się system korzeniowy. Gleby obojętne oraz lekko kwaśne są idealne dla winorośli. Dla zdecydowanej większości odmian odczyn gleby pH wynosi 6,0-7,2. Gleby, które mają odczyn kwaśny wymagają odpowiedniego wapnowania. W Polsce, połowa gleb ma zbyt kwaśny odczyn [Myśliwiec, 2009].

Skład granulometryczny gleby, a dokładniej zawartość poszczególnych frakcji cząstek mineralnych gleby, zwany jest teksturą gleby. Najczęstszym klasyfikatorem gleb pod winnice jest ich tekstura. Dokonuje się podziału, na charakterystyczne cechy gleb, które są istotne przy uprawie winorośli m.in. własności termiczne, przepuszczalność wodną, itd. W składzie granulometrycznym nie uwzględniono właściwości chemicznych, a także zawartości substancji organicznych zawartych w glebie, jednakże ewentualne braki mogą zostać skorygowane za pomocą odpowiednich nawozów oraz upraw [Bourguignon i Gabbucci; 2000].

**Tabela 1. Podział frakcji mineralnych cząstek gleby, w zależności od ich średnicy**

| Frakcje cząstek mineralnych gleby | Średnia gleby [mm] |
|-----------------------------------|--------------------|
| <b>Kamienie</b>                   | < 75,0             |
| <b>Żwir</b>                       | 2,0-75,0           |
| <b>Piasek</b>                     | 0,5-2,0            |
| <b>Pył</b>                        | 0,02-0,5           |
| <b>Il</b>                         | >0,02              |

Źródło: Opracowanie własne.

Części szkieletowe (szkielet gleby) to kamienie oraz żwir. Części ziemiste składają się z pyłu, piasku a także il. Części spławiane to drobne pyły, których średnica nie przekracza 0,02mm (np. Iły). Gleby, w których przeważają części szkieletowe są najbardziej cenione w krajach winiarskich, ponieważ zawarte w nich kamienie oraz żwir w znaczącym stopniu polepszają własności termiczne gleby, polepszają drenaż wody i zmniejszają jej parowanie, zapobiegają erozji. Jednakże to poszczególne frakcje części ziemistych są odpowiedzialne za podstawowe własności fizyczne oraz fizykochemiczne gleb. Natomiast części spławiane

odgrywają kluczową rolę, gdyż od ich zawartości zależy zdolność do utrzymania pojemności wodnej, czyli wilgoci w glebie oraz właściwości sorpcyjnych, czyli zdolności utrzymywania przez roślinę przyswajalnych substancji odżywczych [Bourguignon i Gabbucci; 2000].

**Tabela 2. Wpływ wybranych frakcji części ziemistych na właściwości gleby**

| <b>Wyszczególnienie</b>                  | <b>Piasek</b>    | <b>Pył</b>        | <b>Il</b>                |
|------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|
| <b>Przewiewność</b>                      | dobra            | średnia           | słaba do średniej        |
| <b>Drenaż wodny</b>                      | duży             | mały do średniego | bardzo mały do małego    |
| <b>Pojemność wodna</b>                   | mała             | średnia do dużej  | duża                     |
| <b>Zawartość składników organicznych</b> | mała             | średnia do dużej  | średnia do dużej         |
| <b>Rozkład materii organicznej</b>       | szybki           | średni            | powolny                  |
| <b>Nagrzewanie się gleby</b>             | szybkie          | średnie           | powolne                  |
| <b>Pojemność cieplna</b>                 | mała             | średnia do dużej  | średnia do dużej         |
| <b>Podatność na erozję wodną</b>         | mała do średniej | mała              | mała do średniej         |
| <b>Podatność na erozję wietrzną</b>      | średnia do dużej | duża              | bardzo mała              |
| <b>Zmiany objętości</b>                  | bardzo małe      | małe              | Średnie do bardzo dużych |
| <b>Właściwości sorpcyjne</b>             | słabe            | średnie           | dobrze                   |

Źródło: [15].

Wyrównaną i dobrą jakość winogron uzyskuje się w miejscach, w których krzewy winorośli mają możliwość rozwinięcia głębokiego systemu korzeniowego oraz korzystania z wilgoci, która jest zawarta w głębszych warstwach podłoża. Stanowi to dodatkową ochronę dla korzeni przed zachwianiem bilansu wodnego, w przypadku dużych opadów oraz suszy. Innym czynnikiem, który znacznie wpływa na właściwości hydrofizyczne gleby jest struktura gruzełkowata, szczególnie charakterystyczna dla gleb o wysokiej zawartości wapnia i próchnicy oraz aktywności organizmów glebowych [Bourguignon i Gabbucci; 2000].

Humus, czyli próchnica glebowa, część organiczna gleby, która powstaje głównie ze szczątków zwierząt oraz roślin rozłożonych przez mikroorganizmy glebowe. Decyduje ona o żywotności gleby. Ma ona wpływ na jej właściwości fizyczne, m.in. na porowatość, swoistość, przepuszczalność, strukturę i pojemność termiczną oraz wodną. Ponadto, w znacznym stopniu odpowiada za właściwości sorpcyjne gleby, czyli za zdolność utrzymania w glebie przyswajalnych składników pokarmowych. Obecność humusu w glebie, pozwala ograniczyć starty związków mineralnych (m.in. azotu i potasu), które wypłukują się wolniej z podłoża i trudniej przenikają w jej głębsze warstwy. Optymalna zawartość próchnicy w ornej warstwie gleby wynosi od 2 do 3% wagowych. Zbyt duża ilość próchnicy może powodować nadmierny wzrost krzewów, drewnienie latorośli a także gorsze

dojrzewanie winogron. Z kolei niedobór próchnicy w sposób wyraźny pogarsza stan gleby, jej właściwości fizyczne. Próchnica jest substancją całkowicie naturalną, tym samym w przeciwieństwie do nawozów sztucznych, nie niesie ona zagrożeń związanych z zasoleniem gleby, bądź przenawożeniem roślin. Jedynie jej odczyn, który jest uzależniony od materiału genetycznego z jakiego powstała, może być niebezpieczny dla niektórych gatunków [Bourguignon i Gabbucci; 2000].

Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na strukturę gleby są żywe organizmy. Za spulchnianie gleby i poprawę przepuszczalności odpowiadają korzenie drzew. Mikroorganizmu, które występują w glebie, w szczególności bakterie rozkładają szczątki organiczne i przyczyniają się do wytworzenia próchnicy. Dodatkowo uwalniają z minerałów m.in. magnez, fosfor, wapń, potas w formie, która jest przyswajalna dla winorośli. Za przepuszczalność oraz przewodność odpowiadają również owady, drożdżownie, roztocza oraz niewielkie ssaki (np. myszy, krety), które głęboko spulchniają glebę. Im większa aktywność biologiczna gleby tym lepiej, głębiej ukorzeniają się krzewy winorośli, tym samym zwiększa się ich odporność na mrozy i wahania temperatur i wilgoci oraz poprawia się jakość owoców i wina. Niestety efekt ten może zostać łatwo zniszczony przez nadmierne używanie środków chemicznych bądź sprasowanie gleby sprzętem mechanicznym [Bourguignon i Gabbucci; 2000].

Poprzez nawożenie gleby nawozami można w sposób sztuczny dostarczyć potas i wapń. Jednak dystrybucja tych pierwiastków poprzez nawożenie nigdy nie będzie w takim stopniu równomierna i stała, jak w przypadku ich naturalnej obecności w glebie [Van Leeuwen, 2010].

### 3. Czynniki klimatyczne

Ilość słońca, temperatura, poziom wilgotności, to czynniki które są związane z klimatem oraz decydują m.in. o zawartości cukru w winogronach, tym samym decydują o smaku wina. W każdym klimacie umiarkowanym może rosnąć winorośl. Jednakże to, czy obrodzi zdrowymi owocami, z których będzie się dało produkować dobre wino zależy od wielu czynników. Klimat jest to ogół zdarzeń pogodowych na konkretnym obszarze w okresie wieloletnim, opisywany jest według długofalowych przeciętnych. Pogoda natomiast, jest stanem atmosfery w danym miejscu i czasie. Pogoda może zniszczyć bądź stworzyć rocznik, może nadać winu szczególną charakterystykę, jednakże to od klimatu zależy, jakie grona wyrosną oraz jak skutecznie będą dojrzewać w danej okolicy [Halliday i Johnson; 2008].

Optymalna temperatura dla fotosyntezy i wzrostu winorośli wynosi od 23°C do 25°C przy zachowaniu właściwej wilgotności oraz odpowiedniej ilości substancji odżywczych. Przy spełnieniu tych wymagań, mechanizm wzrostu winorośli będzie idealnie zrównoważony, natomiast rozwój latorośli i liści zostanie wykorzystywany do produkcji cukru. Przy wzroście temperatury powyżej tego poziomu, winorośl nie otrzymuje dodatkowych substancji odżywczych przez zwiększoną fotosyntezę, natomiast intensywnie zużywa cukier przez wzmożone oddychanie. Tym samym mniej cukru dostaje dla owoców. Wina produkowane w zbyt ciepłych okolicach są jasnego koloru, mają anemiczny smak [Gladstones; Halliday i Johnson].

W przypadku, gdy temperatura spada, nawet poniżej 15°C, fotosynteza przebiega w dalszym ciągu. Jednakże inne czynniki wpływają na spowolniony wzrost winorośli. Idealna

przeciętna temperatura dojrzewania dla winogron białych to około 19°C, a dla czerwonych 21°C. W takich temperaturach wytwarzana jest przez winorośl maksymalna nadwyżka cukru niezbędna dla wzrostu owoców. Nadwyżka cukru najpierw gromadzi się w winogronach, by później mogła zostać przez nie wykorzystana podczas procesu dojrzewania. W tym czasie pojawia się działalność enzymów w celu wytworzenia substancji nadających smak oraz barwę. Jeżeli zostaną zachowane podstawowe ograniczenia temperatury, kolor, smak oraz poziom słodczy i kwasowości, winogrona będą tym lepsze, im proces dojrzewania przebiegać będzie szybciej. Między innymi dlatego, w chłodniejszych strefach klimatycznych, ciepłe lata są najlepszym okresem dla winorośli. Wszystkie zmiany metaboliczne, które zachodzą w gronach zamierają w temperaturze poniżej 90°C. Chłodne noce również spowalniają dojrzewanie pod każdym aspektem. W najślenniejszych chłodnych regionach winiarskich, pełnię smaku osiąga się podczas dojrzewania w stosunkowo niskich, średnich temperaturach. Z kolei, w klimacie ciepłym, nie gorącym, pełnię smaku otrzymuje się, przed spadkiem kwasowości oraz gdy poziom cukru i pH wzrośnie za bardzo smak [Gladstones; Halliday i Johnson].

Różnice temperatur mają zarówno pozytywne, jak i negatywne działania na winorośl i winogrona. Do pozytywnych oddziaływań zmian temperatury można zaliczyć to, że przy nocnych temperaturach 15°C-20°C dojrzewanie fotosyntetyczne przebiega w dalszym ciągu, a wraz z nim gromadzą się substancje, które są odpowiedzialne za nadanie barwy i smaku. Negatywne, to możliwość spowodowania poważnych szkód w związku z przymrozkami, na początku i na końcu sezonu. Natomiast nadmiar ciepła może prowadzić do uschnięcia, opadania liści, a nawet spieczenia owoców [Halliday i Johnson, 2008].

Z kolei ilość wody jaką wypija winorośl, uzależniona jest od tego, ile jej transportuje oraz ile jest dostępnej wody na danym obszarze. Klimat południowych regionów śródziemnomorskich cechuje się silnymi oraz najbardziej decydującymi opadami na przełomie zimy i wiosny, natomiast lato jest słoneczne i suche.

Na równi z nawadnianiem winorośli jest jego natężenie. Najbardziej wrażliwymi momentami są: etap kwitnienia oraz *véraison*, czy podczas którego zmienia się barwa jagód, a także ustaje podział komórek. Niewystarczająca ilość wody w trakcie kwitnienia powoduje słaby rozwój owoców oraz tracenie gron. Z drugiej strony, nadmiar wody przed i w trakcie *véraison* powoduje zmniejszenie wielkości jagód (nie zawsze jest to efekt niepożądany). Zdecydowana większość winnic stosuje w swoich systemach irygacyjnych kroplówki, po jednej na krzak. Wypuszczają one kontrolowaną ilość wody, średnio od dwóch do czterech litrów w ciągu godziny. Nawadnianie może zostać wykorzystane w celu zwiększania plonów, przez pobudzenie gron oraz kiści do szybszego wzrostu, poprzez zwiększenie liczby kiście, bez niepożądanych skutków, czego dowodem są pomiary chemiczne na zawartość poziomu pH, cukru oraz kwasów. Pośrednią konsekwencją nadmiernego nawadniania jest czasami kiepska jakość winogron.

Metoda irygacji jest uznawana za najbardziej skuteczną oraz dającą największą kontrolę. Oprócz niej stosuje się również metody, o wiele starsze. Najstarszą techniką jest powódź lub zalew. Stosowana jest m.in. w Chile, gdzie tereny są bardzo suche a Andy dostarczają koniecznych zapasów wody.

Na terenach, na których opady deszczu podczas wegetacji wraz z zapasami wilgoci w glebie są na tyle wysokie, że uniemożliwiają winorośli wzrost. Zbiory z takich roczników

nie dojrzewają w sposób odpowiedni, mają rozcieńczony smak oraz często gniją [Halliday i Johnson, 2008].

#### 4. Mechanizacja winnicy

Współczesna technologia bierze udział w przygotowaniu terenów pod winnice, m.in. poprzez zastosowanie laserów, które umożliwiają wyrównanie ziemi z niemal idealną precyzją przed etapem sadzenia winorośli, a także przez zainstalowanie sterowanych kroplówek nawadniających. Mechanizacja w winnicy rozpoczyna się wraz z momentem zasadzenia winorośli. Rozległe tereny winnic obsadzone są przy użyciu urządzeń przymocowanych do ciągników, które odkładają, odsuwają skiby, aby prowadzący traktor był w stanie wrzucić winorośl. Większa dokładność, oszczędność czasu oraz pieniędzy w porównaniu z sadzeniem ręcznym jest olbrzymia [Halliday i Johnson, 2008].

Przez pierwsze dwa lata istnienia współczesnych winnic, mogą być potrzebne ręce do pracy. Po tym czasie, wkracza mechanizacja. Obejmuje ona przycinanie winorośli, wszelkie prace związane z kształtowaniem korony, a także podczas okresu wegetacyjnego prowadzenie krzaków. Ponadto mechanizacja zbiorów winogron zapobiega pękaniu owoców oraz skraca czas, podczas którego może dojść do utlenienia gron [Halliday i Johnson, 2008].

#### 5. Skład chemiczny wina

Głównym składnikiem wina jest woda. Jej zawartość waha się od 60% (ciężkie wina likierowe o dużej zawartości cukru) do 90% (lekkie, wina wytrawne). Sok z winogron składa się z około 80% wody, jeśli konkretny rok był obfity w deszcze, to zawartość ta może być większa. Natomiast, jeśli była susza to otrzymane wina będą niezwykle skoncentrowane oraz kwasowe [Cieślak; blog.winezja.pl].

Ekstrakt ogólny wina składa się z cukrów w około 15% a także tzw. „ekstraktu bezcukrowego” w ilości 15-25g na litr soku. Winogrona, fizjologicznie gotowe do zbioru, zawierają około 200g cukru na litr soku. „Ekstrakt bezcukrowy” jest sumą wszystkich nielotnych składników wina, m.in. nielotnych kwasów organicznych, po odliczeniu zawartości cukru. Decyduje on o właściwym smaku wina [Cieślak; blog.winezja.pl].

Wino zawiera kilkanaście różnych kwasów. Polifenole mają podstawowy wpływ na kolor oraz budowę wina. Są to związki chemiczne, pochodne fenoli. Wśród nich można wyróżnić antocyjany (pigmenty), które są w skórkach gron oraz odpowiadają za kolor wina, a także fenoplasty, inaczej zwane garbnikami lub taninami. Taniny znajdują się w szypułkach, skórkach i pestkach winogron, mogą pochodzić również z drewna beczek, jeśli wino było w nich fermentowane [blog.winezja.pl].

Wśród alkoholi zawartych w winie, wymienić można etanol oraz alkohole wyższe. Według przepisów, a także prawa winiarskiego w winie nie powinno zawierać mniej aniżeli 7% zawartości alkoholu. Wina, które zawierają powyżej 18% zawartości alkoholu są klasyfikowane jako wina wzmocnione. Alkohole wyższe, znane jako fuzle są odpowiedzialne za bukiet wina oraz określają jego jakość, chociaż występują w winie w śladowych ilościach. Zalicza się do nich m.in. glicerol, który nadaje winu łagodność, lepkość oraz koncentrację [Cieślak; blog.winezja.pl].

O tożsamości wina decydują kolor, smak oraz aromat. Aromaty różnią się charakterem oraz momentem, w którym pojawiają się w winie [blog.winezja.pl].

## 6. Procesy biotechnologiczne w produkcji wina musującego

Z biegiem lat technologia produkcji wina przeszła wiele istotnych zmian. Wśród szeroko dostępnych zastosowań biotechnologicznych, część z nich znalazła zastosowanie szczególnie przydatne w winiarstwie oraz produkcji win musujących. Do poprawy jakości win zaczęto używać wybranych, unieruchomionych i poddanych enzymatycznym zabiegom drożdży [Torresi i Frangipane i Anelli, 2011].

Dobór szczepu drożdżowego jest jednym z najważniejszych czynników, które należy uwzględnić w procesach wtórnej fermentacji do produkcji wina musującego. W rzeczywistości stwierdzono, że szczep drożdży stosowany do refermentacji może odgrywać ważną rolę w procesie starzenia i może wpływać na końcowy skład win musujących. Wynika to również z faktu, że refermentacja zachodzi w zamkniętych butelkach bez rozpraszania związków. Wiele szczepów *S. cerevisiae* produkuje dobrej jakości wina musujące, ale o różnych właściwościach. Ponadto, niektóre szczepy drożdży są tak aromatyczne, że przy ich użyciu można uzyskać dobrej jakości wino musujące z niearomatycznych win bazowych.

Drożdże, przy pomocy których przeprowadza się wtórną fermentację, muszą spełniać szereg dodatkowych właściwości w porównaniu do tych stosowanych w pierwszej fermentacji produkcji wina bazowego. Poza tym, że są odporne na etanol, muszą mieć wysoką zdolność flokulacji, aby ułatwić ich eliminację z butelki. Flokulacja jest charakterystyczną cechą drożdży polegającą na tym, że komórki mają zdolność tworzenia zwartych grudek, które tworzą osad w butelce. Ta cecha jest często występującą cechą u *S. cerevisiae*, ale nie w przypadku *S. uvarum*. Po wstrząśnięciu duże grudki ponownie zawieszają się, ale silnie wytrącają się oraz tworzą osad. Flokulacja jest bardzo ważną cechą, szczególnie w przypadku produkcji wina musującego tradycyjną metodą. Niektóre geny zaangażowane w flokulację są niezwykle zmienne i powodują częste zmiany profilu flokulacji niektórych szczepów. W przyszłości modyfikacja genetyczna może stanowić cenną metodę poprawy niedoskonałego profilu flokulacji niektórych szczepów win musujących [Torresi i in., 2011].

Podczas starzenia w kontakcie z osadem, drożdże ulegają autolizie i uwalnianych jest kilka związków, które znacząco wpływają na właściwości wina i wpływają na jego jakość sensoryczną [Torresi i in., 2011].

## 7. Podsumowanie

W pracy zostały przeanalizowane czynniki wpływające na jakość win. Analizie poddano czynniki klimatyczne, warunki glebowe, temperatury, mechanizację winnicy, skład chemiczny wina, a w przypadku wina musującego również procesy biotechnologiczne.

Podłoże, w którym ukorzeniają się krzewy winne, odmiany winorośli oraz sposoby winifikacji są istotnymi czynnikami decydującymi o jakości wina.

Ilość słońca, temperatura, poziom wilgotności, to czynniki które związane są z klimatem oraz decydują m.in. o zawartości cukru w winogronach (tym samym mają wpływ na smak wina). W każdym klimacie umiarkowanym może rosnąć winorośl.

Ponad 95% światowej produkcji wina jest produkowana na masową skalę. Jego głównym składnikiem jest woda, której zawartość waha się od 60% (ciężkie wina likierowe o dużej zawartości cukru) do 90% (lekkie, wina wytrawne). Ekstrakt ogólny wina składa się

z cukrów w około 15% a także tzw. „ekstraktu bezcukrowego” w ilości 15-25g na litr soku. Wino zawiera kilkanaście różnych kwasów. Polifenole mają podstawowy wpływ na kolor oraz budowę wina.

Optymalna temperatura dla fotosyntezy i wzrostu winorośli to od 23°C do 25°C przy zachowaniu właściwej wilgotności oraz odpowiedniej ilości substancji odżywczych. Przy spełnieniu tych wymagań, mechanizm wzrostu winorośli będzie idealnie zrównoważony, natomiast rozwój latorośli i liści zostanie wykorzystywany do produkcji cukru.

Produkcja win wysokogatunkowych w ostatnim ćwierćwieczu stale jest udoskonalana, w głównej mierze dzięki badaniom naukowym. W tej dziedzinie wiedza biotechnologiczna może się stać coraz ważniejsza, nie tylko w odniesieniu do mikroorganizmów zaangażowanych w proces fermentacji, ale także z powodu zastosowania enzymów podczas procesu tłoczenia gron, wstępnej fermentacji oraz udoskonalania win.

### **Bibliografia:**

1. Bourguignon C., Gabbucci L.: Function of the Soil in the Expression of the "Terroir"; IFOAM 2000 - The World Grows Organic. Proceedings, 13th International IFOAM Scientific Conference, Bazylea, 2000.
2. Cieślak J.: Domowy Wyrób Win; Olesiejuk, Ożarów Mazowiecki, 2013.
3. Gladstones J.: Wine, terroir and climate change; Winetitles, Adelaide, 2011.
4. Halliday J., Johnson H.: Wino sztuka i nauka; Wydawnictwo Iskry, Warszawa, 2008.
5. Mallet G.: Ostatnia szansa, żeby dobrze zjeść; Wydawnictwo Książkowe Twój Styl, Warszawa 2006.
6. Myśliwiec R.: Uprawa winorośli; Plantpress, Kraków, 2009.
7. Torresi S., Frangipane M-T., Anelli G.: Biotechnologies in sparkling wine production. Interesting approaches for quality improvement: A review. Food chemistry, 129.3, 2011, 1232.
8. Van Leeuwen C.: Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes, Reynolds A., Managing wine quality. Volume 1: Viticulture and wine quality; Cambridge, 2010.

### **Wykaz stron internetowych:**

9. <http://www.winaniemieckie.pl/wiedza/uprawa-winorosli/gleba-i-polozenie/> (15.07.2019).
10. <https://blog.winezja.pl/substancje-wchodzace-w-sklad-wina/> (15.07.2019).



## 15. TYMCZASOWE ZABEZPIECZENIE WYKOPÓW W ASPEKCIE WIELOKRYTERIALNEGO PODJEMOWANIA DECYZJI

**Katarzyna Gałek**

Politechnika Świętokrzyska

Wydział Budownictwa i Architektury

Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

25-314 Kielce

Email: galekkatarzyna93@gmail.com

### 1. Wstęp

Ciągła potrzeba rozbudowy miast oraz związana z tym rozbudowa komunikacji miejskiej wiąże się z przeprowadzaniem robót budowlanych. Coraz mniejsza ilość dostępnego miejsca na terenach zurbanizowanych powoduje, że obiekty coraz częściej lokowane są pod ziemią. Wykonanie posadowienia nowo powstałych obiektów wymaga wykonania głębokiego wykopu, najczęściej wykopu szerokoprzestrzennego. Wykop narusza stan gruntu, co wpływa na sąsiadujące obiekty. Wykonanie obudowy wykopu jest nieodłączne. W trakcie projektowania wykopu wraz z zabezpieczeniem konieczne jest uwzględnienie warunków gruntowo-wodnych, wystąpienia ewentualnego ryzyka utraty stateczności oraz ekonomii. Obudowy tymczasowe utrzymują ściany gruntowe, zapobiegając utracie stateczności. Wybór rodzaju obudowy i jego technologii oraz materiału wykonania poprzedza analiza wielu czynników. Stateczność ścian obudowy projektowanego głębokiego wykopu zapewniana jest poprzez stosowanie rozpór, kotwienia gruntowego, a także poprzez stropy kondygnacji podziemnych. Metody te używane są przy zabezpieczaniu pionowych ścian wykopów. Dla obiektów takich jak: garaże podziemne, parkingi, podziemna obiektów użyteczności publicznej oraz budynki mieszkalne.

Projektanci mają do dyspozycji bogatą ofertę elementów stabilizujących. Do najczęściej stosowanych należą:

- ścianka berlińska,
- ścianka szczelna,
- palisady (CFA, DSM),
- ściana szczelinowa.

Ścianka berlińska wraz ze ścianką szczelną są najpopularniejszymi metodami zabezpieczenia wykopów, stosowanymi w Polsce. Wykop zabezpieczony ścianką berlińską może osiągnąć głębokość do 25 m, najczęściej wykonuje się wykopy do 12 m. Ścianka berlińska składa się ze stalowych pionowych elementów (dwuteowników HEB, profili IPE lub ceowników), oraz drewnianej, rzadziej stalowej opinki. Opinka jest elementem poziomym, montowanym między słupami, w kilku etapach, w trakcie pogłębiania wykopu. Stalowe słupy są wbijane, wprowadzane wibracyjnie lub głębione w otworze z twardniejącą zawiesziną. Osadzenie słupów w gruncie poprzedzają roboty przygotowawcze, polegające na przeniesieniu infrastruktury podziemnej oraz odwodnieniu, gdy zwierciadło wody gruntowej znajduje się powyżej poziomu projektowanego. Otwory znajdujące się poniżej dna wykopu, po wprowadzeniu słupów zalewane są mieszanką betonową, która stabilizuje słup w gruncie.

Elementy składowe obudowy berlińskiej można odzyskać, po wykonaniu robót. Ścianka berlińska nie powinna być stosowana w sąsiedztwie istniejących obiektów, ponieważ w trakcie realizacji mogą wystąpić przemieszczenia gruntu za ściankę, wynikające z braku możliwości idealnego dostosowania opinki do gruntu. Wykonywanie obudowy berlińskiej w gruntach piaszczystych nie jest zalecane, z uwagi na brak możliwości zapewnienia chwilowej stateczności obudowy, w trakcie wykonywania opinki. Obudowa berlińska nie jest wodoszczelna, dlatego nie można jej stosować poniżej poziomu wody gruntowej[1]. W celu uzyskania wodoszczelnej obudowy zaleca się wykonanie dodatkowych prac, które zwiększają cenę wykonania obudowy.

Ścianka szczelna jest obudową składającą się z podłużnych elementów zwanych bursami, połączonych za pomocą zamków, w przypadku ścianki szczelnej stalowej, lub bursów połączonych na pióro-wpust dla ścianki wykonanej z drewna. Podobnie jak obudowa berlińska, ścianka szczelna może być tymczasowym stabilizatorem wykopu lub stałym zabezpieczającym elementem konstrukcji. Elementy ścianki głębione są w gruncie w wyniku wbijania, wwibrowania lub wciskania. Najczęściej stosowane jest głębienie vibracyjne, jednak istnieją ograniczenia stosowania tego sposobu. Elementów nie można wwibrowywać, gdy istnieje bliskie sąsiedztwo istniejących budowli. Drgania powstające w trakcie wwibrowywania konstrukcji mogłyby uszkodzić istniejące obiekty. W warunkach sąsiedztwa istniejących budowli stosuje się metodę wciskania statycznego. Wciskanie statyczne nie jest niestety skuteczne w gruntach kamienistych, szczególnie gdy elementy ścianki są drewniane, w trakcie głębienia często ulegają uszkodzeniu. Ścianka szczelna wykonana ze stali może zabezpieczać wykop przed dopływem wody. Szczelność ścianki zależna jest od szczelności zamków, które łączą bursy. Zamek o większej ilości załamań będzie szczelniejszy, ponieważ większa ilość załamań spowoduje dłuższą drogę przepływu wody oraz większy opór. Obudowa szczelna stalowa nadaje się również do wykonywania ścian oporowych, nabrzeży portowych oraz w celu uszczelniania wałów przeciwpowodziowych. Ścianka szczelna stalowa cechuje się dość dużą wytrzymałością, w stosunku do jej niewielkiej masy [1].

Palisady (CFA, DSM) umożliwiają wykonanie wykopu o dość dużej głębokości w bliskiej odległości od budowli już istniejących. Projektowane są dwa schematy palisad, o palach, które się stykają oraz o palach wzajemnie wciętych. Najczęściej stosowane są palisady CFA (continious flight auger) z pali wierconych, a także kolumny DSM (deep soil mixing). Pale CFA najczęściej występują w średnicach 0,6 oraz 0,8 m, natomiast kolumny DSM 0,4 m. Palisady CFA składają się ze zbrojenia w postaci sztywnego kształtownika lub kosza zbrojeniowego. Pale CFA stosowane w gruntach nawodnionych doszczelniane są wylewaną na mokro lub natryskiwaną mieszanką betonową. Pale DSM powstają poprzez wymieszanie gruntu z zaczynem cementowym, co poprawia znacznie właściwości mechaniczne gruntu. Pale DSM mogą być wykonywane blisko już powstałych budynków, dzięki bez wstrząsowemu procesowi wiercenia. W trakcie wykonywania palisad często w wyniku braku dokładności pojawiają się nieszczelności w konstrukcji. Nieszczelność w przypadku wykonywania pali w gruncie nawodnionym lub poniżej zwierciadła wody gruntowej spowoduje dodatkowe koszty związane z doszczelnieniem, czyli wykonaniem dodatkowej obudowy. Należy przeprowadzić odwodnienie terenu i uszczelnienie palisady betonem natryskowym [1]–[3].

Ściana szczelinowa często stosowana jest do zabezpieczenia ścian wykopów w warunkach plombowych. Stosunkowo rzadko wykonywana jest jako zabezpieczenie tymczasowe, ze względu na wysoki koszt jej wykonania. Ściana szczelinowa wykonywana jest jako element konstrukcji, pełni rolę fundamentu lub ściany podziemnego obiektu. Ściana szczelinowa może być monolitem, prefabrykatem lub konstrukcją mieszaną. Etapy wykonywania ściany szczelinowej są skomplikowane, prace powinny być przeprowadzone z należytą dokładnością. Budowa ściany szczelinowej monolitycznej rozpoczyna się w momencie przygotowania placu budowy ściany. Po robotach przygotowawczych następuje wykonanie murków prowadzących, prefabrykowanych bądź monolitów, które wytyczą dla koparki chwytakowej obszar wybierania gruntu. Koparka chwytakowa głębi szczelinę sekcjami, w obecności zawiesziny ilowej, która stabilizuje grunt przed osunięciem. Po wydrążeniu szczeliny, oczyszczane jest dno oraz wprowadzane są elementy rozdzielające, a następnie szkielet zbrojeniowy. Po wprowadzeniu zbrojenia szczelina jest betonowana metodą contractor, mieszanka podawana jest sposobem ciągłym od dna szczeliny. Mieszanka wypiera zawieszinę ilową, która ze względu na wysoką cenę jest oczyszczana, w celu kolejnego użycia. Istotnym warunkiem jest czas rozpoczęcia betonowania. Betonowanie powinno rozpocząć się w miarę jak najszybciej po oczyszczeniu dna szczeliny, maksymalny czas to 4 godziny. Kolejno ściana wyrównywana jest do określonej rzędnej oraz konstruowany jest oczep, który połączy poszczególne części ściany, zapobiegając procesowi klawiszowania. Szerokość ściany szczelinowej wynosi zwykle 0,6, 0,8 lub 1,0 m i jest uzależniona od szerokości chwytaka koparki. Ściana szczelinowa może być wykonywana nawet w odległości 0,3 m od istniejących budowli. Konstrukcja ściany jest bardzo sztywna i szczelna [4], [5].

W związku z szerokim obszarem możliwości doboru obudowy wykopu, zasadne jest przeprowadzenie wielokryterialnej analizy, która ułatwi wybór optymalnego rozwiązania technologiczno-konstrukcyjno-materiałowego obudowy wykopu, stosowanej tymczasowo.

## 2. Materiał i metody

Proces decyzyjny nieodłącznie występuje wraz z ryzykiem, przez które rozumiane są konsekwencje obranej decyzji. Każdy człowiek, w codziennym życiu dokonuje mniejszych lub większych wyborów. Decyzja podejmowana jest spośród dostępnych wariantów decyzyjnych. W trakcie dokonywania wyboru nie jest możliwym poznanie jego skutków, które możliwe są do oceny dopiero z perspektywy czasu. Decyzja zależy od świadomego, nieprzypadkowego i niezależnego od losu wyboru. Jest reorientacją rzeczywistości. Finałem procesu podejmowania decyzji jest uzyskanie wyniku (decyzji), czyli nieformalnego lub formalnego aktu poprzedzonego rozpoznaniem i oceną dostępnych wariantów decyzyjnych, z wyborem jednego możliwego [6]. Równania matematyczne mogą stać się narzędziami, które ułatwią wybór najkorzystniejszego rozwiązania. Badania operacyjne służą do formułowania procesu decyzyjnego. Badania te mogą tworzyć sytuacje, w których decydenci formułują oceny zgodnie ze zgodnymi jednolitymi kryteriami oceny. Tego typu działania nazywane są wielokryterialnym podejmowaniem decyzji, czyli subiektywnym formułowaniem celu, kryteriów i przyznawanych ocen.

Wybór optymalnego rozwiązania technologiczno-konstrukcyjno-materiałowego tymczasowej obudowy wykopu poprzedzony został wyodrębnieniem w wyniku krytycznej

analizy literaturowej przypadków, czyli rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych obudów tymczasowych wykopów. Ten etap wielokryterialnego podejmowania decyzji określany jest jako analiza środowiska i identyfikacja problemu. Na tym etapie należy sformułować problem i wybrać cel analizy. W wyniku analizy literaturowej scharakteryzowano pięć przypadków, które oceniono pod względem wad i zalet. Krytyczna analiza literaturowa oraz wywiady z uczestnikami procesu inwestycyjnego ułatwiły dobór jednolitych niezbędnych kryteriów, pod względem których poddano ocenie wybrane do analizy przypadki. Prawidłowo przeprowadzona analiza powinna zawierać kryteria w ilości od dwóch do siedmiu. Analiza która uwzględnia jedno kryterium nazywana jest jednokryterialną, natomiast uwzględniająca wiele kryteriów - wielokryterialną. Każdemu z kryteriów przydzielono wagę, która była odzwierciedleniem istotności danego kryterium. Suma wag zawierała się w jedności (1,00). Ocena rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych (przypadków) odbywała się w oparciu o wybrane kryteria i ich wagi. Dane wprowadzane do analizy poddano procesowi normalizacji zgodnie z założeniami metody CDA (Compositional Data Analysis). Metoda CDA oparta jest m.in. o następujące założenia: każdy rząd sporządzonej macierzy odzwierciedla pojedyncze rozwiązanie (przypadek), kryteria wyrażone są za pomocą kolumn macierzy, wartości macierzy są nieujemne, macierz sumuje się w rzędach do jedności (1,00), korelacja pomiędzy składnikami macierzy zmieni się w przypadku usunięcia dowolnej ze zmiennych [7]. Przeprowadzenie oceny wariantów decyzyjnych kolejny jest etap wyboru rozwiązania optymalnego. Aby ułatwić wybór najkorzystniejszego rozwiązania posłużono się graficzną interpretacją wyników, czyli mapą biplot. Przeprowadzanie analizy decyzyjnej opiera się na przetworzonych informacjach. Podczas analizy czynny udział ma decydent, czyli człowiek. Skutki procesu decyzyjnego oraz wdrożenie wyników jest ostatnim etapem analizy decyzyjnej [6].

### 3. Wyniki i dyskusja

W wyniku przeprowadzenia krytycznej analizy literaturowej do analizy wybrano następujące przypadki:

- ścianka berlińska,
- ścianka szczelna,
- palisada CFA,
- palisada DSM,
- ściana szczelinowa.

Przypadki ocenione były ze względu na niżej wymienione jednolite kryteria:

- wodoszczelność,
- ekonomia wykonania,
- możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia,
- stosowanie w warunkach plombowych.

Kryteriom zostały przydzielone wagi, które decydowały o ich istotności. Im wyższa waga, tym bardziej istotne było kryterium. Suma wag zawierała się w jedności (1,00). Najwyższą wagę otrzymało kryterium możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia (0,40), co podyktowane było warunkami wynikającymi z analizy (analiza miała na

celu dobór optymalnego rozwiązania technologiczno-konstrukcyjno-materiałowego tymczasowej obudowy wykopu). Wagi kryteriów przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1.**

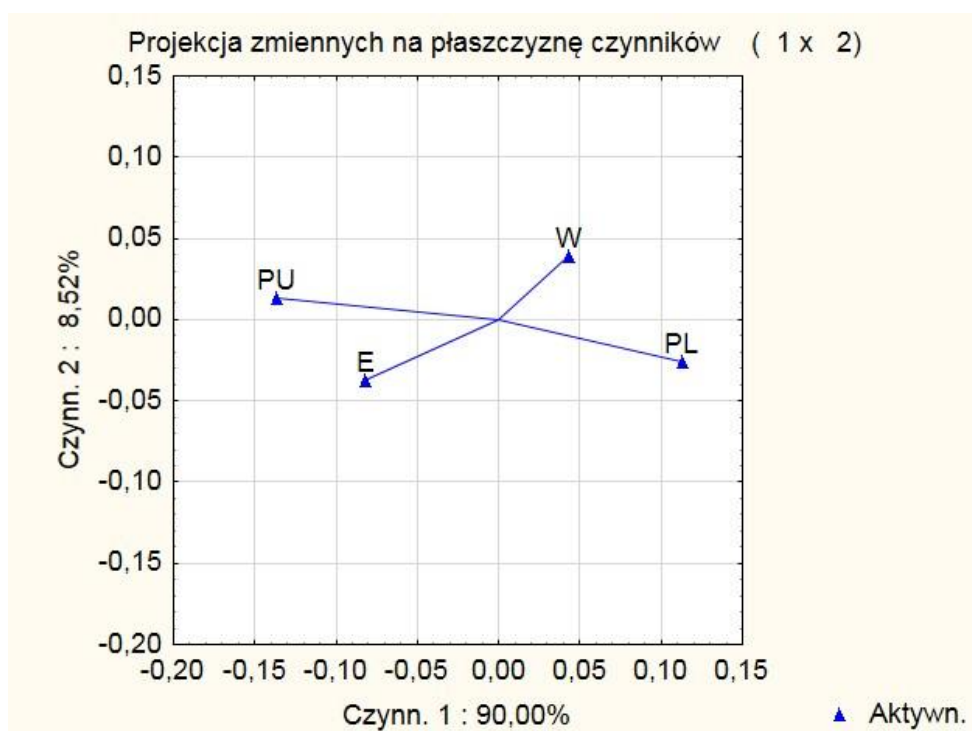
| Kryterium                                            | Symbol | Waga |
|------------------------------------------------------|--------|------|
| Wodoszczelność                                       | W      | 0,20 |
| Ekonomia wykonania                                   | E      | 0,25 |
| Możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia | PU     | 0,40 |
| Stosowanie w warunkach plombowych                    | PL     | 0,15 |
| SUMA                                                 |        | 1,00 |

Oceny rozwiązań przedstawiono w wartościach od 1 do 5, gdzie 1 – ocena najmniej korzystna, 5 – ocena najkorzystniejsza. Ocena ostateczna rozwiązań była iloczynem oceny (1-5) oraz wagi, wyniki w tabeli 2.

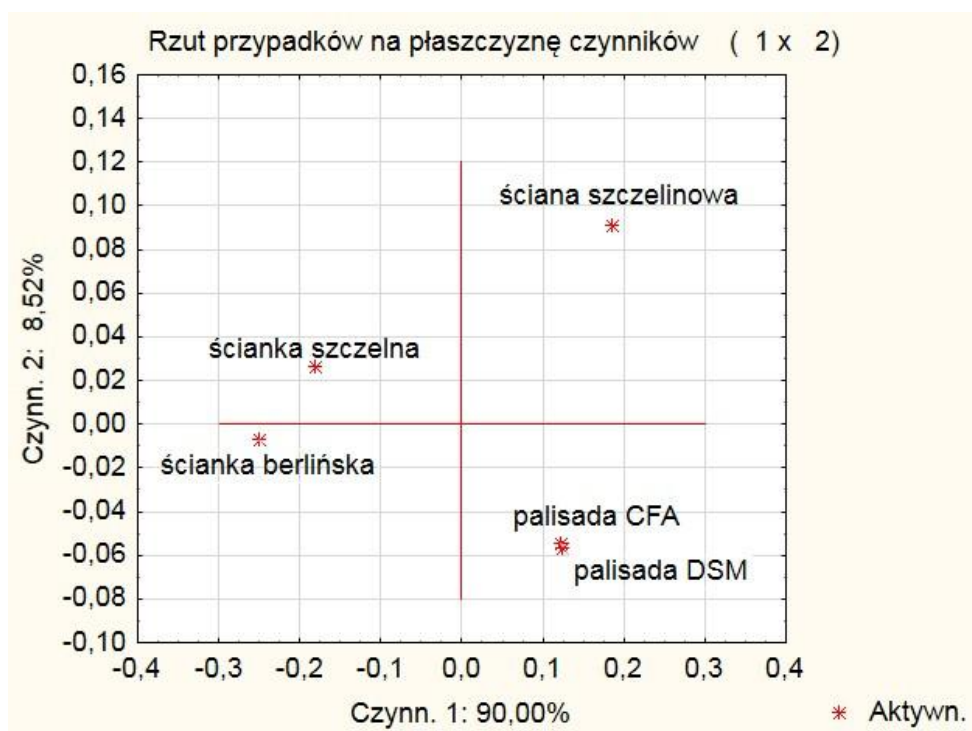
**Tabela 2.**

| Rodzaj obudowy     | Kryterium |      |      |      |
|--------------------|-----------|------|------|------|
|                    | W         | E    | PU   | PL   |
| Ścianka berlińska, | 0,60      | 1,00 | 1,20 | 0,15 |
| Ścianka szczelna,  | 1,00      | 1,25 | 2,00 | 0,45 |
| Palisada CFA       | 0,60      | 0,50 | 0,40 | 0,75 |
| Palisada DSM       | 0,60      | 0,50 | 0,40 | 0,75 |
| Ściana szczelinowa | 1,00      | 0,25 | 0,40 | 0,75 |

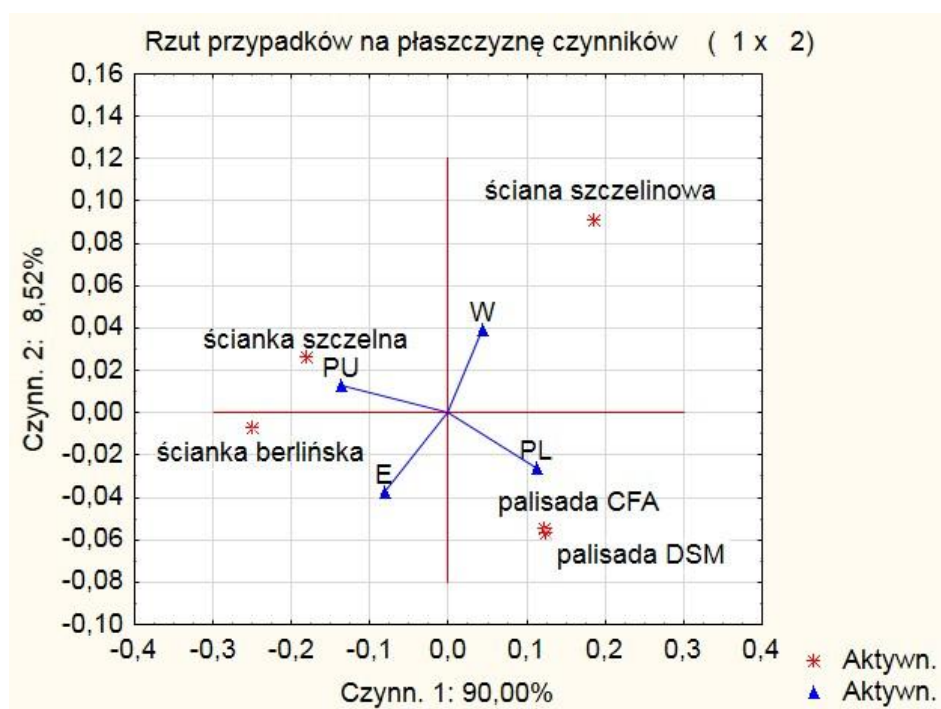
Metoda mapy biplot jest graficzną interpretacją uzyskanych wyników. Biplot powstaje poprzez nałożenie na siebie dwóch map (zmiennych i przypadków) – rys.1. i rys.2. Dwie nałożone na siebie mapy składa się z odcinków (zmiennych – kryteriów) i punktów (przypadków – rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych obudów tymczasowych wykopów). Scalona mapa (rys.3.) umożliwia odczytanie zależności między kryteriami, a przypadkami oraz istotności wpływu kryterium na całkowity wynik analizy. Po przeanalizowaniu zależności obrazowanych przez mapę możliwy jest wybór rozwiązania najlepiej spełniającego dane kryteria, czyli rozwiązania najkorzystniejszego.



Rysunek 1. Projekcja zmiennych na płaszczyznę czynników



Rysunek 2. Rzut przypadków na płaszczyznę czynników



**Rysunek 3. Scalona mapa biplot**

Interpretacja mapy biplot pozwala wyróżnić zależności między ścianką szczelną, a możliwością odzyskania elementów oraz ponownego użycia. Oznacza to, że ścianka szczelna najpełniej spośród wszystkich rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych spełniła analizowane kryterium. Ścianka berlińska oraz ścianka szczelna były rozwiązaniami najkorzystniejszymi pod względem ekonomii wykonania. Palisady CFA, DSM oraz ściana szczelinowa nadawały się do stosowania w warunkach plombowych. Ściana szczelinowa i ścianka szczelna najpełniej spełniły kryterium wodoszczelność. Kryterium możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia miało największy udział w całkowitym wyniku przeprowadzonej analizy. Wymienione kryterium spełniło 90% całkowitej wariancji. Pozostałe kryteria (wodoszczelność, ekonomia wykonania oraz stosowanie w warunkach plombowych) spełniły łącznie ponad 8% całkowitej wariancji. Były kryteriami o mniej istotnym wpływie na całkowity wynik analizy. Po przeanalizowaniu zależności przedstawionych na mapie biplot można stwierdzić, że rozwiązaniem technologiczno-konstrukcyjno-materiałowym tymczasowych obudów wykopów, które najpełniej spełniło analizowane kryteria była ścianka szczelna.

#### 4. Wnioski

Z wykonanej analizy można stwierdzić następujące:

- Przeprowadzona krytyczna analiza literaturowa pozwoliła na wyodrębnienie pięciu przypadków rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych tymczasowych obudów wykopów. Przegląd literaturowy oraz rozmowy z uczestnikami procesów inwestycyjnych wytyczyły jednolite niezależne kryteria, t.j.: wodoszczelność, ekonomia wykonania, możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia, stosowanie w warunkach plombowych. Kryteriom przydzielono wagi, najwyższą

wagę otrzymała możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia (0,40). Wartości macierzy normalizowane były zgodnie z założeniami metody CDA.

- Graficzną interpretację uzyskanych wyników przedstawiono w postaci dwóch nałożonych na siebie map typu biplot (mapa zmiennych i mapa przypadków), tworząc scaloną mapę biplot, która umożliwiła odczytanie zależności kryterium-przypadek, wskazała istotności kryteriów oraz po podsumowaniu odczytanych z mapy zależności wskazała który spośród analizowanych sposobów tymczasowego zabezpieczania wykopów okazał się najkorzystniejszy.
- Wynikiem analizy, największy wpływ na całkowity wynik analizy miało kryterium możliwość odzyskania elementów oraz ponownego użycia miało największy udział w całkowitym wyniku przeprowadzonej analizy. Kryterium to spełniło 90% całkowitej wariancji. Pozostałe kryteria (wodoszczelność, ekonomia wykonania oraz stosowanie w warunkach plombowych) spełniły łącznie ponad 8% całkowitej wariancji. Miały mniej istotny wpływ na całkowity wynik analizy. Interpretacja mapy biplot pozwoliła wyróżnić zależności między ścianką szczelną, a możliwością odzyskania elementów oraz ponownego użycia. Oznacza to, że ścianka szczelna najpełniej spośród wszystkich rozwiązań technologiczno-konstrukcyjno-materiałowych spełniła analizowane kryterium. Ścianka berlińska oraz ścianka szczelna były rozwiązaniami najkorzystniejszymi pod względem ekonomii wykonania. Palisady CFA, DSM oraz ściana szczelinowa nadawały się do stosowania w warunkach plombowych. Ściana szczelinowa i ścianka szczelna najpełniej spełniły kryterium wodoszczelność.
- Po przeanalizowaniu zależności przedstawionych na mapie biplot można stwierdzić, że rozwiązaniem technologiczno-konstrukcyjno-materiałowym tymczasowych obudów wykopów, które najpełniej spełniło analizowane kryteria była ścianka szczelna.

### **Bibliografia:**

- [1] W. Drozd, "Współczesne metody zabezpieczania wykopów szerokoprzestrzennych," *Przegląd Budowlany*, 4, 45-49, 2016.
- [2] Sobotka Anna, "Rozwój technologii palowania i problem ich wyboru," *Przegląd Budowlany*, 2, 40-49, 2009.
- [3] M. Szruba, "Pale i mikropale w budownictwie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 4, 32-43, 2016.
- [4] M. Pająk, "Ściana szczelinowa jako obudowa głębokiego wykopu na przykładzie realizacji dla budynku Edison w Krakowie, *Górnictwo i Geoinżynieria*, 3, 319-327, 2007.
- [5] P. Nowacki, "Ściany szczelinowe, *Polski Cement*, 2, 18-20, 2001.
- [6] K. Nermend, *Metody analizy wielokryterialnej i wielowymiarowej we wspomaganiu decyzji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017.
- [7] K. Labus, "Zastosowanie danych złożonych (CDA) w geologii, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2006, 2, 39-52.



## 16. ANALIZA NUMERYCZNA PRZEPŁYWU PRZEZ TRANSONICZNY DYFUZOR SAJBENA Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA SU2

**mgr inż. Wiktor Hoffmann**

Politechnika Poznańska

Wydział Inżynierii Transportu, Katedra Techniki Ciepłej

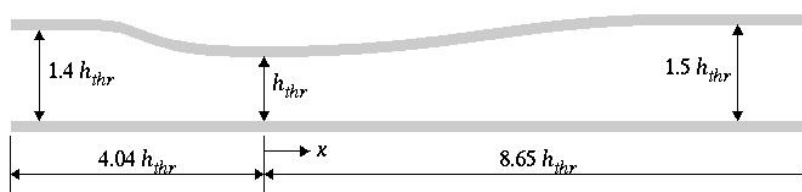
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

Email: wiktoria.j.hoffmann@doctorate.put.poznan.pl

### 1. Wstęp

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki analizy numerycznej około dźwiękowego przepływu przez dyfuzor Sajbena [1], [2], z wykorzystaniem różnych warunków brzegowych oraz modeli turbulencji. Otrzymane wyniki zostały porównane z danymi eksperymentalnymi.

Opisywany dyfuzor jest traktowany jako dwuwymiarowy kanał zbieżno-rozbieżny o wysokości przekroju krytycznego  $h_{thr} = 0,044m$ . Szczegółową geometrię przedstawiono na rysunku 1.



**Rysunek 1. Geometria dyfuzora Sajbena ( $h_{thr} = 0,044m$ )**

Źródło: <https://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/transdif/transdif.html> [5].

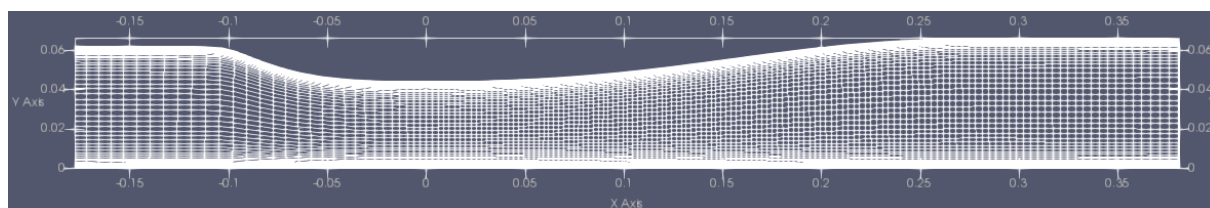
Badania eksperymentalne zostały po raz pierwszy opisane na łamach AIAA Journal przez M. Sajbena i T. Bogara [2], jako reprezentatywny przypadek dwuwymiarowego przepływu wewnętrznego. Odwzorowanie dwuwymiarowości przepływu osiągnięto dzięki odsysaniu warstwy przyściennej z bocznych ścian kanału. Podczas badań, zostały zmierzone rozkłady ciśnień na górnej i dolnej powierzchni kanału oraz rozkłady prędkości w czterech przekrojach kanału, które wyznaczono dokonując pomiarów Dopplerowskim anemometrem laserowym. Duża liczba punktów pomiarowych, sprawia, że jest to jeden z najlepiej udokumentowanych przepływów transonicznych, z indukowanym falą uderzeniową oderwaniem warstwy przyściennej, a tym samym znajduje on zastosowanie w walidacji kodów obliczeniowych i modeli turbulencji.

Wykorzystany do obliczeń solver numeryczny SU2 [10] jest darmowym oprogramowaniem, wywodzącym się z Uniwersytetu Stanforda i rozpowszechnianym na licencji GNU Lesser General Public License (LGPL). Kod został stworzony jako narzędzie do rozwiązywania analiz PDE (Partial Differential Equation) i problemów optymalizacji geometrii na niestukturalnych siatkach obliczeniowych. Jego jądro stanowi solver RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) pozwalający na analizę ściśliwych i turbulentnych przepływów, charakterystycznych dla zagadnień przemysłu lotniczego i kosmicznego.

Dodatkowo, dzięki ogólnej strukturze, oprogramowanie może być dowolnie rozszerzane o równania i moduły służące do rozwiązywania problemów fizycznych [3], [4].

## 2. Materiały i Metody

Obliczenia zostały wykonane na siatce niestrukturalnej, o wymiarach 102x162, wykonanej w programie Ansys ICEM. Liczba elementów siatki, w każdym kierunku, została zwiększona dwukrotnie, względem analiz walidacyjnych wykonywanych przez NASA w latach '90, na solverach WIND-US i NPARC [6], [7], w celu sprawdzenia możliwości zwiększenia dokładności obliczeń. Grubość elementu przy ścianie dyfuzora została obliczona, za pomocą kalkulatora Pointwise [9], dla parametru  $y^+ = 1$  i wyniosła  $\Delta s = 1,166 \times 10^{-6}$  m. Siatka została przedstawiona na rysunku 2.



**Rysunek 2. Siatka obliczeniowa (102x162)**

Warunki brzegowe przepływu, identyczne jak dla przypadku badanego eksperymentalnie, przedstawiono w tabeli 1. Przepływ przez kanał jest wymuszany za pomocą różnicy ciśnień, wynoszącej odpowiednio: 0,82 dla przypadku przepływu ze „słabą” falą uderzeniową oraz 0,72 dla przypadku przepływu ze „silną” falą uderzeniową. Dla stabilizacji początkowej fazy obliczeń numerycznych zdefiniowano wstępnie liczbę Macha dla przekroju wlotowego, której wartość jest znana z wcześniejszych badań i analiz. Czynnikiem przepływającym przez dyfuzor było powietrze, modelowane jako gaz idealny.

W obliczeniach wykorzystano drugi rząd dyskretyzacji, zdefiniowany jako schemat ROE z limitem VENKATAKRISHNAN. Oba przypadki przepływów zostały przeanalizowane z wykorzystaniem dwóch modeli turbulencji. Model SA (Spalart-Allmaras) jest jednorównaniowym modelem turbulencji, zaprojektowanym do analiz przepływów wewnętrznych. Drugi model – SST (Menter’s Shear Stress Transport) jest dwurównaniowym modelem turbulencji, opartym na kombinacji modeli k-omega oraz k-epsilon.

Przeprowadzone analizy zostały opracowane w programie Paraview [8], który pozwala na graficzną i matematyczną interpretację wyników oraz ich obróbkę.

**Tabela 1. Warunki brzegowe**

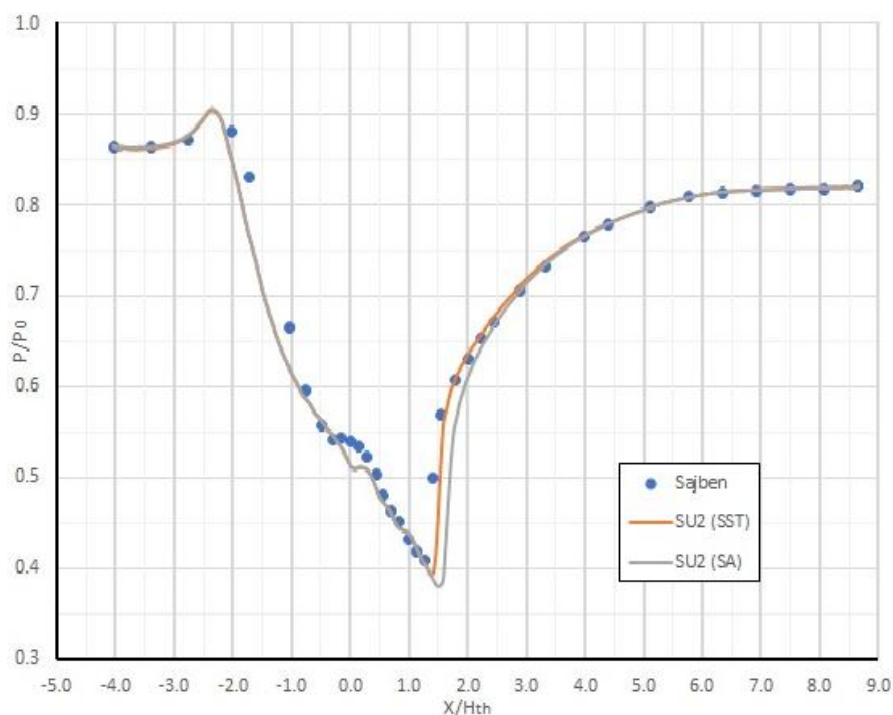
| Parametr                                            | Wartość   |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| ciśnienie całkowite na wlocie                       | 135 kPa   |
| temperatura statyczna na wlocie                     | 277,8 K   |
| ciśnienie na wylocie (dla słabej fali uderzeniowej) | 110,7 kPa |
| ciśnienie na wylocie (dla silnej fali uderzeniowej) | 97,2 kPa  |
| początkowa liczba Macha                             | 0,46      |
| $y^+$                                               | 1         |

Źródło: [Sajben 1979].

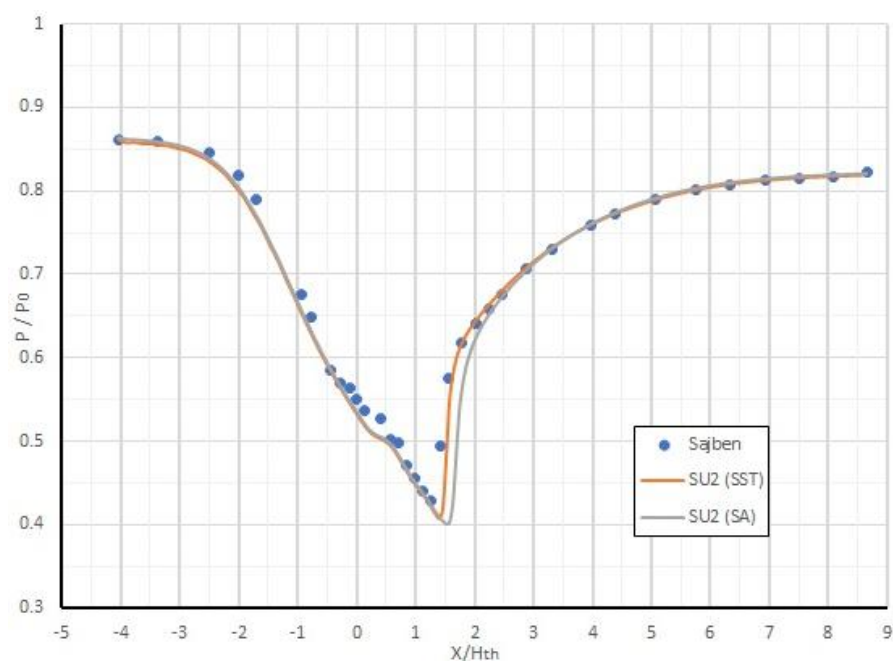
### 3. Wyniki

#### 3.1 Przepływ ze słabą falą uderzeniową

Na wykresach 1 i 2 przedstawiono obliczone dla słabej fali uderzeniowej rozkłady ciśnień na górnej i dolnej powierzchni dyfuzora, w zestawieniu z danymi eksperymentalnymi. Model turbulencji SST jest wizualnie bliższy danym eksperymentalnym i prawidłowo wskazuje punkt powstawania fali uderzeniowej. Zarówno model SST jak i SA zaniżyły o ok. 10% wartość ciśnienia w przekroju krytycznym.



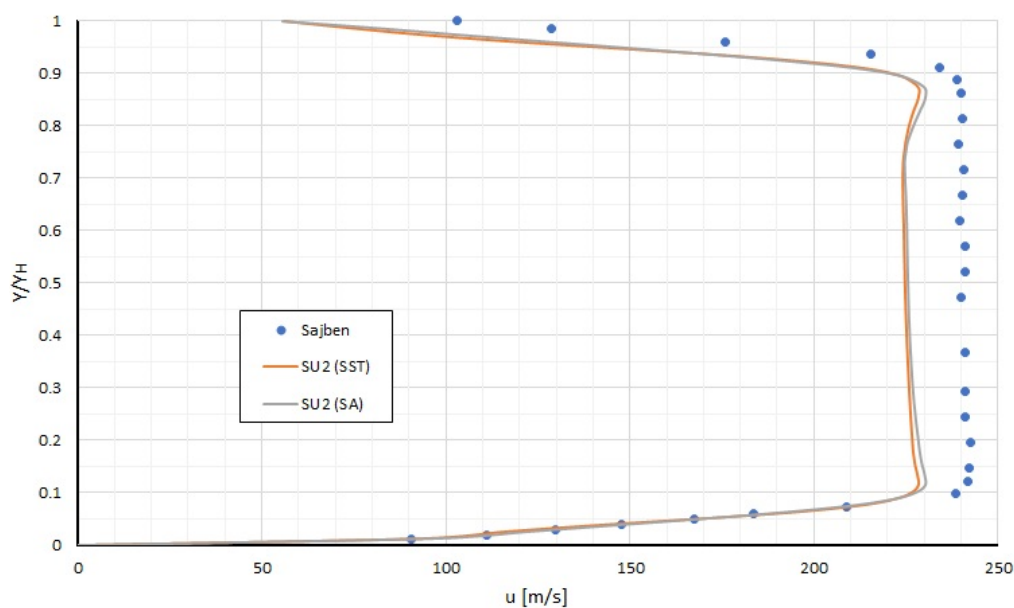
**Wykres 1. Rozkład ciśnienia wzdłuż górnej powierzchni dyfuzora**



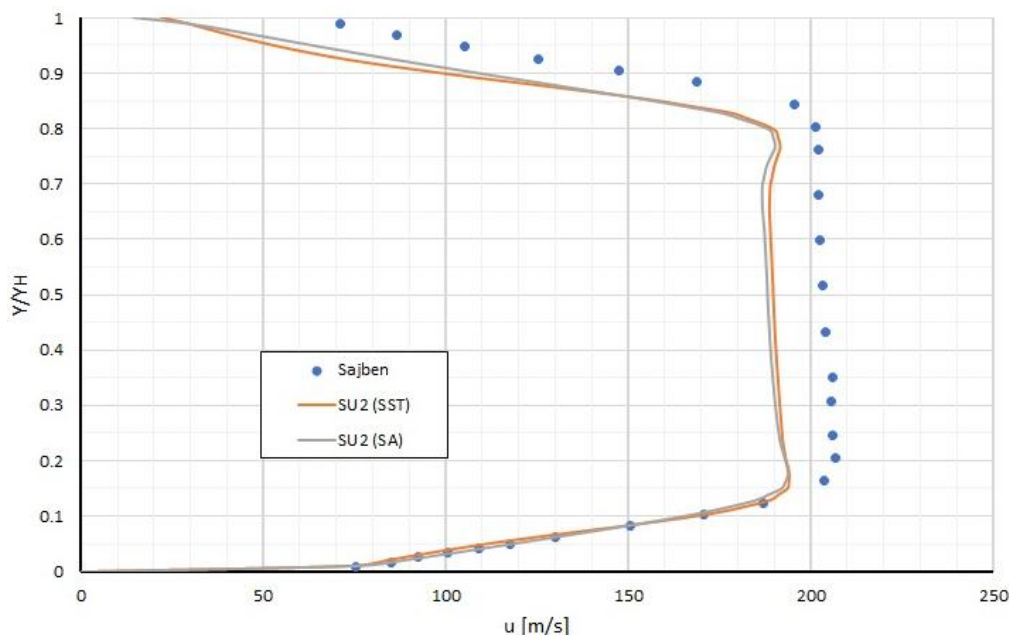
**Wykres 2. Rozkład ciśnienia wzdłuż dolnej powierzchni dyfuzora**

Wykresy 3, 4, 5 i 6 przedstawiają profile prędkości zmierzone i obliczone w kolejnych przekrojach kanału, następujących po powstałej fali uderzeniowej. Począwszy od przekroju leżącego w odległości  $0,203m$  od przekroju krytycznego można obserwować wzrost grubości warstwy przyściennej. Profile prędkości w całym kanale wykazują rozwijającą się asymetrię, związaną z kształtem dyfuzora.

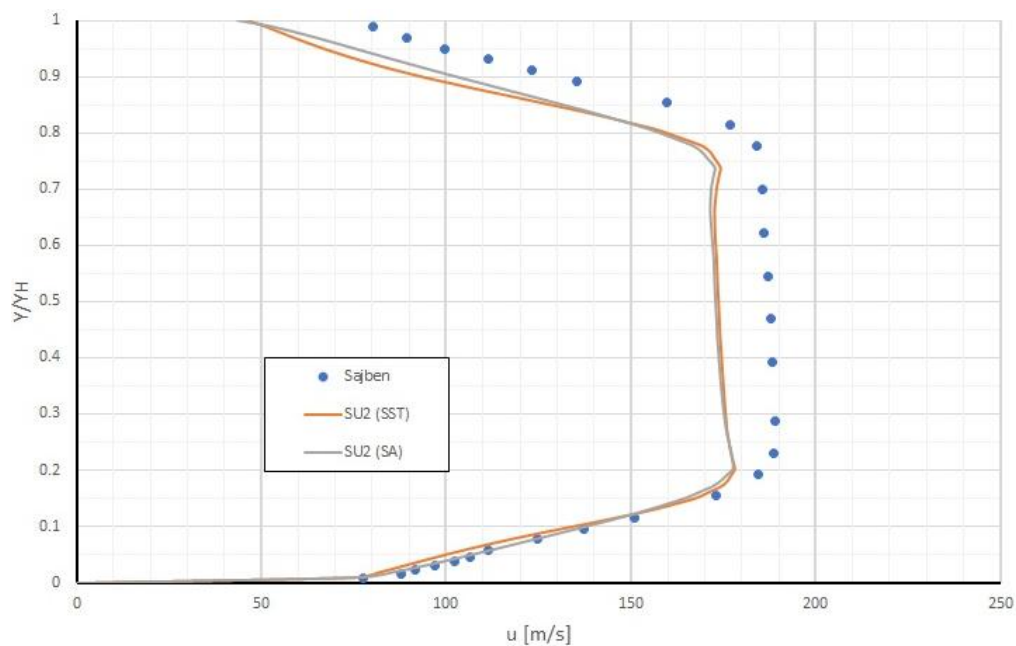
Na rysunku 3 przedstawiono rozkład liczby Macha. Ze względu brak oderwania przypadek ten nazywany jest „słabą” falą uderzeniową.



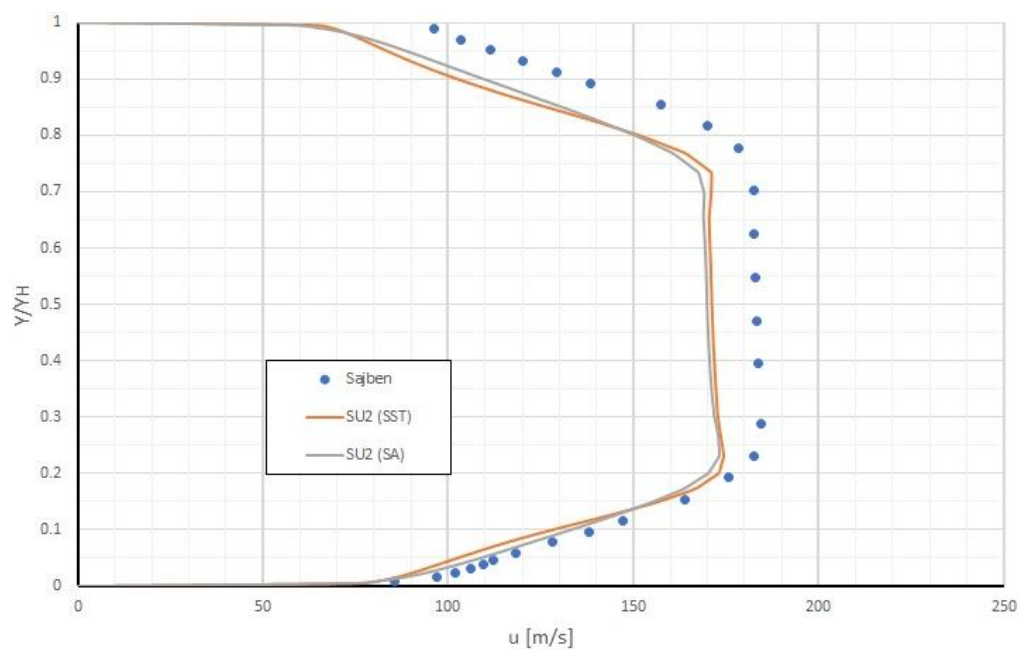
**Wykres 3. Profil prędkości w przekroju  $X/H_{th} = 2,882$  ( $x = 0,127 m$ )**



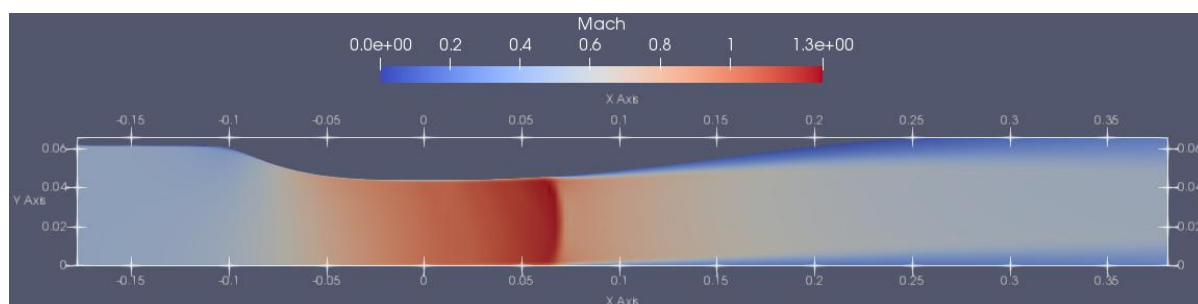
**Wykres 4. Profil prędkości w przekroju  $X/H_{th} = 4,611$  ( $x = 0,203 m$ )**



**Wykres 5. Profil prędkości w przekroju  $X/H_{th} = 6,340$  ( $x = 0,279$  m)**



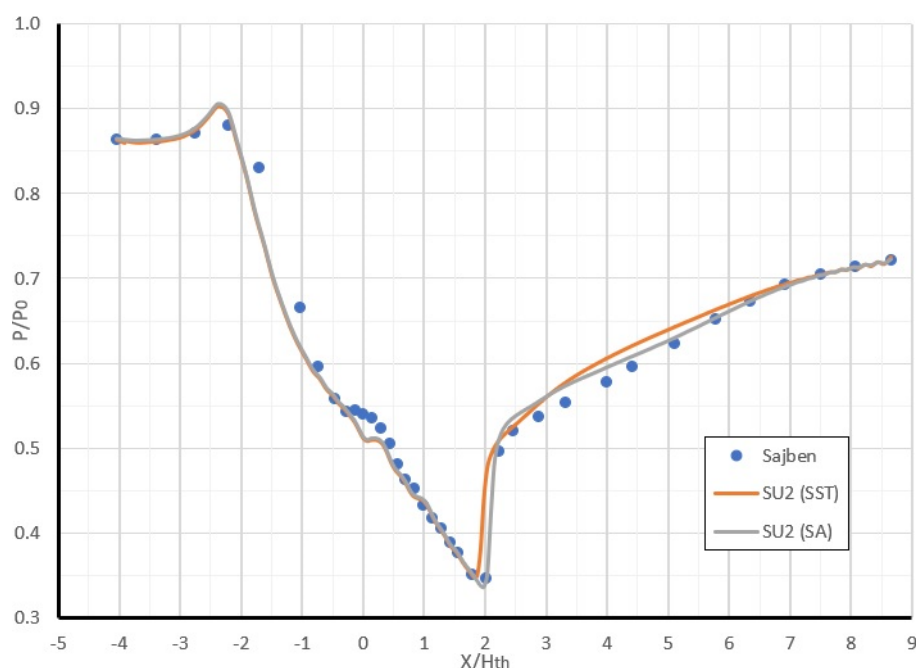
**Wykres 6. Profil prędkości  $X/H_{th} = 7,493$  ( $x = 0,076$  m)**



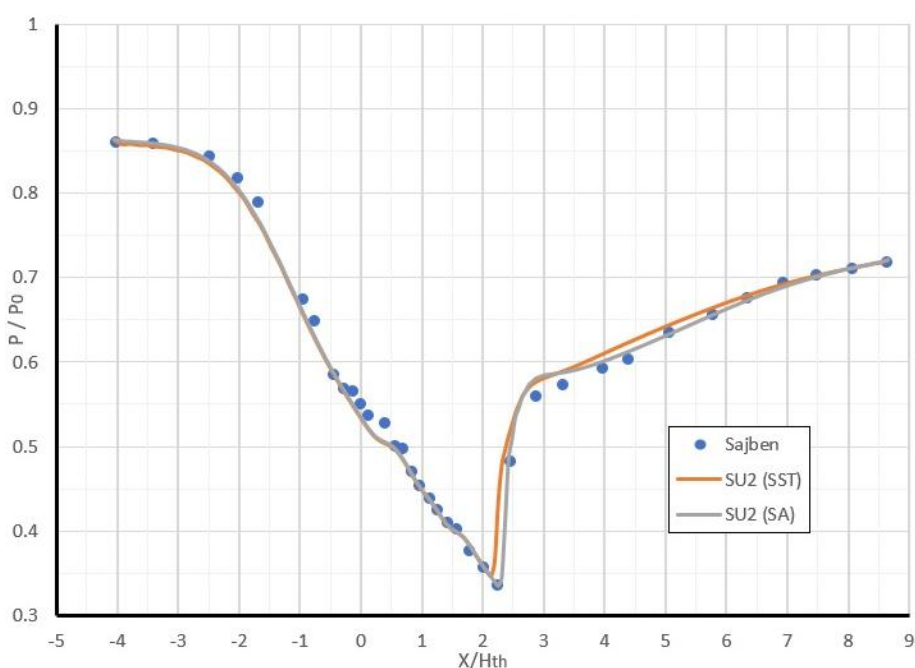
**Rysunek 3. Rozkład liczby Macha na przekroju dyfuzora (model SST)**

### 3.2. Przepływ z silną falą uderzeniową

Na wykresach 7 i 8 przedstawiono obliczone dla silnej fali uderzeniowej rozkłady ciśnień na górnej i dolnej powierzchni dyfuzora, w zestawieniu z danymi eksperymentalnymi. Model turbulencji SST nie wykazał w tym przypadku lepszego odwzorowania ciśnień, a punkt powstawania fali uderzeniowej został lepiej obliczony z wykorzystaniem modelu SA. Podobnie jak w przypadku ze słabą falą uderzeniową, oba modele zaniżyły o ok. 10% wartość ciśnienia w przekroju krytycznym.



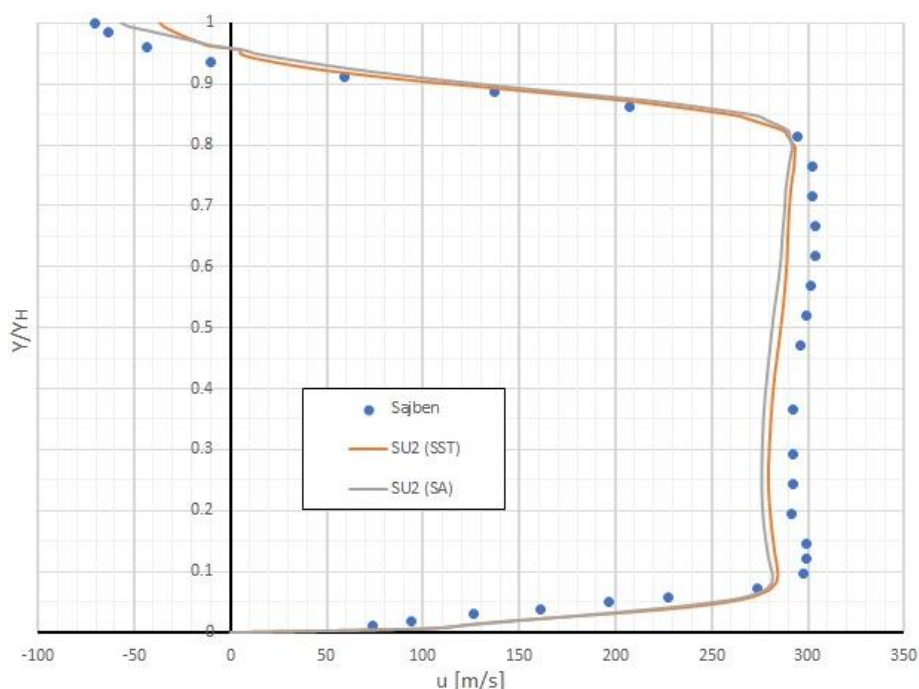
Wykres 7. Rozkład ciśnienia wzdłuż górnej powierzchni dyfuzora



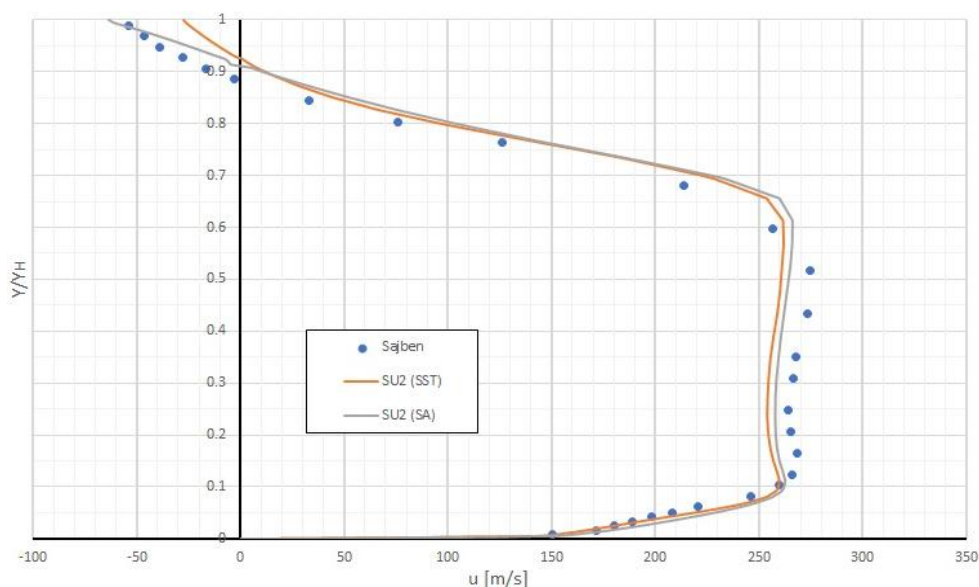
Wykres 8. Rozkład ciśnienia wzdłuż dolnej powierzchni dyfuzora

Wykresy 9, 10, 11 i 12 przedstawiają profile prędkości zmierzone i obliczone w kolejnych przekrojach kanału, następujących po powstałej fali uderzeniowej. Już w pierwszym przekroju można obserwować znaczny spadek prędkości, aż do zmiany kierunku przepływu przy górnej ścianie kanału, spowodowany rozwijającym się oderwaniem warstwy przyściennej. Profile prędkości w całym kanale charakteryzują się coraz większą asymetrią.

Na rysunku 4 przedstawiono rozkład liczby Macha. Ze względu na wspomnianą asymetrię przepływu, znaczne oderwane warstwy przyściennej oraz ułożenie fali uderzeniowej w szerszym przekroju kanału przypadek ten nazywany jest „silną” falą uderzeniową.

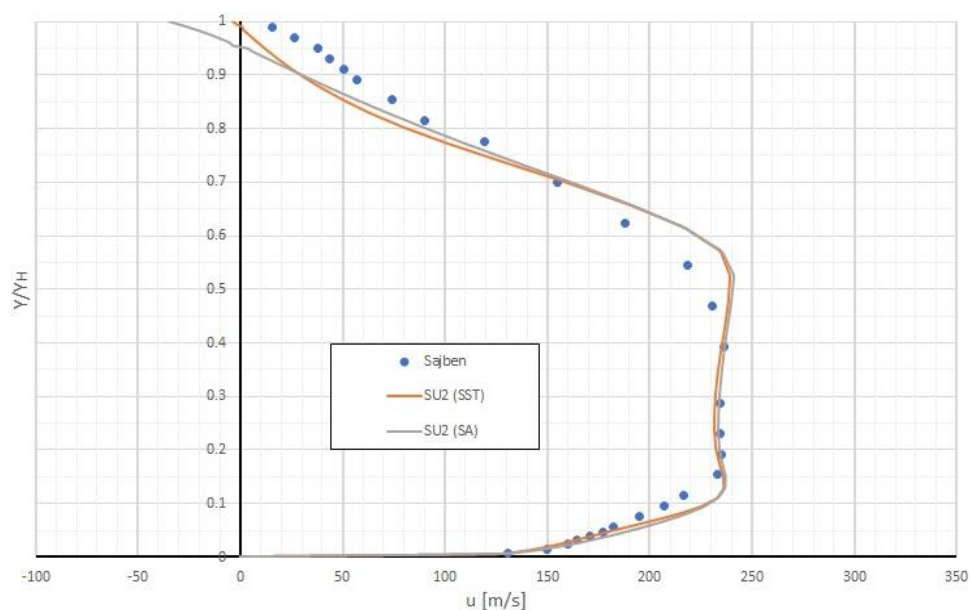


**Wykres 9. Profil prędkości dla przekroju  $X/H_{th} = 2,882$  ( $x = 0,127m$ )**

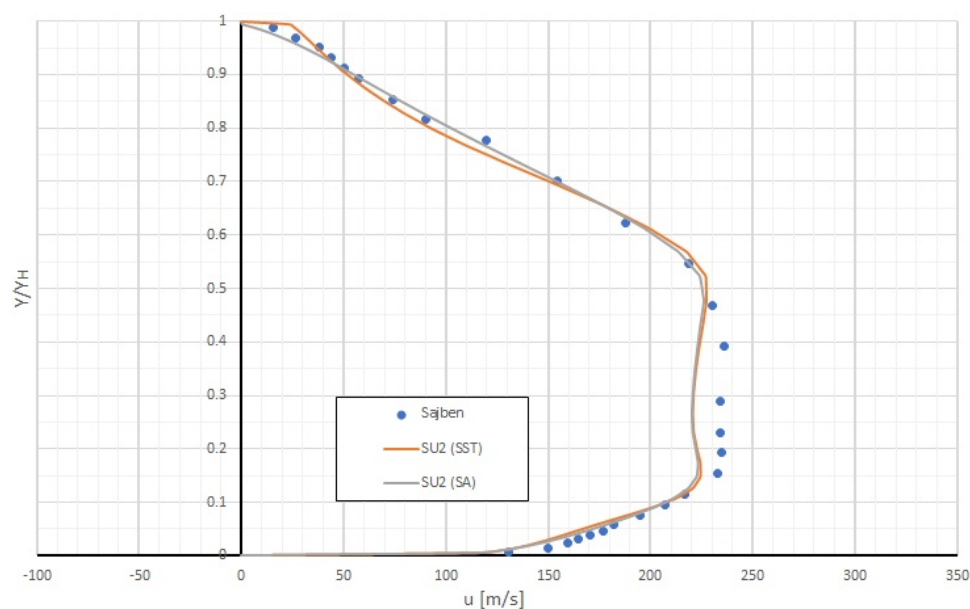


**Wykres 10. Profil prędkości dla przekroju  $X/H_{th} = 4,611$  ( $x = 0,203m$ )**

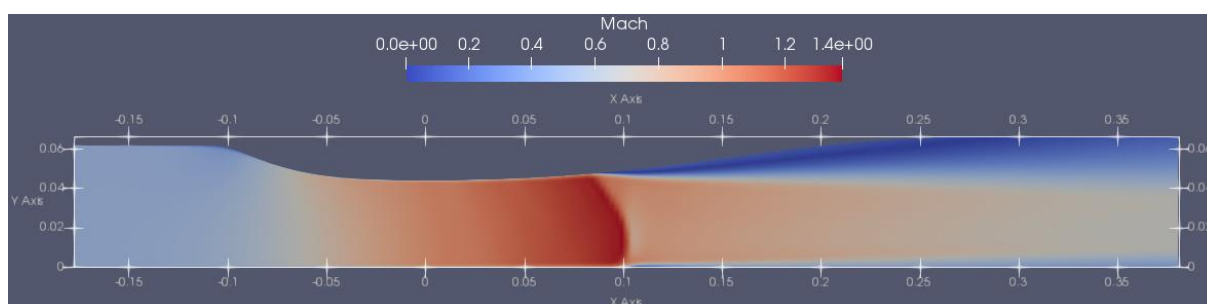




**Wykres 11. Profil prędkości dla przekroju  $X/H_{th} = 6,340$  ( $x = 0,279m$ )**



**Wykres 12. Profil prędkości dla przekroju  $X/H_{th} = 7,493$  ( $x = 0,076 m$ )**



**Rysunek 4. Rozkład liczby Macha na przekroju dyfuzora (model SST)**



#### 4. Podsumowanie

Zastosowane w badanym przypadku zwiększenie rozdzielczości siatki obliczeniowej nie wpłynęło na wartość wyników. Pomimo widocznego wpływu wielkości elementów na graficzną reprezentację przepływu w okolicy fali uderzeniowej, nie zaobserwowano zwiększenia zbieżności z danymi eksperymentalnymi.

Solver zawarty w oprogramowaniu SU2 pozwolił na odwzorowanie wartości ciśnień i prędkości z taką samą dokładnością jaką osiągnięto stosując inne oprogramowania.

Otrzymane rozbieżności wartości eksperymentalnych i obliczonych numerycznie wynikają m.in. z dwuwymiarowości domeny obliczeniowej i założonej stacjonarności przepływu, które nigdy nie wystąpią w przepływie rzeczywistym, a także niedoskonałości stosowanych modeli turbulencji.

Rozbieżność wyników dwuwymiarowych analiz numerycznych i danych z rzeczywistych eksperymentów wskazuje na konieczność prowadzenia walidacji modeli turbulencji na modelach trójwymiarowych.

#### Bibliografia:

1. Bogar, T. J., Sajben, M., and Kroutil, J. C. (1983). "Characteristic Frequencies of Transonic Diffuser Flow Oscillations," AIAA Journal, Vol. 21, No. 9, pp. 1232-1240.
2. Chen, C. P., Sajben, M., and Kroutil, J. C. (1979). "Shock Wave Oscillations in a Transonic Diffuser Flow," AIAA Journal, Vol. 17, No. 10, pp. 1076-1083.
3. Palacios F., Economon T. D., Arankae A. C., Copeland S. R., Lonkar A. K., Lukaczyk T. W., Manoslavas D. E., Naik K. R., Padrón A. S., Tracey B., Variar A., Alonso J. J. (2014). „Stanford University Unstructured (SU2): Open-source Analysis and Design Technology for Turbulent Flows”. AIAA SciTech
4. Economon T. D., Palacios F., Copeland S. R., Lukaczyk T. W., Alonso J. J. (2016). „SU2: An Open-Source Suite for Multiphysics Simulation and Design”. AIAA Journal, Vol. 57, No. 3.

#### Wykaz stron internetowych:

5. <https://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/transdif/transdif.html> , (dostęp, 10.09.2019).
6. <https://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/transdif/transdif02/transdif02.html> , (dostęp, 10.09.2019).
7. <https://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/transdif/transdif05/transdif05.html> , (dostęp, 10.09.2019).
8. <https://www.paraview.org/>
9. <https://www.pointwise.com/yplus/>
10. <https://su2code.github.io/> , (dostęp, 10.09.2019).

## **17. BEZWYKOPOWE METODY BUDOWY PRZEWODÓW WODOCIĄGOWO-KANALIZACYJNYCH**

### **Monika Krauze**

Uniwersytet Technologiczno- Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

Email: monika.grzempa@wp.pl

### **Monika Zająkała**

Uniwersytet Technologiczno- Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

Wydział Rolnictwa i Biotechnologii

Email: monika\_zareba@interia.pl

### **1. Wstęp**

Rosnące zapotrzebowania na uzbrojenie wodno-kanalizacyjne terenów, przyczynia się pośrednio do wzrostu dewastacji środowiska oraz zagrożenia zdrowia ludzkiego. W celu uniknięcia strat w kategoriach ludzkich i ekonomicznych należy inwestować w prawidłową budowę, eksploatację i konserwację sieci wodociągowych i kanalizacyjnych. Technologie przyjazne środowisku, a jedną z nich są technologie bezwykopowe, powodują mniejsze zanieczyszczenie środowiska, chronią je i efektywnie wykorzystują zasoby naturalne. W ciągu kilkunastu lat intensywnego rozwoju technik bezwykopowych, a jednocześnie coraz częstszego ich stosowania, można stwierdzić, że technologie bezwykopowe są korzystne pod względem ekonomicznym i ekologicznym [Kulickowski i Zwierzchowska, 2010].

### **2. Podział technologii bezwykopowych**

Technologie bezwykopowe coraz częściej stanowią alternatywę dla wykopów otwartych, a ich popularność wynika zwłaszcza z dużo mniejszej uciążliwości, szczególnie na terenach zabudowanych. Wiele innych zalet ekonomicznych, ekologicznych i technicznych sprzyja coraz częstszemu stosowaniu technologii bezodkrywkowych, co mobilizuje dostawców technologii do ciągłego ulepszania swojej oferty. Bezwykopowe metody budowy sieci podziemnych stosowane są w Polsce od dziesięcioleci, a rozwój techniki pozwalał na ich coraz szersze zastosowanie [Zwierzchowska, 2006].

Na początku lat 90-tych ubiegłego wieku nastąpił bardzo dynamiczny rozwój technologii bezwykopowej i dzieje się tak do dnia dzisiejszego. Aktualnie firmy wprowadzają nowe rozwiązania technologiczne, które pozwalają na zastosowanie metod bezwykopowych w prawie każdych warunkach gruntowo-wodnych [Zwierzchowska, 2009].

Bezwykopowe budowy sieci podziemnych polegają na wprowadzaniu ciągu rur lub przewodów kablowych pod powierzchnię ziemi, jednak bez wykonywania wykopów liniowych. W technologii bezwykopowej występują tylko wykopy punktowe, czyli wykop początkowy i końcowy, dodatkowo może wystąpić wykop pośredni [Surmacz i Popielisk, 2009].

Współczesne technologie bezwykopowe stosowano na świecie już na początku XX wieku. W pierwszych fazach swojego istnienia metody bezodkrywkowe służyły do

przeprowadzania kabli i rur niewielkiej średnicy pod drogami, ulicami, torami kolejowymi itp. Wraz z rozwojem możliwości technologicznych, wzrosły możliwości techniczne tej technologii, co doprowadziło do bezwykopowej budowy rurociągów o znacznych średnicach na coraz to większe odległości i w różnorodnych warunkach geotechnicznych. Dzięki technologiom bezwykopowym, wykonywano również krótkie tunele komunikacyjne [Kędracki, 2008]. Aktualnie metoda bezwykopowa jest niezastąpionym sposobem budowy tuneli, kanałów podziemnych i rurociągów na terenach zurbanizowanych oraz w parkach i pod akwenami wodnymi. Stosując tą metodę możliwe jest budowanie ich bez zakłócania ruchu ulicznego. Zapobiega to w szczególności blokowaniu ruchliwych dróg podczas wykonywania robót [Zwierzchowska, 2003].

Bezwykopowe technologie budowy sieci dzielą się na pięć grup [Zwierzchowska, 2008]:

- przeciski hydrauliczne,
- przewierty sterowane i wiercenia kierunkowe,
- przeciski pneumatyczne przebijakiem,
- pneumatyczne wbijanie rur stalowych,
- mikrotunelowanie.

Powyższy podział został opracowany przez ISTT (International Society for Trenchless Technology – Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych).

### 3. Kryterium doboru optymalnej technologii

Bezwykopowe metody budowy sieci można stosować jako alternatywę dla metod tradycyjnych lub jako jedyną możliwość z uwagi na aktualne wykorzystanie terenu, uniemożliwiające budowę w wykopie. W pierwszym przypadku należy dokonać dwuetapowej analizy kosztów. W pierwszym etapie wybiera się najefektywniejszą metodę bezwykopową, a w drugim porównuje się ją z metodą tradycyjną pod względem kosztów. Opłacalność zastosowania metody bezodkrywkowej ujawnia się w momencie obliczenia kosztów wynikających z utrudnień społecznych spowodowanych wykonaniem wykopów na terenie miejskim [Kuliczkowski i Zwierzchowska, 2010]. W Polsce nie istnieją żadne normy ani wytyczne do doboru optymalnej metody bezwykopowej. Kolejną trudnością jest brak ujednolicenia w nazewnictwie metod. W celu uniknięcia błędnych decyzji przy wyborze metod opracowany został model AZ-O1. W tym modelu matematycznym możliwy jest dobór metody bezwykopowej budowy sieci podziemnych ze względu na możliwości techniczne wykonania.

Parametry techniczne mające wpływ na wybór metody to [Zwierzchowska, 2003]:

- maksymalne długości jednorazowo wbudowywanych rurociągów,
- maksymalne i minimalne średnice przewodów,
- kategoria gruntu,
- możliwość wbudowania przewodu poniżej zwierciadła wody gruntowej,
- materiał, z którego zbudowany jest przewód,
- wartość odchylenia spadku i odchylenia w planie osi rurociągu,
- minimalna wysokość warstwy gruntu nad wierzchołkiem rurociągu,
- maksymalna wysokość zwierciadła wody gruntowej ponad rzędną dna rurociągu.

Powyższe parametry to główne czynniki mające wpływ na wybór optymalnej metody bezwykopowej budowy rurociągów.

Niektóre z możliwości technik bezwykopowych to:

- zakres średnic wbudowywanych rurociągów wynosi od 45 do 3000 mm;
- długości jednorazowo wbudowywanych rurociągów wynoszą od 20 do 2000 m;
- możliwość wbudowania rurociągu poniżej zwierciadła wody gruntowej;
- materiały wbudowywanych rur: stal, PE, PVC, żeliwo sferoidalne, rury przeciskowe.

Jak widać powyżej, metody bezwykopowe można wybrać dla wielu przypadków, co sprawia, że praktycznie w każdych warunkach możliwy jest dobór metody bezwykopowej.

#### **4. Przykład wykorzystania technologii bezwykopowej do budowy kolektora**

Pierwszy etap realizujący zadanie „Budowy Układu Przesyłowego ścieków z Warszawy lewobrzeżnej do Oczyszczalni Ścieków „Czajka” zawierał budowę kolektora o długości 5,7 km wzdłuż ulic Modlińskiej, Światowida i Myśliborskiej. Wartość projektu wynosiła prawie 53 mln €. Przy wyborze metody budowy porównano koszty bezpośrednie wykonania robót w wykopie otwartym wraz z ceną materiałów, z metodami bezwykopowymi. Po przeanalizowaniu wyników zdecydowano się na tańszą budowę wykopową, jednak po analizie pozostałych aspektów wybrano metodę mikrotunelowania. Decydujące znaczenie miał fakt, że instalacja będzie prowadzona na głębokości 7-14 m, jak również wysoki poziom wód gruntowych wynoszący 1-3 m p.p.t.. Zastosowanie technologii mikrotunelowej sprawiło znaczną eliminację prac odwodnieniowych, małe oddziaływanie na środowisko oraz brak kolizji z ruchem miejskim. Metoda mikrotunelingu jest optymalnym wyborem dla strefy zurbanizowanej [Sumara, 2009].

W dniu 8. maja 2009 roku rozpoczęto prace związane z budową kolektora, a zakończono na początku 2011 roku. Budowę kolektora podzielono na 14 odcinków o długości od 100 do 950 metrów. Stacje siłowników pośrednich były umieszczane co ok. 100 mb. mikrotunelu, także co ok. 100 m wykonywano studnie rewizyjne. Do wykonania instalacji wykorzystywano rury DN2800 z żywicy poliestrowych odlewane odśrodkowo wyprodukowane przez firmę Hobas. Na placu budowy pracują dwie maszyny mikrotunelowe AVND2000 i AVND2400 firmy Herrenknecht AG. Średnica zewnętrzna maszyn wynosi 3 m, ich ciężar to 100 t i 68 t, siła pchania wynosi 1600 t, a zainstalowana moc to 1,1 MW dla każdej z nich. Koszt budowy 1 metra rurociągu wynosił ok. 6 tys €.

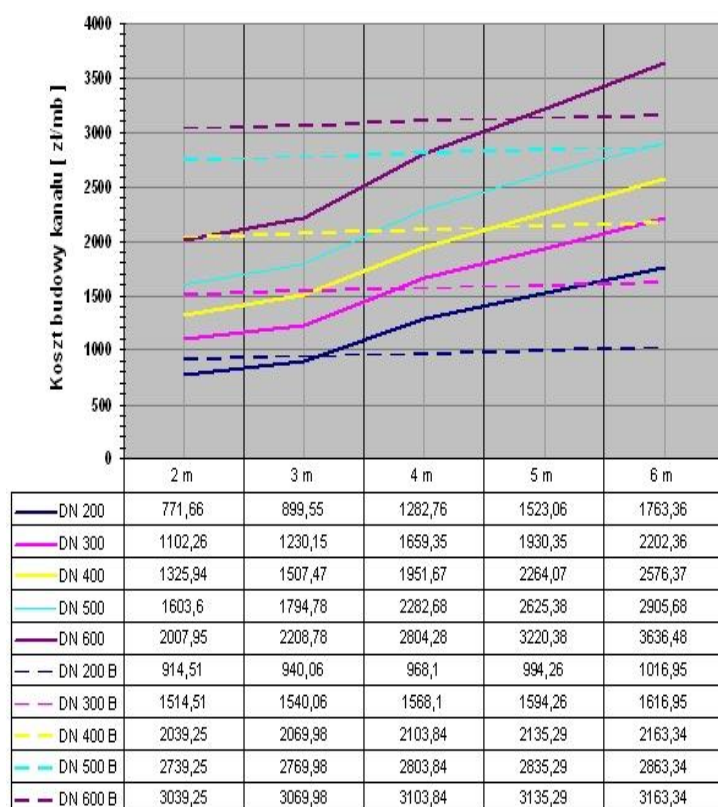
#### **5. Aspekty ekonomiczne technologii bezwykopowych**

Jeszcze do niedawna uważano, że wbudowanie rurociągu metodą bezwykopową jest droższe od tradycyjnej techniki wykopowej. Stwierdzenie to jest jednak prawdziwe tylko dla przypadku, gdy mamy do czynienia z terenem niezagospodarowanym i z budową przewodu na niewielkiej głębokości. Jeśli budowa rurociągu odbywa się na terenie zabudowanym, to mamy do czynienia z wieloma czynnikami ograniczającymi, takimi jak: sąsiedztwo istniejących sieci podziemnych oraz bezpieczeństwo budowli znajdujących się blisko wykopów. Dużymi utrudnieniami dla prac wykopowych są chodniki, jezdnie, torowiska oraz ruch pojazdów. Dlatego bardzo ważnym krokiem przy wyborze metody budowy jest przeanalizowanie kosztów wynikających z procesu budowy, jakimi są koszty inwestycyjne, społeczne i dodatkowe [Trochimczuk, 2010].

Do kosztów, które występują przy budowie przewodów podziemnych można między innymi zaliczyć [Zwierzchowska, 2003]:

- koszty związane z planowaniem, projektowaniem i nadzorem,
- wynagrodzenia dla wykonawców, podwykonawców i dostawców,
- przełożenie istniejących sieci, koszty znaków drogowych, odtworzenia nawierzchni, chodników i terenów zielonych,
- koszty społeczne wynikające z opóźnień w transporcie publicznym i prywatnym,
- rekompensaty dla właścicieli posesji i uszkodzonych terenów, rekompensaty dla właścicieli sklepów, pensjonatów, zakładów itp. znajdujących się w otoczeniu prowadzonych prac, wynikłe z czasowego ograniczenia dostępu,
- koszty wynikające ze zdegradowania środowiska naturalnego.

W celu obliczenia kosztów powstałych dla technik bezwykopowych i tradycyjnych technik budowy, opracowano model matematyczny uwzględniający wszystkie koszty powstające w czasie budowy rurociągów [Zwierzchowska, 2006]. Używając modelu przeprowadzono analizę wykonania przewodu kanalizacyjnego z rury kamionkowej. Powierzchnia znajdująca się nad planowaną trasą przebiegu jest nawierzchnią bitumiczną. Obliczenia wykonano dla różnych średnic i głębokości ułożenia. Po przeprowadzeniu stosownych obliczeń otrzymano wykres (Wykres 1.).



Koszty budowy kanału w zależności od jego średnicy oraz głębokości ułożenia

### Wykres 1. Koszty budowy kanału w zależności od jego średnicy i głębokości ułożenia

Źródło: Zwierzchowska A.(2009). Aspekty ekonomiczne bezwykopowej budowy sieci podziemnych. Buduj z głową, 1, 24-25

Analizując powyższą tabelę można zauważyć znaczny wzrost kosztów budowy metodą wykopową w przypadku, gdy głębokość posadowienia jest większa niż 3 m, a związane jest to zwłaszcza ze wzrostem cen umocnienia wykopu. Można zatem stwierdzić, że wpływ głębokości na koszt budowy jest bardzo istotny. Istotnym wnioskiem jest również to, że dla metod bezwykopowych głębokość posadowienia przewodu nie ma znacznego wpływu na koszty.

W jednym z artykułów dokonano podobnej analizy porównawczej dla techniki tradycyjnej i mikrotunelowania przy wykorzystaniu metody AHP (z ang. Analityczny Proces Hierarchiczny). Po przeprowadzeniu obliczeń okazało się, że koszty konstrukcji, koszty społeczne i środowiskowe są mniejsze dla metody mikrotunelowania [Bottero i Peila, 2006].

Ograniczenie do minimum prac ziemnych, odwodnienia wykopów, rozbiórki i odtworzenia nawierzchni, transportu, bądź eliminację deskowania i innych niezbędnych prac występujących przy wykopowej budowie, mają ogromny wpływ na zmniejszenie kosztów wykonywanej inwestycji metodą bezwykopową. Jednak poza oszczędnością kosztów ważną zaletą technik bezwykopowych jest istotna redukcja uciążliwości środowiskowych, takich jak hałas, zanieczyszczenia, spaliny. W istotnym stopniu eliminuje się również ryzyko uszkodzenia budowli znajdujących się w sąsiedztwie przeprowadzanych robót, jak również brak uszkodzeń korzeni drzew i krzewów, czy też innych sieci lub kabli [Kuliczkowski i in., 2010]. Stosowanie metod bezwykopowych nie powoduje znacznych uciążliwości nie tylko dla okolicznych mieszkańców, ale również dla właścicieli i klientów sąsiednich sklepów, biur czy urzędów. Uciążliwości związane z objazdami są ograniczane do minimum, a dzięki temu występują dużo niższe koszty związanych ze zmianą organizacji ruchu i niższe opłaty za zajęcia pasa drogowego. Czas realizacji inwestycji metodą bezwykopową jest krótszy, a prowadzenie robót jest niezależne od warunków atmosferycznych i pór roku. Dla inwestorów ważnym aspektem jest to, że w wyniku zastosowania technik bezwykopowych zwiększa się gwarancja dotrzymania terminu realizacji robót, a spowodowane jest to dużo mniejszą liczbą czynników ograniczających [Walczak, 2010].

Coraz więcej inwestorów decyduje się na techniki bezwykopowe z uwagi na ich znaczną przewagę nad techniką tradycyjną. Uwzględnia się nie tylko czas realizacji, ale również wszystkie inne zalety metod bezwykopowych.

## 6. Podsumowanie

Pogarszający się stan przewodów wbudowanych kilkadziesiąt lat temu spowodował potrzebę ich wymiany. Coraz większy ruch uliczny, zwarta zabudowa miejska, a co za tym idzie, długi czas wykonywania wymiany istniejących rurociągów metodą tradycyjną, przyczynił się do opracowania bezwykopowych metod służących budowie sieci podziemnych. Aktualnie stosuje się je tam, gdzie jest to uzasadnione ekonomicznie, technicznie, społecznie lub ekologicznie [Kuliczkowski i in., 2010]. Bezwykopowe techniki renowacji w Polsce były początkowo drogie, jednak jednocześnie z ich upowszechnieniem i wzrostem konkurencji, ceny uległy sporemu obniżeniu. Ciągłe jednak brak wspólnego podziału technik bezwykopowych, co często stwarza pewne trudności przy ich nazewnictwie. Równie ważnym aspektem jest fakt, by inwestorzy byli świadomi tego, jakie metody istnieją, jakie są zakresy ich stosowania, dlatego istotne jest by również oni na bieżąco dokształcali się i dzięki temu, wybierali metody najodpowiedniejsze dla danej inwestycji.

Analizując zalety technik bezwykopowych można stwierdzić, że nie potwierdza się zasada, iż ekologia kosztuje, a coraz częściej są one tańsze od metod tradycyjnych. Bardzo często ze względów technicznych są one również jedynym rozwiązaniem, np. podczas budowy przewodu pod rzekami, lotniskami czy autostradami, a rozwój techniki pozwala na pokonywanie coraz dłuższych odcinków. Z uwagi na coraz gorszy stan środowiska naturalnego, warto o nie dbać, a technologie bezwykopowe są niewątpliwie krokiem w kierunku polepszania jego stanu.

### **Bibliografia:**

1. Bottero M., Peila D. (2006), Mikrotunelowanie czy instalacja w wykopie – porównanie alternatywnych metod. *Inżynieria Bezwykopowa*, 1, 23-25.
2. Kędracki M. (2008). *Geotechnika metod bezwykopowych*. (s.120-125). Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.
3. Kuliczkowski A., Zwierzchowska A. (2010). Technologie Bezwykopowe – połączenie ekonomii i ekologii. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 2, 38-40.
4. Sumara A. (2009). Największy w Polsce projekt mikrotunelowy. *Inżynieria Bezwykopowa*, 5, 40-46.
5. Surmacz A., Popielisk P. (2007). Analiza bezwykopowych metod budowy rurociągów i tuneli w warunkach zwartej zabudowy na przykładzie zrealizowanych obiektów. *Czasopismo Techniczne Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, 1, 34-36.
6. *Technologie Bezwykopowe w Inżynierii Środowiska*. (2010). Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Kuliczkowskiego. (s. 67-98). Wydawnictwo Seidel – Przywecki.
7. Trochimczuk A. (2010). Technologia Bezwykopowa w aspekcie prowadzenia robót w głównych ulicach miasta. Materiały konferencyjne, VIII Międzynarodowa Konferencja Inżynieria, 3-4.
8. Walczak R. (2010). Projekt Kalinko-Chojny. Materiały konferencyjne, IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Szkoleniowa NO-DIG Poland, 10-12.
9. Zwierzchowska A. (2003). Optymalizacja doboru metod bezwykopowej budowy rurociągów podziemnych. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej nr 38, 98-101.
10. Zwierzchowska A. (2006). Przewierty sterowane i przeciski pneumatyczne. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 2, 23-26.
11. Zwierzchowska A. (2008). Mikrotunelowanie i przeciski hydrauliczne. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 1, 46-49.
12. Zwierzchowska A. (2009). Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. (s. 54-65). Kielce.

## **18. PLATFORMY ODWZOROWUJĄCE RZECZYWISTY RUCH W SYMULATORACH**

**mgr inż. Radosław Krawczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn

ul. Dąbrowskiego 73, 42 - 201 Częstochowa

Email: krawczyk@imipkm.pcz.pl

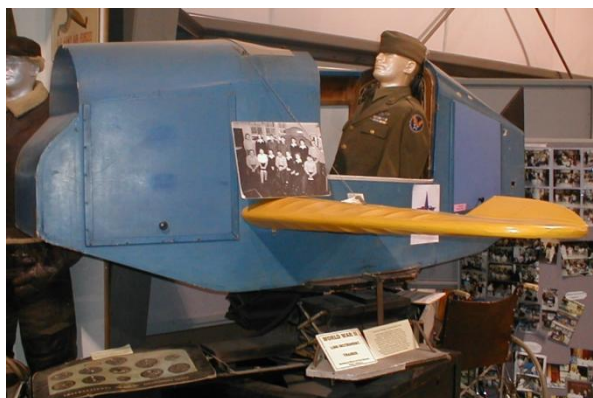
### **1. Wprowadzenie**

Na przestrzeni ostatnich lat rozwój wirtualnego świata wzrósł diametralnie, a ogromne zainteresowanie ze strony graczy (gier komputerowych), wojska oraz przemysłu doprowadziło do powstania wielu technologicznych udogodnień, które pozwalają na coraz to dokładniejsze odwzorowanie cyfrowej rzeczywistości.

Symulator to urządzenie lub program komputerowy pozwalający na emulację zachowań pojazdów lądowych, statków kosmicznych, samolotów, itp. Obecne symulatory wykorzystywane są od codziennej rozrywki, aż po zaawansowane stanowiska szkoleniowe będące pełnowymiarowym odwzorowaniem maszyny. Oprogramowanie symulatora zapewnia wierne odwzorowanie charakterystyk dynamiki ruchu symulowanego pojazdu w całym zakresie eksploatacji z uwzględnieniem wybranej konfiguracji pojazdu i warunków otoczenia, a także parametrów pracy jego systemów i wyposażenia. Charakterystyki te są opracowywane na podstawie wyników badań poligonowych danego typu pojazdów. W celu spotęgowania wrażenia ruchu kabina symulatora może być zabudowana na ruchomej platformie o sześciu stopniach swobody.

Pierwszy symulator w historii zaprojektowany przez Edwina Alberta Linka powstał w 1928 roku, jednak do oficjalnego użytku wszedł w 1934 roku. Był to symulator lotu, który nosił nazwę "Blue Box" i był wyposażony w wolant, pedały i podstawową tablicę z przyrządami. Nauka pilotażu w realnym samolocie była w tamtych czasach bardzo droga, dlatego ludzie zaczęli korzystać z Link Trainera. W kolejnych latach symulatory udoskonalano i dążono do maksymalnego urealnienia fizyki i zachowania podczas lotu jak na przykład turbulencje, awarie, problemy w powietrzu. To na nich potencjalni piloci uczą się, jak zachować się za sterami prawdziwej maszyny. Symulatory stały się skomplikowane rozbudowanym programem umożliwiającym szkolenia w wielu dziedzinach [www.samoloty.pl, 2019].





**Rysunek 1. Link Trainer inaczej "Blue Box"**

Źródło: [www.samoloty.pl](http://www.samoloty.pl).

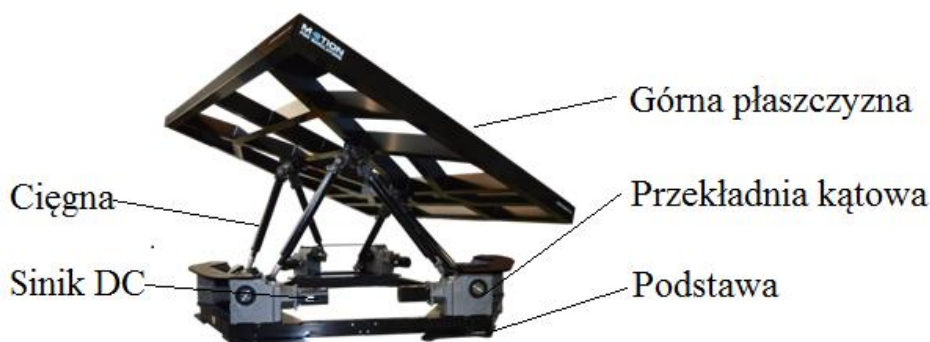
Obecne symulatory posiadają platformy ruchu, które umożliwiają odwzorowanie fizycznych aspektów występujących w wirtualnej rzeczywistości. Jednym z nich jest na przykład odczucie nachylenia terenu, przyspieszenia czy też napotkanie przeszkody. W przemyśle platformy wykorzystywane są głównie do szkoleń pilotów, maszynistów, operatorów ciężkich maszyn, astronautów. Na tę chwilę największym odbiorcą platform oraz symulatorów jest przemysł zbrojeniowy, który rocznie (według SIPRI) wydaje około 1800 mld dolarów na szkolenia oraz sprzęt [<https://www.defence24.pl>, 2017].

Systemy szkolenia kierowców wojskowych są przeznaczone do podstawowego i zaawansowanego szkolenia kierowców dla każdego rodzaju kołowego i gąsienicowego pojazdu wojskowego. Drogi miejskie, wiejskie, autostrady i tereny do ćwiczeń terenowych są dostępne o różnych porach roku, warunkach pogodowych i natężeniu ruchu.

Najnowocześniejsza technologia symulacji pozwala skutecznie przenosić, ćwiczyć i testować najbardziej złożone cele treningowe. Modułowe systemy szkolenia kierowców można dostosować do indywidualnych potrzeb szkoleniowych, a dynamikę pojazdu można symulować za pomocą systemów ruchu i najnowocześniejszych systemów wizualnych. Kompleksowe oprogramowanie do symulacji jazdy zapewnia niezrównaną elastyczność w zakresie symulowanego ruchu, nieprawidłowego działania własnego pojazdu i niewłaściwego prowadzenia ruchu sterowanego komputerowo [Gudzbeler G., Symulatory pojazdów].

## **2. Budowa oraz działanie platformy**

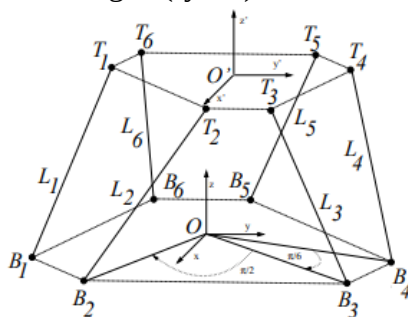
Każda platforma ruchu posiada określoną ilość napędów. Wyróżnia się napęd elektryczny, pneumatyczny oraz hydrauliczny. Napęd elektryczny składa się z silnika, przekładni oraz sprzężenia zwrotnego - najczęściej enkodera (całość można określić mianem serwonapędu). Napęd pneumatyczny oraz hydrauliczny wykorzystuje pompę oraz siłowniki wraz ze sprzężeniem zwrotnym (np. liniałem), różnica obu napędów polega na czynniku roboczym, gdzie w jednym jest to gaz, a w drugim ciecz. Podstawowe elementy konstrukcji platformy zostały przedstawione na rysunku 2.



**Rysunek 2. Platforma 2-S3-3-6 DOF firmy MotionForSimulators**

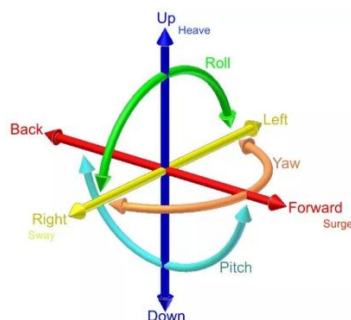
Źródło: [www.motionforsimulators.com](http://www.motionforsimulators.com).

Aby wysterować górną płaszczyznę platformy, trzeba opisać kinematykę prostą platformy. Jest to zależność pomiędzy zadanymi kątami przechyłu płaszczyzny platformy, a położeniem kątowym wału każdego z sześciu napędów. Konstrukcja z sześcioma napędami nazywana jest platformą Stewarta-Gougha (rys. 3).



**Rysunek 3. Platforma Stewarta-Gougha**

Źródło: Dasgupta, B. and Mruthyunjaya, Mechanism and Machine Theory, 1998.



**Rysunek 4. Kierunki przemieszczenia platformy**

Źródło: [www.servosandsimulation.com](http://www.servosandsimulation.com).

### 3. Podział platform ze względu na rodzaj symulatora

W toku rozwoju symulatorów, w zależności od przeznaczenia i grupy odbiorców, wykształciły się pewne ich typy, które można sklasyfikować następująco:

a) symulatory pełnozakresowe (kabinowe):

- z mechanizmem ruchowym,
- bez mechanizmu ruchowego,

- b) symulatory pulpitowe,
- c) symulatory kompaktowe:
  - stałe,
  - mobilne (np. w specjalnych przyczepach),
- d) symulatory desktopowe na komputerach PC.

### 3.1. Platforma symulatora pojazdów szynowych

Na rysunku 4 przedstawiono nowoczesny symulator jazdy lokomotywą zaprojektowany przez Autocomp Management dla grupy PKP. Symulator służy przede wszystkim do poprawy kwalifikacji, jakości i bezpieczeństwa w ruchu kolejowym. W scenariuszach jazdy można ująć zdarzenia realnie występujące na trasach, np. złe warunki pogodowe, uszkodzenie hamulca, czy przeszkody w postaci powalonego drzewa. Urządzenie może być również wykorzystane do badań pracowników, którzy brali udział w wypadkach kolejowych, szczególnie pod kątem ewentualnych zaburzeń psychomotorycznych będących skutkiem przeżytego stresu [www.intercity.pl, 2014].

Symulator posiada dwie wymienne kabiny imitujące dwa rodzaje lokomotyw – EP09 oraz EU44 (Husarz). U podstawy symulatora znajduje się platforma ruchu o sześciu stopniach swobody. Całość napędza sześć siłowników elektrycznych sterowanych z szafy zasilająco-sterującej typu RACK z komputerami symulacyjnymi [www.ac-m.pl, www.intercity.pl, 2014].



**Rysunek 5. Symulator kolejowy lokomotywy EP09**

Źródło: www.ac-m.pl.

Symulator EREC to nowoczesne odwzorowanie kokpitu pojazdu szynowego tajwańskiego metra (rys. 5). Aparatura oraz oprogramowanie pochodzi prosto od producenta maszyny. Platforma ruchu wyposażona jest w sześć siłowników hydraulicznych, a głównymi przyrządami do ustalenia pozycji są akcelerometry. Symulator służy do szkolenia oraz doskonalenia maszynistów tajwańskiego metra [wstind.com.hk, 2019].



**Rysunek 6. Symulator kolejowy metra w Tajwanie**

Źródło: [www.facebook.com/mtr](http://www.facebook.com/mtr).

### **3.2. Platforma symulatora lotniczego**

CAE Inc. to jedno z największych przedsiębiorstw na świecie, zajmujące się budową symulatorów lotniczych. W swojej historii CAE Inc. dostarczył ponad 700 symulatorów dla producentów samolotów pasażerskich oraz linii lotniczych. Najdroższe symulatory przekraczają wartość 128 milionów amerykańskich dolarów. Firma ta zaopatruje również wojsko lotnicze [www.altair.com.pl, 2008].

Symulator B777-300ER pokazany na rysunku 6 odwzorowuje kabinę pilota Boeinga 777 i jest jednym z wysoce zaawansowanych produktów tej firmy. Jest to pełnowymiarowa kopia z pełnym kokpitem obsługiwana za pomocą tego samego oprogramowania, co samoloty Boeing [www.skyart-japan.tokyo, 2019].

Platforma ruchu posiada sześć stopni swobody i jak w poprzednim przypadku zaopatrzona jest w sześć silowników elektrycznych dużej mocy.



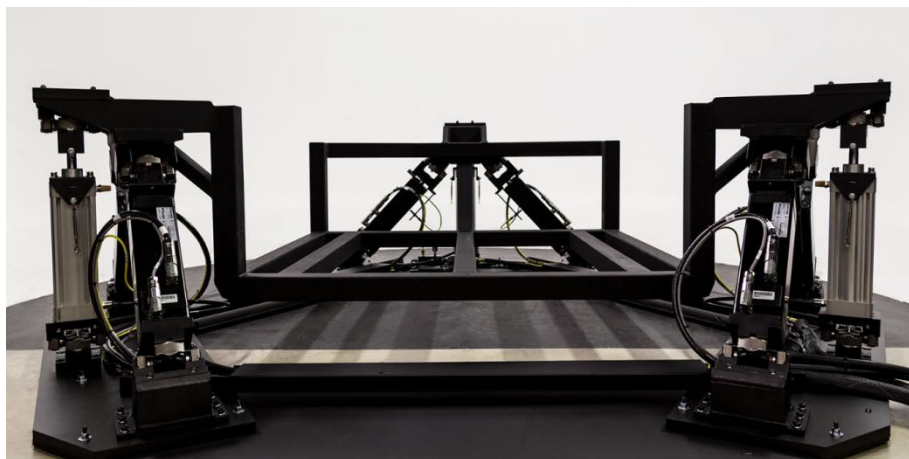
**Rysunek 7. Symulator lotniczy B777-300ER**

Źródło: [www.va-airlinetraining.com](http://www.va-airlinetraining.com).

Kolejnym dużym producentem symulatorów jest firma Frasca, która od ponad 60 lat dostarcza swoje produkty do celów szkoleniowych oraz poprawy bezpieczeństwa lotniczego. Ich symulatory posiadają platformy ruchu i są to kompaktowe systemy zaprojektowane



w celu zwiększenia wydajności szkolenia pilotów poprzez dostarczanie bardzo dokładnego sprzężenia zwrotnego przy pomocy sygnalizacji i wibracji. Rezultatem są niezwykle realistyczne wskazówki dotyczące ruchu i dokładne reakcje pilota podczas lotu, co ostatecznie pozwala na lepsze i bardziej efektywne szkolenie pilota. Platforma Frasca wyróżnia się tym, iż posiada trzy dodatkowe tłumiki pneumatyczne. Reszta konstrukcji jest wykonana w konfiguracji Stewarta-Gougha [www.frasca.com, 2019].



**Rysunek 8. Platforma ruchu firmy Frasca**

Źródło: [www.frasca.com](http://www.frasca.com).

Jednym z symulatorów wykorzystujących powyższą platformę jest Frasca Motion Cueing System AS350, który odwzorowuje kokpit śmigłowca AS 350 (rys. 7).



**Rysunek 9. Symulator FMCS AS350**

Źródło: [www.frasca.com](http://www.frasca.com).

### 3.3. Platforma symulatora pojazdu lądowego

Symulator Szkolenia Kierowców KTO Rosomak typu JASKIER przedstawiony na rysunku 8 umożliwia efektywne i realistyczne szkolenie kierowców oraz doskonalenie techniki jazdy w różnych warunkach. Urządzenie stanowi wierną kopię przedziału kierowcy KTO Rosomak pozwalając kształtować prawidłowe nawyki oraz zachowania. Jego konstrukcja pozwala na szkolenie w zakresie: budowy i działania mechanizmów przedziału kierowcy; uruchamiania silnika w różnych warunkach; ruszania i zatrzymania w terenie płaskim oraz na zboczu; pokonywania przeszkód terenowych; jazdy w różnych warunkach

atmosferycznych i oświetleniowych; jazdy po wyznaczonej trasie o przeciętnym stopniu trudności; jazdy w różnych warunkach terenowych; zachowania w sytuacjach niebezpiecznych na drogach i polu walki; jazdy po wyznaczonej trasie o przeciętnym stopniu trudności.

Jest to najbardziej rozbudowana wersja urządzenia, w której kabina symulatora zamontowana na ruchomej platformie wiernie symuluje ruchy pojazdu podczas jazdy w różnych warunkach terenowych [www.rosomaksa.pl, 2015].

Platforma ta wyposażona jest w sześć siłowników elektrycznych, montowana w układzie Stewarta-Gougha i posiadająca sześć stopni swobody.



**Rysunek 10. Symulator KTO Rosomak typu JASKIER**

Źródło: www.rosomaksa.pl.

Symulator czołgu T-72 (rys. 9) został zbudowany na potrzeby wojska do szkolenia kierowców w zakresie prowadzenia pojazdów i pokonywania przeszkód w różnych terenach. Jest on pełnym odwzorowaniem kabiny pojazdu co umożliwia szkolenie w różnych warunkach: przygotowanie broni do strzelania; wyszukiwanie, wykrywanie, identyfikacja, dystrybucja, wyznaczanie celów; śledzenie celów w różnych trybach prowadzenie broni do celu; strzelanie z pistoletu, karabinu maszynowego; uruchomienie i prowadzenie ATGM; wystrzelenie rakiet przeciwlotniczych; nadzór lotu; pomiar wyników strzelania [www.simulator.ua, 2010].



**Rysunek 11. Symulator czołgu T-72**

Źródło: www.simulator.ua.

Symulator posiada platformę ruchu wyposażoną w sześć silników wraz z przekładniami kątowymi. Każdy napęd posiada sprzężenie zwrotne w postaci enkodera, pozwalającego określić pozycję położenia ciężna.

Kolejnym przykładem jest symulator samochodu ciężarowego (rys. 10), który pozwala na szkolenie nowych kierowców w bezpiecznych warunkach. Szkolenia z wykorzystaniem symulatora jazdy samochodem ciężarowym/autobusem cieszą się zdecydowanie największą popularnością. Dedykowane są przede wszystkim kierowcom zawodowym i mają charakter cyklicznych zajęć obowiązkowych. Symulator składa się z pełnowymiarowej kabiny z osprzętem, którą zamocowano na platformie ruchomej. Platforma posiada sześć siłowników elektrycznych (sześć stopni swobody). Wprowadzenie ruchu w tym symulatorze nie jest konieczne, ale umożliwia nabycie realistycznych nawyków. Platforma pozwala na zasymulowanie odczucia hamowania, gwałtownego zawracania oraz wyczucia poślizgu pojazdu [www.torbednary.com, 2017].



**Rysunek 12. Symulator samochodu ciężarowego**

Źródło: www.torbednary.com.

### **3.3. Platforma symulatora gier komputerowych**

Gry komputerowe to pojęcie, które często pojawia się w użytku publicznym. W 2018 roku, wartość światowego rynku gier (wg. Gamesindustry.biz) wyniosła 134,9 miliarda amerykańskich dolarów. Wartość ta wzrosła aż o 11 procent do roku poprzedniego [www.pclab.pl, 2018].

Pierwsze gry pojawiły się w latach 50. dwudziestego wieku, a ich rozwój przez kolejne 70 lat wyprzedził nawet rozwój komputerów. Początkowo, przeciętny użytkownik mógł zagrać na automatach znajdujących się na przykład w wesołych miasteczkach lub specjalnych pokojach gier. Z czasem na rynku pojawiły się konsole stacjonarne oraz mobilne. Po erze komputerów osobistych, gry stały się podstawową rozrywką wielu posiadaczy takich komputerów [en.wikipedia.org, 2018].

Jak w powyższych przypadkach, gry komputerowe doczekały się swoich symulatorów, które wykorzystują platformy i oferują niesamowite doznania oraz nadają realistyki w wirtualnym świecie. Platformy na rynku gier największą popularność mają wśród symulatorów samochodów rajdowych. Z takich zestawów korzystają również zawodowi kierowcy Formuły 1, w ramach szkoleń oraz testów.



**Rysunek 13. Symulator 6DOF F1 firmy ARCSIM**

Źródło: [www.arcsim.com](http://www.arcsim.com).

Hexapod Full Motion Formula Simulator (rys. 11), to symulator wykonany z wysokiej jakości materiału z włókna szklanego, posiadający potrójny system monitorowania. Aby zmaksymalizować realność dodano oryginalną programowalną kierownicę w stylu Formuła 1, regulowane pedały przepustnicy i hamulca z realistycznym wyczuciem. Platforma ruchu zaopatrzona jest w sześć siłowników elektrycznych, a jej wychylenia pozwalają na odtworzenie podstawowych zachowań bolidu F1 na torze [www.arcsim.com, 2016].

#### 4. Podsumowanie

Można stwierdzić, iż symulatory od blisko stu lat wspierają procesy szkoleniowe oraz dostarczają realistycznych odczuć. Najbardziej zaawansowane symulatory należą do przemysłu zbrojeniowego. Wykorzystuje się je nie tylko do szkoleń bojowych, ale także podczas sterowania bezzałogowymi maszynami. Wykorzystanie platform ruchu podczas zdalnego sterowania pojazdem lub samolotem bojowym pozwala na odwzorowanie położenia maszyny w terenie. Dzięki temu operator jest w stanie określić na przykład nachylenie terenu lub turbulencje. Technologia bezzałogowa coraz częściej wykorzystuje platformy ruchu i jest to jeden z najbardziej znaczących kierunków rozwoju armii.

Na rynku występuje wiele platform ruchu i każda jest uzależniona od rodzaju symulatora. Najpopularniejsze platformy posiadają 2, 3 lub 6 stopni swobody i wyposażone są w siłowniki elektryczne. Do wysterowania platformy potrzeba rozwiązać zagadnienie kinematyki prostej oraz posiadać dane położenia pochodzące z symulatora.

W ostatnich latach na rynku gier komputerowych dużą popularność zyskały symulatory z platformami ruchu. Ze względu na wysoką cenę nie są one jeszcze dostępne dla większości graczy.



**Bibliografia:**

1. Harib K., Srinivasan K. Kinematic and dynamic analysis of Stewart platform-based machine tool structures. *Robotica*, Vol. 21 (2003), No. 5, pp. 541- 554.
2. Borras J., Thomas F., Torras C. New Geometric Approaches to the Analysis and Design of StewartGough Platforms. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol. 19 (2014), No. 2, pp. 445-455.
3. Gao X.S., Lei D., Liao Q., Zhang G.F. Generalized Stewart-Gough Platforms and Their Direct Kinematics. *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 21 (2005), No. 2, pp. 141-151.
4. Dasgupta, B. and Mruthyunjaya, T.: Closed-form dynamic equations of the general Stewart Platform through the Newton-Euler approach, *Mechanism and Machine Theory* 33 No.7 (1998), 993-1012.
5. Gudzbeler G., *Symulatory pojazdów w procesie szkolenia podmiotów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo wewnętrzne*, Vol. 01 (2018), pp. 56-85, 110-161.
6. Brona P., Dąbrowski A., Koszela J., Król D., Szafranski Z., Wantoch-Rekowski R. *Technika*.
7. Yunlu Gu, Working space analysis of one 3-DOF aircraft motion simulator, Article from ICSP 2019.

**Wykaz stron internetowych:**

8. <https://www.samoloty.pl/> (dostęp, 02.09.2019).
9. <https://www.defence24.pl/> (dostęp, 02.09.2019).
10. <https://www.motionforsimulators.com/> (dostęp, 02.09.2019).
11. <https://www.servosandsimulation.com/> (dostęp, 02.09.2019).
12. <https://www.intercity.pl/> (dostęp, 03.09.2019).
13. <https://www.ac-m.pl/> (dostęp, 03.09.2019).
14. <https://www.altair.com.pl/> (dostęp, 03.09.2019).
15. <https://www.skyart-japan.tokyo/> (dostęp, 03.09.2019).
16. <https://www.va-airlinetraining.com/> (dostęp, 03.09.2019).
17. <https://www.rosomaksa.pl/> (dostęp, 03.09.2019).
18. <https://www.simulator.ua/> (dostęp, 03.09.2019).
19. <https://www.torbednary.com/> (dostęp, 03.09.2019).
20. <https://www.pclab.pl/> (dostęp, 03.09.2019).
21. <https://www.en.wikipedia.org/> (dostęp, 03.09.2019).
22. <https://www.arcsim.com/> (dostęp, 03.09.2019).
23. <https://www.frasca.com/> (dostęp, 04.09.2019).

## 19. WYKORZYSTANIE SYSTEMÓW KODOWYCH W POSZCZEGÓLNYCH DZIEDZINACH ŻYCIA W POLSCE

**Jolanta Martuszevska**

Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni  
Wydział Dowodzenia i Operacji Morskich  
Email: jolantahmartuszevska@gmail.com

**Streszczenie:** Bezpieczeństwo jest jedną z najważniejszych potrzeb człowieka, nieustanny rozwój technologiczny stawia wielkie wyzwania. Czujność oraz wiedza na temat nowoczesnej technologii jest niezbędna dla poczucia bezpieczeństwa i przeciwstawiania się zagrożeniom. Systemy kodowe występują prawie we wszystkich sektorach życia społecznego, gospodarczego oraz obronnego w Polsce. Mają wszechstronne zastosowanie, są wszechobecne. Wykorzystanie systemów kodowych powinno ściśle wiązać się z posiadaniem wiedzy na ich temat.

**Słowa kluczowe:** kod QR, kod Morse’a, geokodowanie, kodowanie, szyfrowanie

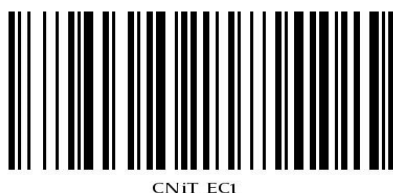
**Summary:** Safety is one of the most important human needs constant technological development poses great challenges. Vigilance and knowledge about modern technology is necessary for a sense of security and opposition to threats. Code systems occur in almost all sectors of social and economic life in Poland. They have universal application and are ubiquitous. The use of code systems should be closely related to knowledge of them.

**Keywords:** codes, QR code, Morse’a code, geocoding, coding, encryption

### 1. Wstęp

Dawniej stosowano: szyfrowanie, zapisywanie za pomocą symboli, oznaczanie, utajnianie. Współcześnie występuje: kodowanie. Nuty i znaki na pięcioliniach to kod muzyki, znaki drogowe to zakodowane informacje ułatwiające kierowcom i pieszym przemieszczanie się w labiryntach ulic. Numery autobusów i tramwajów kodują trasy w danym mieście. Wyrazy tekstów kodują znaczenia. Mówimy o kodach kulturowych, kodach PESEL i kodach paskowych. Kody są wszędzie, aby ułatwić funkcjonowanie w społeczeństwie.

Umiejętność wykorzystania kodów w różnych dziedzinach życia jest znacznym ułatwieniem w ich wykonywaniu. Dlatego z chęcią uczymy się poszczególnych języków kodowania oraz ich tworzenia. Wielu naukowców zauważa, że uczenie się kodowania od wczesnych lat życia, nawet bez komputerów, ułatwi w przyszłości funkcjonowanie w coraz bardziej komplikującym się świecie techniki, ekonomii czy nauki. Każdy, kto w dzieciństwie zetknął się z zagadnieniami szeroko rozumianego kodowania, dużo szybciej opanuje też dowolny język programowania niż ktoś, kto w młodości zwlekał z podjęciem nauki.



**Rysunek 1. Kod kreskowy "CNiT EC1"**

Źródło: [www.centrumnaukiec1.pl](http://www.centrumnaukiec1.pl)

Dużym atutem ich stosowania jest znaczna oszczędność czasu, gdyż zeskanowanie kodu kreskowego zajmuje kilka sekund, a informacja jest już w naszym posiadaniu. Jednakże nierozważne stosowanie kodów może być brzemienne w skutkach. Niedokładne zabezpieczenia baz danych po tzw. cyberataku czy zgubieniu dokumentów, mogą wywołać zaskakująco wysokie zagrożenie.

Celem niniejszego artykułu jest analiza literatury na temat wykorzystania systemów kodowych w sektorach społecznym, gospodarczym oraz obronnym w Polsce.

## 2. Systemy kodowe

Systemy kodowe ułatwiają funkcjonowanie i wykonywanie różnych zadań w rozwijającym się informatycznym świecie, w tym w przekazywaniu informacji. Stosowane są one niemal na całym świecie. Kod (*codex*) to spis-ciąg składników sygnału, jako kombinacja sygnałów: kropek i kresek (alfabet Morse'a), impulsów energii, światła, symboli oraz reguła ich powiązania z elementami informacji – znakami pisma [Iwańska, 2016]. Zastosowanie kodów jest wszechstronne, między innymi w telegrafii, telefonii, technice cyfrowej, edukacji, marketingu, handlu, przemyśle, itd.

W przestrzeni publicznej oraz prywatnym otoczeniu odbieramy wiele sygnałów o kodowaniu informacji. Kody przybierają różne postaci m.in.: dźwięku, światła, zapachu, ikony, itd. Nie ma dziedziny życia społecznego, w której systemy kodowe nie miałyby zastosowania. Jednakże, poddajemy się takiemu sterowaniu bez głębszej refleksji, nie do końca zdając sobie sprawę z powagi zagrożeń, wynikających np. z ujawniania naszych prywatnych danych, przekazywanych do banków i systemów informatycznych, często związanych z brakiem roztropności, ale połączonych czasem z niewiedzą. Do systemów kodowania stosowanych powszechnie w Polsce można zaliczyć kody kreskowe jednowymiarowe, wykorzystywane w przemyśle na całym świecie, jako kody towarowe EAN13.



**Rysunek 2. Kod towarowy EAN13**

Źródło: [www.generatorkodowkreskowych.pl](http://www.generatorkodowkreskowych.pl)

W miarę rozwoju technologicznego kod paskowy został zastąpiony kodem bardziej wydajnym, mianowicie kodem dwuwymiarowym, który zawiera większą liczbę informacji. Zadania podjął się M. Hara, który wraz ze współpracownikami z japońskiej firmy *Denso Wave* opracował kod dwuwymiarowy w celu identyfikacji części samochodowych w procesie produkcji. Kody QR (*QR Code – Quick Response*) zaliczamy do kodu kreskowego dwuwymiarowego, który pozwala na zapisanie informacji tekstowej lub binarnej [Polanis, 2017].

Kody QR to zagadka, obietnica otrzymania niespodzianki, jak brama, za którą można znaleźć mnóstwo ciekawych informacji. Adresy internetowe można kodować jednym kliknięciem na pasku przeglądarki – wystarczy dodać odpowiednie rozszerzenie (*QR Code Generator dla Firefox, The QR Code Extension dla Chrome*). Przykłady ich zastosowania są niezliczone od biletów komunikacji miejskiej po płatności mobilne [QR online, 2018, s. 1].



**Rysunek 3. Kod QR (Quick Response)**

Źródło: [www.the-qrcode-generator.com](http://www.the-qrcode-generator.com)

Zaletą kodu QR jest jego zmienna pojemność, można zapisać maksymalnie: 7089 znaków numerycznych lub 4296 alfanumerycznych. Można także tworzyć kody dynamiczne, pozwalając na zmianę treści ukrytych w kodzie oraz śledzenie statystyki skanów [QR online, 2018, s.2].

### 1. Kody w szkole

Potencjał technologii prostej w obsłudze docenili nauczyciele. Kody zagościły w klasach, w bibliotece szkolnej, kartach pracy, w prezentacjach, na korytarzach, gazetkach, itd. Wykorzystywane w placówkach edukacyjnych pozwalają m.in.

- udostępnić materiały do studiowania, filmy, pliki do odsłuchania;
- kierować do interaktywnych ćwiczeń,
- sprawdzić zrozumienie tekstu (np. dzięki linkom do pytań),
- dostarczyć link do dokumentu współtworzonego przez uczniów w „chmurze”;
- uzupełnić ścienną wersję szkolnej gazetki;
- promować wydarzenia, akcje, konkursy;
- poszerzyć treści podręcznika o aktualne fakty i informacje multimedialne;
- zapewnić szybki dostęp do strony internetowej szkoły; promować wydarzenia, akcje, konkursy.

Lista nie jest zamknięta, ale już teraz nie ma wątpliwości, że kody QR można stosować w nauczaniu każdego przedmiotu, na każdym etapie edukacyjnym.

W nauce i szkolnictwie wyższym znajdują zastosowanie systemy kodowane klasyfikacji nauk, np: Uniwersytet Opolski/ Wydział Elektrotechniki, Automatyki

i Informatyki, Kod przedmiotu W-51, Przedmioty dla programu WMI-n037-0-UD-4, Nazwa przedmiotu: Automatyka i robotyka [Karta Opisu Przedmiotu, 2019].

## 2. Kody w bibliotece

Kody QR w bibliotece dostarczają nowoczesnych oraz aktualnych zasobów. Dostępne są zarówno w wersji on-line, jak i drukowanej. Ułatwiają nie tylko dostęp do źródeł elektronicznych i informacji katalogowych, ale też wpływają na pracę bibliotekarzy, mających bezpośredni kontakt z czytelnikiem. Zwiększoną wydajność zyskuje się dzięki zeskanowaniu kodu i odczytowi zamieszczonych w nim informacji, o wiele szybszemu od wpisywania haseł przedmiotowych, autorów, czy tytułu, bez konieczności oczekiwania na wyświetlenie konkretnych zbiorów.

Fotokody w postaci on-line znajdują się na stronie WWW. Kody QR wewnątrz biblioteki rozmieszczane są na piętrach oraz przed wejściem do określonych pomieszczeń, np. wypożyczalni, czytelni, sal konferencyjnych, pokoi nauki [Kołodziejczyk, 2013, s. 3]. Przykładem kodu QR w polskiej bibliotece szkoły wyższej jest: Biblioteka Politechniki Łódzkiej.



**Fotografia 1. Link do platformy edukacyjnej Politechniki Łódzkiej. Fotografia z plakatu promującego WIKAMP**

Źródło: Wirtualny Kampus Politechniki Łódzkiej [Kołodziejczyk, 2013, s.9].

Wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań oraz korzystanie z rozwoju technologii mobilnej przy pomocy kodów QR w bibliotekach pozwala m.in.:

- usprawnić obsługę użytkowników,
- dostarczyć jak największą liczbę informacji w czasie rzeczywistym,
- budować pozytywny wizerunek.

## 3. Geokodowanie

To ustalanie współrzędnych geograficznych na podstawie innych danych geograficznych, na przykład kodu pocztowego, ulicy i miasta – powszechne w technikach informatycznych. Systemy geokodów ułatwiają prace w programach statystycznych, w Systemach Informacji Geograficznej. Przed okresem informatyzacji, stosowano między innymi system współrzędnych geograficznych oraz kodów pocztowych. Systemy geokodów można podzielić ze względu na:

- sposób kodowania – liczbowy, literowy, mieszany, na terytorium, jaki obejmuje – całą Ziemię, lądy, wody, kontynent, region;
- rodzaj kodowanych obiektów – państwa, obszary administracyjne, miasta, lotniska, stacje kolejowe;

Przykładem geokodów są mapy topograficzne dla wojska, które posiadają nadruk wszystkich odpowiednich układów odniesienia. Sposób zamiany współrzędnych w każdym układzie jest jawny, jednak kod położenia obiektów z ich opisem jest dostępny dla osób upoważnionych. Podział map na arkusze i zakodowanie ich nazw jest jawne, lecz jeżeli jest potrzeba objęcia ochroną informacji wówczas wystarczy kodowe nazwy zaszyfrować.



#### Rysunek 4. Mapa geokodowania Polski

Źródło: [www.web.archive.org](http://www.web.archive.org)

Powszechnie stosowany jest również system kodowy, uwidoczniiony na tablicach rejestracyjnych pojazdów i przyczep – umożliwiający identyfikację kierowcy – właściciela samochodu. Wygląd tablic rejestracyjnych ulegał zmianom, obecnie zapisy są regulowane przepisami prawa [Ostrokólski, 2018, s. 417]. Według art. 2 pkt 58 ustawy z dnia 20.06.1997 r. Prawo o ruchu drogowym: VIN (Numer Identyfikacyjny Pojazdu) nadany i umieszczony przez producenta składa się z trzech części:

- WMI – światowy symbol producenta – stanowi kod, który jest przydzielany producentowi w celu jego identyfikacji, składa się z 3 znaków (liter lub cyfry), nadawanych przez urząd kraju, w którym jest jego siedziba, w porozumieniu z międzynarodową organizacją ds. normalizacji ISO.
- VDS – opis modelu - składający się z sześciu znaków, dających ogólny opis i charakterystykę pojazdu. Znaki oraz ich kolejność i znaczenie określają producenci. Nieużywane przez producenta pozycje są wypełniane wybranymi przez niego znakami, bez określonego znaczenia.
- VIS – numer seryjny - ostatnie osiem znaków, przy czym ostatnie cztery są cyframi. Jeżeli producent zamierza podać rok produkcji i/lub zakład produkcyjny, zaleca się, aby rok produkcji podawać: na pierwszej zakład, na drugiej pozycji VIS-u. Przez „rok” rozumie się rok kalendarzowy, w którym wyprodukowano pojazd, lub rok modelowy pojazdu, zgodnie z ustaleniem przyjętym przez producenta.
- VIN jest konstrukcją alfanumeryczną, z wyjątkiem ostatnich czterech znaków. Dopuszcza się używanie następujących dużych liter łacińskich i cyfr arabskich: 1,2,3,4,5,6,7,8,9,0; A,B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,R,S,T,U,V,W,X,Y,Z [Ostrokólski, 2018, s. 418].

Kolejnym przykładem zastosowania systemów kodowych w Polsce, jest kod PUK, który ma za zadanie zapewnienie uwierzytelnienia osoby, dokonującej logowania do telefonu.

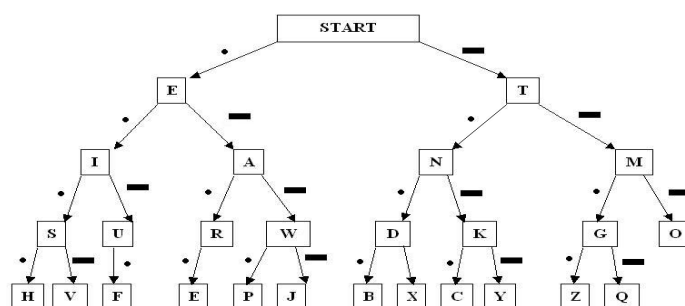
Jest to alfabetyczny i/lub numeryczny kod od 4 do 12 znaków, który może być użyty, jako środek identyfikujący posiadacza telefonu.

Geokodowanie adresów polega na zamianie adresu z postaci czytelnej (np. Szczecin, Niepodległości 20), na dane, dzięki którym komputer może wyświetlić go na mapie, (np. 53.42971083966362, 14.544181823730469). W USA i krajach Europy Zachodniej geokodowanie jest bardziej szczegółowe, gdyż można precyzyjnie geokodować ulice i numery budynków. W Polsce, w dużych miastach, dokładność geokodera również pozwala na precyzyjne ustalenie położenia, do numeru domu włącznie.

Maszyny cyfrowe w tym komputery powstały dzięki kodowi binarnemu. Podstawą elektroniki jest prąd elektryczny, który w układach elektronicznych albo płynie, albo nie. Komputer rozpoznaje sygnały i interpretuje płynący prąd jako 1, a jego brak jako 0. Operując odpowiednim ustawieniem, kiedy ma płynąć prąd, a kiedy nie, ustawia różne wartości zer i jedynek. Procesor konwertuje je na liczby i w ten sposób powstają czytelne obrazy, teksty, dźwięki. Kod binarny ma zastosowanie np. w graficznym odwzorowaniu danych Blue Box.

### 3. Wykorzystanie systemów kodowych w obronności

Kod Morse'a stworzony przez S. Morse'a i A. Vaila to sposób reprezentacji alfabetu, cyfr i znaków specjalnych za pomocą dźwięków, błysków światła, impulsów elektrycznych lub znaków, popularnie zwanych kreską i kropką. W kodzie Morse'a alfabet najczęściej tworzony jest w języku angielskim. Alfabetem źródłowym jest alfabet łaciński, a alfabetem kodowym  $B=\{., -\}$ . Trzecim elementem zbioru  $B$  jest spacja. Literę „A” kodujemy jako „-.,, a „T” jako „.-”. Spacja zawsze jest na końcu kodu. Kod Morse'a jest błyskawiczny [Pop, 2015, s. 1].



### Schemat 1. Kod Morse'a

Źródło: [www.fakoo.de](http://www.fakoo.de)



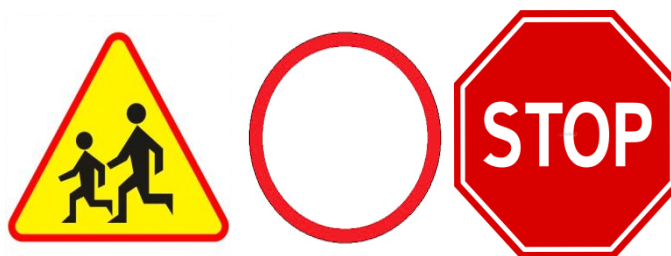
## Schemat 2 . Alfabet Morse'a

Źródło: [www.fakoo.de](http://www.fakoo.de)

W obronności wyróżnić możemy, także kod stosowany wyłącznie do użytku wewnętrznego, np. w marynarce wojennej lub tylko w danym państwie – kod sygnałowy, czyli system umownych znaków do porozumiewania się na odległość według ustalonego klucza [Sołkiewicz, 2012, s. 275]. Informacje przekazywane są za pomocą flag sygnałowych oznaczających litery alfabetu, cyfry, znaki umowne. Kod sygnałowy stosowany jest w sygnalizacji morskiej.

#### 4. Kodowanie a szyfrowanie

Prawne uregulowanie systemów kodowych pozwoliło na odpowiednie ich pogrupowanie i zestawienie, co zapobiega dalszym problemom w sprawnym ich funkcjonowaniu. O przydatności zastosowania systemów kodowych w codziennym życiu wiemy wciąż zbyt mało. Specjaliści twierdzą, że jawny jest sposób kodowania informacji, natomiast zapisane dane są zastrzeżone odpowiednim stopniem „niejawności”, gdyż ich udostępnienie może spowodować poważne zagrożenia lub szkody [Doroziński, 2013, s. 50]. Cała otaczająca nas rzeczywistość powinna być dla każdego z nas zrozumiała, a wiedza o powszechnie stosowanych systemach kodowania i znakach kodowych, ma być ogólnie dostępna. Oczywiście, nie dotyczy to tych systemów kodowych, które z założenia będą przeznaczone do specjalnych celów lub tylko w ściśle określonych relacjach. Pragnę zwrócić uwagę, że kody często bywają utożsamiane z szyframi. Te dwa określenia są stosowane zamiennie, co jest błędem. Powszechnym dla naszych oczu przykładem kodowania, są znaki drogowe: zamiast pisać informacje na tabliczce, w figurze określonego kształtu umieszczany jest odpowiedni symbol.



**Rysunek 5. Znaki drogowe**

Źródło: [www.znaki.drogowe.pl](http://www.znaki.drogowe.pl)

Zdaniem D. Daszkiewicza szyfrowaniem określa się proces przekształcania tekstu czytelnego dla człowieka lub informacji w innej postaci (np. zarejestrowanego materiału dźwiękowego lub filmowego) na niezrozumiały ciąg znaków, w celu jego utajnienia – przechowywania w takiej postaci lub możliwości bezpiecznego przekazywania go niezabezpieczonymi kanałami. Tekst zrozumiały nosi miano tekstu jawnego. Przekształcony tekst wynikowy, nazywa się tekstem tajnym, szyfrogramem lub kryptogramem. Szyfrowanie przeprowadza się przy użyciu specjalnych funkcji matematycznych, zwanych także kryptograficznymi algorytmami szyfrującymi [Daszkiewicz, 2016]. Szyfrowanie, dzięki zastosowaniu systemów informatycznych jest szybkie, a przekaz takich danych możliwy do odczytania tylko przez odbiorcę, dysponującym odpowiednim deszyfratorem. Podczas rozmowy telefonicznej, wypowiedziane słowa są kodowane, by można je było przesłać do aparatu odbiorcy. Dzwoniący nie wie, jakiego typu telefon posiada odbierający. Dlatego kod



rozmowy powinien zostać odczytany przez każdy telefon. Tak zwana czerwona linia Waszyngton - Moskwa posiada urządzenia szyfrujące, pozwalające zrozumieć tylko treści przesyłane przez określony aparat telefoniczny.

## **5. Kodowanie a bezpieczeństwo informacji**

Podczas rozpatrywania tematyki systemów kodowych podstawową jednostką społeczną państwa jest człowiek. Dlatego informowanie społeczeństwa o zagrożeniach systemów kodowych, powinno odbywać się nieustannie. Państwo ma zapewniać opiekę i bezpieczeństwo wszystkim obywatelom. Informacje dotyczące występowania, zastosowania systemów kodowych oraz zagrożeń, wynikających z ich nieprawidłowego zastosowania, powinny być ogólnodostępne. Problemem jest dokonanie przełomu w dostrzeganiu zagrożeń bezpieczeństwa, a także odpowiednie edukowanie społeczeństwa i przygotowanie do życia w warunkach bardzo szybkiego rozwoju technologicznego. Pewne sytuacje powinniśmy umieć przewidzieć, a z zaistniałych umieć wyciągać wnioski. Kody powinny być szczególnie chronione, gdyż jest dużo możliwości przechwycenia danych przez przestępców. Zalecane jest tzw. „maskowanie haseł” lub ich szyfrowanie, rozproszenie zapisywanych informacji, służących do uzyskania dostępu, na przykład do konta osobistego.

Konieczne staje się zastosowanie nowych środków przeciwdziałających niedoinformowaniu społeczeństwa w zakresie ochrony systemów informatycznych, stosowanych w strukturach państwa w zakresie gospodarczym, naukowym, obronnym i ogólnego bezpieczeństwa. Wydaje się, że osiągnięcie absolutnego bezpieczeństwa całkowitego zabezpieczenia systemów komputerowych jest niemożliwe. Przyczyną tego stanu jest nierozwiązywalny w dziedzinie informatyki problem, jakim jest występowanie błędów w programach komputerowych i nieprzewidywalne możliwości wykorzystywania przez intruzów niektórych fragmentów ich kodu. Należy zauważyć, że każdy działający program komputerowy posiada fragmenty kodu, które w określonych warunkach mogą wygenerować błąd, co czasami może doprowadzić do uzyskania dostępu do zasobów komputera przez intruza.

Zagrożenia występujące w warstwie poleceń i programów użytkowych są praktycznie niemożliwe do wyeliminowania, z uwagi na ogromną złożoność współczesnych aplikacji. Rozmiary kodów źródłowych niektórych programów przekraczają dziesiątki milionów wierszy, a pomimo zastosowania nawet najlepszych metod inżynierii oprogramowania nie można stworzyć oprogramowania pozbawionego całkowicie błędów. Jak również całkowicie zabezpieczyć programów użytkowych, z uwagi na ogromną kreatywność ludzi zajmujących się atakami na systemy komputerowe. Często ich kompetencje w zakresie znajomości współczesnych technologii informatycznych są niezwykle wysokie. Największym problemem, jaki generuje dynamiczny wzrost liczby urządzeń wchodzących w skład systemów komputerowych, jest ich różnorodność oraz ciągły rozwój technologiczny, a zastosowanie jednej konfiguracji sprzętowej przez cały cykl życia systemu komputerowego jest jednym ze sposobów podnoszenia jego bezpieczeństwa.

Cyfryzacja danych oraz systemy kodowania są procesami nieodwracalnymi i implikują konieczność stworzenia nowych, skutecznych mechanizmów zapewniania bezpieczeństwa danych cyfrowych. Pomimo licznych zalet przetwarzania i przechowywania danych w postaci cyfrowej, technologia ta ma również pewne wady. Dane cyfrowe mogą być,

zgodnie ze swoją naturą, w bardzo prosty sposób rozpowszechniane, jak również kasowane i modyfikowane w niezauważalny sposób dla użytkowników systemów komputerowych. [Wróbel, 2010, s. 5-6].

Metody biometryczne (polegające na pomiarze wybranych cech istot żywych) stosowane są zarówno do identyfikacji (ludzi i zwierząt), jak również do weryfikacji, czy dana istota jest tą, za którą się podaje. Najpopularniejszą techniką w odniesieniu do ludzi (stosowaną od XIV w.) jest pobieranie odbitek linii papilarnych (które są niezmiennie, niepowtarzalne i nieusuwalne) i zapisywanie ich w postaci zakodowanych danych [Mazur, 2012, s. 199]. Do identyfikacji są także wykorzystywane inne cechy, takie jak siatkówka czy tęcza oka, geometria dłoni, geometria twarzy, układ naczyń krwionośnych (na twarzy lub rękach). Wadą tych metod jest na przykład możliwe uszkodzenie danego organu potrzebnego do identyfikacji lub jego brak. W celu zabezpieczenia danych przed ich nieuprawnionym odczytem dane są szyfrowane. Jednakże, systemy biometryczne nie dają całkowitej pewności właściwej identyfikacji oraz weryfikacji.

Kodyfikacja norm obronnych w wojskowości gwarantuje uporządkowanie poszczególnych gałęzi resortu obrony narodowej i związanych z ich działalnością obszarów. Ułatwiają szybkie przesyłanie informacji, wpływają na sprawność działania aparatu ciągłości dowodzenia od wydania rozkazu do jego wykonania.

## 6. Podsumowanie

Jaki będzie bilans zysków i strat w świecie kodów i cyfryzacji, przyszłość pokaże, a właściwie już pokazuje. Zyski dla gospodarki niewątpliwie są niewymierne, ale... człowiek pomalu staje się tylko numerkiem, cyferką, przedmiotem, który można w każdej chwili przy pomocy odpowiednich urządzeń lokalizować a ceną jego "bezpieczeństwa" będzie możliwość całkowitej inwigilacji, zeskanowania go, skatalogowania, pozbawienie osobowości. Stajemy się społeczeństwem kontrolowanym elektronicznie i póki co, nie ma od tego odwrotu. Generuje to rozwój technologiczny, zwiększający tempo życia, wprowadzający takie zmiany w naszym życiu, którym nie każdy będzie potrafił sprostać. A to z kolei rodzi frustracje, zmęczenie, wypalenie zawodowe, nieprzystosowanie, choroby różnej natury, nierzadko psychiczne.

Krystyna Nowicka z Centrum Nauczania Matematyki i Kształcenia na Odległość w jednym z artykułów napisała: "P.S. Przypomniał też mi się protest mojego studenta (gdy rozmawialiśmy na ten temat), że nie chce on być żadnym PESEL, NIP czy jeszcze innym numerem identyfikacyjnym. On po prostu chce być, powiedzmy, Janem Kowalskim" [Nowicka, 2012, s. 41-43]. Jednak odwrót od ery cyfryzacji i systemów kodowań we współczesnym świecie jest raczej mało prawdopodobny, gdyż zbyt wiele już zrobiono w tym zakresie i wydaje się, że jeszcze sporo jest do zrobienia.

## Bibliografia:

1. Doroziński D. (2013). Hakerzy. Technoanarchiści Cyberprzestrzeni, Gliwice: Helion, s. 50-60.
2. Iwańska J. (2006). Leksykon naukowo-techniczny. Praca zbiorowa, s. 5. Warszawa:Wydaw. Naukowo-Techniczne.

3. Kołodziejczyk. E. (2013) Kody QR i rzeczywistość rozszerzona (AR) – przykłady nowych rozwiązań technologicznych w bibliotekach szkół wyższych, Politechnika Rzeszowska, Biuletyn EBIB, nr 8 (144), s. 1-11.
4. Marczuk K. (2012). Bezpieczeństwo wewnętrzne państw członkowskich Unii Europejskiej: od bezpieczeństwa państwa do bezpieczeństwa ludzi. Warszawa: ASPRAJR.
5. Ostrokólski A. (2018). Systemy kodowe a ochrona infrastruktury krytycznej. W: M. Kopczewski, D. Sienkiewicz (red.), Sektory infrastruktury krytycznej. Praca zbiorowa (s. 413-434). Koszalin: Centrum Szkolenia Sił Powietrznych im. Romualda Traugutta
6. Pieczywok A. (2015). Loranty K., Bezpieczeństwo jako problem edukacyjny, Warszawa: Akademia Obrony Narodowej, s. 5- 15.
7. Polanis E. (2017). Kody QR w nauce języka obcego i nie tylko, Projekt „Kuznia Mentorów”. Białystok: EFS, s.1.
8. Słownik terminów AON, Warszawa 2002.
9. Sołkiewicz H. (2012). Operacyjno-taktyczny leksykon morski, Gdynia: AMW, s. 275.
10. Toffler A. (1974) Learning for Tomorrow. The role in the future in Education, New York, s. 5.
11. Wróbel M.(2010). Metody zapewniania bezpieczeństwa systemów operacyjnych, rozprawa doktorska. Gdańsk. Politechnika Gdańska, s. 5 – 48.

#### **Akty prawne:**

12. Overseas Teacher Refresher Course, w ramach projektu „Kuznia Mentorów” finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (POWER) w ramach projektu „ Zagraniczna mobilność kadry edukacji szkolnej” Źródło<http://jows.pl/artykuly/jak-wykorzystac-kody-qr-w-nauczaniu-jezykow-obcych> (dostęp: 10.09.2019).
13. Prawo o ruchu drogowym: VIN (Numer Identyfikacyjny Pojazdu) art. 2 pkt 58 ustawy z dnia 20.06.1997 r <https://docplayer.pl/1378138-Ustawa-z-dnia-20-czerwca-1997-r-prawo-o-ruchu-drogowym-1.html> (dostęp: 10.09.2019).
14. Rejestr Systemów Kodowania dostępny na Platformie P2. W: Technologie informacyjne. <http://www.rynekzdrowia.pl/Technologie-informacyjne/Projekt-P2-Platforma-Rejestrow-Medycznych,146768,7.html> (dostęp: 09.09.2019).
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 22 lipca 2002 r. w sprawie rejestracji i oznaczania pojazdów, Dz. U. 2016 poz. 1038. [https://mojepanstwo.pl/dane/dziennik\\_ustaw/4188,rozporzadzenie-w-sprawie-rejestracji-i-oznaczania-pojazdow](https://mojepanstwo.pl/dane/dziennik_ustaw/4188,rozporzadzenie-w-sprawie-rejestracji-i-oznaczania-pojazdow) (dostęp: 09.09.2019).

#### **Źródła internetowe:**

16. [www.centrumnaukie1.pl](http://www.centrumnaukie1.pl) (dostęp: 10.09.2019).
17. [www.fakoo.de](http://www.fakoo.de) (dostęp: 10.09.2019).
18. [www.generatorkodowkreskowych.pl](http://www.generatorkodowkreskowych.pl) (dostęp: 07.09.2019).
19. [www.the-qr-code-generator.com](http://www.the-qr-code-generator.com) (dostęp: 10.09.2019).
20. [www.web.archive.org](http://www.web.archive.org) (dostęp: 07.09.2019).
21. [www.znakidrogowe.pl](http://www.znakidrogowe.pl) (dostęp: 10.09.2019).

22. Moczydłowska I. (2016). Jak wykorzystać kody w nauczaniu języków obcych? W: Języki obce [www.jows.pl/artykuly/jak-wykorzystac-kody-qr-w-nauczaniu-jezykow-obcych](http://www.jows.pl/artykuly/jak-wykorzystac-kody-qr-w-nauczaniu-jezykow-obcych) (dostęp: 10.09.2019).
23. *Linki dynamiczne i kody QR* (2014) (dostęp: 10.09.2019).
24. Karta opisu przedmiotu, <https://programy.p.lodz.pl/ectslabel-web/kierunekSiatka.jsp?l=pl&w=automatyka%20i%20robotyka&pkId=1165&p=6249&tryb=studia%20stacjonarne&v=3> (dostęp: 10.09.2019).
25. Co to jest fotokod? (2013). Rzeszów: Biblioteka Politechniki Rzeszowskiej <http://bur.ur.edu.pl/co-jest-fotokod>.
26. Daszkiewicz K. Szyfrowanie, co warto o nim wiedzieć?, <https://www.pcworld.pl/porada/Szyfrowanie-co-warto-o-nim-wiedziec,403898.html> (dostęp: 10.09.2019).
27. Nowicka K. (2012). Kody na co dzień (czyli o matematyce życia codziennego). Centrum Nauczania. Nr 5. s. 41-43. Źródło: [dostęp: 10.09.2019 r.].
28. Pop M. (2015). A Morse alphabet. Transilvania University of Brasov, s. 1. <https://core.ac.uk/reader/77602378> (dostęp: 10.09.2019).
29. Przybyłowicz P. (2008), *Wstęp do teorii informacji i kodownia*, Centrum Nauczania Matematycznego 'Sigma', Politechnika Gdańska, s. 2-4. Źródło: <https://pl.scribd.com/document/49766365/wstep-do-teorii-informacji>, dostęp: 10.09.2019.
30. QR Online (2018). Czym są kody QR i jak działają? Michałowice. s. 50-53.
31. Wirtualny Kampus Politechniki Łódzkiej <http://edu.p.lodz.pl> (dostęp: 10.09.2019).

## **20. UKŁADY ZAWIESZENIA W POJAZDACH NIEKONWENCJONALNYCH TYPU ŁAZIKI MARSJAŃSKIE ORAZ ROBOTY DO ZADAŃ SPECJALNYCH**

**Maciej Pierzgalski**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

ul. J.H. Dąbrowskiego 69

42-201 Częstochowa

Email: pierzgalski@imipkm.pcz.pl

### **1. Wprowadzenie**

Wśród urządzeń poruszających się po lądzie, możemy wyróżnić grupę pojazdów, zwykle autonomicznych lub zdalnie sterowanych, które nazywane są łazikami. Poruszają się one często na sześciu lub czterech kołach. Czasami można również spotkać konstrukcje z napędami gąsiennicowymi lub większą ilością kół. Zwiększając liczbę kół w pojeździe zwiększamy jego stabilność w trudnym terenie, kosztem zwiększenia złożoności projektu oraz masy pojazdu. Ramy tych pojazdów zwykle opierają się na najprostszych kształtach i przypominają sześciennie bryły, których celem jest stabilne połączenie poszczególnych modułów jezdnych. Muszą także pomieścić wewnątrz pojazdu elektronikę, akumulatory lub inne alternatywne źródła zasilania. Pojazdy te poza dobrymi właściwościami jezdnymi w ciężkim terenie oraz określonych warunkach, muszą spełniać również inne zadania, do których często potrzebne jest im dodatkowe wyposażenie. Są to m.in. manipulatory, specjalne aparatury pomiarowe, pojemniki do przewozu niebezpiecznych przedmiotów, radary czy skanery. Stawia to przed konstruktorami wyzwanie, w którym muszą zmierzyć się z połączeniem tych wszystkich komponentów, trzymając się ściśle określonych założeń [20].

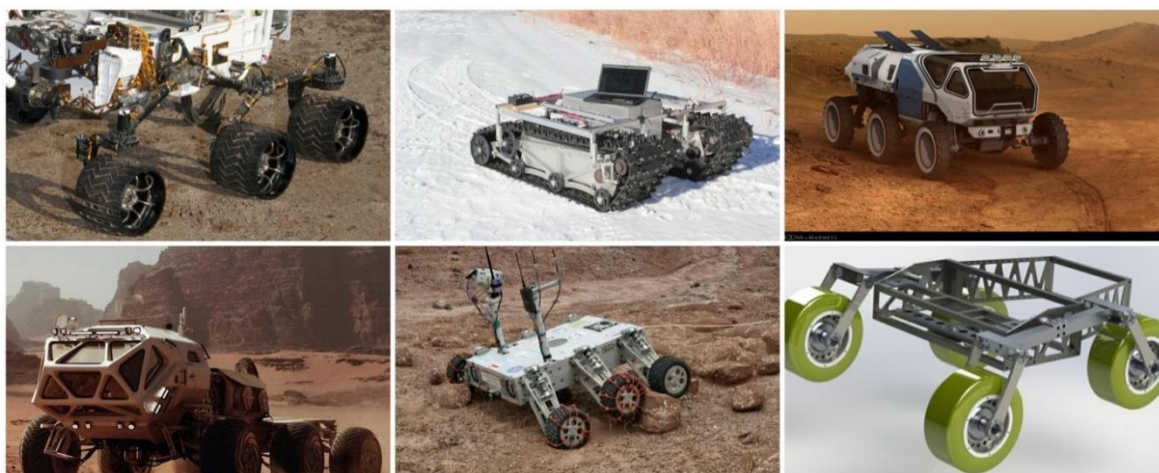
W dzisiejszych czasach łaziki są ważnymi pojazdami które wspomagają badanie układu słonecznego. Większość łazików została stworzona do poruszania się po powierzchni Marsa i Księżyca w celu zrozumienia ich historii geologicznej. W ostatnich kilkunastu latach wprowadzono do produkcji różne rodzaje układów zawieszenia, które dobrze spisywały się w trudnym terenie. Część z tych mechanizmów znalazła szerokie zastosowanie w robotyce mobilnej. Standardowy mechanizm „rocker bogie”, który został opracowany w pod koniec lat dziewięćdziesiątych ma doskonały rozkład ciężaru w różnych pozycjach na nierównym terenie. Dlatego, został on zastosowany w obecnych konstrukcjach łazików marsjańskich. Jednak jak każda rzecz funkcjonująca w naturze ma swoje wady i zalety co opisano w kolejnym rozdziale.

Mobilne roboty mogą zostać wysłane na nieznaną planetę i wytrzymać śmiertelne dla człowieka środowisko kosmiczne ze znacznie niższą cenę niż misje załogowe, które potrzebując znacznie więcej zaplecza. W latach siedemdziesiątych Rosyjskie łaziki lądowały dwukrotnie na Księżycu, a następnie dwa kolejne na Marsie. W tym samym czasie NASA przygotowała łaziki, które później trzykrotnie wylądowały na Marsie. Łaziki, Łunohod 1 i 2 były w stanie zbadać większy region niż tylko wkóło lądownika oraz spędzić więcej czasu na Księżycu, niż załoga złożona z ludzi. Niestety dwie rosyjskie misje na Marsie zakończyły się

niepowodzeniem przed osiągnięciem jakichkolwiek celów naukowych, ponieważ podczas pierwszej misji po kilkunastu sekundach od lądowania stracono połączenie z lądownikiem na którym znajdował się łazik, a w kolejnej misji zawiódł spadochron i lądownik z łazikiem na pokładzie rozbił się. W 1997 NASA przeprowadzono misję Mars Pathfinder, dzięki której posadzono na czerwonej planecie małego łazika o nazwie Sojourner, którego zadaniem była eksploracja powierzchni. Podczas misji Mars Exploration Rover (MER) która miała miejsce 2 stycznia 2004 wylądowały jeszcze dwa inne łaziki, Spirit i Opportunity, które zostały umiejscowione po przeciwnych stronach Marsa. Misje Pathfinder i MER kosztowały około 265 i 820 milionów USD co w porównaniu z szacowanymi kosztami lotu człowieka na Marsa, które wynoszą od 80 miliardów USD do 1 biliona USD było znacznie mniejszym kosztem. Dodatkowo łaziki zostały wyposażone w szereg sprzętu dzięki, któremu miały zdolność prowadzenia wielu badań naukowych oraz eksperymentów na obszarze, na którym wylądowały. Sojourner zbadał okolicę w promieniu 10 m wokół lądownika, co stanowiło już znaczni lepszy zasięg niż manipulator zamontowany na Mars Viking Landers, którego zasięg wynosił 3 m. Łaziki MER łącznie przebyły ponad 50 km od miejsca lądowania, co odpowiada znacznie większej odległości niż pojazd księżycowy, który został wykorzystywany podczas programu Apollo. Roboty pokazały, że można zdobyć informacje oraz przeprowadzić skuteczną eksplorację obcej planety z dużym sukcesem w sposób bezzałogowy.

## 2. Układy zawieszenia

Poniżej zostaną omówione najbardziej popularne rodzaje układów zawieszenia stosowane w pojazdach wielozadaniowych. Określone zostaną ich wady oraz zalety. Każdy z tego typu pojazdów został zaprojektowany z myślą o prowadzeniu badań na obcej planecie lub zadań specjalnych, w których roboty zastępują ludzi w sytuacjach zagrażających życiu. Do najważniejszych atutów takiego układu należy zdolność pokonywania przeszkód i dostosowywania do terenu po którym się porusza.

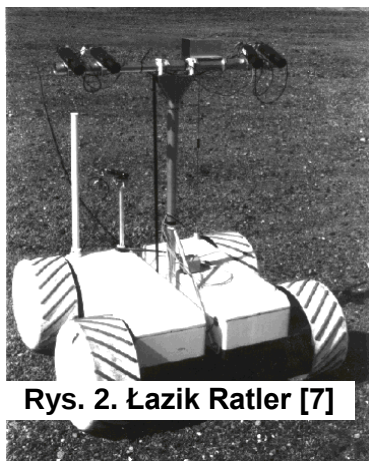


Rysunek 1. Zestawienie przykładowych pojazdów terenowych typu łazik [1,2,3,4,5,6]



## 2.1. Proste zawieszenie czterokołowe

Odmianą prostego łożnika jest „Ratler” (rys. 2.2) opracowany w Sandia National Labs [21]. Konstrukcja Ratlersa wykorzystuje poślizg czterech kół do zmiany kierunku, który jest uruchamiany tylko przez dwa silniki. Zawieszenie składa się z dwóch segmentów, które połączone są ze sobą osią obrotu równoległą do osi kół łożnika, znajdującą się w ich środku.



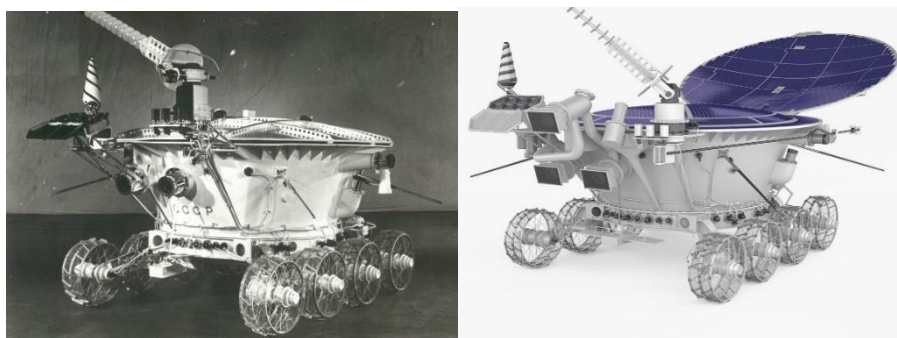
Rys. 2. Łazik Ratler [7]

Ratler posiada uproszczony układ napędowy i małą liczbę silników. Dzięki temu pojazd wykazuje się prostą budową i dużą niezawodnością. Jednakże ograniczony prześwit jest jego główną wadą, która uniemożliwia wspinanie się na duże przeszkody.

## 2.2. Niezależne zawieszenie sprężynowe

Jednym z popularnych układów jest zawieszenie niezależne. Jest to konstrukcja prosta i sprawdzona w wielu pojazdach. Można ją spotkać na co dzień chociażby w samochodach. Każde koło zawieszone jest osobno. Za główną zaletę należy uznać to, że w razie uszkodzenia mechanicznego jednego z zespołów zawieszenia, pojazd nie zostaje unieruchomiony, co zwiększa niezawodność konstrukcji. Minusami tego typu konstrukcji jest to, że składa się ona z wielu części co zwiększa koszty produkcji i ewentualnego serwisu.

Pierwsze dwa łożniki które przejechały po obcej planecie to rosyjskie konstrukcje, Łunochod 1 i Łunochod 2. Łaziki te wylądowały na Księżycu w 1970 roku na pokładzie statku kosmicznego Luna 17 i ponownie w 1973 roku na pokładzie Luna 21. Podczas tych misji zarejestrowały tysiące zdjęć i przeprowadziły setki eksperymentów naukowych. Czas pobytu obu łożników łącznie wyniósł 414 dni, a droga przebyta przez nie wyniosła 50km. Łaziki składały się z ramy w której została umieszczona elektronika, kamery, akumulatorów i czujników odpowiedzialnych za nawigację pojazdów. Łunochod 2 ważył 840kg, o 84kg więcej niż jego poprzednik Łunochod 1, ponieważ posiadał zamontowane na pokładzie inny sprzęt do rejestrowania obrazu.



Rysunek 3. Łunochod 1 i Łunochod 2 [8][9]

Dodatkowo w szczelnie zamkniętej ramie zostało wytworzone ciśnienie jednej atmosfery, a temperatura była utrzymywana w zakresie od 0 do 40 stopni Celsjusza. Było to zaletą niniejszej konstrukcji, ponieważ sprzęt elektroniczny nie musiał być specjalnie

projektowany pod warunki misji, co pozwoliło zaoszczędzić czas i pieniądze. Łunochody były wielkości kompaktowego samochodu o długości 1,7 m szerokości 1,6m oraz wysokości 1,35m. Ośmio-kołowe niezależne zawieszenie zostało skonstruowane, w taki sposób aby umożliwić pokonywanie przeszkód o wysokości do 40 cm. Każde koło o średnicy 51cm było niezależnie napędzane przez silnik elektryczny. Pojazdy miały możliwość poruszania się z dwiema prędkościami 1 i 2 km/h. Koła wyglądem przypominały szprychowe koła rowerowe z oponą wykonaną z siatki z bieżnikiem tytanowym. Roboty skręcały na podobnej zasadzie jak czołg- koła kręcąc się z różną prędkością umożliwiały sterowanie łożyskiem. Manewry skręcania i zawracania były maksymalnie ograniczane, aby uniknąć zakopania się, i unieruchomienia.[22]

### 2.3. Zawieszenie przegubowe

Przegubowy łożyszek zazwyczaj składa się z kilku segmentów, do których zamontowane są zespoły napędowe. Oś środkowa jest pasywnym elementem zawieszenia, który powoduje, że wszystkie sześć kół ma kontakt z podłożem na nierównym terenie. Roboty które wykorzystują ten rodzaj zawieszenia to: Surveyor Lunar Rover Vehicle (SLRV) który został zaprojektowany przez General Motors w latach 1963-64 i prototypowy łożyszek „Robby”. Są to sześciokołowe łożyszki przegubowe stworzone dla NASA.



Rysunek 4. Z lewej Surveyor Lunar Rover Vehicle (SLRV) i Robby z prawej [10][11]

Teoretycznie pojazdy te mają możliwość pokonywania przeszkód o 50% większych niż średnica koła, ale podczas testów w terenie Robby miał trudności z pokonywaniem przeszkód równych połowie promienia koła. Ograniczeniem był niewystarczający moment obrotowy zestawu napędowego koła [23]. SLRV był w stanie wspinać się po stromych zboczach dzięki dużej powierzchni styku wszystkich sześciu kół. Jednak czasami zdarzało się, że robot zawieszał się na skałach z powodu zbyt niskiego prześwitu. Łażyszki zmieniały kierunek, za pomocą przedniej i tylnej osi, a koła znajdujące się w jednej osi zawsze pozostawały równoległe. Podczas ostrych zakrętów zawieszenie stawało się mniej stabilne. Dodatkowo podczas pokonywania przeszkód, gdy tylna oś zbliżała się do przedniej zwiększało się ryzyko wywrócenia pojazdu. Rosjanie zbudowali i zaprojektowali podobny typ łożyszka, Marsokhod. Robot ten miał być użyty w misji na Marsa w 1996 roku, ale ostatecznie



misję anulowano. Rosyjska konstrukcja była sześciokołowym łazikiem wyposażonym w przegubowe zawieszenie. Osie z trzech par kół nigdy się nie przecinały. Pojazd mógł aktywnie obracać się na środkowej osi. Przednią i tylną oś zamontowano na ruchomych ramionach dzięki którym można było zwiększać lub zmniejszać odległość pomiędzy osiami[27]. Konstrukcja kół była bardzo ciekawa, ponieważ wewnętrzna ich część zwężała się w kierunku środka. Dzięki takiemu rozwiązaniu pojazd nie potrzebował dużego prześwitu, ponieważ spód łazika w głównej mierze składał się z kół, co można zobaczyć na rysunku 2.5. W kołach zamontowano silniki napędowe, część elementów elektronicznych służących do sterowania, sprzęt naukowy oraz akumulatory. Pozwoliło to uzyskać nisko położony środek ciężkości, przez co pojazd był stabilny i umożliwiał manewrowanie w wielu rodzajach terenu. Jednak to rozwiązanie ma również swoje minusy - duża powierzchnia styku z podłożem powoduje duże opory podczas jazdy przez co robot zużywa dużo energii. Omawiane tutaj łaziki przegubowe wymagają wielu silników i siłowników do sterowania pojazdem. SLRV i „Robby” posiadały silniki w każdym kole odpowiadające za jazdę oraz dwa dodatkowe



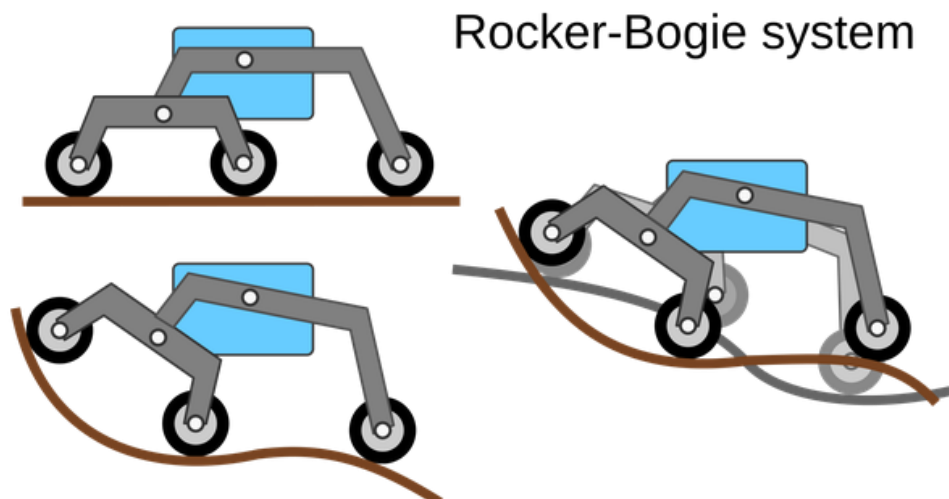
**Rysunek 5. Marsokhod [12]**

odpowiedzialne za sterowanie co łącznie daje nam osiem silników na pokładzie. Marsokhod używał dziewięciu silników jeden na każde koło oraz trzy używane w trybie chodzenia, aby zwiększyć mobilność łazików w regionach piaszczystych i na stromych zboczach.

#### **2.4. Zawieszenie Rocker-bogie**

Kolejnym, a zarazem najpopularniejszym typem zawieszenia jest rocker-bogie. Stosowane jest obecnie w łazikach stworzonych przez NASA, „Spirit”, „Opportunity” i „Curiosity”, które znajdują się na Marsie. Wszystkie trzy konstrukcje posiadają po trzy koła na stronę, połączone zawieszeniem zaprojektowanym przez Donalda Bicklera. W zaproponowanym przez Autora rozwiązaniu lewe i prawe koła łazika połączone są drążkiem różnicowym, dzięki czemu pozostają w ciągłym

kontakcie z podłożem, nawet wtedy, gdy jedno z kół pokonuje głąz wielkości równej długości rozstawu osi. W praktyce wygląda to tak, że jeżeli wychylimy np. przednie prawe koło o kąt  $\alpha$  w górę, to przednie lewe koło wychyli się o taki sam kąt w dół, utrzymując średni kąt pochylenia ramy względem obu wahaczy. Dodatkowo konstrukcja rocker-bogie nie zawiera w swojej budowie sprężyn (w każdym systemie zawieszenia, stabilność podczas stromych podjazdów jest ograniczona przez wysokość środka ciężkości). Układy wykorzystujące sprężyny mają tendencję do łatwiejszego przechyłu. Tym samym są one przez to bardziej wywrotne. Bazując na położeniu środka masy, zawieszenie to może wytrzymać nachylenie co najmniej 45 stopni w dowolnym kierunku bez przewracania się.



**Rysunek 6. Przykład działania zawieszenia rocker-bogie [13]**

Aby pokonać pionową przeszkodę, przednie koła są dociskane do przeszkody przez koła środkowe i tylne. Obrót przedniego koła podnosi następnie przód pojazdu ponad przeszkodę. Środkowe koło jest następnie dociskane do przeszkody przez tylne koła i podciągane na przeszkodę przez przód dopóki nie zostanie podniesione do góry. Koła tylne są wciągane na przeszkodę przez przednie dwa koła. Zawieszenie to pozwala łożyskowi pokonywać przeszkody o 50% większe niż średnica koła. Cztero-kołowe łożyska zazwyczaj mają dużo mniejszą zdolność pokonywania przeszkód, ponieważ wtedy tylko tylne koła odpowiadają za wspinanie się. Dlatego zawieszenie rocker bogie, które wykorzystuje 3 pary kół jest w stanie pokonywać znacznie większe przeszkody, dzięki wykorzystaniu dodatkowego zestawu kół, który daje dodatkowy ciąg. Kolejną zaletą większej ilości kół jest to, że siłę normalną rozkłada się na wszystkie koła. Podczas pokonywania przeszkody, tylko jedna para kół podnosi  $\frac{1}{3}$  masy łożyska, a dodatkowe dwie pary kół posiadają wystarczającą siłę i przyczepność, aby zapobiec ześlizgnięciu się łożyska z przeszkody[24]. Każda strona zawieszenia składa się z dwóch części, wahacza głównego i przedniego wahacza mniejszego. Długość wahaczy została dobrana tak, aby rozłożyć ciężar w taki sposób, aby na przednią parę kół, działa jak najmniejsza siła. Ma to pomóc podczas pokonywania przeszkód, ponieważ mniejsza masa jest podnoszona podczas pierwszego kontaktu z przeszkodą, a większy docisk przypada na tylne zestawy kół, które odpowiadają za wspinanie się łożyska. Niestety takie rozwiązanie ma też swoje wady, dlatego że działa to tylko podczas jazdy do przodu. Istnieje możliwość, że łożysko może wjechać w obszar, z którego nie będzie wstanie wyjechać przodem i będzie musiał wycofać. Dużą zaletą takiego zawieszenia jest to, że wszystkie sześć kół ma zawsze względnie stałe obciążenia. NASA aby znaleźć najlepsze rozwiązanie dla swoich łożysków, stworzyło serię łożysków „Rocky” w których sprawdziło kilka różnych konfiguracji zawieszenia. Wszystkie posiadały zestaw 6 kół, ale różniły się długościami i miejscem mocowania wahaczy. Dzięki tego typu badaniu sprawdzono, które rozwiązanie najlepiej sprawdzi się w warunkach marsjańskich. Rocky 1, Rocky 3 i Rock 8 używają mechanizmów różnicowych między dwoma stronami zawieszenia zamontowanych wewnątrz ramy. Sojourner, Rocky 4 i Rocky 7 używają zewnętrznego mechanizmu różnicowego, aby zwolnić miejsce w ramie [25]. W zawieszeniu Rocky 7 tylko przednie koła

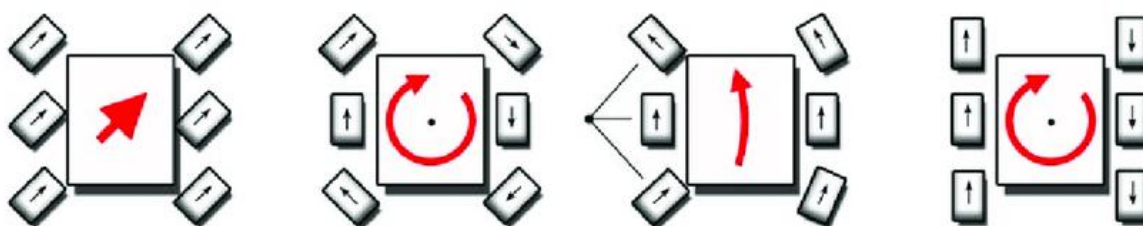
są mają możliwość skręcania, podczas gdy tylne koła wózka są blisko siebie i nie mają układu kierowniczego. Ta koncepcja została zaprojektowana i wdrożona w celu przetestowania zwrotności systemu z mniejszą liczbą elementów sterujących zespołami napędowymi.



**Rysunek 7. Seria łazików Rocky [14,15,16,17,18]**

Do poruszania się pojazdu użyto ośmiu silników zamiast 10. Silniki napędzające każde koło z osobna i dwa do sterowania kierunkiem jazdy (rys. 2.7 – 2 rząd, środek). Podczas testów okazało się jednak, że odległość pomiędzy kołami małego wahacza jest za mała i mogą one zostać zablokowane przez kamień. Rocky 8 znany również jako łazik FIDO składał się z 12 silników, z czego sześć było odpowiedzialnych za napęd, a sześć za sterowanie kierunkiem jazdy. [26]. Takie rozwiązanie dało możliwość poruszania się jak „krab”, tzn. że w mógł skierować wszystkie koła w kierunku, którym chciał podróżować. Poprzednie wersje z serii Rocky mogłyby to zrobić, jednakże środkowa para kół szurałaby po ziemi, ponieważ nie miała możliwości skrętu.

Zawieszenie rocker-bogie posiada duży zakres ruchów. W przeciwieństwie do pojazdów z zawieszeniem przegubowym ma prześwit znacząco większy niż średnica koła. Elementy zawieszenia i przeguby znajdują się nad kołami, co zmniejsza szanse na to, że łazik utknie na przeszkodzie. Połączenie zawieszenia rocker-bogie wraz z systemem odpowiedzialnym za obrót jednostek napędowych wokół osi prostopadłej do podłoża umożliwia ruchy zaprezentowane na rysunku 2.8.



**Rysunek 8. Rodzaje manewrów [19]**

System ten wymaga, aby każde koło oraz mechanizm sterujący był napędzany przez osobny silnik, co zwiększa ogólną złożoność układu. Łaziki korzystające z zawieszenia rocker-bogie mogą posiadać od 6 do 12 silników służących tylko do kierowania.

### 2.5. Zawieszenie bogie

Ostatnim z prezentowanych typów zawieszenia jest układ typu bogie. Budową jest on częściowo zbliżony do zawieszenia rocker-bogie, lecz posiada kilka istotnych różnic i łączy w sobie dwa rodzaje – zawieszenie niezależne oraz rocker-bogie. Zamiast jednego wahacza łączonego, posiada dwa na każdą stronę z czego jeden jest wahaczem amortyzowanym. Dzięki takiemu rozwiązaniu nie stosuje się belki różnicowej jak we wcześniejszym układzie, ponieważ mamy dwie osie podporowe ramy łazika. Zaletą tego zawieszenia jest to, że może się ono poruszać ze znacznie większą prędkością niż układ rocker-bogie oraz w przypadku zderzenia z przeszkodą ma większą stabilność i wytrzymałość dzięki podparciu ramy na dwóch osiach. Ponadto sama konstrukcja jest również znacznie sztywniejsza. Do minusów należy, skomplikowanie konstrukcji, ilość elementów z których się składa oraz to, że w skrajnych przypadkach jeśli wahacz nie zostanie zabezpieczony przed zbytnim wychyleniem, robot może się przewrócić.

### 3. Podsumowanie

W powyższym artykule zostały omówione, jedno z najpopularniejszych układów zawieszenia stosowanych w pojazdach wielozadaniowych. Analizując układy zawieszenia które, są obecnie stosowane można zauważyć, że nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania, które spisywałoby się idealnie w każdych warunkach. Dodatkowo zwiększając złożoność projektu zmniejszamy jego niezawodność. Dlatego wybierając układ zawieszenia, należy wziąć pod uwagę przede wszystkim to, do czego dany pojazd ma służyć oraz mieć na uwadze ich wady i zalety. Często należy się również liczyć z budżetem i założeniami jakie stawia przed nami projekt, regulamin konkursu, czy wymagania klienta, dla którego budowany jest pojazd. Warto jednak zauważyć, że z biegiem czasu powstaje coraz więcej ciekawych konstrukcji, tworzonych przez grupy studentów lub firmy produkujące specjalistyczny sprzęt dla służb mundurowych.

### Bibliografia:

1. <https://newscrewdriver.files.wordpress.com/2018/04/cropped-curiosity-rocker-bogie-reference.jpg?w=700>
2. [http://3.bp.blogspot.com/-taVj2TIdfKU/U4uhqnVkmRI/AAAAAAAAAj4Y/4WE-w3Y27JY/s1600/10336792\\_309499722549569\\_4733949789095377412\\_n.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-taVj2TIdfKU/U4uhqnVkmRI/AAAAAAAAAj4Y/4WE-w3Y27JY/s1600/10336792_309499722549569_4733949789095377412_n.jpg)
3. <http://www.scorpio.pwr.edu.pl/language/pl/mechaniczna-strona-lazika-marsjanskiego-scorpio-x/>
4. <https://www.pinterest.com/pin/788552215979093208/>
5. [https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/745041main\\_IMG\\_1548\\_full.jpg](https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/745041main_IMG_1548_full.jpg)
6. <https://www.artstation.com/artwork/e9Y9Z>
7. <https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/lri-3/www/lrd/nav-ratler.html>
8. <https://opencaching.pl/viewcache.php?cacheid=52690>

9. <https://hum3d.com/3d-models/lunokhod-2/>
10. <https://external-preview.redd.it/6ELxEPi-gnz-ZtcU4az078eCDYcUqdndMhmTkWvlqPA.jpg?auto=webp&s=740673eede1cc261eae8ea8bd2877b2bb6841123>
11. <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/videos/allVideo.cfm?Video=86>
12. [https://www.researchgate.net/figure/Marsokhod-at-the-1999-Mojave-Field-Test-Ames-Marsokhod-rover-Figure-1-and-took-place\\_fig1\\_246455121](https://www.researchgate.net/figure/Marsokhod-at-the-1999-Mojave-Field-Test-Ames-Marsokhod-rover-Figure-1-and-took-place_fig1_246455121)
13. <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-092c330e3da6a0b9738299e8bc8c656f>
14. <http://www.brickvista.com/images/roverHistory/size/Rocky1Small.jpg>
15. <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/roboticImages/img840-313-browse.jpg>
16. [https://media.sciencephoto.com/image/s6100022/800wm/S6100022-Rocky\\_IV\\_prototype\\_Mars\\_Rover\\_vehicle.jpg](https://media.sciencephoto.com/image/s6100022/800wm/S6100022-Rocky_IV_prototype_Mars_Rover_vehicle.jpg)
17. <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/roboticImages/img840-110-browse.jpg>
18. <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/roboticImages/img811-115-browse.jpg>
19. [https://www.researchgate.net/profile/Shivesh\\_Kumar4/publication/290390411/figure/fig1/AS:669990139199494@1536749505559/Changing-direction.png](https://www.researchgate.net/profile/Shivesh_Kumar4/publication/290390411/figure/fig1/AS:669990139199494@1536749505559/Changing-direction.png)
20. Pierzgalski M. (2018). Projekt i wykonanie ramy z zawieszeniem do wielozadaniowego łazika terenowego. Praca magisterska (str. 7).
21. Reid Simmons, Eric Krotkov, Lonnie Chrisman, Fabio Cozman, Richard Goodwin, Martial Hebert, Lalitesh Katragadda, Sven Koenig, Gita Kishnaswamy, Yoshikazu Shinoda, and William Whittaker. Experience with rover navigation for lunar-like terrains. In Proceedings of the 1995 Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '95), (str. 441 – 446). IEEE, 1995.
22. <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1973-001A>.
23. David P. Miller. Personal conversation, 2005.
24. Donald Bickler. Roving over mars. mechanical engineering, str. 1–9, April 1998.
25. J. Matijevic. Mars pathfinder microrover - implementing a low cost planetary mission experiment, URL [citeseer.ist.psu.edu/12063.html](http://citeseer.ist.psu.edu/12063.html).
26. P. S. Schenker, E. T. Baumgartner, P. G. Backes, H. Aghazarian, L.I. Dorsky, J. S. Norris, T. L. Huntsberger, Y. Cheng, A. Trebi-Ollennu, M. S. Garret, B. A. Kennedy, A. J. Ganino, R. E. Arvidson, and S. W. Squyres. FIDO: A field integrated design and operations rover for mars surface exploration. In Proceedings in I SAIRAS, Montreal Canada, June 2001.
27. Helsinki University of Technology. Wheeled chassis JRover for the planetary rovers, 1996. URL <http://private.peterlink.ru/rcl/j-rover2.htm>.

## **21. PROJEKTOWANIE DLA OSÓB STARSZYCH I NIEPEŁNOSPRAWNYCH**

**Małgorzata Pokajewicz**

Politechnika Poznańska

Wydział Architektury

ul. Piekary 16, 61 - 523 Poznań

Email: malgorzatapokajewicz@gmail.com

### **1. Wstęp**

Tematem niniejszej pracy jest projektowanie i dostosowywanie zabudowy mieszkaniowej do potrzeb psychofizycznych osób starszych i niepełnosprawnych.

W dobie postępującego procesu starzenia się społeczeństwa akty regulujące dostępność dla osób niepełnosprawnych nie mogą odpowiedzieć na rosnące zapotrzebowanie na architekturę mieszkalną przyjazną osobom starszym oraz starzejącemu się społeczeństwu. Narastający problem każe zwrócić uwagę nie tylko na aspekt ekonomiczny, ale również społeczny. Przestrzeń dostosowana do potrzeb seniorów powinna spełniać wymogi projektowe, nie tylko w ujęciu architektonicznym, ułatwiające życie osobom niepełnosprawnym i starszym, ale także w ujęciu psychologicznym, dać poczucie bezpieczeństwa, akceptacji, komfortu psychofizycznego posiadania własności oraz współdzielenia, braku samotności i wyobcowania. Brak dostosowania architektury mieszkaniowej dla osób starszych w aspekcie społeczno-ekonomicznym wraz z nasilającą się regresją struktur społeczeństwa stwarza nowy problem w kształtowaniu przestrzeni.

W swojej pracy przeanalizuję jeden z najczęstszych przypadków starzenia się, seniora z nasilającą się demencją starczą oraz dostosowanie przestrzeni mieszkalnej do potrzeb osoby starszej z uwzględnieniem zmieniających się potrzeb wraz z postępującym procesem starzenia się.

### **2. Analiza metodą indywidualnych przypadków i techniką obserwacji.**

Analizie poddano osobę starszą, kobietę, lat 89, oraz charakterystyczne problemy związane ze starzeniem się. Spostrzeżenia zawarte w pracy zbierano podczas opieki nad seniorem w latach 2010 -2019, ze szczególnym uwzględnieniem lat 2014-2019.

Pani Janina urodziła się 24 maja 1930 r. W latach 1930-33 mieszkała we Francji, do lat 40 XX w. w Polsce, następnie w Związku Radzieckim, a od roku 1946 osiadła na stałe w Polsce, w miejscowości Jastrowie. Jastrowie leży w gminie Jastrowie, w powiecie Złotowskim i jest miastem najbardziej wysuniętym na północ wielkopolski, posiada około 8 000 tysięcy mieszkańców, 75% terenów pokrywają lasy, łąki i pola uprawne.

Do wieku emerytalnego pracowała na roli. Do 2010 r. aktywna fizycznie i psychicznie. Senior podróżuje po Polsce i za granicę, odbywa przynajmniej 3-4 razy w tygodniu długie spacery po lesie, samodzielnie robi zakupy i przygotowuje posiłki, w tym również dla rodziny i znajomych. Bierze udział w zawodach sportowych dla seniorów, spotkaniach towarzyskich, prowadzi jako przewodnicząca koło różańcowe oraz koło Sybiraków.

Po roku 2010 następuje szybki rozwój demencji starczej utrudniający codzienne funkcjonowanie w społeczeństwie oraz poruszanie się w przestrzeni.

Badania podzielono na pięć etapów demencji według CDR - Klinicznej Oceny Stopnia Ołepienia i przypisano im kolejne lata życia seniora odpowiadające stopniowi CDR z opisem objawów psychofizycznych oraz uwzględnieniem dostosowania przestrzeni funkcjonalnej mieszkania do każdego z etapów.

Kliniczna Ocena Stopnia Ołepienia dzieli demencję na pięć etapów: Brak ołepienia (0 pkt), Wątpliwe ołepienie (0,5 pkt), Łagodne ołepienie (1 pkt), Umiarkowane ołepienie (2 pkt) oraz Poważne ołepienie oraz rozważa je w sześciu aspektach życia: Pamięć, Orientacja, Osądzanie i rozwiązywanie problemów, Czynności związane z życiem w społeczności, Dom i hobby, Czynności osobiste.

Na potrzeby badań przedstawiono tabelę CDR.

**Tabela. 1 Kliniczna Ocena Stopnia Ołepienia (CDR)**

| Wyszczególnienie                    | Żadne - 0                                                                                    | Wątpliwe - 0,5                                                                        | Łagodne - 1                                                                                                                                          | Umiarkowane - 2                                                                                                 | Powężne - 3                                         |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Pamięć                              | Brak utraty pamięci lub nieznaczne, nieregularne zapominanie                                 | Regularne nieznaczne zapominanie; częściowe pamiętanie wydarzeń; łagodne” zapominanie | Umiarkowana utrata pamięci; bardziej wyraźna w przypadku mniej odległych w czasie wydarzeń; defekt utrudnia czynności codzienne                      | Ostra utrata pamięci; zachowany został jedynie dobrze wyuczony materiał; nowy materiał jest szybko zapominany   | Ostra utrata pamięci; pozostały jedynie fragmenty   |
| Orientacja                          | W pełni zorientowany                                                                         | W pełni zorientowany z wyjątkiem nieznacznych trudności z relacjami czasowymi         | Umiarkowane trudności z relacjami czasowymi; zorientowany, jeśli chodzi o miejsce badania; gdzie indziej może występować dezorientacja co do miejsca | Powężne trudności z relacjami czasowymi; zwykle nie zorientowany w czasie, często jeśli chodzi o miejsce        | Zorientowany jedynie autopsychicznie                |
| Osądzanie i rozwiązywanie problemów | Rozwiązuje codzienne problemy, dobrze radzi sobie z interesami i sprawami finansowymi; dobre | Nieznaczne upośledzenie w rozwiązywaniu problemów, podobieństw i różnic               | Umiarkowane trudności w radzeniu sobie z problemami, rozpoznawaniem podobieństw i różnic; osąd społeczny zwykle zachowany                            | Powężne upośledzenie w radzeniu sobie z problemami, podobieństwami i różnicami; osąd społeczny zwykle osłabiony | Nie jest w stanie osądzać ani rozwiązywać problemów |



|                                                                                                                                                                   |                                                     |                                                                                            |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                              |                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                   | osądzanie<br>względem<br>przeszłych<br>czynności    |                                                                                            |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                              |                                                                                                         |
| Czynności<br>związane z<br>życiem w<br>społeczności                                                                                                               | W pełni<br>zdolny do<br>troszczenia się<br>o siebie | Nieznaczne<br>upośledzenie w<br>wykonywaniu<br>tych czynności                              | Nie jest w stanie<br>niezależnie<br>wykonywać tych<br>czynności, lecz<br>wciąż jeszcze<br>może być w nie<br>zaangażowany;<br>przy<br>przypadkowej<br>obserwacji<br>wydaje się<br>normalny | Zachowane<br>jedynie proste<br>prace domowe;<br>bardzo<br>ograniczone<br>zainteresowania,<br>słabo zachowane | Nie wykonuje<br>znaczących<br>funkcji<br>domowych                                                       |
| Dom i hobby                                                                                                                                                       | W pełni<br>zdolny do<br>troszczenia się<br>o siebie | Nieznacznie<br>upośledzone<br>życie domowe,<br>hobby i<br>zainteresowania<br>intelektualne | Łagodne, lecz<br>wyraźne<br>upośledzenie<br>funkcjonowania<br>w domu;<br>porzucone<br>trudniejsze prace<br>domowe;<br>porzucone<br>bardziej skom                                          | Zachowane<br>jedynie proste<br>prace domowe;<br>bardzo<br>ograniczone<br>zainteresowania,<br>słabo zachowane | Nie wykonuje<br>znaczących<br>funkcji<br>domowych                                                       |
| Czynności<br>osobiste                                                                                                                                             | W pełni<br>zdolny do<br>troszczenia się<br>o siebie | W pełni zdolny<br>do troszczenia<br>się o siebie                                           | Wymaga<br>zachęcania                                                                                                                                                                      | Wymaga<br>pomocy w<br>ubieraniu się,<br>utrzymywaniu<br>higieny,<br>pilnowaniu<br>rzeczy<br>osobistych       | Wymaga<br>znacznej<br>pomocy przy<br>czynnościach<br>osobistych;<br>częste<br>nietrzymanie<br>zwieraczy |
| CDR – Poland/Polish. Final version. 30 May 06 – Mapi Research Institute.<br>f:\institut\cultadap\project\2925\etude2925\final-versions\cdr\cdrpolq.doc-30/05/2006 |                                                     |                                                                                            |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                              |                                                                                                         |

W swojej pracy dzielę życie seniora na cztery etapy życiowe:

- - Do 2010 roku, wiek do 80 lat - brak objawów otępienia (0)
- - Lata 2010-2014, wiek 80-84 lata - wątpliwe otępienie (0,5)
- - Lata 2014-2017, wiek 84-87 lat - łagodne otępienie (1)
- - Lata 2017-2019, wiek 87-89 lat - umiarkowane otępienie (2)

1) Przed 2010 rokiem

Stan psychofizyczny:

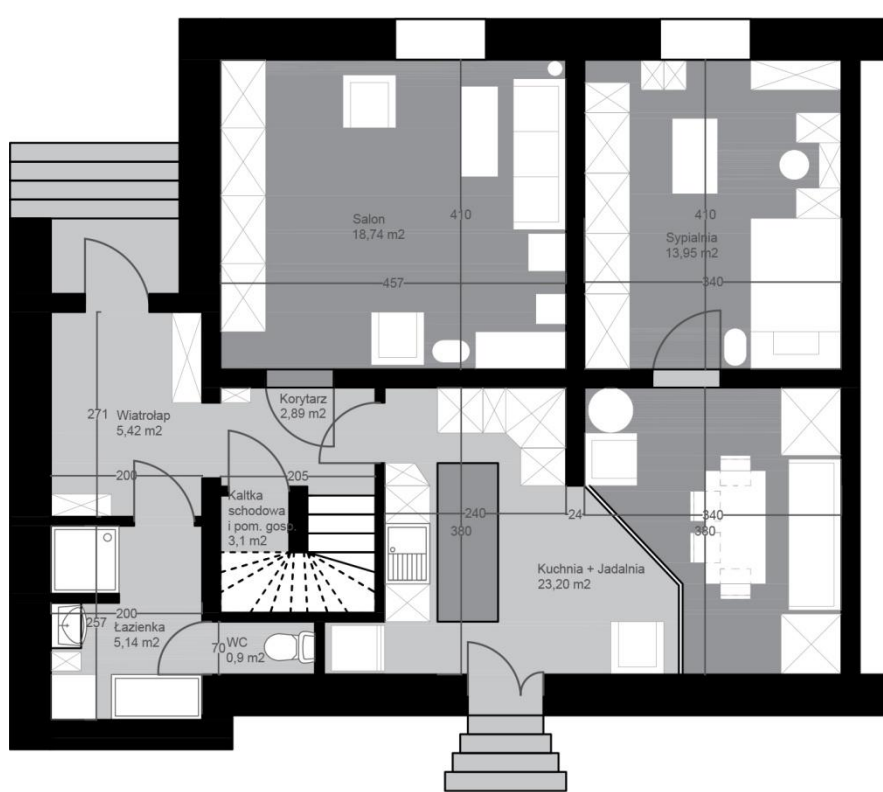
Pani Janina jest w pełni sprawna funkcjonalnie i ekonomicznie. Objawy starzenia się takie jak ograniczenie ruchowe, zauważalne, lecz nie przeszkadzające w codziennym



funkcjonowaniu. Poziom aktywności psychofizycznej nie utrudnia kontaktów z rówieśnikami. Senior aktywny fizycznie, bierze udział w spotkaniach towarzyskich, tanecznych oraz biegach dla seniorów. Aktywność psychiczna na poziomie bardzo dobrym. Senior czyta literaturę, udziela wywiadów, pisze listy, nie ma problemów z wysławianiem się.

Dostosowanie przestrzeni:

Przestrzeń mieszkalna nie utrudnia codziennego funkcjonowania.



**Rycina 1. Rzut parteru domu p. Janiny, skala 1:100**

Źródło: Opracowanie własne na podstawie inwentaryzacji.

2) Lata 2010-2014, wiek seniora: 80 – 84 lat

Stan psychofizyczny:

Pani Janina jest w pełni sprawna funkcjonalnie i ekonomicznie. Objawy starzenia się takie jak ograniczenie ruchowe, zauważalne, lecz nie przeszkadzające w codziennym funkcjonowaniu. Widoczne stopniowe narastanie demencji starczej, z każdym następnym rokiem, co raz mocniej utrudniająca życie codzienne. Zmiany lekkie, zauważalne przez współmieszkańców, lecz niezauważalne dla osób postronnych. Poziom aktywności psychofizycznej nie utrudnia kontaktów z rówieśnikami. Senior aktywny fizycznie, bierze udział w spotkaniach towarzyskich oraz tanecznych. Aktywność psychiczna na poziomie dobrym. Senior czyta literaturę, udziela wywiadów, współtworzy książkę o wspomnieniach z Sybiru, nie ma problemów z wysławianiem się. Pamięć długotrwała w stanie bardzo dobrym, senior pamięta większość wspomnień z dzieciństwa i dorosłości, pamięć krótkotrwała pogarszająca się, pod koniec 2014 w stanie średnim, senior nie pamięta czynności wykonywanych w ciągu ostatnich 30 – 120 minut. Senior rozpoznaje jedynie przestrzeń mieszkalną i najbliższą, najczęściej odwiedzaną przestrzeń publiczną.

**Dostosowanie przestrzeni:**

Przestrzeń mieszkalna w niewielkim stopniu utrudnia codzienne funkcjonowanie. Schody do budynku bez poręczy utrudniają wychodzenie z mieszkania. Progi między pomieszczeniami utrudniają przemieszczanie się po mieszkaniu. Problem staje się zbyt duża odległość sypialni od łazienki i WC. Nieuporządkowane i chaotyczne rozmieszczenie mebli kuchennych wprawia seniora w dezorientowanie i ogranicza jego aktywność.

**3) Lata 2014-2017, wiek seniora 84-87 lat****Stan psychofizyczny:**

Senior nie sprawny funkcjonalnie i ekonomicznie. Objawy starzenia się takie jak ograniczenie ruchowe, znacząco wpływają na codzienne życie. Senior potrzebuje pomocy przy wstawaniu krzesła, podnoszeniu się z łóżka, chodzeniu po schodach. Narasta problem schylania się i podnoszenia przedmiotów. Organizm staje się ogólnie osłabiony, co raz częściej pojawia się problem z chorobami krótkotrwałymi jak przeziębienia jak i przewlekłymi. Senior nie pamięta znajomych i wszystkich członków rodziny. Nie rozpoznaje przestrzeni publicznych, ma problem z poruszaniem się po mieszkaniu. Nie rozpoznaje przestrzeni zewnętrznej, sąsiedztwa, przydomowego ogrodu, nie wychodzi z domu. Aktywność fizyczna została ograniczona do poruszania się pieszego po pomieszczeniach mieszkania. Senior zapomina słowa, nie potrafi się wypowiedzieć w sposób zrozumiały dla otoczenia. Odwiedziny rodziny i znajomych, w szczególności dzieci i rówieśników, czasowo polepsza sprawność psychofizyczną. Senior z pomocą lepiej funkcjonuje w przestrzeni. Czas wykonywania czynności codziennych znacznie wydłużony w stosunku do współmieszkańców.

**Dostosowanie przestrzeni:**

Przestrzeń mieszkalna znacząco utrudnia poruszanie się po mieszkaniu i przestrzeni przydomowej. Schody do budynku bez poręczy utrudniły wychodzenie z mieszkania powodując izolację seniora od przestrzeni zewnętrznej i przedwczesną utratę wspomnień o układzie i istnieniu ogrodu. Progi między pomieszczeniami utrudniają przemieszczanie się po mieszkaniu. Senior przed drzwiami musi podeprzeć się by móc przejść przez próg. Wąskie przejścia powodują dezorientację. Senior nie chętnie przechodzi przez zwężone fragmenty pomieszczeń i korytarzy. Utrudnieniem w przemieszczaniu stanowią drzwi do pomieszczeń takich jak kuchnia czy salon. Zamknięte pomieszczenia stają się nie dostępne wizualnie i omijane są przez seniora. Gładkie panele podłogowe w salonie oraz śliskie kafelki podłogowe w łazience utrudniają poruszanie się, powodują poślizgnięcia i upadki seniora będące przyczyną kontuzji. Wysoki próg niecki prysznicza utrudnia wchodzenie i wychodzenie. Brak poręczy pod prysznicem utrudnia mycie się, senior musi łapać się ściany w celu oparcia się. Siedziska takie jak fotele czy pufy za niskie, senior ma problem z siadaniem i nie potrafi samodzielnie wstać.

**4) Lata 2017-2019, wiek seniora 87-89 lat****Stan psychofizyczny:**

Senior nie sprawny funkcjonalnie i ekonomicznie. Całkowicie niesamodzielny. Potrzebuje pomocy przy codziennych czynnościach jak wstawanie, ubieranie się, mycie,

chodzenie. Senior nie zdolny do samodzielnego poruszania się, potrzebuje ciągłego oparcia. Senior

nie rozpoznaje przestrzeni domowej, znajomych i najbliższej rodziny. Nie potrafi się wysławić. Kontakt wzrokowy ograniczony, senior często nie rozumie otaczającego świata, wykonywanych czynności, nie rozpoznaje zachowań. Organizm ogólnie osłabiony, następuje częste pojawianie się chorób czasowych i przewlekłych. Odczuwalne ciepło przez seniora jest niższe w stosunku do domowników. Czas poświęcany na codzienne czynności znacznie wydłużony w stosunku do lat poprzednich.

#### Dostosowanie przestrzeni:

Przestrzeń mieszkalna niedostosowana do potrzeb osoby starszej. Senior nie może samodzielnie poruszać się po mieszkaniu - brak poręczy na korytarzach i dłuższych odcinkach nieumeblowanych pomieszczeń. Pomieszczenie łazienki zbyt wąskie, dezorientuje seniora. Prysznic o wysokim progu niecki i bez poręczy uniemożliwia codzienną higienę. Śliskie i gładkie podłogi utrudniają poruszanie się po pomieszczeniach. Siedziska niskie i bez oprąć nie nadają się do użytkowania, senior nie jest w stanie samodzielnie usiąść i wstać. Łóżko bez poręczy utrudnia położenie się i wstanie. Schody przydomowe uniemożliwiają wyjście z domu. Temperatura pomieszczeń staje się zbyt niska, w stosunku do odczuwalnej temperatury przez seniora w poprzednich latach. Senior odczuwa każdy mostek termiczny i szczelności stolarki.

Badania przedstawiają ogólny całokształt zmian stanu psychofizycznego i dostosowania przestrzeni w danym okresie czasowym. W celu szczegółowego opisu przedstawiono jeden dzień z życia seniora z demencją umiarkowaną z dnia 22 i 23 czerwca 2019 r. tj. sobota i niedziela.

22 czerwca 2019 r.

Godz. 22:00

Senior siedzi w salonie i ogląda telewizję. Wzrok obojętny skierowany w jedną stronę. Senior nie reaguje na widziane obrazy w ekranie, bodźcem staje się wejście postronnej osoby do pomieszczenia, lecz nie zwraca większej uwagi.

Opiekun zwraca się kilkakrotnie do seniora w celu zwrócenia na siebie uwagi i powiadamia o konieczności pójścia do łazienki w celu umycia się. Senior broni się, nie chce wstać. Po pół godziny udaje się namówić seniora do poruszenia się. Powstaje problem z wstawaniem. **Za niskie siedzisko (kanapa) oraz niskie podłokietniki utrudnia podnoszenie się.** Senior potrzebuje pomocy siłowej w celu podniesienia. Po wstaniu nie potrafi utrzymać równowagi, trzyma się kurczowo opiekuna i łapie za pierwszy napotkany wyższy mebel (stół). Senior powoli przemieszcza się, trzymając obiema rękoma opiekuna i szurając nogami. Zatrzymuje się przy drzwiach. **Próg między salonem a korytarzem staje się przeszkodą.** Senior potrzebuje dodatkowe podparcia się o futrynę i przenosi kolejno prawą i lewą nogę. Senior ponownie rusza i kieruje się do łazienki trzymając obiema rękoma opiekuna.

Godz. 23:00

Senior znajduje się w łazience. Potrzebuje pomocy przy rozebraniu się i skorzystaniu z toalety. Seniorowi należy wskazać miejsce i cel, po czym pomóc usiąść, i wstać - miska ustępowa za niska. Senior przy siadaniu i wstawaniu podtrzymuje się grzejnika i opiekuna równocześnie. Senior ponownie potrzebuje pomocy przy rozebraniu się. Ponownie wskazuje się miejsce i cel potrzeby. **Niecka prysznic o wysokości 30 cm staje się przeszkodą.** Senior potrzebuje pomocy przy podnoszeniu nóg do góry. Po wejściu pod prysznic, wszystkie czynności, mycia i płukania musi wykonać opiekun. Przy wyjściu senior potrzebuje ponownie pomocy przy podnoszeniu nóg. Senior chwyta się drzwi od prysznic i ściany, nie potrafi sam utrzymać równowagi. Po wyjściu czynności osuszania się i ubierania wykonuje opiekun. Senior ma trudności z podnoszeniem rąk podczas ubierania koszuli i podnoszeniu nóg podczas ubierania kapci.

Godz. 00:00

Senior wychodzi z łazienki i udaje się do sypialni. Przechodzi przez wąski korytarz i kuchnię z jadalnią. **Zwężenie przy wejściu do kuchni powoduje zachwianie się i dezorientację seniora.** Zmiana kolorystyki posadzki między kuchnią a jadalnią również dezorientuje, senior chwyta się najbliższej stojącego mebla i podnosi nogę jakby chciał przejść przez próg. (Progi w domu mają inną, wyróżniającą się kolorystykę niż podłogi). Następnie przechodzi przez próg z jadalni do sypialni według czynności opisanych powyżej. Senior potrzebuje pomocy przy siadaniu na łóżko, ściągnięciu kapci, położeniu się oraz przykryciu.

23 czerwca 2019 r. Niedziela

10:00 (W pozostałych dniach, od poniedziałku do soboty jest to godzina między 8:00 a 9:00)

Senior budzony jest przez opiekuna. Przez następne pół godziny do godziny senior jest zachęcany do wstania. Podczas wstawania senior potrzebuje pomocy siłowej od opiekuna. Senior przy przebieraniu się nie wstaje z łóżka z powodu braku możliwości chwycenia się czegokolwiek oburącz w celu utrzymania równowagi. Cała czynność ubierania się wykonuje opiekun. **Niskie łóżko bez poręczy jest istotnym problemem. Senior nie może podnieść się samodzielnie,** potrzebuje siłowej pomocy opiekuna.

Godz. 11:00

Senior udaje się do łazienki. Pojawia się ponownie problem przechodzenia przez próg, zmianę kolorystyki posadzki oraz zwężenie przejścia w kuchni. W łazience opiekun wskazuje potrzebę, cel i działanie jakie powinien senior wykonać. Po załatwieniu potrzeb w WC oraz umyciu się, senior udaje się do kuchni. Po raz kolejny pojawia się problem z przechodzeniem przez zwężenie w kuchni oraz zmianę kolorystyki posadzki.

Godz. 11:30

Opiekun wykazuje miejsce siedzenia, pomaga usiąść, podaje bardzo rozdrobiony posiłek (senior ma problem z gryzieniem i przełykaniem), podaje sztućce, łyżkę bądź widelec i zachęca do jedzenia. Senior ma problem z podnoszeniem ręki podczas spożywania posiłków oraz zapomina o wykonywanej czynności i zaprzestaje jej, przez co należy zachęcać co chwilę do jedzenia przez co posiłek bardzo się wydłuża.

Godz. 13:00

Senior kończy posiłek. Opiekun zaprowadza seniora do salonu. **Powstaje znowu problem z zmianą kolorystyki posadzki, przejściem przez zwężenie w kuchni oraz przejściem przez próg.** W salonie przy siadaniu senior potrzebuje pomocy siłowej opiekuna oraz w celu podparcia chwytą się za najwyższy najbliższy mebel. Ze względu na puchnięcie nóg w czasie siedzenia, senior otrzymuje podnózek i udaje się na odpoczynek, ogląda telewizję i/lub śpi.

Godz. 15:00

Senior je pierwszy obiad. Powtarzają się czynności przy spożywaniu śniadania. W celu nie fatygowania i nie męczenia seniora, senior je obiad w salonie. Po posiłku senior znowu udaje się na odpoczynek.

Godz. 18:00

Senior udaje się do kuchni w celu spożycia drugiego obiadu. Powtarzają się problemy przy wstawaniu, przechodzeniu przez próg, zwężona część kuchni, zmianę kolorystyki posadzki, siadaniu przy stole oraz jedzeniu. Czas spożywania posiłku wydłuża się do godziny 21:00, po czym senior udaje się ponownie do salonu w celu odpoczynku.

Godz. 22:00 -00:00

Powtarzają się czynności z dnia poprzedniego.

### 3. Wyniki badań

Badania stanu psychofizycznego pani Janiny pokazują jak z wiekiem zmieniają się potrzeby osób starszych zarówno pod względem funkcjonowania społeczno-ekonomicznego jak i funkcjonowania w przestrzeni. Zmiany te mogą zachodzić szybciej bądź wolniej w zależności od osoby, dlatego tak ważna jest możliwość dostosowania otoczenia do sprawności psychicznej i fizycznej seniora. W trakcie choroby, w ocenie CDR na etapie otępienia umiarkowanego, opiekun zmodernizował mieszkanie w celu udogodnienia życia osoby starszej. Zainstalowano poręcz przy schodach do domu oraz uchwyt pod prysznicem, wymieniono podłogi na antypoślizgowe. Zabiegi te sprzyjają lepszemu funkcjonowaniu seniora jednak zostały zrealizowane na zbyt późnym etapie. **Prewencyjne działanie tego typu przed wystąpieniem bądź przy wczesnym wykryciu otępienia znacznie spowolniłoby postęp choroby.** Niestety otępienie w pierwszych etapach jest ciężkie do zdiagnozowania lub jest bagatelizowane ze względu na przeświadczenie, że zapominanie jest cechą charakterystyczną dla osób starszych. Wycofywanie się z życia społecznego ze względu na wstyd i brak akceptacji ze strony rodziny i znajomych, alienacja z powodu depresji, a także ograniczenia fizyczne i bariery architektoniczne, najbardziej przyczyniają się do pogłębienia choroby. Możliwość dostosowania mieszkania na każdym etapie choroby, nie tylko psychicznej, ale i fizycznej znacznie poprawia funkcjonowanie seniora w środowisku społecznym i przestrzeni, dlatego tak ważne jest projektowanie dla osób starszych również zapobiegawcze w wieku przed-starczym.

#### 4. Wnioski z przeprowadzonych badań oraz ich implementacja do projektowania.

Formy zabudowy mieszkaniowej dostosowywane dla osób starszych często odpowiadają jedynie podstawowe potrzeby fizyczne, a bagatelizują potrzeby psychiczne. Osoba starsza oprócz godnych warunków życia, przede wszystkim potrzebuje kontaktu z drugim człowiekiem, akceptacji oraz poczucia bezpieczeństwa rozumianego jako komfort psychiczny posiadania osoby bliskiej, do której może zwrócić się o bezinteresowną pomoc. Poczucie takie mogą dać społeczności łączące osoby starsze, wieku 50+ lub będące na emeryturze. Wspólne zainteresowania oraz podobna aktywność psychofizyczna wzmacnia więzi i poczucie bezpieczeństwa. Projektowanie dla osób starszych jako pierwszy aspekt projektowy powinno uwzględniać możliwie jak najlepsze samopoczucie seniora w danym otoczeniu.

Jedną z najważniejszych cech w projektowaniu dla osób starszych jest również **uniwersalność projektu** oraz możliwość dostosowania przestrzeni do potrzeb psychofizycznych seniora na różnych etapach jego życia. Dobrze zaprojektowana przestrzeń przedłuża okres samodzielności i możliwość samodzielnego zamieszkania, dlatego powinna być stosowana już w wieku przed-starczym jako prewencja zdrowia. **Projekt funkcjonalno-przestrzenny powinien być prosty i intuicyjny, nie stawiać barier architektonicznych i wymagać niskiego wysiłku fizycznego** podczas korzystania z wszystkich jego funkcji. Korytarze powinny być szerokie i mieć możliwość przejścia dla osoby poruszającej się o kulach, z balkonem lub na wózku inwalidzkim. Seniorzy powinni mieć możliwość dostosowania wysokości i rodzaju mebli, wysunięć i wsunięć blatów oraz półek do swoich potrzeb, tak aby poruszanie się w przestrzeni odbywało przy najniższym wysiłku fizycznym i nie powodowało czasowych lub przewlekłych kontuzji. **Wszystkie przestrzenie w mieszkaniu powinny być łatwo zauważalne i dostępne.** Senior nie powinien być zagubiony i zdezorientowany w danej przestrzeni, powinien w prosty i łatwy sposób odróżnić pomieszczenia i ich funkcje. **Najważniejsze pomieszczenia potrzebne do indywidualnego codziennego funkcjonowania takie jak sypialnia i łazienka z WC, a także pomieszczenia ogólnego użytku takie jak kuchnia, salon, jadalnia powinny być blisko siebie, być połączone pośrednio lub bezpośrednio, przenikając się.** Przy intuicyjnym układzie funkcjonalno-przestrzennym i dostępności, stan psychofizyczny nie powinien utrudniać bądź znacząco wpływać na dezorientację seniora w przestrzeni mieszkania. Dodatkowymi cechami jakimi powinien charakteryzować się dobrze zaprojektowany budynek dla osób starszych jest możliwość przebywania i korzystania z przestrzeni umożliwiający w łatwy i dostępny sposób dbanie o higienę osobistą, higienę snu, odpoczynek, pracę, a także samodzielne przygotowywanie posiłków i aktywność fizyczną. Odpowiednia relacja między przestrzenią zewnętrzną a wewnętrzną zachęca i motywuje do podejmowania różnych inicjatyw jak hodowanie roślin, uprawa warzyw, owoców i ziół; spacer, nordic walking czy spotkania towarzyskie.

Istotny wpływ na sprawność psychofizyczną seniora, poczucie akceptacji i bezpieczeństwa ma przywiązanie do miejsca zamieszkania oraz kontakt z drugim człowiekiem w szczególności z rówieśnikami i dziećmi w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym. Jak wykazują badania tożsamość miejsca wiąże się przede wszystkim z pozytywnymi emocjami, wspomnieniami oraz relacjami sąsiedzkimi, rzadziej z obiektami materialnymi. Osoby starsze czują się najlepiej w towarzystwie osób dzielących te same

poglądy, zainteresowania czy w podobnym stanie psychofizycznym. Ważne jest, aby osoba starsza nie uległa alienacji bądź depresji z powodu samotności, aby zachować jak najdłuższą samodzielność.

### **Bibliografia:**

1. Binstock R.H., 2010, From compassionate ageism to intergenerational conflict?, "The Gerontologist", 50(5), s. 574–585.
2. Błędowski P., Sztur-Jaworska B., Szweda-Lewandowska Z., Kubicki P., Raport na temat sytuacji osób starszych w Polsce, Instytut Pracy i Spraw Socjalnych, Warszawa 2012.
3. Bodanko A., Geneza, istota i zastosowanie praktyczne metody indywidualnych przypadków, Wyd. Nauczyciel i Szkoła 1 (51), s. 177-195.
4. Janiszewska A., Jakość życia ludzi starych, Wydział Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
5. Klang P. Pierzchalska A., 2008, Społeczne role osób starszych, [w:] Bokajło W., Paczeński A. (red), Równość w Uni Europejskiej – teoria i praktyka, Wrocław.
6. Szukalski P., 2015, Dyskryminacja ze względu na wiek jako bariera jakości życia seniorów, [w:] Janiszewska A. (red.), Jakość życia ludzi starych – wybrane problemy, "Space – Society – Economy", 14, Department of Population and Services Studies, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 11–23.
7. Szukalski P., Osoby starsze w przestrzeni życia społecznego, Katowice 2014, ISBN 978-83-926737-2-9.
8. Kowalski K., Projektowanie bez barier - wytyczne, Stowarzyszenie Przyjaciół Integracji, ISBN 978-83-89681-88-1.
9. "Kowerski M., Statystyka i demografia Struktury ludności według cech demograficznych społeczno – zawodowych, Wyd. Sigma kwadrat".
10. "Rudnik A., Wymiary starości i cechy ludzi starych w percepcji dzieci i młodzieży, Pogranicze. Studia Społeczne. Tom XXVIII (2016) DOI 10.15290/pss.2016.28.11".

### **11. Wykaz stron internetowych:**

12. [http://www.inzynierbudownictwa.pl/biznes,prawo,artykul,udostepnianie\\_przestrzeni\\_publicznych\\_dla\\_wszystkich\\_ze\\_szczegolnym\\_uwzglednieniem\\_osob\\_z\\_niepelnosprawnoscia\\_4885](http://www.inzynierbudownictwa.pl/biznes,prawo,artykul,udostepnianie_przestrzeni_publicznych_dla_wszystkich_ze_szczegolnym_uwzglednieniem_osob_z_niepelnosprawnoscia_4885) (dostęp 28.04.19).
13. <https://rownosc.info/dictionary/ageizm/> (dostęp 28.04.19).
14. <http://www.universaldesign.com/designforalzheimers/> (dostęp 22.06.19).
15. <http://www.universaldesign.com/green-mountain-ranch/> (dostęp 22.06.19).

## 22. INTUICYJNE KONTROLERY RUCHU W ROBOTYCE

**mgr inż. Piotr Ptak**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Studenckie Koło Naukowe

Komputerowego Projektowania Urządzeń Mechatronicznych i Maszyn

Aleja Armii Krajowej 21

42-202 Częstochowa

Email: ptak@imipkm.pcz.pl

### 1. Wstęp

Robotyka to stosunkowo nowa dziedzina nauki, która łączy ze sobą takie nauki jak: mechanika, elektronika, informatyka, inżynieria przemysłowa, sterowanie ruchem, sensoryka, inteligencja maszynowa i projektowanie manipulatorów i robotów. Obszar zastosowania ogólnie pojętych robotów jest ogromny. W dzisiejszych czasach robotyzacja znalazła swoje miejsce w przemyśle, transporcie, medycynie, budownictwie jak również w miejscach niebezpiecznych dla człowieka - głębiny morskie czy przestrzeń kosmiczna [11].



**Rysunek 1. Łazik marsjański zespołu PCz Rover Team [20]**

Roboty nie są już kojarzone wyłącznie z urządzeniami, które wykonują zaprogramowane zadania w fabrykach. Dziś możemy obserwować coraz więcej robotów mobilnych, których zastosowania obejmują kolejne dziedziny życia. Dzięki ich wszechstronności, często można znaleźć urządzenia mobilne eksplorujące nieosiągalne dla człowieka środowiska. Maszyny te, są w stanie pracować w trudnych warunkach, takich jak ekstremalne temperatury, ciśnienie, czy szkodliwe powietrze i idealnie mogą zastąpić ludzi nawet w najbardziej nieprzyjaznych miejscach. Aby roboty mobilne mogły poradzić sobie w nieznanym terenie, konieczne jest czasem operowanie nimi zdalnie przez człowieka



pomimo, że zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji mogłyby uwolnić operatora od niektórych obowiązków [1]. Niezaprzeczalne jest, że zdolność ludzi do interpretowania i analizowania różnych zjawisk jest niezbędna. Właśnie to jest powodem dla którego w dalszym ciągu konieczne jest zdalne sterowanie robotami. Aby operator mógł to robić efektywnie, potrzebne są środki i narzędzia do zdalnego i intuicyjnego sterowania urządzeniami pokładowymi.

## 2. Przegląd literatury

Dzisiejsze roboty są sterowane w różny sposób. Większość z nich posiada własny zaprojektowany kontroler, który jest przystosowany do pracy z danym robotem. Część robotów jest sterowana za pomocą zaadoptowanych, popularnych, łatwo dostępnych kontrolerów do gier, natomiast jest kilka branż na świecie, które rozwijają własne projekty kontrolerów ruchu.



**Rysunek 2. Kontroler bezprzewodowy Xbox [21]**

Najpopularniejszą i najbardziej powszechną każdemu jest branża komputerowa, która od początków swojego istnienia, rozwijała różnego typu urządzenia sterujące. Dziś posiada bardzo wiele różnego typu kontrolerów gier, zaczynając od pada do Xbxa360, Kinecta, Joystick Thrustmaster, Razer Hydra a kończąc na myszy 3Dconnexion, stworzonej do projektowania przestrzennego w programach typu CAD. Kolejną branżą rozwijającą kontrolery ruchu jest branża modelarska, która do poruszania pojazdami jeżdżącymi i latającymi używa dwóch uniwersalnych typów aparatur jak np.: Turnigy 9XR Pro czy HPI 105385. Bardziej rozbudowane aparatury posiadają większą ilość obsługiwanych kanałów i wyświetlają również obraz z kamery. W wojsku dla robotów rekonesansowych, saperskich, zwiadowczych czy bojowych stosowane są dedykowane panele sterowania. Dla przykładu, robot Talon zbudowany w Massachusetts przez firmę Foster-Miller używany od 2009 roku przez Armie Amerykańską, posiada panel sterujący współpracujący z klasycznym kontrolerem Xbxa360 [11]. Podobne rozwiązania prezentuje PIAP ( Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów ) w swoich pojazdach terenowych [12].



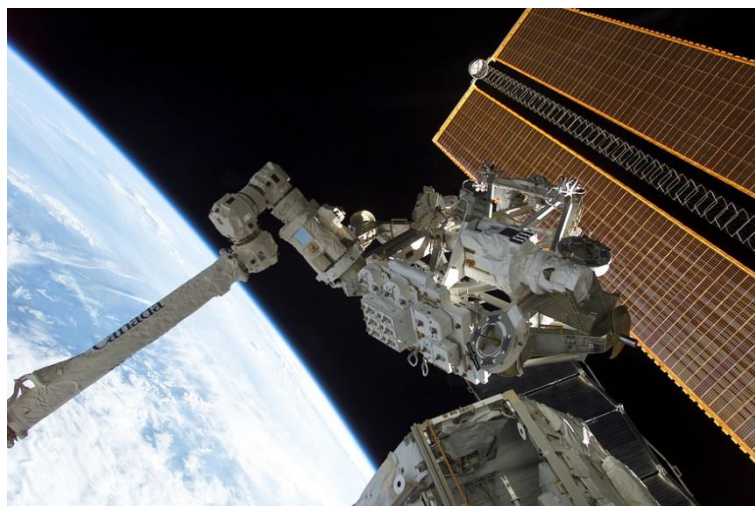
**Rysunek 3. Robot mobilny Talon [11]**

W branży transportowej stosowane jest połączenie joysticków z goglami VR. Firma Hiab wprowadziła na rynek rozwiązanie pozwalające na załadunek drzewa bez wychodzenia z kabiny kierowcy. Operator na podstawie obrazu z kamery zamieszczonej na dźwigu, obserwuje sytuację w goglach i poruszając kontrolerami wykonuje całą pracę nie wychodząc z samochodu. [13] Współczesna medycyna na wielu obszarach korzysta z pomocy robotów. Systemy wspomagające pracę lekarzy pozwalają na przeprowadzanie operacji mniej inwazyjnych i osiągających znacznej precyzji. Pierwszym robotem medycznym był teleoperator Zeus firmy Computer Motion CM. [14] Firma w 1994 roku wprowadziła na rynek pierwszy system zdalnego pozycjonowania endoskopu AESOP (Auto Endoscope System for Optimal Positioning). Najbardziej znanym robotem medycznym jest robot Da Vinci, który wykorzystywany jest między innymi w chirurgii ogólnej i kardiochirurgii. Podczas wykonywania zabiegu chirurg siedząc przy dedykowanej konsoli operuje manetkami. Przed sobą ma podgląd z kamer w dużej rozdzielczości, w trójwymiarze oraz wielokrotnym powiększeniu [15]. Telemanipulatory chirurgiczne już dziś stanowią bardzo ważną część wyposażenia sal operacyjnych. Robot Da Vinci został zakupiony do operacji już ponad 1600 razy. Innym przykładem jest telemanipulator chirurgiczny Robin Heart, który jest polskim projektem badawczym. Robot umożliwiający przeprowadzanie operacji małoinwazyjnych. Swoje pierwsze testy przechodził na zwierzętach w 2010 roku z powodzeniem. Po pierwszych testach chirurdzy przyjęli koncepcję nowego robota oraz konsoli do sterowania Robin Heart Shell 2. Sprzęt medyczny jest pionierskim przedsięwzięciem w Polsce i umożliwia wprowadzenie na rynek w pełni polskiego robota medycznego. Konsola telemanipulatora Robin Heart Shell jest zaawansowanym technologicznie instrumentem służącym do sterowania manipulatorem. Posiada siłowe sprzężenie zwrotne dla wybranych osi oraz doradczy system z bazą danych dla operatora [16,17].



**Rysunek 4. Panel operatorski robota Da Vinci [15]**

W branży kosmicznej także używane są manipulatory, Mobile Servicing System, czyli mechaniczne ramię znajdujące się na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej, służy do rozbudowy oraz jej konserwacji. Potrafi przenosić sprzęt i pojazdy, pomaga przy naprawach i przeglądach urządzeń. Robot posiada dwa stanowiska do jego obsługi, z czego tylko jedno może go sterować w danym momencie. RWS (Robotic Work Station), bo tak się nazywa panel operatorski, posiada dwa zestawy joysticków. Są odpowiednio podzielone na zadania, jeden potrafi obracać dźwigiem a drugi odpowiada za ruch wzdłużny. Dodatkowo panel posiada ekrany wyświetlające obrazy z kamer oraz niezbędne informacje do kontroli robota. Kanadyjska Agencja Kosmiczna, która zbudowała tego robota, stworzyła także naziemną stację kontroli manipulatorem Canadarm2, która znajduje się w Quebec [18].



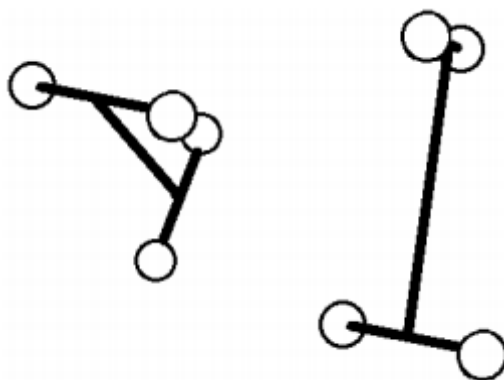
**Rysunek 5. Manipulator używany na stacji kosmicznej [18]**

Jest bardzo wiele prac, publikacji i artykułów opisujących dokładnie budowę robotów i manipulatorów, natomiast dotyczących kontrolerów i konsol operatorskich, jest niewiele.

W jednej z nich opisany jest manipulator R-30iA. Przedstawiony w nim panel operatora jest klasycznym narzędziem do poruszania robotem w przemyśle, gdzie robot ma za zadanie wykonywać powtarzalne ruchy. Możliwe jest sterowanie w czasie rzeczywistym manipulatorem za pomocą takiego kontrolera, lecz jest mało wygodne i nieintuicyjne ze względu na to, że panel służy przede wszystkim programowaniu kolejnych ruchów robota. Wpisując poszczególne komendy możemy zadać ścieżkę poruszania robota, określić jego prędkości, obroty, sposób poruszania się z punktu do punktu [19].

Na Politechnice Warszawskiej w ramach pracy inżynierskiej stworzono panel sterujący pracą robota za pomocą telefonu komórkowego. Bazą do pracy był manipulator Irp-6. Stworzony system sterujący miał za cel umożliwić zadawanie bezwzględnej oraz przyrostowej pozycji każdego z członów manipulatora. Dodatkową system potrafił zapamiętywać oraz naśladować wykonane wcześniej ruchy. Praca obejmowała napisanie aplikacji na telefon komórkowy, stworzenie serwera, który pośredniczył w komunikacji manipulator – telefon i napisanie sterownika interpretującego gesty zadane przez operatora w telefonie na ruch rzeczywistego manipulatora. Przeprowadzone testy w symulatorze oraz na układzie rzeczywistym nie wykazały błędów projektowych. Testy obejmowały zadawanie prędkości, położenia członów oraz zapamiętywanie punktów trajektorii. Projekt został zainicjowany z powodzeniem. Z perspektywy rozwoju projektu możliwe i oczekiwane jest rozwijanie funkcjonalności oraz dodawanie kolejnych. Następnym krokiem będzie umożliwienie sterowania w innych płaszczyznach, nie tylko 2D. Oczekiwane będzie zastosowanie do obsługi aplikacji urządzenia o większym ekranie, który będzie wygodniejszy dla operatora [2].

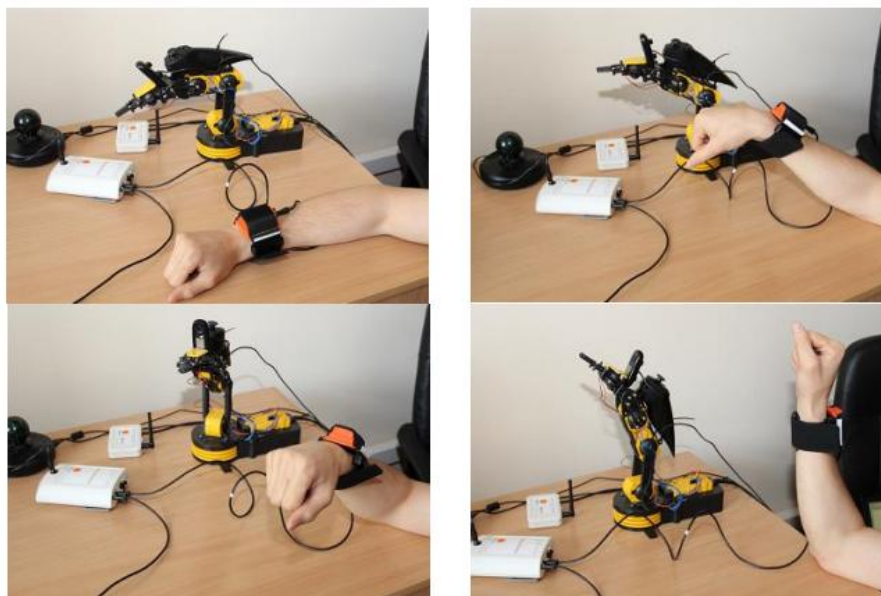
W pracy dyplomowej napisanej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie stworzono system sterowania robotem z użyciem systemu wizyjnego. Projekt polegał na realizacji dwóch zadań: sterowanie systemem za pomocą gestów oraz sterowanie manipulatorem za pomocą wskaźnika. Na potrzeby testów, stworzono moduł przedstawiający wirtualny model manipulatora, pozwalający na weryfikację poprawności działania funkcji. Do symulacji zostaną zaadoptowane dwa manipulatory: ramię robota terenowego oraz ramię robota podwodnego. Docelowo projekt jest dedykowany do zastosowania w manipulatorach dla robotów mobilnych.



**Rysunek 6. Wskaźnik [3]**

Na podstawie obserwacji ustawienia wskaźnika, można interpretować zadaną pozycję i orientację manipulatora. Sam wskaźnik nie jest widziany przez kamerę, jego pozycja jest rekonstruowana na podstawie pozycji jaskrawozielonych trzech końcówek wskaźnika. Specjalny algorytm analizuje odległości pomiędzy obiektami oraz ich wielkości i na ich podstawie porusza odpowiednio wirtualnym ramieniem na ekranie komputera w trzech osiach. Testy stworzonego układu przeprowadzone za pomocą wirtualnych modeli manipulatorów zakończyły się powodzeniem. Dodatkowo zaprojektowano moduł umożliwiający operowanie rzeczywistym mechanicznym ramieniem oraz sprawdzono poprawność działania systemu, przy pomocy prostego symulatora manipulatorów napisanego w języku C++ oraz w programie MathLab. Za kryterium uznania poprawności działania projektu, przyjęto szybkość przetwarzania obrazu z trzech kamer równocześnie. By to osiągnąć, zastosowano współbieżne przetwarzanie danych. Ograniczeniem dla szybszego działania systemu była moc rdzeni CPU, pomimo to uzyskano zadowalającą szybkość przetwarzania obrazu, która wyniosła 9-10 FPS, dla rozdzielczości 640x480 [3].

Inną koncepcję kontrolera zaproponowano w artykule z Politechniki Lubelskiej, w którym przedstawiono prototyp zdalnego sterowania ramieniem robota przy wykorzystaniu czujników rejestracji ruchów. Do sterowania robota wykorzystano interfejs naturalny, korzystający z rejestracji ruchów ręki operatora, dzięki inercyjnym czujnikom ruchu. System komunikuje się z komputerem poprzez interfejs Bluetooth. Celem realizacji sprzężenia zwrotnego zaadoptowano do projektu kontroler Razer Hydra. Po przeprowadzeniu badań i plac implementacyjnych stworzono system zdalnej kontroli ruchu robota. Opracowany układ został zweryfikowany w praktyce. Operator realizował ruchy we wszystkich płaszczyznach, a ramię mechaniczne naśladowało je prawidłowo. Zauważono, że robot odtwarza ruchy operatora z pewnym opóźnieniem, które wynika z ograniczonych, maksymalnych prędkości jakie mogą osiągać poszczególne człony manipulatora.

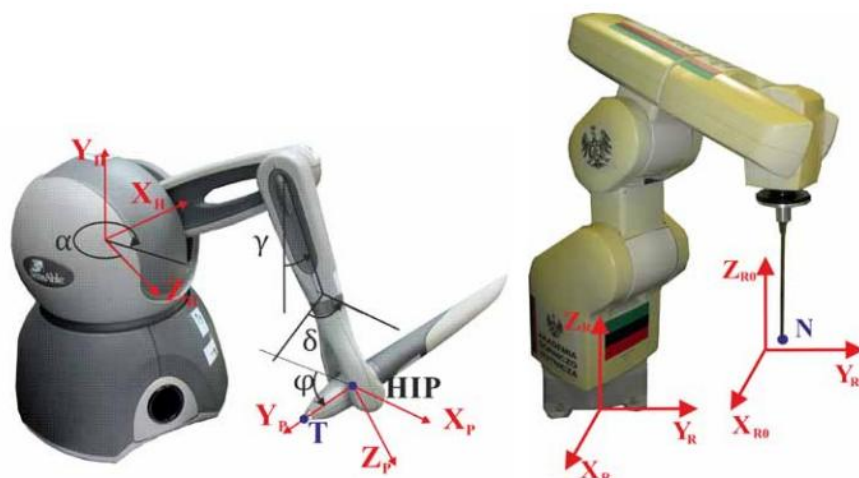


**Rysunek 7. Robot naśladowujący ruch ręki operatora [4]**



Zaproponowany system sterowania cechuje się prostotą w porównaniu z innymi koncepcjami kontrolowania robotami. Dalsze prace rozwojowe będą dotyczyć wdrożenia ruchu wzdłużnego, odpowiadającego za wysuw ramienia oraz zaadoptowanie kąta stawu łokciowego na staw robota. Dodatkowo wprowadzona zostanie komunikacja bezprzewodowa, umożliwiająca sterowanie manipulatorem zdalnie [4]. Badania wstępne zostały zawarte w pracy [5]. Rozwój projektu dotyczyć będzie także zaadoptowania na robocie kamery umożliwiającej operowanie ramieniem zdalnie [6].

W Katedrze Automatyzacji Procesów na AGH w Krakowie opublikowano artykuł dotyczący koncepcji sterowania trajektorią narzędzia robota przy pomocy zadajnika haptycznego w operacjach stereotaktycznych mózgu. Zasada działania układu to połączenie master-slave, czyli dwa ramiona mechaniczne, współpracujące ze sobą na zasadzie naśladowania ruchów. Aby zbadać zagadnienia związane ze sterowaniem robotem w neurochirurgii, został zbudowany prototyp wyposażony w urządzenie haptyczne, seryjny manipulator, kamery oraz komputery. Omówiono sposób sterowania pozycją manipulatora w symulowanych sytuacjach podczas operacji. Wyszczególniono programistyczne i matematyczne podejście do rozwiązania problemów związanych z kontrolą ramienia oraz przedstawiono rolę wszystkich elementów systemu sterowania. Zastosowano się w projekcie do wymagań bezpieczeństwa, jakie stawiane są w przypadku robotów pracujących w ogólnie pojętej chirurgii [7].



**Rysunek 8. Haptyczny kontroler manipulatora chirurgicznego [7]**

Na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej opracowywany jest intuicyjny system sterowania robotem mobilnym. Projekt inspirowany jest zawodami University Rover Challenge (URC), które odbywają się corocznie w USA. Proponowana koncepcja kontrolera jest odpowiedzią na niedogodności i ograniczenia wynikające ze stosowania konwencjonalnych joysticków. Największym ich mankamentem jest nieintuicyjne i nieefektywne manipulowanie w przestrzeni 3D. Problem ten zaprowadził do koncepcji robotycznego fantomu, czyli mechanicznej, mniejszej wersji docelowego manipulatora. To rozwiązanie ma być bardzo intuicyjne, łatwe w użyciu i pozwalające osiągnąć dużą precyzję. Projekt obejmuje stworzenie prototypu oraz napisanie algorytmów do kontroli

manipulatora. Gotowy model układu sterowania został przetestowany i porównany z klasycznym joystickiem stosowanym do obsługi ramienia mechanicznego. Testy polegały na odtworzeniu zadań, które wykonuje manipulator podczas zawodów URC. W porównaniu zestawiono czasy operacji, precyzję, zręczności i śledzenie trajektorii obu kontrolerów. Po przeprowadzeniu analizy danych z testów, stwierdzono, że każde z zadań wykonane przy użyciu fantomu było porównywalne lub lepsze niż metoda konwencjonalna. Wyniki pokazały skrócenie czasu operacji i większą precyzję ruchu. Operatorzy stwierdzili, że fantom pozwala na łatwiejsze docieranie manipulatorem do pożądanego miejsca a kontrola jest intuicyjna. Zasugerowano, że zdolność do odczuwania siły zacisku chwytu manipulatora przez osobę kontrolującą, byłaby oczekiwanym punktem rozwojem projektu [8].

W artykule napisanym na Wojskowej Akademii Technicznej opisany jest dobór intuicyjnego systemu sterowania robotem wsparcia inżynierskiego. Zwraca się w nim szczególną uwagę na główny cel jaki przyświeca zdalnemu sterowaniu robotami mobilnymi, którym jest zwiększenie dystansu dzielącego żołnierza od zagrożenia. Efektem tego działania jest pozbawienie operatora wielu informacji zwrotnych, dzięki którym w przypadku załogowego sterowania podejmowane są decyzje. Po przeprowadzeniu wielu analiz i testów na symulatorach oraz obiekcie rzeczywistym, został opracowany autorski pulpit sterujący robotem mobilnym. Pulpit zbudowany jest z 2 komercyjnych joysticków oraz popularnego wyświetlacza programowalnego DP600. Taka konfiguracja umożliwia łatwe tworzenie dedykowanego pulpitu do sterowania. Duży wygodny wyświetlacz służy do informowania operatora o najważniejszych parametrach. Projektowany pulpit musi spełniać podstawowe wymagania polegające na realizacji podstawowych funkcji mobilnego robota tj. duża mobilność czy precyzja sterowania w czasie prowadzonych misji ratunkowych czy rozpoznawczych terenu. Dzięki zastosowaniu tego typu rozwiązania, możliwe jest tworzenie wygodnych dla operatora kontrolerów. Zaawansowane algorytmy programistyczne pozwalają przypisywać wiele funkcji do jednego joysticka. Bardzo istotnym aspektem podczas teleoperacji są informacje zwrotne z pojazdu, które dostarczane są do operatora w sposób graficzny. Badania doświadczalne potwierdziły użyteczność kontrolera ruchu do obsługi robota mobilnego [9].

W kolejnym referacie z Wojskowej Akademii Technicznej przedstawiono wymagania jakie są stawiane dla stanowisk zdalnego sterowania robotami mobilnymi do zadań specjalnych. Właściwe przekazanie obrazu z terenu operacji wymaga zastosowania kilku kamer, bardzo często montowanych na obrotowych głowicach. Dodatkowo istotne są informacje zwrotne o najważniejszych parametrach robota mobilnego oraz otoczenia. Efektem tego jest zaawansowany panel sterujący, który jest nieporęczny i wymaga wiele godzin treningu. Przykładem rozwiązania tego problemu jest HARV, czyli system gogli wyświetlających obraz z kamery i posiadających możliwość poruszania nią poprzez ruch głowy. Dzięki temu, operator widzi najbardziej interesującą go część terenu. Testy wykazały, że system pozwala zmniejszyć czas realizacji zadań przez platformę mobilną nawet 4-krotnie. Zwrócono uwagę na to, że brak odczuwania informacji zwrotnych takich jak pochylenia, wibracje, przyspieszenia czy hałas ograniczają zdolności postrzegania rzeczywistości przez operatora. Efektem braku takich informacji jest możliwa utrata stateczności, gotowości do realizacji zadań czy nawet nieświadome doprowadzenie do przewrócenia robota. Zaawansowane systemy sterowania powinny chronić robota przed takimi sytuacjami.

W tym celu budowane są stanowiska do kontroli oparte na teleobecności. Przekazują one podstawowe informacje dla teleoperacji, umożliwiają poruszanie kamerami na pojeździe przy pomocy ruchu głowy, oraz dają sygnały zwrotne oddziałujące na operatora takie jak przyspieszenia, pochylenie terenu czy dźwięk dookoła pojazdu, bez konieczności obserwowania wskaźników na panelach. Trwają prace również nad poprawą percepcji sił działających na obsługiwaną platformę mobilną, niestety efektywność takich systemów nie jest adekwatna do kosztów i poziomu skomplikowania układu. Analizując aspekty ergonomiczne sterowania, ważne są takie czynniki jak: ilość obsługiwanych elementów, ilość i sposób przyswajania informacji zwrotnych oraz stopień rozbudowania platformy kontrolującej. Im bardziej złożona struktura panelu kontrolnego, tym większe obciążenia psychofizyczne dla operatora, kluczowe w tej kwestii jest wygodne, przejrzyste przekazywanie informacji, które zapewni minimalizację jego zmęczenia. Odpowiednie kolory, obraz wysokiej rozdzielczości czy złudzenia optyczne, mogą być czynnikiem wpływającym na trafność podejmowanych decyzji. Ergonomiczne podejście do projektu powinno zapewnić umiejscowienie wszystkich operacyjnych kontrolerów w obszarze pracy, określonym poprzez zasięg górnych kończyn, przy założeniu, że operator wykonuje zadania w pozycji siedzącej. Innym, równie istotnym czynnikiem jest rozmieszczenie informacji graficznych, zalecane jest by było one umiejscowione w zasięgu centralnego widzenia.

W Katedrze Budowy Maszyn Wojskowej Akademii Technicznej przeprowadzane są badania nad odpowiednim doбором struktury bezprzewodowego sterowania platformami mobilnymi pod kątem intuicyjności, precyzji oraz ergonomii. W poszukiwaniach optymalnych podzespołów do sterowania skorzystano z komercyjnych rozwiązań, które zapożyczono z amerykańskich systemów kontroli robotów mobilnych, ale również z autorskich rozwiązań [10].

### 3. Wnioski

Intuicyjne sterowanie, jest kluczową kwestią w efektywnym sterowaniu robotami. Idealny model stanowiska do zdalnego sterowania przekazuje do operatora wszystkie istotne informacje, które odebrałby będąc wewnątrz poruszającego się pojazdu. Jak zaprezentowano w artykule, jest wiele modeli intuicyjnych kontrolerów, które poprawiają efektywność pracy operatora, lecz nadal jest wiele aspektów, które wymagają poprawy, rozwinięcia, lub innego podejścia do rozwiązania problemu. Nowe czujniki, układy odwzorowujące pierwotne parametry pojazdu, sprawiają, że rośnie złożoność systemów sterowania a co za tym idzie projekty są coraz droższe. Kwestie finansowe są barierą dla szybkiego rozwoju, lecz pozwalają racjonalnie dobierać najlepsze i najtańsze rozwiązania do danego zastosowania.

### Bibliografia:

1. Kim W.S., Diaz-Calderon A., Peters S.F., Carsten J.L., Leger C., Onboard Centralized Frame Tree Database for Intelligent Space Operations of the Mars Science Laboratory Rover, "IEEE Transactions on Cybernetics", Vol. 44, No. 11, 2014, 2109–2121, DOI: 10.1109/TCYB.2014.2301442.
2. Leszczyński O. (2012). Sterowanie manipulatorem za pomocą telefonu komórkowego. Praca dyplomowa, Politechnika Warszawska.



3. Kapcia P. (2012). Sterowanie manipulatorem robota z użyciem systemu wizyjnego. Praca dyplomowa, Akademia Górniczo-Hutnicza
4. Kamiński M., Kopniak P., Żyła K. (2014). Zdalne sterowanie ramieniem robota z wykorzystaniem inercyjnych czujników rejestracji ruchu. *Logistyka* 6/2014. Czasopismo logistyka.
5. Kopniak P. (2014). Pomiary kątów ugięcia kończyny w stawie z wykorzystaniem inercyjnego systemu Motion Capture. *Pomiary Automatyka Kontrola*, 8/2014.
6. Sikora J., Pańczyk M., Wieleba P. (2014). Computer vision in robotics and industrial applications. Vol. 3, Chapter 10: Hybrid boundary element method applied for diffusion tomography problems. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
7. Marszałik D., Sibiłak M., Rączka W., Konieczny J. (2014). Sterowanie trajektorią narzędzia robota przy pomocy zadajnika haptycznego w operacjach stereotaktycznych mózgu. *Medical Robotics Reports*. 3/2014.
8. Rećko M. (2016). Projekt fantoma do zdalnego sterowania robotem, praca magisterska, Politechnika Białostocka.
9. Bartnicki A., Typiak R. (2012). Dobór systemu intuicyjnego sterowania robotem wsparcia inżynierskiego. *Logistyka* 3/2012. Czasopismo logistyka.
10. Bartnicki A. (2012). Wymagania dla stanowiska zdalnego sterowania pojazdem bezzałogowym w zadaniach zmniejszenia zagrożenia wywołanego niekontrolowanym uwalnianiem substancji niebezpiecznych. *Logistyka* 3/2012. Czasopismo logistyka.

#### **Wykaz stron internetowych:**

11. Asimo, <http://www.asimo.pl/modele/talon.php> (Robotyka i roboty, 08.09.2019).
12. Businessinsider, <https://businessinsider.com.pl/technologie/nowe-technologie/roboty-w-polskiej-armii-balsa-inspector-explorer/35dq7m3> (Roboty dla Polskiej armii, 08.09.2019).
13. 40ton.net, <https://40ton.net/okulary-pozwalajace-sterowac-zurawiem-zaladunkowym-bez-wychodzenia-z-kabiny-ciezarowki/> (Robotyka przemysłowa 08.09.2019).
14. Asimo, <http://www.asimo.pl/modele/zeus.php> (Robotyka i roboty, 08.09.2019).
15. WP, <https://wiadomosci.wp.pl/pierwszy-taki-zabieg-z-uzyciem-robota-da-vinci-6038671968146561g/7> (Robotyka w medycynie 08.09.2019).
16. Automatyka online, <https://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/telemanipulator-chirurgiczny-robin-heart> (Telemanipulator w szpitalu 08.09.2019).
17. Gazeta lekarska, <https://gazetalekarska.pl/?p=39506> (Robotyka jako leczenie w przyszłości 08.09.2019).
18. Canadian Space Agency, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/mobile-base/default.asp> (Kosmiczne roboty 08.09.2019).
19. Politechnika Wrocławska, [http://rab.ict.pwr.wroc.pl/dydaktyka/instrukcje/FANUC\\_R-30iA.pdf](http://rab.ict.pwr.wroc.pl/dydaktyka/instrukcje/FANUC_R-30iA.pdf) (Dydaktyka – programowanie robota przemysłowego 08.09.2019).
20. PCz Rover Team, <http://rover.pcz.pl> (Łaziki marsjańskie Politechniki Częstochowskiej 08.09.2019).
21. Xbox, <https://www.xbox.com/pl-pl/xbox-one/accessories/controllers/armed-forces-2> (Kontroler bezprzewodowy 08.09.2019).

## 23. POJĘCIE SKALOWANIA I RELACJI SAMOPODOBIENSTWA PRZEPŁYWU W TYM SKALOWANIE PROFILI ŚREDNICH

**Mathias Romańczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Maszyn Ciepłych

al. Armii Krajowej 21; 42-201 Częstochowa

Promotor: Prof. dr hab. inż. Witold Elsner

Email: mathias@imc.pcz.czyst.pl

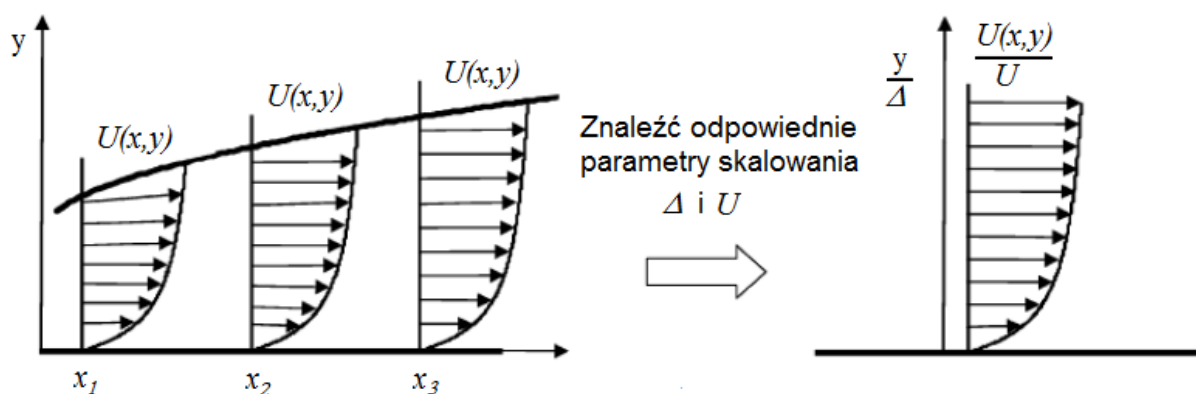
### 1. Wstęp

Zaproponowane przez Prandtla w roku 1904 rozróżnienie przepływu płynów na dwa regiony, cienką warstewkę tuż przy ścianie oraz pozostałą część objętości przepływu płynu uprościło znacznie matematyczne rozważania nad strukturą przepływu płynu oraz ułatwiło przeprowadzanie obliczeń oddziaływań płynu na ciała w nim zanurzone. Charakter przepływu w warstwie przyściennej można również podzielić na dwa typy przepływów – laminarny lub burzliwy (turbulentny). Przepływ burzliwy (turbulentny) w mechanice ośrodków ciągłych i aerodynamice jest to określenie bardzo złożonego, nielaminarnego ruchu płynów. Termin ten oznacza czasem również chaotyczne zachowanie dowolnego układu fizycznego. Przejawem ruchu turbulentnego płynu jest występowanie wirów jak również innych struktur koherentnych [1,2]. Problem jaki się pojawia przy opisie zjawiska turbulencji to taki, że dotychczas brak zadowalającej analizy matematyczno-fizycznej tego zjawiska. Przeprowadzane obecnie symulacje numeryczne przepływów turbulentnych obarczone są pewnymi wadami. Wynika to z braku w pełni wiarygodnego modelu teoretycznego i stawia pod znakiem zapytania uzasadnienie wprowadzania niektórych uproszczeń oraz przybliżeń. Dodatkowo, do przeprowadzenia złożonych symulacji numerycznych potrzebne są olbrzymie moce obliczeniowe komputerów z uwagi na dużą liczbę pojawiających się zmiennych dynamicznych [3,4]. Bardzo ważnym problemem jest kwestia uniwersalności przepływu, o której możemy mówić w przypadku skalowania. Opracowanie prawa skalowania naprężeń Reynoldsa jest trudnym zadaniem, ponieważ wiąże się to z weryfikacją jego uniwersalności w zależności od liczby Reynoldsa oraz w przypadku gradientu ciśnienia w zależności od jego typów. Celem skalowania turbulentnej warstwy przyściennej jest transformacja układu współrzędnych za pomocą indywidualnych parametrów, które pozwolą skalować różne profile prędkości średniej lub naprężeń Reynoldsa w jeden uniwersalny profil. Taki uniwersalny profil może posłużyć do budowy modelu, którego możemy zastosować w symulacji numerycznej CFD do modelowania wielu zjawisk fizycznych. Zjawiska zachodzące w warstwie przyściennej mają ogromny wpływ na wielkość hydrodynamicznego oporu ruchu płynu zanurzonych w nim brył. Przykładem tutaj mogą być karoserie samochodowe, okręty podwodne, itp. Także zjawiska te mają wpływ na powstawanie siły nośnej  $F_n$  skrzydeł ptaków jak również skrzydeł samolotów. Dlatego też szczegółowa analiza zjawisk zachodzących w warstwie przyściennej posiada tak ogromne znaczenie dla

współczesnej techniki i jest badana przez wiele instytucji na całym świecie, a także w Instytucie Maszyn Ciepłych Politechniki Częstochowskiej.

## 2. Pojęcie skalowanie i relacji samopodobieństwa przepływu

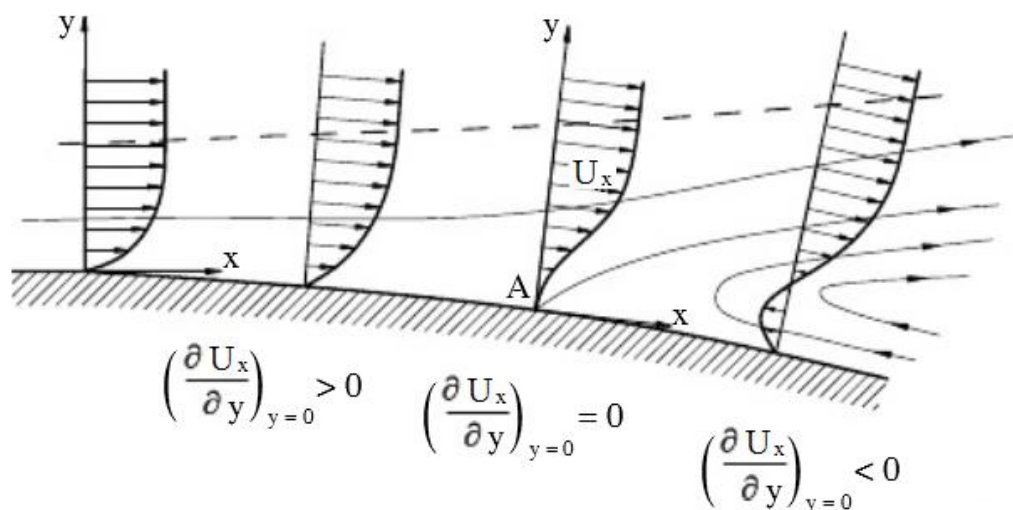
Skalowanie według definicji jest to „proporcjonalna zmiana wszystkich rozmiarów (wraz z jednostkami) stosowanych do opisu układu fizycznego lub jego modelu matematycznego zachowująca ogólny przebieg zachodzących w nim procesów. Błędne przeprowadzenie tej procedury może zaburzyć matematyczną naturę opisu niektórych zjawisk, co może prowadzić do błędów w interpretowaniu ich za pomocą tak przeskalowanego modelu [5]”. Celem skalowania turbulentnej warstwy przyściennej jest transformacja układu współrzędnych za pomocą indywidualnych parametrów, które pozwolą skalować różne profile prędkości średniej i naprężeń Reynoldsa w jeden uniwersalny profil [6]. Rysunek poniżej przedstawia przeskalowanie profili w uniwersalny profil prędkości.



Rysunek 1. Przeskalowanie profili w uniwersalny profil prędkości [6]

Opracowanie prawa skalowania naprężeń Reynoldsa jest trudnym zadaniem, ponieważ wiąże się to z weryfikacją jego uniwersalności w zależności od liczby Reynoldsa ( $Re$ ) oraz w przypadku gradientu ciśnienia w zależności od jego typów. Kiedy dodatkowo w przepływie występuje dodatni gradient ciśnienia wzdłuż warstwy przyściennej, inaczej mówiąc następuje wzrost ciśnienia statycznego w kierunku przepływu, może to prowadzić do zjawiska oderwania warstwy przyściennej. Zjawisko to może wystąpić w przepływie z malejącą prędkością. Za przykład można tutaj podać dyfuzor, gdzie następuje wzrost ciśnienia, a maleje za to prędkość. Zjawisko oderwania warstwy przyściennej nie tylko powoduje potocznie mówiąc „zniszczenie” rozkładu prędkości, który charakterystyczny jest dla warstwy przyściennej, ale i również wywołuje zjawisko występowania powiększającej się strefy zawirowań [7].

Oderwanie warstwy przyściennej występuje, kiedy energia kinetyczna płynu w pobliżu ściany maleje do zera. Element płynu tuż przy ścianie hamowany jest siłami lepkości oraz siłami ciśnienia, co początkowo powoduje jego zatrzymanie (Rys.2 punkt A), a następnie ruch przeciwny do kierunku przepływu. Zjawisko oderwania warstwy przyściennej zostało przedstawione poniżej.



**Rysunek 2. Zjawisko oderwania warstwy przyściennej [7]**

W punkcie A oznaczonym na powyższym rysunku zachodzi zależność  $\left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} = 0$ , tzn. że zmiana prędkości prostopadle do przepływu jest równa zero. Ponadto zeruje się tam naprężenie lepkościowe na ścianie  $\tau_w = 0$  [7,8].

W punkcie oderwania A pojawia się linia prądu, która oddziela strefę przepływu mającą kierunek zgodny z kierunkiem ruchu głównego, czyli potencjalnego, od tzw. strefy przepływu wstecznego. Linia przerywaną została zaznaczona granica warstwy przyściennej. Można zauważyć, że zjawisku oderwania warstwy przyściennej towarzyszy powstawanie wirów, które formują się okresowo oraz spływają z powierzchni opływającego ciała. Opis zjawiska turbulentnego oderwania warstwy przyściennej jest bardzo skomplikowany. Jako kryterium oderwania warstwy przyściennej nie można przyjąć występowania zerowych naprężeń stycznych na ścianie  $\tau_w = 0$  oraz przepływu wstecznego ze względu na gwałtowność tego zjawiska. W przepływie turbulentnym, gdy dochodzi do intensywnej wymiany elementów płynu, to elementy płynu przylegające bezpośrednio do powierzchni opływającego ciała są zasilane elementami płynu z warstw bardziej odległych, które posiadają większą energię kinetyczną. Dzięki temu wyczerpanie całkowitej energii na pokonanie sił tarcia będących w przepływie następuje wolniej. W tym ruchu dodatkowo cała warstwa przyścienna wymienia elementy płynu o mniejszej energii kinetycznej na elementy płynu przenikające spoza obszaru tej warstwy posiadające większą energię kinetyczną. Dlatego też w tym przypadku zjawisko oderwania warstwy przyściennej następuje później [6].

Założenie o samopodobieństwie przepływu jest jednym z najistotniejszych założeń pozwalających porównać cechy przepływu dla różnych liczb Reynoldsa (zarówno dla tych dużych, które spotykane są w przepływach rzeczywistych oraz tych mniejszych, dla których prowadzone są w większości badania eksperymentalne). Zgodnie z propozycją Clausera [9] istnienie samopodobieństwa przepływu występuje wtedy, kiedy w turbulentnej warstwie przyściennej występują przynajmniej cechy podobieństwa dotyczącego średniego profilu

prędkości. Z teorii podobieństwa wiadomo, że równowagę przepływu można osiągnąć wtedy, kiedy wszystkie człony w równaniu opisującym przepływ pozostaną w tej samej względnej równowadze w czasie rozwoju przepływu. Stąd wynika, że właściwości przepływu mogą ewoluować w czasie przepływu ale przepływ ten musi pozostać podobny dynamicznie. W takim przypadku można zastosować skalowanie, które przy używaniu indywidualnych parametrów polegać ma na doborze takiej transformacji układu współrzędnych profili prędkości średniej aby otrzymać profil uniwersalny [6].

Jeżeli założenie o samopodobieństwie przepływu oraz skalowaniu dotyczyć ma naprężeń Reynoldsa to sytuacja staje się mniej klarowna. Można przypuszczać, że jeżeli przepływ średni tuż przy ścianie skalować się będzie na skalach wewnętrznych to również dotyczyć to będzie naprężeń Reynoldsa, skoro zależą one również od wartości lokalnych gradientów prędkości  $dU/Dy$ . Stąd też naprężenia Reynoldsa najczęściej normalizowane są w oparciu o wewnętrzną skalę prędkości  $u_\tau$  jak również skalę długości  $\nu/u_\tau$ . Nie jest to jednak tak oczywiste jak wykazane to zostało w dalszej części rozdziału.

W przypadku skalowania turbulentnej warstwy przyściennej ważne jest by stosować odpowiednie kryteria równowagi, aby móc określić czy mamy do czynienia ze zrównoważoną warstwą przyścienną czy też nie. Stosuje się różne kryteria równowagi. Na przykładzie parametru ciśnieniowego Clausera  $\beta$  można przedstawić tzw. tradycyjne kryterium równowagi, które zakłada występowanie lokalnej równowagi pomiędzy zmiennymi statystycznymi a naprężeniami stycznymi na ścianie. Poniżej przedstawiono równanie parametru ciśnieniowego Clausera  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\delta^*}{\tau_w} \frac{dP_\infty}{dx}$$

Dla warstwy przyściennej, która spełnia dane określone kryterium, powinien zatem istnieć uniwersalny profil prędkości czy też naprężeń Reynoldsa, przy stosowaniu odpowiednich redukcji lokalnymi skalami długości oraz prędkości. Warstwa niezrównoważona natomiast charakteryzuje się tym, że parametry warstwy przyściennej (przykładowo jej grubość) zmieniają się szybciej lub inaczej wzdłuż całego przepływu, dlatego też profile prędkości czy naprężeń Reynoldsa nie mogą być, tak jak w przypadku warstwy zrównoważonej, opisane wyłącznie parametrami lokalnymi. Warstwa niezrównoważona zazwyczaj zależna jest od historii przepływu, czyli warunków poprzedzających, a oprócz tego także od kolejnych skal długości i prędkości. Charakterystyczne to jest dla warstw przyściennych opływających powierzchnie zakrzywione czy też dla przepływów z gradientem ciśnienia [6].

Analiza polegająca na skalowaniu profili prędkości średniej oraz naprężeń Reynoldsa pozwala więc zweryfikować czy dany przepływ jest w równowadze czy też nie, czy istnieje uniwersalny profil prędkości średniej oraz naprężeń Reynoldsa dla danej warstwy przyściennej przy stosowaniu odpowiednich indywidualnych parametrów transformacji układu współrzędnych. Omawiając problem skalowania należy początkowo podzielić turbulentną warstwę przyścienną na dwa obszary, obszar wewnętrzny jak i obszar

zewnątrzny. W obszarze wewnętrznym, gdzie lepkość odgrywa istotną rolę, zakłada się, że przepływ zależny jest od naprężeń powstających na ścianie  $\tau_w$ , własności płynu jak i odległości od ściany. Natomiast w obszarze zewnętrznym zakłada się zazwyczaj, że przepływ zależny jest od grubości warstwy przyściennej jak i od prędkości zewnętrznej. Zaproponowane przez Prandtla [10] uniwersalne prawo skalowania w latach 30 – tych ubiegłego wieku wykazuje pełną zgodność dla obszaru wewnętrznego, natomiast dla obszaru zewnętrznego, który zajmuje przeszło 90% grubości całej warstwy przyściennej pojawia się wciąż wiele kontrowersji dotyczących jednolitego sposobu skalowania.

Zaproponowane przez Prandtla prawo skalowania profili średnich dla obszaru wewnętrznego opisane było zależnością:

$$\frac{U}{u_\tau} = f(y^+, \delta^+)$$

gdzie:  $y^+ = \frac{yu_\tau}{\nu}$ , a  $\delta^+$  jest lokalną liczbą  $Re_\tau$

Dla obszaru leżącego dalej od ściany stosowano przez wiele lat równanie logarytmicznego prawa ściany opisane poniższą zależnością:

$$\frac{U}{u_\tau} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{yu_\tau}{\nu} \right) + B$$

Wielkości w równaniu tj. stała von Kármána  $\kappa$  oraz stała  $B$  są wielkościami empirycznymi i przyjmuje się je jako wartości uniwersalne.

Clauser natomiast jako jeden z pierwszych zaproponował prawo skalowania, które potrafiło skalować obszar zewnętrzny turbulentnej warstwy przyściennej:

$$\frac{U_\infty - U}{u_\tau} = \dot{f}(y / \Delta) \quad \text{gdzie: } \Delta = \frac{\delta^* U_\infty}{u_\tau}$$

Kropka nad  $f$  w powyższym równaniu oznacza pochodną względem  $y / \Delta$ . Dla wyżej przedstawionych relacji samopodobieństwa przepływu istnieją wspólne skale zarówno długości jak i prędkości dla naprężeń Reynoldsa oraz średnich deficytów prędkości, określone w powyższym równaniu jako długości Rotta'y-Clausera  $\rightarrow \Delta$  oraz prędkość tarcia  $\rightarrow u_\tau$ . Czasami zamiast długości Rotta'y-Clausera  $\Delta$ , jako skali długości, używa się zastępczo grubości warstwy przyściennej  $\delta$ . Zgodnie z Clauserem [9] i Rotta'ą warstwy przyścienne opisane zależnościami w równaniach nazywane są tradycyjnie tzw. „zrównoważonymi warstwami przyściennymi”. Nawet sam Clauser później stwierdził, że taki typ

zrównoważonej warstwy przyściennej jest po pierwsze dosyć trudny do wygenerowania, a po drugie do utrzymania go w stanie równowagi. Z tego powodu większość przepływów klasyfikuje się jako przepływy nierównoważone.

### 3. Metody skalowania naprężeń Reynoldsa – wyniki

Opracowanie prawa skalowania naprężeń Reynoldsa jest trudnym zadaniem, ponieważ wiąże się to z weryfikacją jego uniwersalności w zależności od liczby Reynoldsa oraz w przypadku obecności gradientu ciśnienia w zależności od jego typów. Dodatkowo rozkład naprężeń Reynoldsa jest nieliniową funkcją liczby Reynoldsa oraz gradientu ciśnienia.

Metoda skalowania obszaru zewnętrznego zaproponowana przez Castillo-George'a [11] w roku 1997, oparta o analizę zmienności członów równań transportu pędu dla warstw przyściennych zapisanych z wykorzystaniem uśredniania Reynoldsa (równania RANS) wygląda następująco:

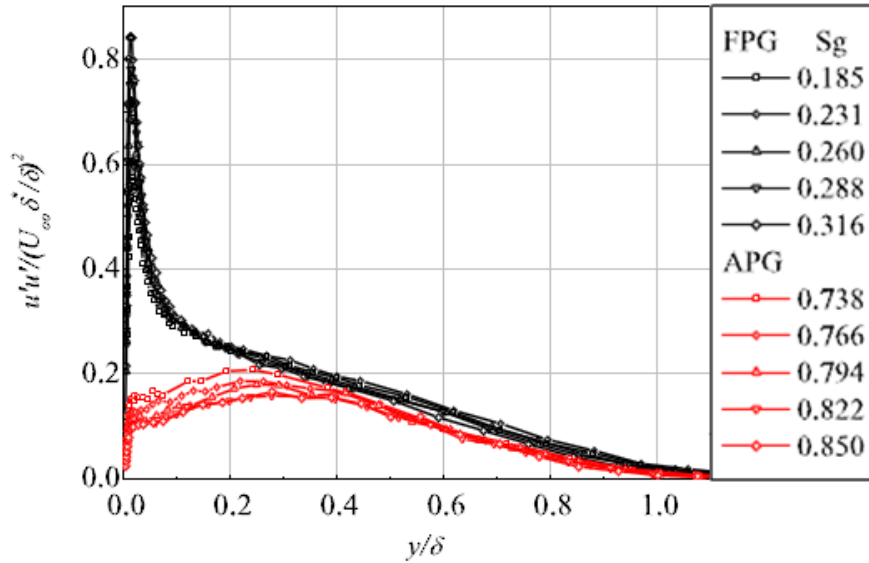
$$\frac{u'u'}{U_\infty^2} = g_{11}(y/\delta), \quad \frac{v'v'}{U_\infty^2} = g_{22}(y/\delta),$$

$$\frac{-u'v'}{U_\infty^2(d\delta/dx)} = g_{12}(y/\delta)$$

Rozszerzając natomiast to prawo skalowania dla przepływów znajdujących się w stanie równowagi, oraz będących pod wpływem gradientu ciśnienia George'a oraz Castillo [12] stwierdzili, że warunek samopodobieństwa przepływu obowiązuje tylko wtedy, kiedy parametr ciśnienia  $\Lambda$ , który zdefiniowany został w poniższym równaniu, jest stały.

$$\Lambda = \frac{\delta}{(\rho U_\infty^2 d\delta/dx)} \frac{dP_e}{dx} = - \frac{\delta}{(U_\infty d\delta/dx)} \frac{dU_\infty}{dx}$$

Najczęściej przyjmuje się dla skal zewnętrznych turbulentnej warstwy przyściennej odpowiednie oznaczenia. Dla deficytu prędkości jest to  $\rightarrow U_\infty$ , dla naprężeń normalnych natomiast  $\rightarrow U_\infty^2$  oraz dla naprężeń stycznych  $\rightarrow U_\infty^2(d\delta/dx)$ . Castillo i George [12] w swoich pracach badawczych wykazali równowagę występującą w przepływach dla odpowiednich stałych wartości parametru ciśnieniowego  $\Lambda$ . Jak przedstawiono poniżej profile przeskalowane metodą zaproponowaną przez Castillo-George'a ułożyły się prawie że idealnie dla obszaru z ujemnym gradientem ciśnienia (FPG) – patrz Rys.3 – natomiast dla obszaru z dodatnim gradientem ciśnienia (APG) tendencja ułożenia jest zachowana, lecz można zauważyć, że profile te nie do końca układają się na jednej linii [13].



**Rysunek 3. Profile przeskalowane metodą Castillo-George'a [13]**

Zagarola-Smits w roku 1998 [14] zaproponowali inną skalę, która pierwotnie oparta była na obserwacjach prawa defektu prędkości przepływu w rurze a następnie rozszerzona dla przypadku zewnętrznego obszaru turbulentnej warstwy przyściennej. Zaproponowany przez nich nowy typ skali prędkości zawierał w sobie stosunek liniowej straty wydatku  $\rightarrow \delta^*$  do grubości warstwy przyściennej  $\rightarrow \delta$ :

$$U_{zs} = U_{\infty} \frac{\delta^*}{\delta}$$

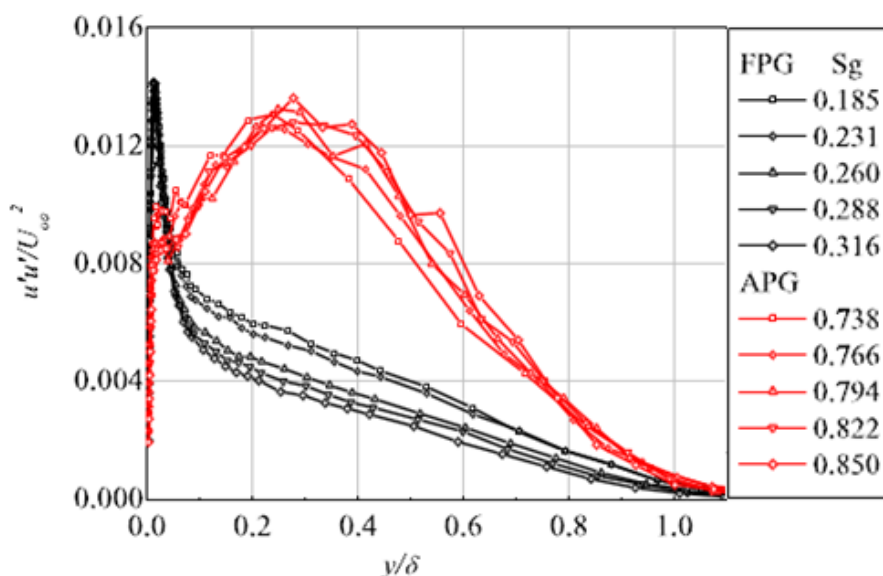
Napężenia Reynoldsa były w tej metodzie redukowane poprzez kwadrat prędkości  $\rightarrow U_{zs}^2$ . Zastosowany stosunek natomiast  $\rightarrow \delta^* / \delta$  pozwolił na usunięcie wpływu lokalnej skończonej liczby Reynoldsa ( $Re$ ) dla przepływów z małą oraz średnią wartością  $\rightarrow Re$ , gdzie stosunek ten nie był stały wzdłuż całego przepływu, co eliminowało wpływ warunków wlotowych. Z drugiej zaś strony, jeżeli stosunek  $\rightarrow \delta^* / \delta$  dążył do  $\rightarrow U_{\infty} / u_{\tau}$ , wtedy skalowanie to było jednoznaczne ze skalowaniem von Kármána, w którym deficyt prędkości  $\rightarrow (U_{\infty} - U)$  był redukowany prędkością tarcia  $\rightarrow u_{\tau}$ . Skalowanie Zagarola i Smits'a (ZS) wobec tego automatycznie pozwala na usunięcie pewnego poziomu zależności od liczby Reynoldsa ( $Re$ ) oraz warunków wlotowych. Natomiast nie dotyczy to znowu wszystkich turbulentnych warstw przyściennych.

Prawo skalowania zaproponowane przez Zagarola-Smits'a wyglądało następująco:

$$\frac{u'u'}{U_{zs}^2} = g_{11}(y/\delta), \quad \frac{v'v'}{U_{zs}^2} = g_{22}(y/\delta), \quad \frac{-u'v'}{U_{zs}^2} = g_{12}(y/\delta),$$



Profile przeskalowane prawem skalowania zaproponowanego przez Zagarola-Smits'a przedstawiono poniżej:

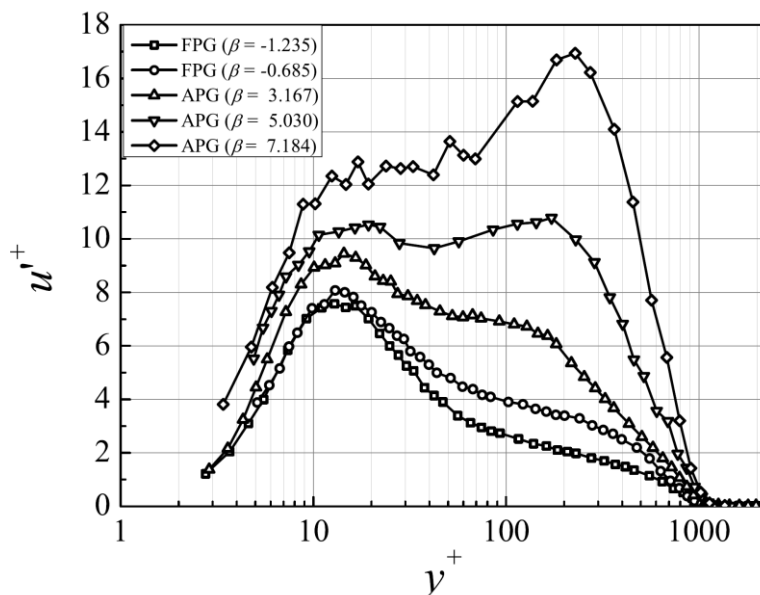


**Rysunek 4. Profile przeskalowane metodą Zagarola-Smits'a [13]**

Skalowanie Zagarola-Smitsa jest bardziej uniwersalne niż skalowanie zaproponowane przez Castillo-George'a ponieważ posiada szerszy zakres stosowalności. Jednakże pomiędzy ujemnym gradientem ciśnienia (FPG) i dodatnim gradientem ciśnienia (APG) różnice w kształcie profili są znaczne.

Wyniki najnowszych badań dotyczących skalowania naprężeń Reynoldsa były przeprowadzane dla zerowego gradientu ciśnienia (ZPG) oraz wysokiej liczby Reynoldsa ( $Re$ ). Szczególną uwagę w czasie badań zwrócono na pojawiający się w obszarze zewnętrznym tzw. „drugiego pik” (Patrz Rys.5), który jest zewnętrznym maksimum  $\overline{uu}$  przy wystarczająco wysokiej liczbie Reynoldsa ( $Re$ ). Podstawowa, fizyczna znajomość pojawiającego się zewnętrznego piku nadal nie jest do końca dobrze rozumiana. Marusic oraz Alfredsson zauważyli, że zewnętrzny pik pojawia się w przypadku wysokiej liczby Reynoldsa. Zastosowanie filtracji sygnału dla prędkości wykazało, że przejawem wzrostu piku zewnętrznego jest przyrost energii ruchu płynu o dużych skalach. Monty i inni wykazali istnienie zewnętrznego piku dla turbulentnych warstw przyściennych przy dodatnim gradientcie ciśnienia (APG) udowadniając jednocześnie, że było to głównie spowodowane ruchami płynu (zawirowaniami) o dużych skalach [6]. Wykonując analizę procesu bursting Drózd i Elsner [15] wykazali, że powodem występowania zewnętrznego piku może być również spowodowane ciągłym wzrostem kąta nachylenia struktur wirowych wzdłuż dodatniego gradientu ciśnienia (APG).

Poniżej na Rys.5 przedstawiono przykładowe profile prędkości naprężeń Reynoldsa skalowane o prędkość tarcia  $u_\tau$ , w których zauważyć można pojawiający się pik zewnętrzny dla profilu prędkości o dodatnim gradiencie ciśnienia (*APG*) np. dla  $\beta \rightarrow 7.184$ .



**Rysunek 5. Profile naprężeń Reynoldsa skalowane o prędkość tarcia  $u_\tau$  [15]**

Przykładowe dane eksperymentalne (patrz Rys.5) pokazują, że wraz ze wzrostem parametru ciśnieniowego  $\beta$  następuje wzrost naprężeń w obszarze zewnętrznym turbulentnej warstwy przyściennej. Całkiem niedawno Harun oraz inni [16] w roku 2013 zdefiniowali postać zewnętrznego piku w przepływie z dodatnim gradientem ciśnienia (*APG*) i doszli do wniosku, że stały współczynnik skalowania wzdłuż grubości warstwy przyściennej nie jest odpowiedni w przypadku skalowania profili naprężeń Reynoldsa.

Wydaje się, że rozwiązaniem tego problemu może być propozycja skalowania podana przez Alfredssona i innych w roku 2012 [17]. Metodyka ta określana w skrócie (Skalowanie AOS) opracowana została dla przyściennych turbulentnych przepływów, w których skala jest zmienna i równa średniej prędkości lokalnej  $U$ . Alfredsson i inni [17] udowodnili, że intensywność turbulencji  $u'/U$  w regionie zewnętrznym układu się na linii prostej w zależności od  $U/U_\infty$ . Parametry tej linii dla turbulentnych warstw przyściennych opisane są następującym wzorem:

$$\frac{u'}{U} = 0.286 - 0.255 \frac{U}{U_\infty}$$

Aby otrzymać nałożenie się danych z regionu w pobliżu ściany Alfredsson zaproponował tzw. „funkcje różnicową”, gdzie  $U/U_\infty$  zastąpiono bezwymiarowym układem

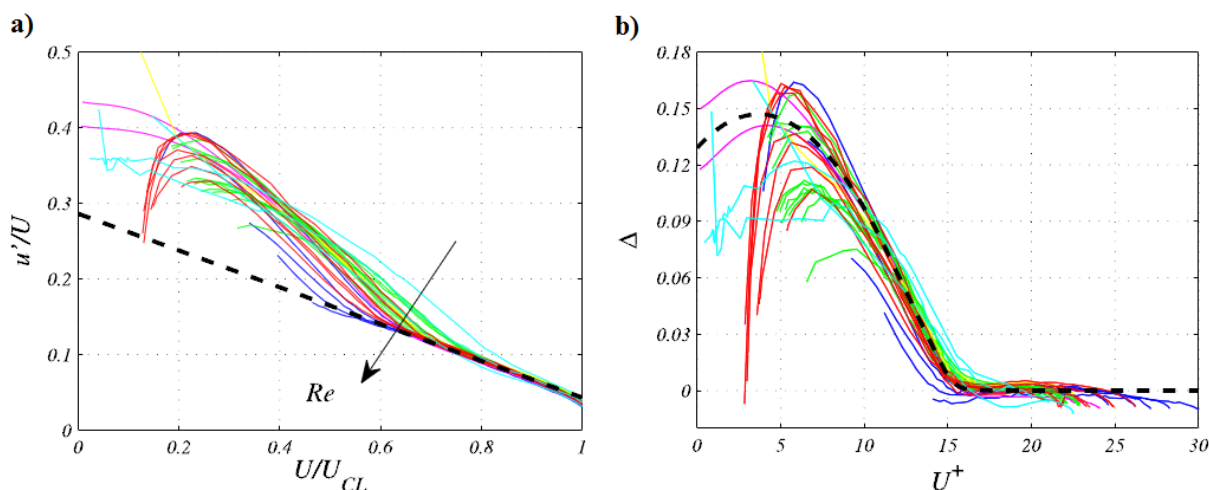
współrzędnych  $U^+$  w celu uzyskania zależności dla całego rozkładu fluktuacji prędkości  $\rightarrow u'$ .

$$\Delta(U^+) = \frac{u'}{U} - \left( 0.286 - 0.255 \frac{U}{U_\infty} \right)$$

gdzie:  $U^+ = U / u_\tau$ ,  $u_\tau = (\tau_w / \rho)^{1/2}$  – prędkość tarcia,

$\tau_w = \mu \frac{\partial U}{\partial y}$  – naprężenie styczne na ścianie,  $\rho$  – gęstość płynu

Profile prędkości przeskalowane metodą AOS zostały przedstawione poniżej:



**Rysunek 6. Profile przeskalowane metodą AOS: a) zredukowanej równaniem linii prostej b) funkcją różnicową  $\Delta$  [13]**

#### 4. Podsumowanie

Jak można było zauważyć na Rys.6 profile przeskalowane metodą AOS mają tendencję układania się na jednej linii oraz są zależne od wartości liczby Reynoldsa. Im ta liczba jest większa, tym profile przeskalowane układają się bliżej linii w obszarze wewnętrznym. Alfredsson wykazał, że opracowane przez niego prawo skalowania (AOS) jest słuszne dla turbulentnych warstw przyściennych przy zerowym gradiencie ciśnienia (ZPG). W przypadku dodatniego gradientu ciśnienia sprawa wygląda już inaczej, bowiem profile nie układają się już na jednej linii. Rozwiązaniem tego problemu jest zmodyfikowane prawo skalowania opracowane przez Drózdza i Elsnera [15].

Drózdź i Elsner wykazali, że w celu prawidłowego skalowania w przepływach z gradientem ciśnienia, należy uwzględnić dodatkowe czynniki wagowe. Jednym z nich jest parametr kształtu:

$$H = \delta^* / \theta$$

gdzie:  $\delta^*$  – miara liniowa straty wydatku [m]

$\theta$  — miara liniowa straty pędu [m]

Zastosowanie dodatkowego skalowania za pomocą współczynnika kształtu wydaje się mieć duże znaczenie dla warstw przyściennych będących pod wpływem gradientu ciśnienia ze względu na charakterystyczną cechę parametru kształtu  $H$ , a mianowicie jego słabą zależność od liczby Reynoldsa oraz silną zależność od gradientu ciśnienia.

Interesujące jest pytanie, czy skalowanie  $M_{AOS}$ , jest na tyle uniwersalne, że może opisać obecność piku zewnętrznego występującego w przypadku dodatniego gradientu ciśnienia (APG), ale dla różnych jego wartości. Duża różnorodność proponowanych praw skalowania, które zostały opisane powyżej pokazuje, że jest to ważny problem i że konieczne jest poszukiwanie uniwersalnego skalowania dla niezerowego gradientu ciśnienia a zwłaszcza dla przepływów z silnym, dodatnim gradientem ciśnienia.

### Bibliografia:

1. L. Howarth: *Laminar Boundary Layer*, in *Handbuch der Physik*, herausgegeben von S. Flügge mit C. Truesdel, Bd. VIII/1 *Strömungsmechanik I*, Springer, Berlin – Göttingen – Heidelberg, 1959.
2. H. Schlichting: *Grenzschicht-Theorie*, Braun, Karlsruhe, 1965.
3. Stanisław Drobnia, Tomasz A. Kowalewski, *MECHANIKA PŁYNÓW – DLACZEGO TAK TRUDNO PRZEWIDZIEĆ RUCH PŁYNU?* rok 2010 .  
[http://fluid.ippt.pan.pl/papers/Drobnia\\_Kowalewski\\_MechanikaPlynow2010c.pdf](http://fluid.ippt.pan.pl/papers/Drobnia_Kowalewski_MechanikaPlynow2010c.pdf)
4. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Turbulencja>
5. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Skalowanie>
6. Artur Drózd, Analiza procesów transportu energii w turbulentnej warstwie przyściennej w obecności gradientu ciśnienia. Rozprawa doktorska, Politechnika Częstochowska, Styczeń 2012.
7. Krystyna Jeżowiecka-Kabsch, Henryk Szewczyk, *Mechanika płynów*, Drukarnia Oficyny wydawniczej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001, ISBN 83-7085-597-0
8. [www.pg.gda.pl/~krzyte/students/WZMPMBM5](http://www.pg.gda.pl/~krzyte/students/WZMPMBM5) J. Szantyr – Wykład 5 – Turbulentna warstwa przyścienna.
9. Clauser F. H. 1956, The turbulent boundary layer. *Adv. Appl. Mech.* **4**, 1–51.
10. Prandtl L. 1932, Zur Turbulenten Strömung in Rohren und längs Platten,” *Ergeb. Aerod. Versuch Göttingen*, TR 4.
11. George W.K. i Castillo L. 1997, Zero-Pressure-Gradient Turbulent Boundary Layer, *Appl. Mech. Review* **50**, 689-729.
12. Castillo L. i George W. K. 2001, Similarity Analysis for Turbulent Boundary Layer With Pressure Clark, J. A. i Markland, E. 1971, Flow visualization in turbulent boundary layer. *J. Hydraul. Div. ASCE* **97**, 1653–1664.
13. Artur Drózd, Witold Elsner, Stanisław Drobnia, Scaling of streamwise Reynolds stress for turbulent boundary layers with pressure gradient, *European Journal of Mechanics B/Fluids* **49** (2015) 147-145, Czestochowa 2014.
14. Zagarola M. V., i Smits A. J. 1998, Mean-Flow Scaling of Turbulent Pipe Flow, *J. Fluid Mech.* **373**, 33–79.

15. A. Drózdź and W. Elsner, An attempt to scale Reynolds stresses in pressure gradient turbulent boundary layer, Institute of Thermal Machinery, Czestochowa Univ. of Tech., Czestochowa, Poland.
16. Harun i Markland, E. 2013, Flow visualization in turbulent boundary layer. *J.Hydraul. Div. ASCE* , 1653–1664.
17. P.H. Alfredsson, R. Örlü, A. Segalini, A new formulation for the streamwise turbulence intensity distribution in wall-bounded turbulent flows, *Eur. J. Mech. B/Fluids* (ISSN: 09977546) 36 (2012) 167–175.<http://dx.doi.org/10.1016/j.euromechflu.2012.03.015>.  
URL: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0997754612000490>.

## 24. TURBULENTNA WARSTWA PRZYŚCIENNA I NAPRĘŻENIA REYNOLDSA – DOTYCHCZASOWE BADANIA

**Mathias Romańczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Maszyn Ciepłych

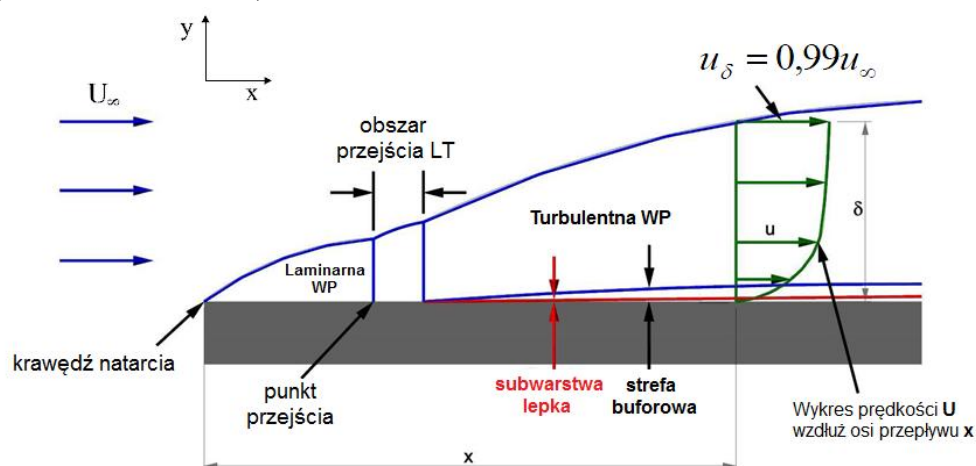
al. Armii Krajowej 21; 42-201 Częstochowa

Promotor: Prof. dr hab. inż. Witold Elsner

Email: mathias@imc.pcz.czyst.pl

### 1. Wstęp

Pojęciem warstwa przyścienna (warstwa graniczna) rozumie się część obszaru przepływu, który bezpośrednio sąsiaduje z powierzchnią opływającego ciała. Znaczącą rolę odgrywają w niej siły lepkości i oraz występowanie znacznych poprzecznych gradientów prędkości przepływu. Przepływ można praktycznie uważać za nielepki poza warstwą przyścienną. Przepływ w warstwie przyściennej może być laminarny lub turbulentny. Umowną grubość warstwy przyściennej  $\delta$  określa osiągnięcie prędkości  $U_\delta = 0,99U_\infty$  (gdzie  $U_\infty$  to prędkość niezakłócona).



**Rysunek 1. Rozwój warstwy przyściennej na płaskiej płycie [5]**

Laminarna warstwa przyścienna jest to warstwa tworząca się tuż na początku przepływu, za krawędzią natarcia. Występuje ona zawsze bez względu na charakter napływającej strugi (czy laminarnej czy turbulentnej). Jest to przepływ quasi-potencjalny (trajektorie 1D). Występuje w niej dyfuzja molekularna – przenikanie cząstek z obszarów o większym ich stężeniu do obszarów o mniejszym stężeniu (tzw. mieszanie się). Jej grubość jest znacznie mniejsza od grubości turbulentnej warstwy przyściennej. Długość jej występowania zależy od wielu parametrów, jak chropowatości powierzchni, prędkości napływu itd. Turbulizacja warstwy przyściennej następuje w wyniku utraty stateczności. Za kryterium stateczności przyjmuje się najczęściej liczbę Reynoldsa ( $Re$ ), przy czym wymiar charakterystyczny to odległość od krawędzi natarcia lub grubość warstwy przyściennej. Turbulentna warstwa przyścienna jest to warstwa tworząca się po tym jak oscylacje płynu

prowadzą do nieregularnego, chaotycznego ruchu. Występują ruchy elementów płynu w poprzek przepływu głównego (trajektorie 3D). Występuje intensywna wymiana masy i pędu w poprzek warstwy przyściennej. Następuje przyspieszanie elementów płynu położonych w obszarze przyściennym. Jej grubość oraz długość występowania jest znacznie większa niż w przypadku laminarnej warstwy przyściennej [2,4,5].

Już od wielu dziesięcioleci badana jest generacja jak i adwekcja struktur turbulentnych (chaotycznych) w turbulentnej warstwie przyściennej rozwijającej się na płaskiej płycie również jak ich wpływ na produkcję turbulencji oraz naprężeń powierzchniowych. Wysiłek włożony w badania nad turbulentną warstwą przyścienną jest ogromny, lecz stan wiedzy w tymże zakresie nadal jest zbyt mały. Udostępnione prace nad tą tematyką ukazują złożoność przepływu jak również techniczne trudności w jego opisie [6].

## 2. Matematyczny opis turbulentnego ruchu płynu

Matematyczny opis turbulentnego ruchu płynu określają równania Reynoldsa [5]. Reynolds bowiem założył, że wszystkie charakteryzujące parametry w przepływie turbulentnym, w tym prędkość  $U$  oraz ciśnienie płynu  $p$  mogą zostać przedstawione w postaci sumy ich wartości średnich (tzw. wolnozmiennych) jak również fluktuacji turbulentnych, czyli:

$$\bar{u} = \bar{U} + \bar{u}' \quad p = P + p'$$

gdzie  $U$  jest prędkością przepływu uśrednionego:

$$\bar{U} = \bar{i}U + \bar{j}V + \bar{k}W$$

a  $u'$  jest turbulentną fluktuacją prędkości:

$$\bar{u}' = \bar{i}u' + \bar{j}v' + \bar{k}w'$$

Podstawienie w ten sposób zapisanych prędkości oraz ciśnienia do równania Naviera-Stokesa ujawnia nowe siły powierzchniowe, zwane naprężeniami turbulentnymi [5]:

$$\begin{aligned} \frac{DU}{Dt} &= -\frac{\partial P}{\partial x} \cdot \frac{1}{\rho} + \nu \operatorname{divgrad} U - \left[ \frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \right] \\ \frac{DV}{Dt} &= -\frac{\partial P}{\partial y} \cdot \frac{1}{\rho} + \nu \operatorname{divgrad} V - \left[ \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'^2}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \right] \\ \frac{DW}{Dt} &= -\frac{\partial P}{\partial z} \cdot \frac{1}{\rho} + \nu \operatorname{divgrad} W - \left[ \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w'^2}}{\partial z} \right] \end{aligned}$$

Powyższe równania dotyczą przepływu płynu nieściśliwego gdzie naprężenia normalne określone zostały jako:

$$\tau_{xx} = -\rho \overline{u'^2}$$

$$\tau_{yy} = -\rho \overline{v'^2}$$

$$\tau_{zz} = -\rho \overline{w'^2}$$

Natomiast naprężenia styczne (ścinające):

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = -\rho \overline{u'v'}$$

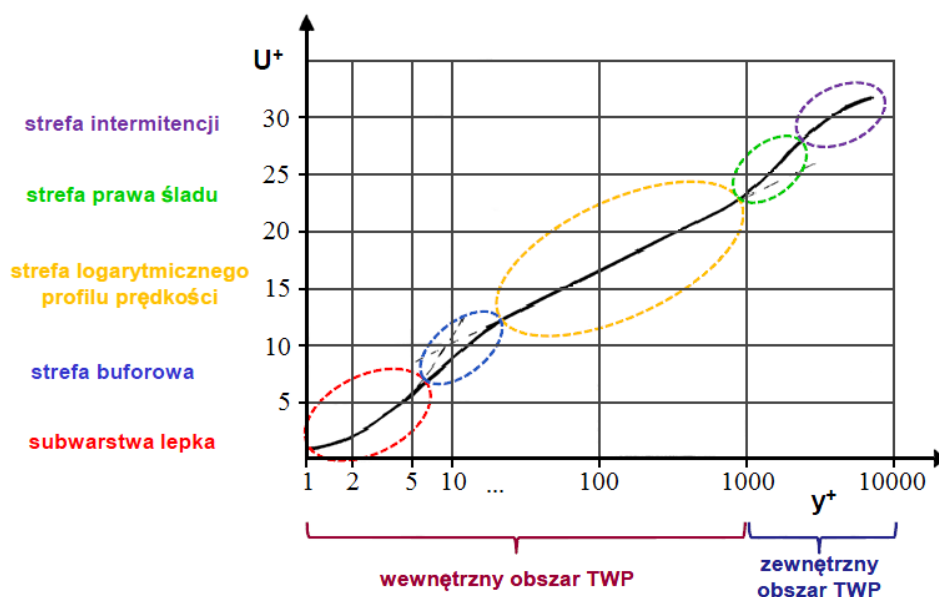
$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = -\rho \overline{u'w'}$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = -\rho \overline{v'w'}$$

Naprężenia turbulentne, które zwane są również naprężeniami Reynoldsa, zależne są od wartości turbulentnych fluktuacji prędkości przepływu  $u'$  a nie od lepkości płynu  $\nu$ . Można również wykazać, że tworzą symetryczny tensor naprężeń. Naprężenia Reynoldsa stanowią dodatkowych sześć niewiadomych w układzie równań Reynoldsa. Żeby zredukować liczbę niewiadomych w równaniu oraz zamknąć układ równań konieczne jest zastosowanie do tego celu odpowiednich modeli turbulencji. Równania Reynoldsa stanowią podstawę większości kodów obliczeniowych stosowanych w obszarze numerycznej mechaniki płynów [5].

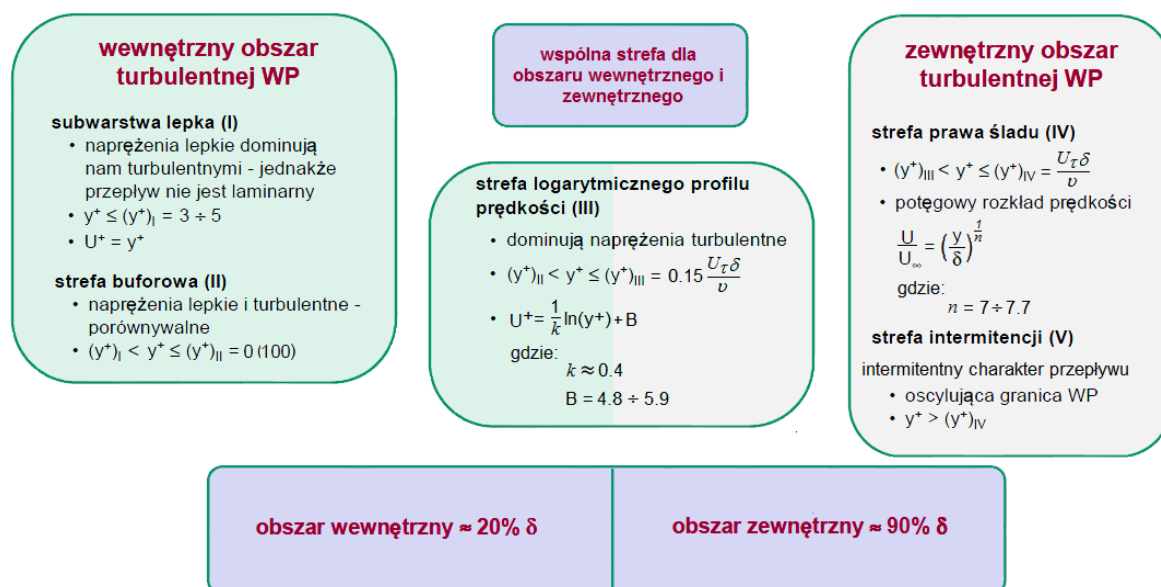
W dotychczas przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że w turbulentnej warstwie przyściennej oprócz szeregu drobnych skal występują również tzw. quasi-periodyczne struktury koherentne, które odpowiadają za produkcję, dyssypację jak również transport masy, pędu oraz energii. Choć te quasi-periodyczne, grubo-skalowe wiry, będące obecne w strefie zewnętrznej turbulentnej warstwy przyściennej, zawierają znaczny udział całkowitej energii przepływu, to, jak to wykazali w swoich publikacjach Klebanoff [7] oraz Pope [8] prawie całość produkcji turbulentnej energii kinetycznej (TKE) zachodzi w obszarze w pobliżu ściany. Efektem tego procesu jest występowanie dużych wartości naprężeń Reynoldsa, które w najczęstszym przypadku są rezultatem tzw. ruchu zorganizowanego w subwarstwie lepkiej oraz w strefie buforowej. Są to strefy wewnętrznego obszaru turbulentnej warstwy przyściennej (TWP), w których można zaobserwować wysoką wartość inter-korelacji między dwoma składowymi prędkości fluktuacji [6,7,8].





**Rysunek 2. Wielostrefowy model turbulენტnej warstwy przyściennej (TWP) [9]**

W subwarstwie lepkiej naprężenia molekularne (lepkie) wyraźnie dominują nad naprężeniami turbulentnymi, jednakże przepływ tutaj nie jest laminarny. W strefie buforowej zwanej także strefą pośrednią, naprężenia molekularne (lepkie) i naprężenia turbulentne mają zbliżone wartości. W strefie logarytmicznego profilu prędkości zachodzi zależność pomiędzy wielkościami bezwymiarowego układu współrzędnych  $U^+$  oraz  $y^+$ . Zależność ta opisana została na Rys.3. Subwarstwa lepka oraz strefa buforowa wspólnie ze strefą logarytmicznego profilu prędkości tworzą wewnętrzny obszar turbulენტnej warstwy przyściennej (TWP), który zajmuje około 20% grubości całej warstwy przyściennej. W strefie prawa śladu występuje potęgowy rozkład prędkości, a ostatni obszar turbulენტnej warstwy przyściennej to tzw. strefa intermitencji gdzie zauważalna staje się już być granica warstwy przyściennej (WP). W strefie intermitencji ma miejsce intermitteny charakter przepływu, który jest konsekwencją istnienia ruchomej powierzchni rozdziału pomiędzy turbulentnym ruchem w warstwie a ruchem płynu poza nią, posiadający znacznie niższą intensywność turbulencji. Strefa logarytmicznego profilu prędkości, strefa prawa śladu oraz strefa intermitencji tworzą zewnętrzny obszar turbulენტnej warstwy przyściennej (TWP), który przeciętnie zajmuje około 90% całkowitej grubości warstwy przyściennej. Strefa logarytmicznego profilu prędkości jest wspólną strefą zarówno dla obszaru wewnętrznego jak i zewnętrznego. Scharakteryzowanie obu obszarów turbulენტnej warstwy przyściennej zostało przedstawione na Rys.3.



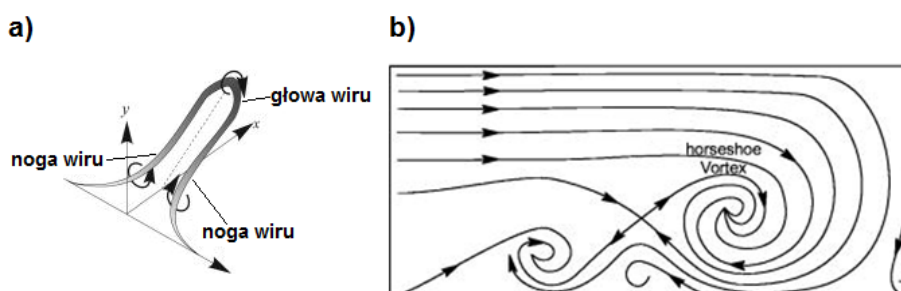
**Rysunek 3. Scharakteryzowanie wewnętrznego oraz zewnętrznego obszaru TWP [9]**

Struktura przepływu w subwarstwie lepkiej oraz strefie buforowej zorganizowana jest w naprzemienne, wąskie strugi zarówno o wysokiej jak i niskiej prędkości. Produkcja turbulentnej energii kinetycznej (TKE) zachodzi głównie w strefie buforowej, gdzie występują intermitentne, gwałtowne wyrzuty elementów płynu mające niską prędkość od ściany oraz podczas gdy następuje zagarnianie elementów płynu mające wysoką prędkość w kierunku ściany. Zdarzenia opisujące gwałtowne wyrzuty elementów płynu uważane za intermitentne, quasiokresowe procesy są coraz to częściej opisywane w wielu pracach eksperymentalnych jako tzw. zjawisko „bursting” [6].

Opisem tego zjawiska zajęli się między innymi naukowcy tacy jak: Klebanoff [7], Smith i Metzler [10], Acarlar i Smith [11] oraz wiele innych badaczy. Termin „bursting” użyto po raz pierwszy w roku 1963 przez naukowca Runstadlera [12]. Opisuje on charakterystyczny kształt sygnału prędkości, który składa się ze zdarzeń o intermitentnym charakterze mającym duże wartości gradientu prędkości. Zjawisko „bursting” w większości pozycji literaturowych określane jest terminem: „zdarzenie burst” lub jako „struktura burst”. Źródło pochodzenia procesu bursting [6], zgodnie z danymi literaturowymi można podzielić na dwie grupy. Po pierwsze poprzez intermitentne erupcje płynu od ściany wywołane jakąś formą lokalnej niestabilności o której piszą w swoich opracowaniach Suponitsky, Cohen oraz Bar-Yoseph [13]. Po drugie poprzez wyrzuty płynu od ściany spowodowane przejściem jednego lub kilku nachylonych, tzw. quasi-wzdłużnych struktur wirowych, które występują w przepływie przez znacznie dłuższy okres czasu o czym piszą w swoich opracowaniach Acarlar i Smith [11] oraz wiele innych badaczy. W obu tych procesach ważną rolę odgrywa struktura wiru. W pierwszym przypadku wir (lub formacja wirów) formuje się w warstwie wewnętrznej poprzez wzrost zaburzeń, które wywoływane są strukturami obecnymi w warstwie zewnętrznej. W drugim przypadku formacja wirów następuje poprzez przejścia dużych struktur wirowych w warstwie wewnętrznej. Mechanizmy wyżej opisane różnią się nie tylko skalą czasową ale również występowaniem lub niewystępowaniem niestabilności przepływu. Badania wykonane przez Hamiltona [14] i Viswanatha [15] wskazują, że proces bursting może zostać wyjaśniony na podstawie rozwiązania równań Naviera–Stokesa przy

odpowiednim dobraniu okresowych warunków brzegowych. Viswanath [15] jako jeden z nielicznych podaje typy tych warunków brzegowych. Pomimo wielu wysiłków włożonych w te badania, ciągle nie ma zgody z tym czym jest proces bursting, jaki typ struktury wirowej odpowiedzialny jest za jego występowanie oraz jaka jest rola procesu bursting w generacji, wzroście oraz zaniku struktur wirowych w przepływie w pobliżu ściany. Często spotykane są odmienne zdania na temat rodzaju struktur dominujących w przepływie w pobliżu ściany, jak również ich powiązanie ze zjawiskiem bursting [6].

Dyskusję na temat obecności struktur wirowych w warstwie przyściennej zapoczątkował Theodorsen [16], który zaprezentował w swoim opracowaniu model symetrycznej struktury wirowej mająca kształt litery  $\Omega$ . Struktury te różnie nazywano ze względu na kształt, który się zmieniał w zależności od liczby Reynoldsa ( $Re$ ). Dla małych liczb Reynoldsa wir taki przyjmuje kształt podkowisty, dlatego też został nazwany angielską nazwą „horseshoe vortex”. W przypadku wysokich liczb Reynoldsa ( $Re$ ) wir taki przybiera kształt szpilki lub spinki do włosów, dlatego też został nazwany angielską nazwą jako „hairpin vortex”. Obraz obu struktur wirowych przedstawiono na kolejnej stronie na Rys.4 [6,17].



**Rysunek 4. Obrazy struktur wirowych – a) hairpin vortex, b) horseshoe vortex [17]**

Wiry takie posiadają dwie charakterystyczne tzw. nogi, które są nachylone pod kątem  $45^\circ$  do ściany [6,17]. Naukowiec Hinze [18] przedstawił model wiru opierającego się na dynamice wirów podkowistych. Ten model wyjaśnia wiele wcześniej zaobserwowany proces produkcji turbulencji. Wiry takie w pierwszej fazie rozwoju są wirami poprzecznymi, które w następnej kolejności są unoszone oraz rozciągane do formy przeciwnie obracających się wirów, które w efekcie tworzą nogi struktury podkowistej. Head i Bandyopadhyay [19] pokazali obraz wirów podkowistych dla różnych liczb Reynoldsa, używając wizualizacji dymowej w swoim doświadczeniu. Wiry nachylone w początkowej części przepływu pod kątem  $45^\circ$  do ściany były czasem tak duże, że zajmowały nawet całą strefę zewnętrzną. Wallace [20] w swojej pracy badawczej podsumował poprzednie wyniki oraz wskazał, że wiry szpilkowe są dominującą strukturą przepływu w pobliżu ściany [6]. Ostatnie badania [21] sugerują jednak, że wiry tego typu występują tylko dla przepływów o niskiej liczbie Reynoldsa.

Odrębnym aspektem, który związany jest z ruchem wirów w turbulentnej warstwie przyściennej (TWP) jest ich prędkość konwekcji. Jest ona wykorzystywana między innymi w hipotezie Taylora, która opiera się o założeniu „zamrożonego” charakteru struktury warstwy. Stąd też możliwe jest użycie prędkości konwekcji, by móc odzwierciedlić przestrzenną strukturę warstwy w sygnałach czasowych. W zewnętrznej strefie warstwy

przyjąć można, że dominujące struktury przepływu przemieszczają się z prędkością będącej równą prędkości średniej. Natomiast w subwarstwie lepkiej oraz strefie buforowej ich prędkość jest niezależna wraz z odległością od ściany [6].

Jak wynika z wyżej przedstawionej części przeglądu literaturowego na temat struktury turbulentnej warstwy przyściennej (TWP) poziom wiedzy jest dosyć obszerny. Natomiast wciąż istnieje wiele wątpliwości, co do mechanizmów i zjawisk w niej zachodzących. Przede wszystkim jest brak spójności opisu dotyczącego roli struktur wirowych zorganizowanych w procesie transportu energii, które zachodzą w turbulentnej warstwie przyściennej. Gdyby udało się uzyskać spójny opis tych zjawisk, pozwoliłoby to na stworzenie uniwersalnego modelu matematycznego, którego można by użyć w numerycznym modelowaniu turbulentnej warstwy przyściennej. Dodatkowy problem stwarza również obecność gradientu ciśnienia, który modyfikuje znacząco te zjawiska.

### **3. Struktura turbulentnej warstwy przyściennej pod wpływem silnego gradientu ciśnienia, Interakcja strefy wewnętrznej i zewnętrznej – wyniki**

Turbulentna warstwa przyścienna może być poddana trzem różnym rodzajom gradientom ciśnienia. Jest nim zerowy gradient ciśnienia (ZPG), ujemny gradient ciśnienia (FPG) oraz dodatni gradient ciśnienia (APG). W każdym z tych trzech przypadków panują różne warunki przepływowe. Warunki te zależne są od wartości gradientu prędkości wzdłużnej, różnego kształtu pola prędkości średniej i składników fluktuacyjnych prędkości w warstwie przyściennej.

Turbulentna warstwa przyścienna poddana silnemu dodatniemu gradientowi ciśnienia wykazuje całkowicie odmienne zachowanie niż w przypadku turbulentnej warstwy przyściennej poddanej zerowemu (ZPG) oraz ujemnemu gradientowi ciśnienia (FPG). Na podstawie przeprowadzonych badań Materny oraz innych [22] stwierdzono, że w warunkach dodatniego gradientu ciśnienia następuje gwałtowny wzrost grubości warstwy przyściennej. Charakterystycznym efektem jest pewne odsunięcie profilu prędkości średniej od standardowej funkcji opisującej prawo ściany jak i prawo śladu. Zgodnie z pracami badawczymi Nagano oraz innych [23] zaobserwować można obniżenie się rozkładu profilu prędkości w strefie tzw. prawa ściany jak również wzrostu rozkładu profilu prędkości w strefie prawa śladu. Widać wyraźny wzrost parametru kształtu  $\rightarrow H$  oraz spadek naprężeń powierzchniowych aż do zera (w przypadku oderwania warstwy przyściennej). Następuje wzrost względnej intensywności turbulencji w zewnętrznym obszarze warstwy przyściennej. Shah oraz inni [24], przeprowadzając badania stwierdzili, że efektem pojawienia się zewnętrznego maksimum (tzw. piku) jest wzrost energii grubych skal występujący w strefie logarytmicznej, który jest szerszy oraz silniejszy od wartości tego piku (maksimum) wewnętrznego w skali lepkiej. Wraz z rozwojem warstwy przyściennej zwiększa się również dystans między pikiem zewnętrznym a ścianą. Zachowanie takie oznacza, że fluktuacje  $u'$  powstające w okolicach piku zewnętrznego wywołane zostały przez inne struktury, posiadające inny mechanizm tworzenia się niż fluktuację powstające w okolicach piku wewnętrznego gdzie mechanizm ten jest bardzo dobrze znany [6].

Możliwość występowania sprzężenia (interakcji) pomiędzy strefą wewnętrzną, czyli procesów zachodzących w bezpośredniej bliskości ściany oraz strefą zewnętrzną turbulentnej

warstwy przyściennej sugeruje znaczący rozmiar wirów szpilkowych pojawiających się w kierunku normalnym do ściany. Koncepcję taką potwierdzają również wyniki badań Kobashiego oraz Ichijoma [25], którzy udowodnili, że niska częstotliwość fluktuacji ciśnienia zmierzona blisko ściany jest związana z grubo-skalowymi ruchami w strefie zewnętrznej turbulentnej warstwy przyściennej. Myose oraz Blackwelder [26] zwrócili szczególną uwagę na istotne znaczenie wirowości poprzecznej w procesie produkcji turbulencji w pobliżu ściany. Przedstawione przez nich rezultaty pokazują, że rozpad wirów szpilkowych przy samej ścianie może być wywołany przez przyrost składowej wzdłużnej prędkości, która skojarzona jest z zewnętrznym obszarem turbulentnej warstwy przyściennej [6].

Badania Mathisa oraz innych [27] wykazały, że istnieje jednak sprzężenie pomiędzy grubo-skalowym oraz drobno-skalowym składnikiem sygnału. Objawia się to poprzez modulację amplitudy drobnych fluktuacji na skutek grubo-skalowych zmian zachodzących w sygnale. Do oceny tego typu stopnia modulacji użyli korelacji między składnikiem sygnału mającego dużą skalę oraz takim sygnałem składnika mającego drobną skalę, przy wykorzystaniu tzw. transformaty Hilberta opisaną poniższą zależnością:

$$H\{u_s\} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u_s(t)}{\tau - t} dt$$

gdzie indeks  $S$  w powyższym wzorze oznacza filtrację górnoprzepustową sygnału  $u(t)$ .

Transformata Hilberta pozwala w szerokim stopniu analizować nieciągłości sygnału oraz również dostarcza informacje o wartości pochodnej sygnału prędkości. Nieciągłości w sygnale turbulentnym najczęściej związane są z procesem bursting.

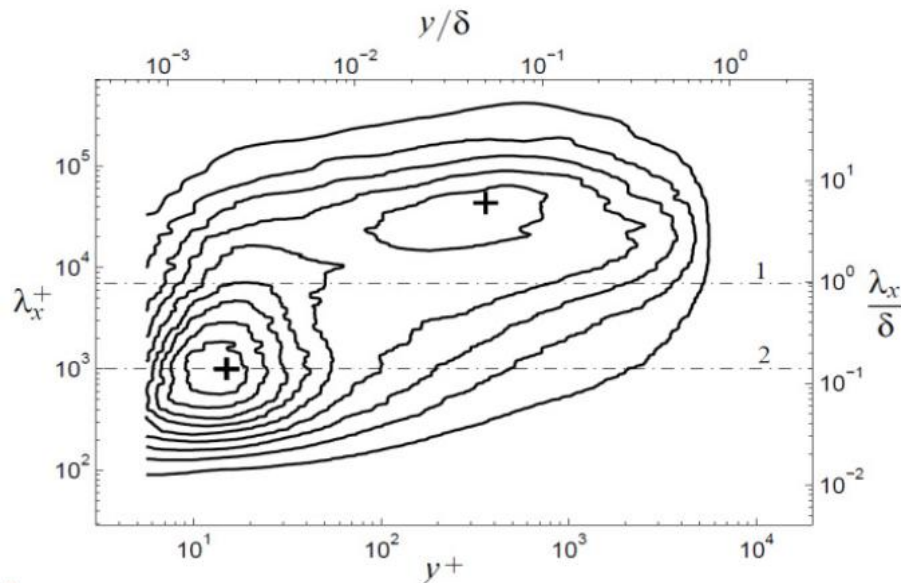
Przebiegi modulowanego składnika drobno-skalowego wyznacza się stosując niżej przedstawioną zależność:

$$A(u_s) = \sqrt{(u_s)^2 + (H\{u_s\})^2}$$

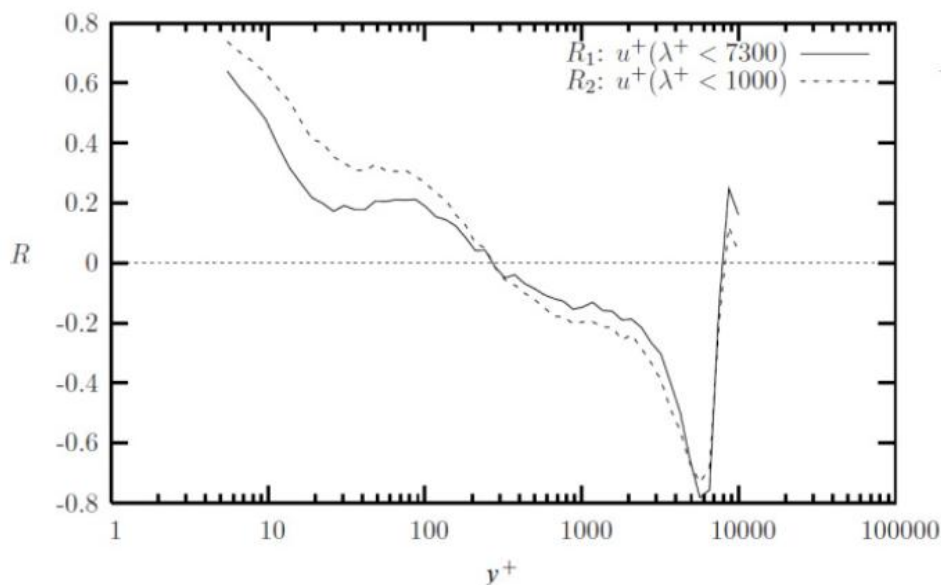
Powyższa zależność jest tzw. obwiednią amplitud sygnału posiadających drobne skale. Obwiednia  $A(u_s)$  ujmuje w sobie nie tylko informacje na temat bezwzględnych wartości sygnału drobno-skalowego ale również o jego transformacie Hilberta. W przypadku wyznaczenia poziomu korelacji pośród obwiednią  $A(u_s)$  a składnikiem grubo-skalowym  $U_L$  (indeks  $L$  oznacza filtrację dolnoprzepustową sygnału  $u(t)$ ), konieczne jest aby zastosować filtrację dolnoprzepustową o jednakowej skali będącą proporcjonalną do składnika grubo skalowego. Współczynnik korelacji zatem, będący miarą modulacji amplitud drobnych skal poprzez składniki grubo-skalowe dany jest równaniem:

$$R = \frac{\overline{A_L(u_s)u_L}}{\sqrt{\overline{A_L(u_s)^2}}\sqrt{\overline{u_L^2}}}$$

Przykład rozkładu współczynnika korelacji  $R$  w poprzek turbulentnej warstwy przyściennej, pochodzący z pracy Mathisa oraz innych [27] przedstawiono na Rys. 6.



**Rysunek 5. Izolinie spectrum energii wzdłużnej prędkości fluktuacji (Linie przerywane pokazują lokalizacje filtrów spektralnych) [6]**



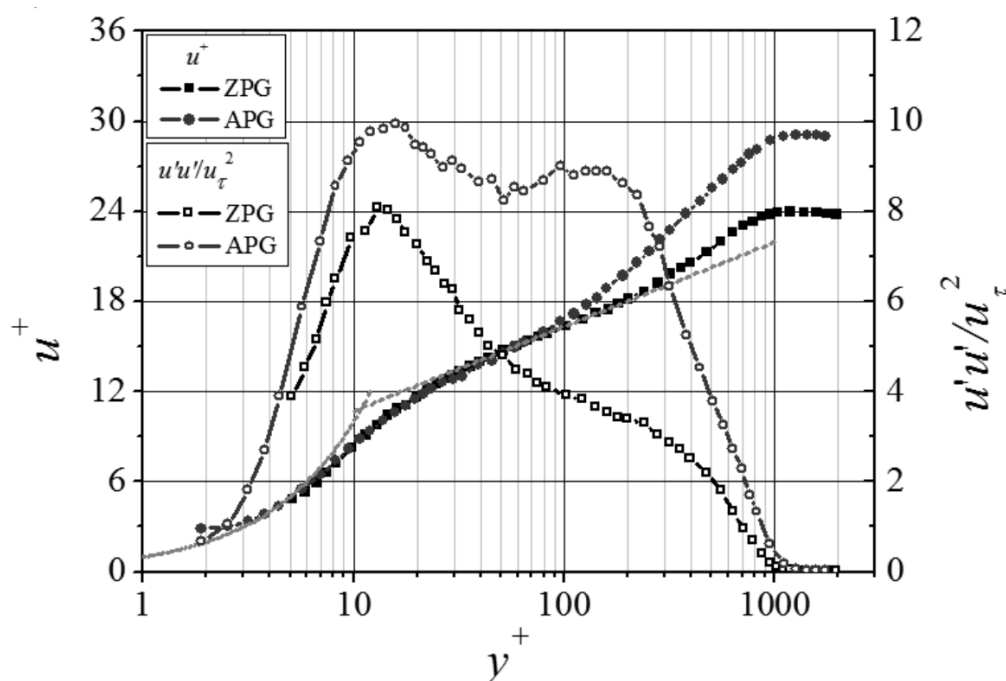
**Rysunek 6. Rozkłady korelacji  $R$  między składnikiem grubej skali a odfiltrowaną obwiednią tego**

Składnika (linia ciągła dotyczy większej skali a linia przerywana mniejszej skali) [6]  
 Zaprezentowane powyżej wyniki badań dotyczą turbulentnej warstwy przyściennej (TWP) z zerowym gradientem ciśnienia (ZPG – Zero Pressure Gradient) dla wysokiej liczby Reynoldsa wynoszącej  $Re_\tau = 7300$ . W celu przeanalizowania sprzężenia jakie występuje w sygnale wyznaczono spektrum energii dla składowej prędkości wzdłużnej fluktuacji  $\Phi_{uu}$ , które następnie zredukowano poprzez stosunek  $U_\tau^2 / k_x$ , gdzie  $k_x$  jest tzw. wzdłużną

liczbą falową. Ilustracja przedstawiona na Rys.5 pokazuje właśnie przykładowy rozkład zredukowanego spektrum energii. Jak można zauważyć dla warstwy przyściennej mająca stosunkowo dużą liczbę Reynoldsa ( $Re$ ) można wyróżnić dwa wyraźne piki zaznaczone poprzez symbol  $+$ . Pierwszy pik obrazuje nam pik wewnętrzny, który ulokowany jest blisko ściany. Jest to ślad energii, który pochodzi od wydłużonych strug posiadających wysokie oraz niskie prędkości. Skalowany on jest na skali lepkiej. Drugi pik pojawia się w strefie logarytmicznego profilu prędkości oraz określany jest, jako pik zewnętrzny. Jego wartość (kiedy  $k_x$  i  $\Phi_{uu}$  jest skalowane na prędkość tarcia  $U_\tau$ ) rośnie wraz z liczbą Reynoldsa.

#### 4. Podsumowanie

Dla niskich liczb Reynoldsa przy  $Re_\tau \approx 1000$  pik zewnętrzny jest obserwowany jedynie dla przepływu z dodatnim gradientem ciśnienia [6,28]. Badania przedstawione w pracy Materny oraz innych [29] wykazały, że dla przepływów posiadających niską wartość liczby Reynoldsa  $Re_\tau \approx 1000$  można zauważyć pojawiający się pik zewnętrzny w warunkach APG. W przypadku ZPG dla niskich liczb Reynoldsa pik zewnętrzny się nie pojawia. Patrz Rys.7. Obecność piku zewnętrznego sugeruje silne sprzężenie pomiędzy dużymi oraz małymi skalami przepływu. Na Rys.7 można dodatkowo zaobserwować, że profil prędkości średniej w obszarze wewnętrznym turbulentnej warstwy przyściennej rośnie znacznie wolniej niż w zewnętrznym obszarze warstwy przyściennej, co z kolei oznacza, że większy udział na wzrost turbulentnej warstwy przyściennej pochodzi z regionu położonego w znacznej odległości od ścianki.

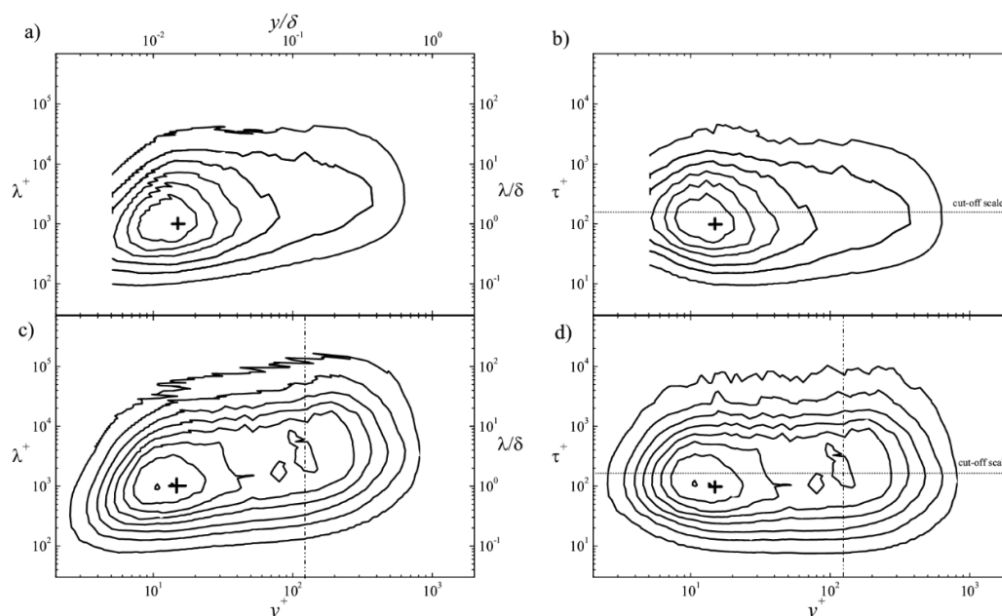


**Rysunek 7. Profile prędkości i normalne naprężenia Reynoldsa  $u'u'$  dla niskiej liczby Reynoldsa dla obszarów ZPG i APG [28]**

Materny oraz inni [29] doszli do wniosku, że przepływ o dużych skalach jest znacznie bardziej energiczny w obszarze APG niż w obszarze FPG, oraz że gradient ciśnienia wpływa



głównie na zewnętrzny obszar przepływu. Stosując metodę transformacji Hilberta na podstawie funkcji korelacji uzyskali wyraźne dowody na silną korelację pomiędzy drobnymi strukturami przepływu w warstwie wewnętrznej oraz dużymi strukturami (grubo-skalowymi) w obszarze logarytmicznego profilu prędkości (Patrz Rys.8), która jest podobna do korelacji jaką uzyskano dla wysokiej liczby Reynoldsa dla zerowego gradientu ciśnienia (ZPG) przedstawionej na Rys.5 w badaniach Mathisa oraz innych [27].



**Rysunek 8 Izolinie spectrum energii wzdłużnej wzdłuż grubości warstwy przyściennej dla warunków ZPG oraz APG w funkcji: a) skali długości (ZPG), b) skali czasowej (ZPG), c) skali długości (APG), d) skali czasowej (APG) [28]**

Na rysunku 8 przedstawiono izolinie spectrum energii wzdłużnej skalowane prędkością tarcia w funkcji  $y^+$  dla warunków ZPG oraz APG w funkcji zarówno skali długości  $\lambda^+$  oraz w skali czasowej  $\tau^+$ . Można zauważyć, że pierwszy pik (+), odpowiadającemu składnikowi o małej skali, jest wyraźnie widoczny dla obu przypadków ZPG oraz APG, a jego intensywność charakteryzuje się podobną amplitudą. Z drugiej strony, znaczący wzrost energii obserwuje się w przypadku APG dla większych skal  $\lambda_x > \delta$  [28,29].

Jak zauważono struktury grubo-skalowe odgrywają dosyć istotną rolę w przepływach przyściennych, zwłaszcza tych o dużej liczbie Reynoldsa (Re) i w dodatnim gradiencie ciśnienia. Obserwacje te mogą mieć kluczowe znaczenie dla aktywnej kontroli tak zwanego sterowania turbulentnej warstwy przyściennej, w celu redukcji oporu brył zanurzonych w niej lub zwiększaniu siły nośnej na skrzydłach samolotu.

### Bibliografia:

1. L. Howarth: *Laminar Boundary Layer*, in *Handbuch der Physik*, herausgegeben von S. Flügge mit C. Truesdel, Bd. VIII/1 *Strömungsmechanik I*, Springer, Berlin – Göttingen – Heidelberg, 1959.
2. H. Schlichting: *Grenzschicht-Theorie*, Braun, Karlsruhe, 1965.



3. Stanisław Drobnia, Tomasz A. Kowalewski, *MECHANIKA PŁYNÓW – DLACZEGO TAK TRUDNO PRZEWIDZIEĆ RUCH PŁYNU?* rok 2010  
[http://fluid.ippt.pan.pl/papers/Drobnia\\_Kowalewski\\_MechanikaPlynow2010c.pdf](http://fluid.ippt.pan.pl/papers/Drobnia_Kowalewski_MechanikaPlynow2010c.pdf)
4. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Turbulencja>
5. [www.pg.gda.pl/~krzyte/students/WZMPMBM5](http://www.pg.gda.pl/~krzyte/students/WZMPMBM5)  
J. Szantyr – Wykład 5 – Turbulentna warstwa przyścienna
6. Artur Drózd, Analiza procesów transportu energii w turbulentnej warstwie przyściennej w obecności gradientu ciśnienia. Rozprawa doktorska, Politechnika Częstochowska, Styczeń 2012.
7. Klebanoff P. S. 1954, Characteristics of turbulence in a boundary layer with zero pressure gradient. NACA Report-1247, 1135–1153.
8. Pope, S. B. 2000, Turbulent Flow. Cambridge University Press.
9. D. Asendrych, Zaawansowana Mechanika Płynów – warstwa przyścienna, dynamika gazów. Wykład prowadzony na studiach II stopnia Mechaniki i Budowy Maszyn w roku akademickim 2013-2014.
10. Smith C. R. i Metzler S. P. 1983, The characteristics of low-speed streaks in the near-wall region of a turbulent boundary layer. *J. Fluid Mech.* 129, 27–54.
11. Acarlar M. S. i Smith C. R. 1987, A study of hairpin vortices in a laminar boundary layer. *J. Fluid Mech.* 175, 1–41.
12. Runstadler P. W., Kline S. J., i Reynolds S.. 1963, An experimental investigation of the flow structure of the turbulent boundary layer. Report MD-8, Stanford University, Stanford.
13. Suponitsky V., Cohen J. i Bar-Yoseph P. Z. 2005, The generation of streaks and hairpin vortices from a localized vortex disturbance embedded in unbounded uniform shear flow. *J. Fluid Mech.* 535, 65–100.
14. Hamilton J. M., Kim J. i Waleffe F. 1995, Regeneration mechanisms of near-wall turbulence structures. *J. Fluid Mech.* 287, 317–348.
15. Viswanath D. 2007, Recurrent motions within plane Couette turbulence. *J. Fluid Mech.* 580, 339–358.
16. Theodorsen T. 1952, Mechanism of turbulence. In Midwest Conference on Fluid Mechanics, Second, 1–18.
17. <http://turbomachinery.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1467898>
18. Hinze J. O. 1975, Turbulence. McGraw-Hill.
19. Head M. R. i Bandyopadhyay P. 1981, New aspects of turbulent boundary-layer structure. *J. Fluid Mech.* 107, 297–338.
20. Wallace J. 1982 On the structure of bounded turbulent shear flow: a personal view. In *Developments in Theoretical and Applied Mechanics XI* (ed. T. J. Chung), 509–521.
21. Schlatter P., Li Q., Örlü R., Hussain F., and Henningson D. S., 2014, “On the near-wall vortical structures at moderate Reynolds numbers,” *Eur. J. Mech. - B/Fluids*, 48, pp. 75–93.
22. Materny M., Drózd A., Drobnia S., Elsner W. 2008, Experimental analysis of turbulent boundary layer under the influence of adverse pressure gradient. *Arch. Mech.*, 60 (6), 449–466, Warszawa.

23. Nagano Y., Tsuji T., Houra T. 1998, Structure of turbulent boundary layer subjected to adverse pressure gradient. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 19, 563-572.
24. Shah S. I. Laval J.-P. i Stanislas M. 2011, A specific behaviour of adverse pressure gradient near the wall flows. *Progress in Wall Turbulence: Understanding and modeling, ERCOFTAC Series 14*, 257-265.
25. Kobashi Y. i Ichijo M. 1986, Wall pressure and its relation to turbulent structures of the turbulent boundary layer. *Exp. Fluids* 4, 49.
26. Myose R. i Blackwelder R. 1994, On the role of the outer region in the turbulent boundary layer bursting process. *J. Fluid Mech.* 259, 345.
27. Mathis R., Hutchins N., Marusic I. 2007, Evidence of large-scale amplitude modulation on the near-wall turbulence. *16th Australian Fluid Mechanics Conference 2007*.
28. Drózdź A., and Elsner W., 2013, "Amplitude modulated near-wall cycle in a turbulent boundary layer under an adverse pressure gradient," *Arch. Mech.*, 65(6), pp. 511–525.
29. M. Materny, A. Drózdź, S. Drobniać, W. Elsner, Experimental analysis of turbulent boundary layer under the influence of adverse pressure gradient, *Arch. Mech.*, 60, 449–466, 2008.

## 25. EMISJA GAZÓW CIEPLARNIANYCH W INSTALACJACH ENERGETYCZNYCH

**Mathias Romańczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Maszyn Ciepłych

al. Armii Krajowej 21; 42-201 Częstochowa

Promotor: Prof. dr hab. inż. Witold Elsner

Email: mathias@imc.pcz.czyst.pl

### 1. Wstęp

Spalanie paliw węglowodorowych jakimi są węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny w procesach energetycznych ma na celu przede wszystkim wytworzenia wysokotemperaturowego ciepła, które może być stosowane do produkcji energii elektrycznej poprzez wykorzystanie czynnika roboczego jakim jest para wodna w siłowniach kondensacyjnych, lub wysokociśnieniowych gazów spalinowych w układach gazowo – parowych. Podstawowym składnikiem paliw węglowodorowych jest węgiel pierwiastkowy [C], który posiada wysoką wartość energetyczną uwalniając około 32 [MJ] ciepła ze spalania 1 [kg]. Jego zawartość w węglu kopalnianym mieści się w przedziale od 30 – 70 [%]. Każde z rozpatrywanych paliw węglowodorowych zawiera również inny składnik palny jakim jest – wodór [H<sub>2</sub>]. Produktem ubocznym po spalaniu wodoru jest jedynie woda [H<sub>2</sub>O] i dlatego uważany jest on jako bezpieczne ekologicznie paliwo przyszłości. Wodór posiada wysoką wartość opałową wynoszącą 120 [MJ/kg]. Ilość wodoru w paliwach naturalnych jest ograniczona, a w węglu kopalnianym znajduje się go maksymalnie do 6 [%] masy [1].

Węgiel jako paliwo kopalne występuje na świecie w największych ilościach. Energetyka w Polsce oparta jest głównie na węglu kamiennym oraz na węglu brunatnym o udziale w wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła wynoszącym około 56 [%] w pierwszym i 38 [%] w drugim przypadku. Biorąc pod uwagę ogromne ilości węgla na całym świecie jak również jego atrakcyjność dla przemysłu energetycznego, należy koniecznie zmierzyć się z problemem jakim jest fizyczna eliminacja powstającego w procesach spalania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [2].

Ze względu na budowę chemiczną związków, które występują w węglu można wyróżnić trzy grupy substancji. Są to substancje organiczne, substancje nieorganiczne (tzw. mineralne) oraz woda. Ze względu natomiast na sposób zachowania się węgla w procesie spalania, przyjęto umownie dzielić te substancję, które tworzą węgiel na substancję palną oraz balast. Balast jest to substancja niepalna węgla. Tworzą ją wilgoć oraz części mineralne, czego powodem jest powstawanie popiołu. Substancja palna węgla natomiast składa się z węglowodorów jak i związków organicznych, w skład w który wchodzi pierwiastki takie jak siarka [S], tlen [O<sub>2</sub>] oraz azot [N<sub>2</sub>]. Również swój udział w substancji palnej węgla mają niektóre siarczki nieorganiczne. Z tego wynika, że produktami powstającymi po pełnym

utlenieniu pierwiastków palnych powinny być dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ], woda [ $\text{H}_2\text{O}$ ] oraz dwutlenek siarki [ $\text{SO}_2$ ], ewentualnie trójtlenek siarki [ $\text{SO}_3$ ]. Produktem utleniania azotu [ $\text{N}_2$ ] w spalinach kotłowych jest przede wszystkim tlenek azotu [ $\text{NO}$ ] (w ok. 95 [%]) ze względu na jego trwałość przy wysokich temperaturach. Często końcowe produkty spalania zawierają także substancje palne. Dzieje się to na skutek niedoskonałych warunków spalania. Jest to zjawisko niepożądane, ponieważ zmniejsza ono efekt energetyczny całego procesu. Można uznać, że procesy spalania paliw kopalnych (w tym najbardziej węgla) są podstawowym źródłem skażenia atmosfery ziemskiej [1,3].

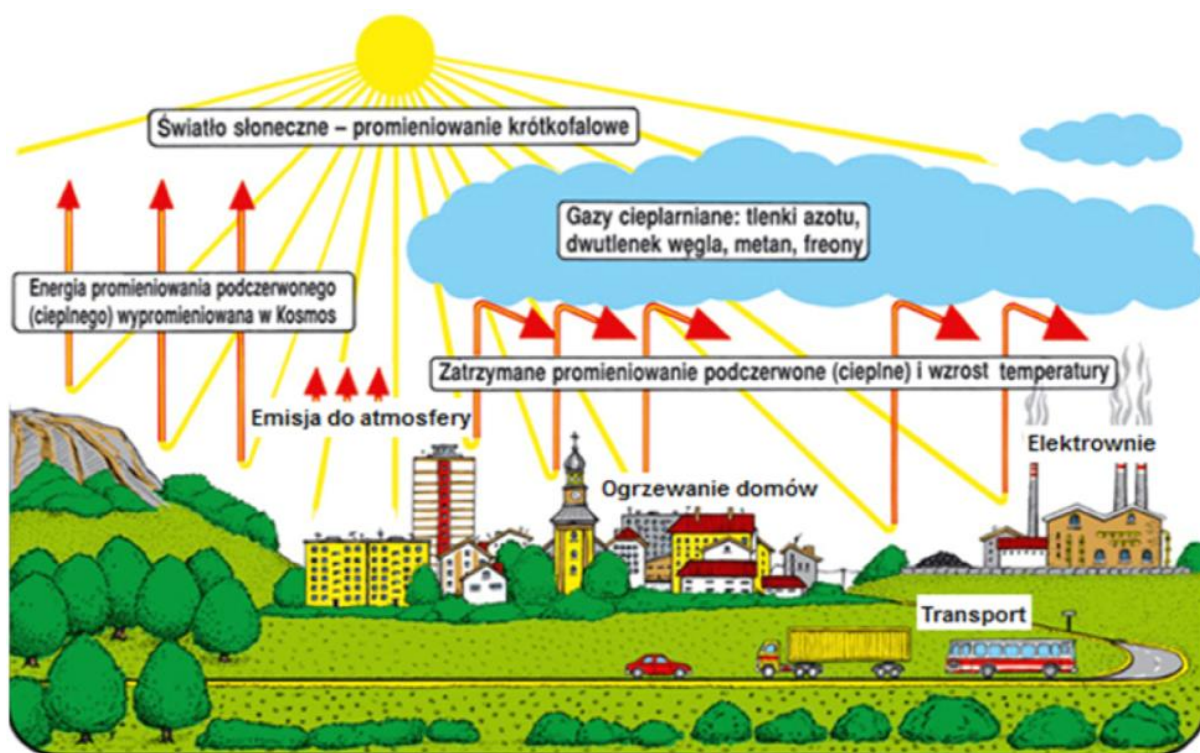
Oprócz emisji dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] spalanie węgla powoduje również powstawanie innych emisji zanieczyszczeń do atmosfery, które zostały przedstawione w poniższej tabeli.

| Produkty                                                    | Przyczyny                                                                                                                                                                               | Zagrożenia                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tlenki węgla<br>( $\text{CO}_2$ , CO)                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– spalanie pierwiastka C</li> <li>– spalanie węglowodorów</li> <li>– rozkład węglanów</li> <li>– spalanie niezupełne (CO)</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>– <math>\text{CO}_2</math> jest zaliczany do podstawowych gazów cieplarnianych, oddziałujących na zmiany klimatu</li> </ul>                                                                                                                             |
| Tlenki siarki<br>( $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$ )          | <ul style="list-style-type: none"> <li>– zawartość siarki w węglu</li> </ul>                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– kwaśne deszcze</li> <li>– tworzenie tzw. kwaśnych aerozoli (wpływających niekorzystnie na układ oddechowy)</li> </ul>                                                                                                                                 |
| Tlenki azotu<br>(NO, $\text{NO}_2$ , $\text{N}_2\text{O}$ ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>– zawartość azotu w węglu</li> <li>– azot z powietrza</li> <li>– emisja tlenków azotu zależy w sposób istotny od technologii spalania</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– przyczyniają się do powstawania smogu, kwaśnych deszczy i emisji gazów cieplarnianych</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| Pyły (popiół, sadza, koksik, pierwiastki śladowe)           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– zawartość substancji mineralnej w węglu</li> <li>– spalanie niecałkowite</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– mogą oddziaływać na układ oddechowy człowieka</li> <li>– powodują zapylenie powietrza (np. ograniczenie widoczności)</li> <li>– pierwiastki śladowe (głównie rtęć, selen i arsen) mogą powodować zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi</li> </ul> |
| Para wodna<br>( $\text{H}_2\text{O}$ )                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– spalanie węglowodorów</li> <li>– odparowanie wilgoci</li> </ul>                                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>– zaliczana do gazów cieplarnianych</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
| Węglowodory<br>( $\text{C}_x\text{H}_y$ )                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>– spalanie niezupełne</li> </ul>                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>– niekorzystne dla środowiska i zdrowia</li> </ul>                                                                                                                                                                                                      |

**Tabela. 1. Produkty spalania węgla, przyczyny powstania oraz zagrożenia [4]**

Z powyższej tabeli można zauważyć, że dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ], jak również tlenki azotu [ $\text{NO}_x$ ] oraz para wodna [ $\text{H}_2\text{O}$ ] zaliczane są do gazów cieplarnianych. Najważniejszym z nich uważany jest dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ]. Według ustaleń zespołu międzynarodowego do spraw zmian klimatu (ang. IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*), emisja dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] powoduje duże zmiany klimatyczne na Ziemi. Obserwuje się bowiem wzrost temperatury powierzchni ziemi, który powstaje w wyniku działania tzw. „efektu cieplarnianego” [2,4].

## 2. Efekt Ciepłarniany

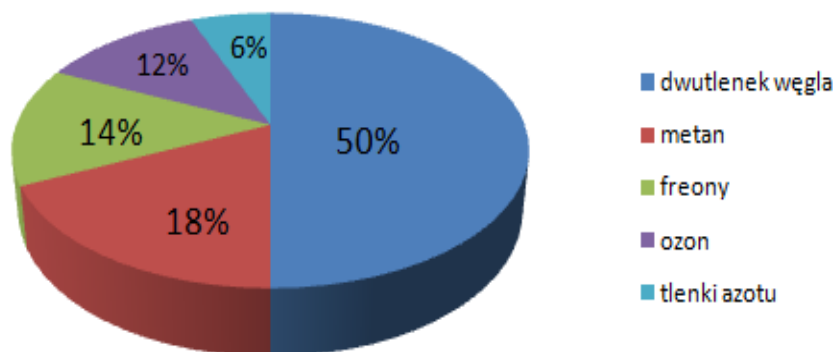


Rysunek 1. Efekt Ciepłarniany [5]

Efekt cieplarniany spowodowany jest emitowaniem do atmosfery różnych związków takich jak para wodna [ $\text{H}_2\text{O}$ ], dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ], metan [ $\text{CH}_4$ ], tlenki azotu [ $\text{NO}_x$ ], ozon [ $\text{O}_3$ ] oraz freony [CFC, HCF, HCFC]. Na powyższym rysunku możemy zauważyć, że gazy te prowadzą do zatrzymania promieniowania podczerwonego w atmosferze, co w efekcie prowadzi do zwiększenia temperatury na powierzchni ziemi. Powstają one ze źródeł procesów naturalnych, jak również w wyniku działalności człowieka. Jest to tzw. antropogeniczna emisja gazów, która powstaje na wskutek potrzeb komunalnych (ogrzewanie domów), transport drogowy ale również emitowaniem zanieczyszczeń do atmosfery poprzez elektrownie. Warto dodać, że około połowa nadmiernej ilości dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] wyemitowanego przez człowieka do atmosfery jest z powrotem wchłaniana poprzez rośliny, ale część zostaje również rozpuszczona w oceanach, co prowadzi do zakwaszenia wód oraz wpływa negatywnie na morskie rośliny i zwierzęta. Twierdzi się, że dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ] jest gazem cieplarnianym, który jest w największym stopniu (oprócz pary wodnej [ $\text{H}_2\text{O}$ ]) odpowiedzialny za globalne ocieplenie. Większość analiz wskazuje, że jego udział jest rzędu 50 [%] [1,5,6,7].

Na poniższym rysunku został przedstawiony procentowy [%] udział gazów cieplarnianych w globalnym ociepleniu.

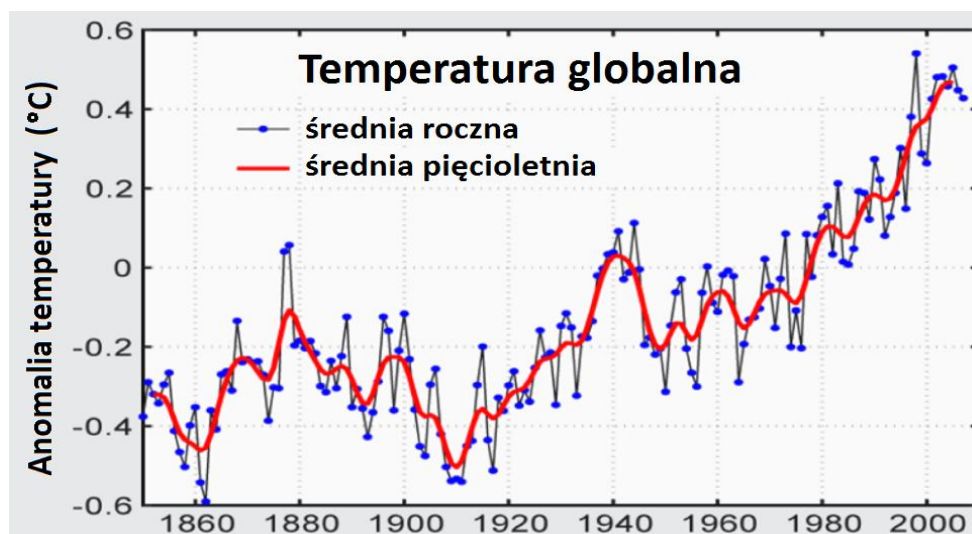




**Rysunek 2. Udział gazów cieplarnianych w globalnym ociepleniu [6]**

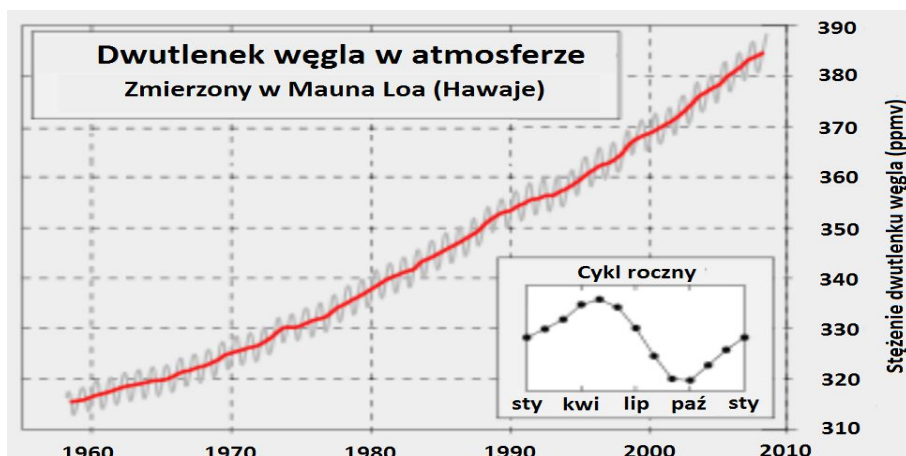
Niektóre źródła podają, że udział dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w globalnym ociepleniu jest większy niż przedstawiono na powyższym wykresie, że sięga on nawet 80 [%] [1].

Efekt cieplarniany zasadniczo jest zjawiskiem korzystnym. Bez niego bowiem temperatura na Ziemi, zamiast obecnej średniej temperatury wynoszącej około  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wynosiłaby około minus  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jednak rosnące na Ziemi, wraz z rozwojem uprzemysłowienia, stężenie dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] powoduje, że od połowy XIX wieku temperatura na ziemi zaczęła wzrastać. Tendencja ta natomiast w ostatnich latach gwałtownie przyspieszyła co potwierdza wykres na rysunku poniższym [7,8].



**Rysunek 3. Wzrost średniej temperatury na Ziemi w przestrzeni ostatnich 150 lat [8]**

Stężenie dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w atmosferze ziemskiej przez ostatnie 10 tysięcy lat oscylowało wokół 280 [ppm] (ang. parts per milion – czyli jedna milionowa – określa ile cząsteczek związku chemicznego przypada na 1 milion cząsteczek danego roztworu). Od połowy XIX wieku stężenie to wzrasta o około 1,2 do 2 [ppm] rocznie i na stan dzisiejszy wynosi  $\approx 390$  [ppm] (patrz Rys.4). Badania przeprowadzone poprzez Międzyrządowy Panel do spraw Zmian Klimatu ONZ, a także poprzez innych naukowców sugerują, że to głównie działalność człowieka przyczynia się do wzrostu koncentracji dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w atmosferze co w konsekwencji prowadzi to do zmian klimatycznych [7,9].



**Rysunek 4. Stężenie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w atmosferze [9]**

Według prognoz Międzynarodowej Agencji Energii, zapotrzebowanie na energię na świecie będzie z roku na rok coraz to wyższe, i niestety przeważająca część tej energii pochodzić będzie z paliw kopalnych. Prognoza, którą sporządzono poprzez Międzyrządowy Panel do spraw Zmian Klimatu ONZ wskazuje, że będzie to jednocześnie skutkować zwiększeniem emisji gazów cieplarnianych, a więc pogłębi się negatywne oddziaływanie energetyki na środowisko. Taki trend zmian klimatycznych został również potwierdzony w raporcie IPCC (ang. IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) [10].

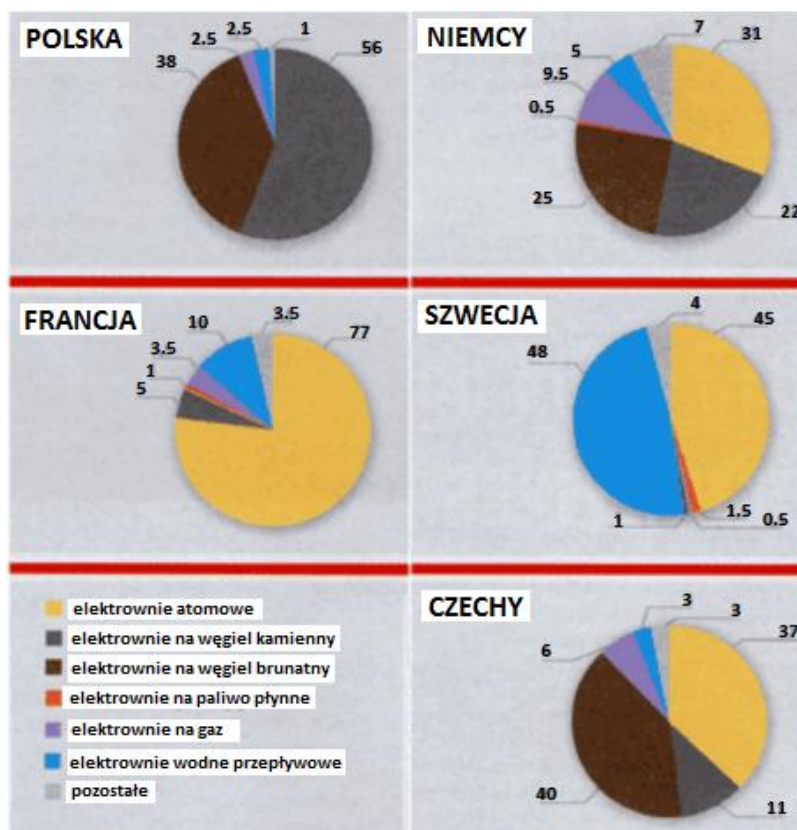
Nad problemem, jak przeciwdziałać narastającym się zmianom klimatycznym zastanawiają się rządy wielu państw na całym świecie. Jest to główny problem ONZ – Organizacji Narodów Zjednoczonych. Również komisja Europejska, ogłaszając w roku 2007 nową politykę energetyczną UE, uznała za jeden z podstawowych priorytetów działania Unii Europejskiej przeciwdziałanie zmianom klimatu. W związku z tym podjęto decyzję o wyznaczeniu konkretnego celu do osiągnięcia jakim jest nie dopuszczenie do wzrostu temperatury globalnej na ziemi o więcej niż 2 [°C] w porównaniu z poziomem preindustrialnym (czyli poziomem przedprzemysłowym) [7].

Aby zrealizować wyznaczony cel, należałoby przede wszystkim zmienić sposób wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej na całym świecie. Obecnie Energetyka opiera się w prawie 80 [%] na wykorzystaniu paliw kopalnych. Niestety, również prognozy wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej w przyszłości zakładają dalszy wzrost zużycia paliw kopalnych [1,7].

Podwyższenie poziomu stężenia dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w atmosferze również spowodowane jest wycinaniem lasów, które same pochłaniają ten gaz w procesie fotosyntezy. Do innych przyczyn wzrostu stężenia dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w atmosferze zaliczyć można transport drogowy – z roku na rok wzrasta ilość samochodów na ulicach co powoduje wzrost emisji nie tylko dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] ale również emisji tlenków azotu [NO<sub>x</sub>]. Także do przyczyn wzrostu stężenia dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w atmosferze zaliczyć należy transport lotniczy, jak i również potrzeby komunalne (ogrzewanie domów itp.).

### 3. Przemysł węglowy na świecie a globalne ocieplenie

Energetyka na całym świecie opiera się prawie w 80 [%] na wykorzystaniu paliw kopalnych. Polska energetyka oparta jest głównie na węglu kamiennym i węglu brunatnym. Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła występuje w 56 [%] z węgla kamiennego i 38 [%] z węgla brunatnego co możemy zaobserwować na poniższym rysunku [11].



**Rysunek 5. Struktura zużycia nośników energii w wybranych krajach Europy w [%] [11]**

Z powyższego rysunku można zauważyć, że Polska ma wśród krajów Europy największy udział elektrowni opalanych na węgiel kamienny. Także spory udział (drugi co do wielkości w Europie) mają przy stosowaniu elektrowni opalanych na węgiel brunatny. Największy udział elektrowni opalanych na węgiel brunatny natomiast mają Czesi. Wynosi on bowiem 40 [%] – o dwa procenty udziału więcej niż ma Polska. Niemcy również prawie w 50 [%] mają energetykę opartą na stosowaniu węgla. Jak można zauważyć więcej posiadają elektrowni opalanych na węgiel brunatny [11].

W tabeli poniżej przedstawiono intensywność własną emisji dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w zależności od rodzaju stosowanego paliwa.

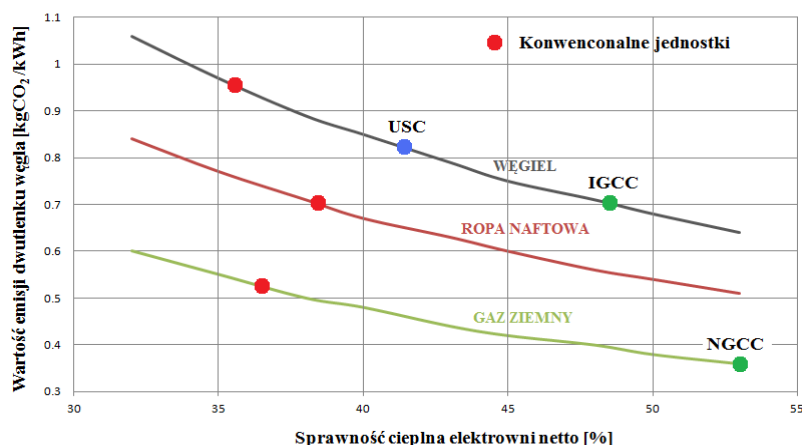


**Tabela 2. Emisja CO<sub>2</sub> ze spalania paliw w przeliczeniu na jednostkę energii pierwotnej [1]**

| Paliwo          | Wartość opałowa [MJ/kg] | Emisja CO <sub>2</sub> [kgCO <sub>2</sub> /GJ] |
|-----------------|-------------------------|------------------------------------------------|
| Węgiel brunatny | 12                      | 101                                            |
| Węgiel kamienny | 25                      | 96                                             |
| Olej napędowy   | 45                      | 73                                             |
| Gaz ziemny      | 54                      | 53                                             |
| Drewno          | 15                      | 88                                             |
| Wodór           | 120                     | 0                                              |

Z powyższej tabeli wynika, że węgiel brunatny jak i kamienny posiada prawie dwukrotnie większą emisję dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w porównaniu do gazu ziemnego. Wodór posiada natomiast najwyższą wartość opałową wynoszącą 120 [MJ/kg]. Na co warto zwrócić uwagę, nie występuje w tym przypadku żadna emisja dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Jedynym produktem ubocznym wodoru po spalaniu jest woda [H<sub>2</sub>O] i dlatego uważany jest on jako bezpieczne ekologicznie paliwo przyszłości [1].

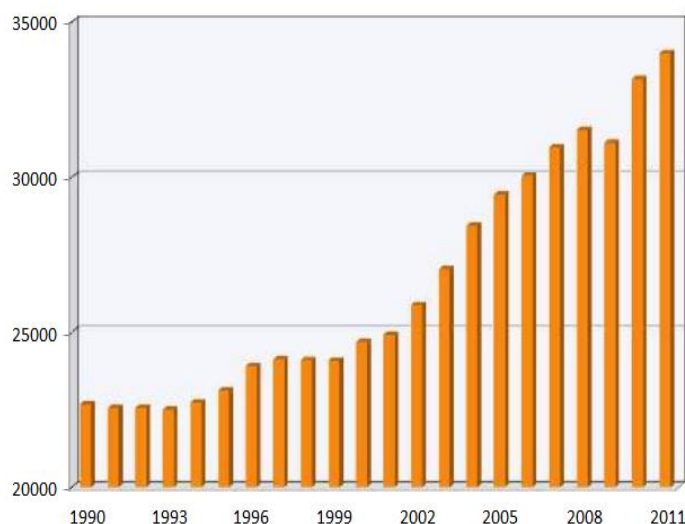
Jeszcze do niedawna węgiel uznawany był jako tzw. brudne paliwo energetyczne, ponieważ spalanie węgla wiązało się z dużymi emisjami dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] oraz innymi zanieczyszczeniami do atmosfery. Dziś znane są technologie, które pozwalają na czyste spalanie węgla (czyli z mocno ograniczoną emisją dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] do atmosfery). Proces usuwania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] występującego przy spalaniu paliw węglowodorowych związany jest z tzw. dekarbonizacją paliwa.

**Rysunek 6. Emisja CO<sub>2</sub> dla różnych paliw do sprawności cieplnej elektrowni netto [%] [12]**

Z powyższego rysunku, można zauważyć, że największy poziom emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] uzyskany jest przy spalaniu węgla, natomiast najmniejszy występuje przy spalaniu gazu ziemnego. Na tym wykresie została również zobrazowana wartość emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w porównaniu do sprawności cieplnej elektrowni netto [%] w zależności od stosowanej technologii, przy czym konwencjonalne, obecnie pracujące instalacje zaznaczono kolorem czerwonym. Skrót USC oznacza Ultra – Super – Critical, czyli elektrownie na parametry supernadkrytyczne dla których temperatura pracy wynosi 700 – 720 [°C] a ciśnienie pary 35 [MPa]. Skrót IGCC oznacza natomiast Integrated – Gasification –

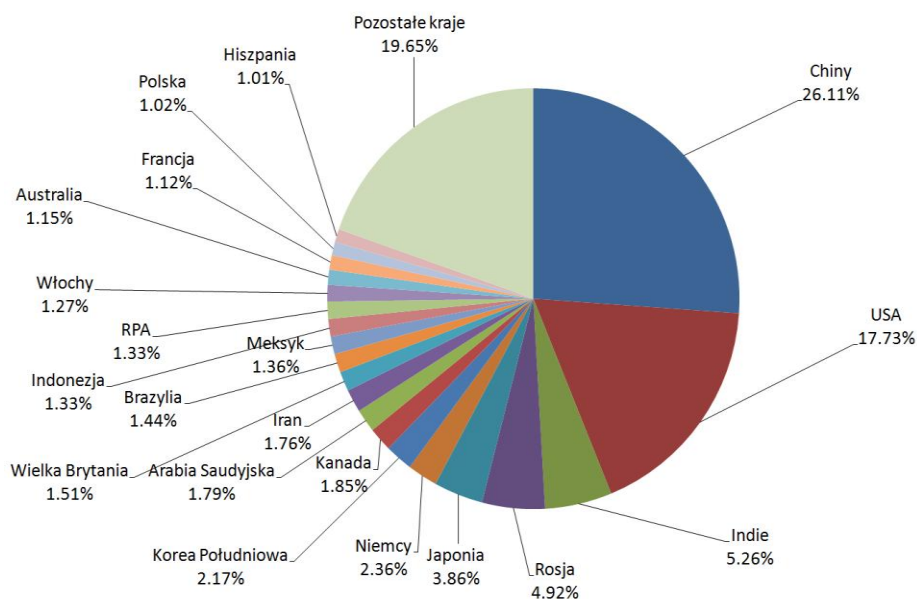
Combined – Cycle, czyli technologia bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym układem zgazowania paliwa. Można zauważyć również, że technologia IGCC posiada najmniejszą emisję dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w porównaniu z innymi instalacjami stosujących jako paliwo węgiel. Skrót NGCC oznacza Natural – Gasification – Combined – Cycle, czyli elektrownię opalana gazem ziemnym [1,12].

Analizując całkowitą emisję dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] na całym świecie, można zauważyć, że jej poziom systematycznie rośnie osiągając w 2011 roku rekordowy wynik, prawie 34 miliardów ton [13].



**Rysunek 7. Emisja dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] na całym świecie w mln ton [13]**

Poniżej został przedstawiony wykres kołowy przedstawiający udział wybranych krajów w światowej emisji dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w roku 2011.



**Rysunek 8. Udział procentowy wybranych krajów w światowej emisji [ $\text{CO}_2$ ] w roku 2011 [13]**

Z powyższego wykresu kołowego wynika, że krajem, który emituje do atmosfery największą ilość dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] są Chiny. Stanowi to bowiem 26,11 [%] światowej emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Chiny są krajem, który wytwarza energię elektryczną głównie w elektrowniach i elektrociepłowniach opalanych węglem kamiennym. Udział ten osiąga poziom aż w 70 [%]. Jest to też przyczyna tak dużej emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w tym kraju. Jak wskazują prognozy to emisja dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w tym kraju wciąż będzie rosła. Należy również dodać, że Chiny od dobrych pięciu lat są liderem w budowaniu bardziej wydajnych jak również mniej zanieczyszczających środowisko elektrowni węglowych i stale dążą do tego by ulepszać technologie wykorzystujące parę o bardzo wysokich parametrach pracy. Jednocześnie zmniejszają koszty budowy nowoczesnych elektrowni dzięki ogromnej skali produkcji. Wydajność procesu spalania tych elektrowni sięga nawet 44 [%] podczas gdy stare Chińskie elektrownie sięgały efektywności rzędu 27 – 36 [%]. Chiny wprowadziły wymóg, aby zamykać jedną przestarzałą i mniej efektywną elektrownie w zamian za każdą elektrownie nowo wybudowaną [13,14].

Drugim największym emitentem dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] są Stany Zjednoczone (USA). Emitują około 17.73 [%] światowej emisji [CO<sub>2</sub>]. Kraj ten nie ograniczał poziomu emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] do roku 2010 biorąc pod uwagę lata poprzednie. Dopiero w roku 2011 nastąpił spadek emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Trzecim krajem, który emituje ogromne ilości dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] są Indie [13].

Jeżeli jednak porównać ilości emisji dwutlenku węgla całej Unii Europejskiej (liczącej 27 krajów), z emisją dwutlenku węgla USA i Chin, okaże się ona stosunkowo niewielka. Kraje Unii Europejskiej emitują do atmosfery około 4187 mln ton dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] na rok i wciąż dążą do ograniczania tej ilości. Dane pochodzą z roku 2007 więc na pewno emisja [CO<sub>2</sub>] EU-27 jest dzisiaj znacznie mniejsza [13,15].

**Tabela 3. Całkowita emisja dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] wybranych krajów EU-27 [mln ton] [15]**

| Rok                                                                                     | 1990          | 1995          | 2000          | 2005          | 2006          | 2007          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>EU-27</b>                                                                            | <b>4399.5</b> | <b>4150.2</b> | <b>4105.8</b> | <b>4235.5</b> | <b>4231.1</b> | <b>4186.7</b> |
| <b>W tym: a) kraje EU-27 o emisji CO<sub>2</sub> przekraczającej 300 mln ton/rok</b>    |               |               |               |               |               |               |
| Niemcy                                                                                  | 1035.6        | 922.7         | 883.7         | 851.7         | 867           | 841.2         |
| Anglia                                                                                  | 588.8         | 550.5         | 550           | 554           | 551.8         | 543.2         |
| Włochy                                                                                  | 434.7         | 445.4         | 462.7         | 490.1         | 485.8         | 475.3         |
| Francja                                                                                 | 395.8         | 366.2         | 406.4         | 416.7         | 407           | 397.1         |
| Hiszpania                                                                               | 228.4         | 255.3         | 307.7         | 368           | 358.4         | 366.4         |
| Polska                                                                                  | 368.7         | 366.2         | 320.6         | 318.2         | 329.6         | 328.3         |
| <b>b) kraje EU-27 o emisji CO<sub>2</sub> w granicach 100-300 mln ton/rok</b>           |               |               |               |               |               |               |
| Holandia                                                                                | 159.3         | 170.7         | 169.6         | 175.8         | 172.5         | 172.7         |
| Belgia                                                                                  | 118.6         | 123.3         | 123.7         | 123.4         | 119.1         | 114.5         |
| Czechy                                                                                  | 164.3         | 131.4         | 127.1         | 126.4         | 128.6         | 129.9         |
| Grecja                                                                                  | 83.2          | 86.8          | 103.4         | 111           | 109.6         | 113.6         |
| <b>c) emisji CO<sub>2</sub> pozostałych krajów EU-27 nie przekracza 100 mln ton/rok</b> |               |               |               |               |               |               |

W tabeli powyżej można zauważyć, że Europa dąży do ograniczenia emisji [CO<sub>2</sub>]. Wśród krajów EU-27 największym emitentem dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w roku 2007 były Niemcy. Polska była na 6 miejscu. Z roku na rok można zauważyć spadek emisji dwutlenku

węgla [CO<sub>2</sub>] spowodowany stosowaniem nowoczesnych technologii, które umożliwiają obniżenie emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [15].

#### **4. Przepisy prawne obowiązujące w Unii Europejskiej**

Przepisy dotyczące procesów wychwytywania, transportu jak i składowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] są częścią Europejskiej regulacji, która związana jest z przeciwdziałaniem zmianom klimatycznym powstających ze spalania paliw węglowodorowych. Najważniejszą podstawą prawną Europejskiej regulacji jest Ramowa Konwencja ONZ – (Organizacja Narodów Zjednoczonych) w sprawie Zmian Klimatu tzw. Konwencja UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, która została podpisana w 1992 roku w Rio de Janeiro na Międzynarodowej konferencji ONZ o tematyce dotyczącej – Środowiska i Rozwoju. Celem Ramowej Konwencji ONZ jest ustabilizowanie ilości gazów cieplarnianych w atmosferze tak, aby nie skutkowało to istotnymi zmianami klimatu, ale również ustabilizowanie emisji gazów cieplarnianych w takim okresie, aby ekosystemy w sposób naturalny mogły przystosować się do zachodzących zmian klimatu. Również powiedziane jest, że działania podejmowane w celu przeciwdziałania zmianom klimatycznym nie mogą w żadnym stopniu zagrażać wytwarzaniu żywności ani stać na drodze zasadom zrównoważonego rozwoju. W Konwencji UNFCCC zostało uchwalone, że najbardziej uprzemysłowione, czyli kraje zamożne ponoszą największą odpowiedzialność za powstające zmiany klimatu, i to właśnie one jako pierwsze muszą podejmować działania redukcji emisji gazów cieplarnianych. W dokumencie tym zawarto również postulat, odnoszący się do tego by kraje o wysokim stopniu uprzemysłowienia pomagały krajom rozwijającym się w przygotowaniu do radzenia sobie z problemem powstających zmian klimatu. Uzupełnieniem Ramowej Konwencji UNFCCC jest z kolei Protokół z Kioto, który jest międzynarodowym porozumieniem na temat przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Protokół ten wynegocjowano na konferencji w 1997 roku. Traktat wszedł dopiero w życie 16 lutego 2005 roku, ponad trzy miesiące po ratyfikowaniu go poprzez Rosję dnia 4 listopada 2004 roku. Według ustaleń zawartych w Protokole z Kioto, państwa uprzemysłowione do roku 2012 mają obniżyć całkowitą emisję sześciu gazów cieplarnianych o około 5 [%] w porównaniu z poziomem emisji z roku 1990. Państwa Członkowskie Unii Europejskiej uzgodniły wspólnie docelowy poziom emisji, a następnie podzieliły swój obowiązek pomiędzy poszczególnym państwom Unii Europejskiej. Protokół z Kioto obowiązywał do końca 2012 roku. Obecnie toczą się na całym świecie negocjacje dotyczące przyjęcia nowego, światowego porozumienia w sprawie przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Aby osiągnąć określone cele zawarte w Ramowej Konwencji UNFCCC oraz w Protokole z Kioto, przyjęto szereg regulacji i wszelkiego rodzaju instrumentów, które mają prowadzić do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Jednym z najważniejszych przepisów wspólnotowych w tej sprawie jest zasada działania systemu handlu emisjami, pozwoleń na emisje gazów cieplarnianych, regulacji wspierających wytwarzanie energii pochodzących ze źródeł odnawialnych, zwiększeniu efektywności energetycznej jak również wsparcie finansowe rozwoju nowoczesnych technologii, które mają przyczynić się do redukcji emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Jedną z nowoczesnych technologii, dzięki której stosować będzie można nadal węgiel do produkcji energii

elektrycznej jest technologia CCS – Carbon Capture and Storage, czyli wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [7].

W marcu 2006 roku opublikowano dokument tzw. Zieloną Księgę: „Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii”. Określa ona kierunki, które są niezbędne dla osiągnięcia bezpieczeństwa sektora energetycznego w Unii Europejskiej, a także celów związanych ze zmianami klimatu. W styczniu 2007 roku Komisja Europejska przedstawiła kolejny zbiór dokumentów wyznaczających kierunki strategii Unii Europejskiej w zakresie energii. Głównym dokumentem strategii był Komunikat Komisji „Ograniczenie globalnego ocieplenia do 2 [°C] w perspektywie roku 2020”. W listopadzie 2007 roku, opublikowano Komunikat – „Europejski Strategiczny Plan w dziedzinie technologii energetycznych: Droga do niskoemisyjnych technologii przyszłości.” W planie zaznaczono między innymi, że jednym z głównych wyzwań technologicznych, z którym Unia Europejska musi się uporać w ciągu najbliższych 10 lat, jest możliwość komercyjnego wykorzystania technologii wychwytywania, jak również transportu i składowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] – technologia CCS, aby móc zrealizować cele, które zostały wyznaczone na rok 2020. Zakłada się bowiem, że zastosowanie technologii CCS w wytwarzaniu energii elektrycznej jest jedną z dziedzin, przy których należałoby skoncentrować rozwój w Europie. W grudniu 2008 roku weszła w życie tzw. Europejska polityka energetyczna. Jest ona skrótowo określana nazwą 3x20 [%] [7,16,17].

#### **Głównymi zadaniami polityki energetycznej Unii Europejskiej do roku 2020 są:**

- ograniczenie emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] o 20 [%] w odniesieniu do poziomu emisji [CO<sub>2</sub>] z roku 1990,
- poprawa efektywności energetycznej wytwarzania energii elektrycznej o 20 [%],
- zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych o 20 [%] [2].

#### **5. Podsumowanie**

Wyżej wymienione zadania stwarzają nadzieję na osiągnięcie w przyszłości (oczywiście w długiej perspektywie czasu) stabilizacji zmian klimatycznych. Ale należy pamiętać, że nie będzie to takie łatwe, ponieważ ciągły wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną na całym świecie powodować będzie większe emitowanie zanieczyszczeń do atmosfery. Stąd należy jak najszybciej wdrażać nowoczesne technologie energetyczne zaopatrzone w instalację wychwytywania i składowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [7].

Powyższe zadania realizowane są w poszczególnych krajach w różnym stopniu. W Polsce w roku 2020 udział energii ze źródeł odnawialnych ma wynosić co najmniej 14,4 [%]. Ogłaszane są ponadto dyrektywy dotyczące ograniczania emisji tlenków azotu – [NO<sub>x</sub>] , dwutlenku siarki – [SO<sub>2</sub>] jak również pyłów do atmosfery. Wprowadzane normy emisyjne są coraz to bardziej restrykcyjne. W związku z tym konieczne stają się być ogromne inwestycje dla wszelkiego rodzaju układów oczyszczania spalin. Istotnym problemem przy wprowadzaniu układów oczyszczania spalin jest zużycie dużych ilości energii na potrzeby własne. Powoduje to jednoczesny spadek sprawności instalacji energetycznych. W przyszłości będzie to powodować konieczność odstawienia jednostek, które nie będą w stanie sprostać emisji zanieczyszczeń. W ciągu najbliższych lat wskazany przez Unie Europejską wskaźnik emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] z elektrowni, nie może przekraczać 750

kg [CO<sub>2</sub>/MWh]. O ile ograniczanie emisji tlenków azotu [NO<sub>x</sub>], dwutlenku siarki [SO<sub>2</sub>] jak również pyłów, pomimo występowaniu pewnych trudności daje się zrealizować, to większym problemem staje się być ograniczanie emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [2,7].

### **Bibliografia:**

1. Załącznik nr 2 do Zielonej Księgi Narodowego Programu Redukcji Emisji Gazów Ciepłarnianych: „Czyste Technologie Węglowe” - Społeczna Rada Narodowego Programu Redukcji Emisji, Warszawa, maj 2010 r.
2. Bartnik R., Duczkowska-Kądziel A.: *Jedno- i dwupaliwowe technologie gazowo-parowe jako ważny potencjał modernizacyjny krajowej energetyki*, Energetyka, listopad 2011, s. 665-673
3. Lorenz U., 2005. Skutki spalania węgla kamiennego dla środowiska przyrodniczego i możliwości ich ograniczania. Mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Sympozja i Konferencje nr 64. Wyd. Instytut GSMiE PAN, Kraków, s. 97-112.
4. Instytut gospodarki surowcami mineralnymi i energią Polskiej Akademii Nauk; Gospodarka węglem kamiennym energetycznym, Urszula Lorenz, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2010.
5. Technologia wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS) sposobem na złagodzenie zmian klimatu, Lewiatan, Foreign & Commonwealth Office - Strategic Programme Fund Low Carbon High. Warszawa, listopad 2010
6. Robert A. Rohde. The Climatic Research Unit of the University of East Anglia and the Hadley Centre of the UK Meteorological Office.
7. Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M. M. B., Miller LeRoy H., Chen Z., 2007 – Climate Change 2007 The Physical Science Basis, Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Cambridge University Press.
8. High Efficiency Power Generation by Coal ; Prof. Dr. Shozo Kaneko; University of Tokyo, 2012.
9. Chiny zdystansowały USA w budowie czystszych elektrowni węglowych, Rozwiązania technologiczne przez Cesar, 12 maja 2009.
10. Perspektywiczne możliwości ograniczania emisji CO<sub>2</sub> z elektrowni węglowych, Janusz Rakowski - Zakład Procesów Ciepłych, Instytut Energetyki („Energetyka” – nr 4/2010)

### **Wykaz stron internetowych:**

11. [http://europa.eu/geninfo/atoz/en/index\\_1\\_en.htm](http://europa.eu/geninfo/atoz/en/index_1_en.htm)
12. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2008-0354+0+DOC+XML+V0//PL>
13. [http://www.cerina.org/pl/cerina\\_plan](http://www.cerina.org/pl/cerina_plan)
14. <http://www.cire.pl/rynekenergii/podstawa.php?smid=207#europa>
15. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt\\_cieplarniany](http://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_cieplarniany)
16. <http://ekoproblemy.2ap.pl/efciepl.htm>
17. [http://www.ekoenergia.pl/index.php?id\\_akt=621&pplik=Raport:\\_Energia\\_w\\_Polsce.html](http://www.ekoenergia.pl/index.php?id_akt=621&pplik=Raport:_Energia_w_Polsce.html)

## 26. TECHNOLOGIE CZYSTEGO SPALANIA ORAZ ZWIĄZANE Z TYM KOSZTY

**Mathias Romańczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Maszyn Ciepłych

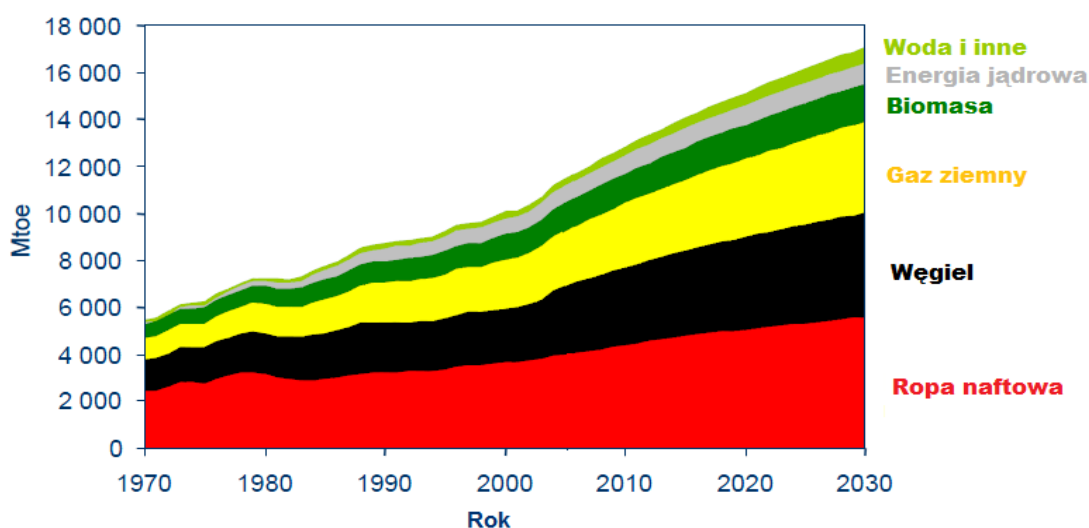
al. Armii Krajowej 21; 42-201 Częstochowa

Promotor: Prof. dr hab. inż. Witold Elsner

Email: mathias@imc.pcz.czyst.pl

### 1. Wstęp

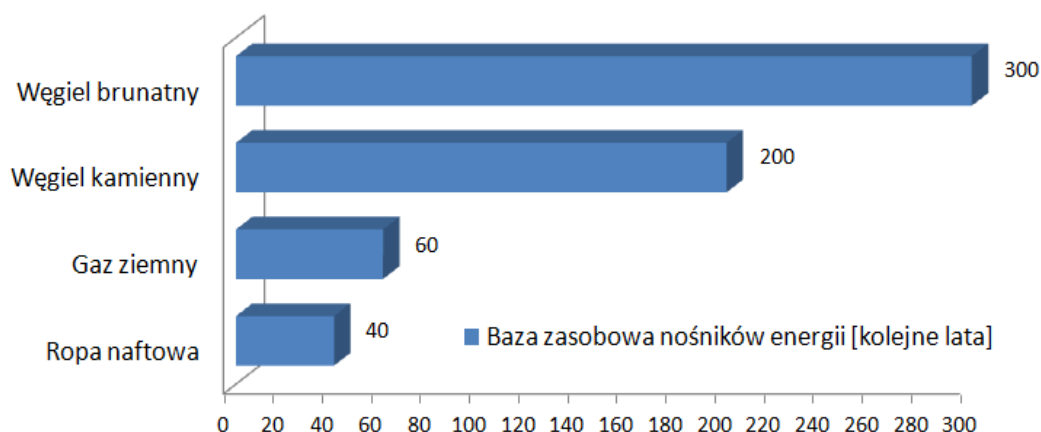
Szacuje się że w drugiej połowie XXI wieku może nastąpić zasadnicza zmiana w strukturze zużywania paliw pierwotnych. Ograniczony w znacznym stopniu może być dostęp do gazu ziemnego jak również ropy naftowej. Wyczerpywanie się złóż pierwotnych nośników energii może zostać przyspieszone poprzez intensywny rozwój państw takich jak Indie oraz Chiny. Rozwój państw wiąże się jednoznacznie z większym zapotrzebowaniem na energię. Na poniższym rysunku można zaobserwować, jakie są prognozy popytu na energię na całym świecie w [Mtoe – Mega ton oleju ekwiwalentnego] do roku 2030 według Międzynarodowej Agencji Energii [IEA – International Energy Agency] [1].



**Rysunek 1. Prognoza popytu na energię w [Mtoe] do roku 2030 według IEA [1]**

Jak można zauważyć, światowe zapotrzebowanie na energię gwałtownie rośnie z roku na rok. Największy przyrost, jaki można zauważyć przy zużywaniu nośników energii, będzie występować dla ropy naftowej, węgla (brunatnego i kamiennego) oraz dla gazu ziemnego. Wymienione nośniki energii zaliczane są do pierwotnych nośników energii.





**Rysunek 2. Baza zasobowa pierwotnych nośników energii – prognozy [2]**

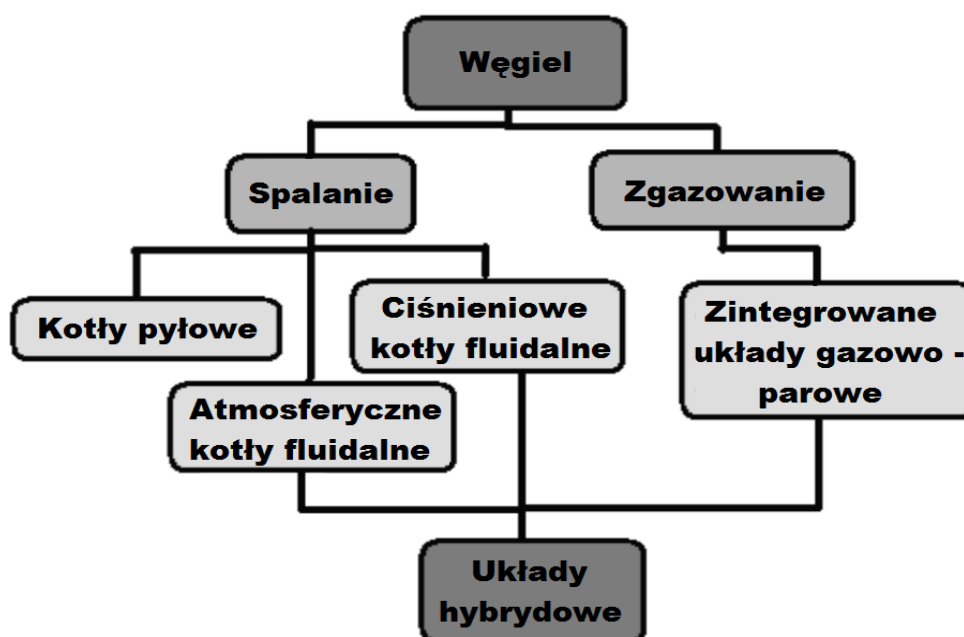
Jak, z kolei widać na powyższym schemacie prognozy wskazują, że węgla brunatnego na całym świecie starczy, przy obecnym zużywaniu, na kolejne 300 lat, natomiast węgla kamiennego na 200 lat. Gorzej jest z nośnikami energii takimi jak gaz ziemny. Wystarczy go zaledwie na około 60 lat. Występują również źródła, które podają, że gazu ziemnego może starczyć na dłużej, ale prognozy nie przekraczają okresu 70 lat. Składy ropy naftowej na ziemi są już prawie wyczerpane, ponieważ wystarczają zaledwie na kolejne 40 lat. Wliczając w to wzrost zapotrzebowania na energię, które rośnie z roku na rok, tych surowców energetycznych będzie coraz to mniej. Zatem w perspektywie najbliższych kilkadziesiąt lat nieunikniony staje się powrót do najbardziej zasobnego nośnika energii, którym to jest węgiel, zarówno brunatny jak i kamienny. Dodatkową zaletą węgla jest jego równomierne występowanie na całym świecie. Jednak warto podkreślić, że należy jak najszybciej rozpocząć działania w kierunku pozwalającym na racjonalne oraz wysokosprawne wykorzystanie energii chemicznej zawartej w węglu, aby tego surowca energetycznego starczyło jak najdłużej. Podczas konwencjonalnych metod produkcji energii z węgla, czyli klasycznych parowych elektrowni na parametry podkrytyczne tracimy średnio około 70 [%] na sprawności całego procesu a dodatkowo powstaje mnóstwo zanieczyszczeń jak również szkodliwych związków, które mają negatywny wpływ na środowisko naturalne. Takie elektrownie można znaleźć w dużych ilościach nie tylko w Polsce ale również na całym świecie. Polska energetyka oparta jest w ponad 90 [%] na węglu. Zasoby węgla w Polsce są spore, jednak w ostatnich czasach coraz to głośniejsze mówi się o zanieczyszczeniach oraz szkodliwemu oddziaływaniu energetyki węglowej na środowisko naturalne. Z punktu widzenia ekologii, spalanie węgla zaczyna być problematyczne ze względu na zawartość siarki [S] oraz wysoki poziom emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Występuje wiele metod, które zostały już opracowane w celu usuwania ze spalin tlenków siarki [SO<sub>x</sub>], tlenków azotu [NO<sub>x</sub>] oraz pyłów [PM], jednakże wciąż naciska się na dalszą redukcję emisji, a przede wszystkim w krajach Europejskich. W ostatnich latach również zwraca się uwagę na emisję takich zanieczyszczeń jak metale ciężkie, rtęć oraz dioksyny [1,2,3].

Udział węgla w całkowitej przemysłowej emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] szacowany jest na około 38 [%]. Planowane jest jego obniżenie o ponad 75 [%]. Przy obecnym stanie techniki, możliwe by to już było teraz, lecz skutkowało by to znacznym wzrostem cen energii. Światowy cel technologiczny jest taki aby osiągnąć minimalny poziom emisji dwutlenku



węgla [CO<sub>2</sub>] przy niezmienionych kosztach energii. Trendy rozwoju czystych technologii na całym świecie kierowane są w dwóch kierunkach. Po pierwsze zaawansowane spalanie w kotłach fluidalnych oraz kotłach pyłowych, z celem ograniczenia jak największej ilości zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. Jest to kierunek typowo energetyczny. Po drugie zintegrowane układy gazowo – parowe, a w szczególności we współpracy ze zgazowaniem węgla. Jest to kierunek integrujący przemysł energetyczny oraz chemiczny. W przyszłości mają także powstać układy hybrydowe, które będą złożone z kilku różnych technologii w celu uzyskania możliwie jak największej sprawności końcowej całego procesu wytwarzania energii elektrycznej oraz ciepła [1,2].

Poniżej zostały przedstawione trendy rozwoju czystych technologii węglowych.



Rysunek 3. Klasyfikacja technologii czystego spalania [2]

Zintegrowany układ gazowo – parowy, a w szczególności we współpracy ze zgazowaniem węgla jest w obszarze zainteresowania również przemysłu chemicznego, ponieważ gaz otrzymany z procesu zgazowania może być nie tylko użyty w celu produkcji energii elektrycznej za pomocą turbiny gazowej, w której następuje jego spalanie, ale również może posłużyć do wszelkiego rodzaju syntez chemicznych. To właśnie ta druga opcja, czyli układ gazowo – parowy zintegrowany ze zgazowaniem węgla wydaje się być najbardziej przyszłościowa. Proces zgazowania węgla jest procesem wysokotemperaturowej konwersji węgla jako ciała stałego do gazu przy użyciu czynnika zgazowującego. Czynnikiem zgazowującym może być para wodna [H<sub>2</sub>O], tlen [O<sub>2</sub>], wodór [H<sub>2</sub>] jak również od niedawna testowany dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], który może znacznie podwyższyć sprawność całego procesu zgazowania. Gaz otrzymany może być stosowany dla wysoko efektywnej produkcji paliw ciekłych jak również bezpośrednio, oczywiście po oczyszczeniu z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń, spalany w turbinie gazowej w celu wytworzenia energii elektrycznej. Węgiel, który jeszcze do niedawna według wielu sceptyków nazywany był tzw. brudnym paliwem energetycznym, który skutkował tylko zanieczyszczeniami oraz przyczyniał się do globalnego

ocieplenia, traci swoją złą renomę. Obecnie ze względu na technologię zgazowania, niektórzy określają węgiel jako czarne złoto. Ta opinia skłania do opracowywania nowych, bardziej efektywnych a zarazem czystych technologii węglowych określanych skrótem CCT – Clean Coal Technologies [1,3].

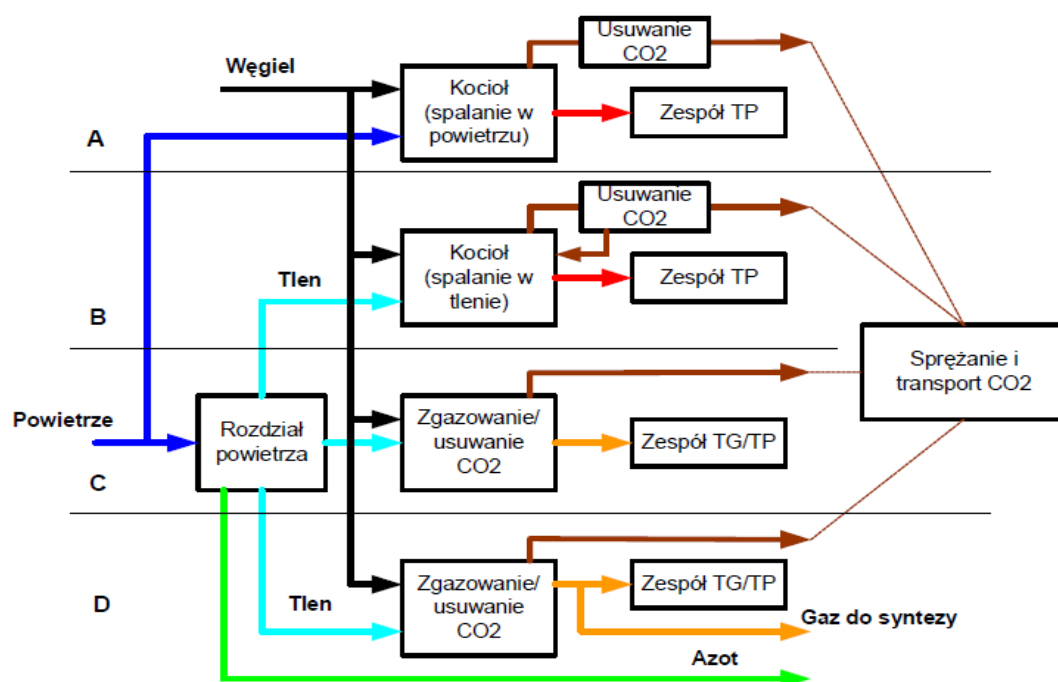
Podstawowym kierunkiem czystych technologii węglowych jest zgazowanie węgla. Technologia ta jest już dość powszechnie stosowana od prawie stu lat w przemyśle chemicznym lecz w przemyśle energetycznym dopiero właściwie od kilkunastu lat. Jednak jej rozwój jest konieczny, ponieważ dla sektora wytwarzania energii elektrycznej z gazu ziemnego zostały określone wysokie standardy ekologiczne, do których pozostałe technologie, w szczególności te oparte na węglu, powinny nawiązywać. Jeżeli węgiel zostanie poddany procesowi zgazowania, otrzyma się paliwo o parametrach czystości zbliżonych do gazu ziemnego. Technologia, która wykorzystuje proces zgazowania węgla nazywana jest technologią IGCC (ang. Integrated Gasification Combined Cycle). Jest to technologia bloku gazowo – parowego ze zintegrowanym układem zgazowania paliwa. Gaz wytworzony z węgla kierowany jest w pierwszej kolejności do turbiny gazowej w której następuje jego spalanie. Turbina gazowa napędza generator, który wytwarza energię elektryczną, zaś spaliny opuszczające turbinę gazową kierowane są do kotła odzysknicowego znanym również pod nazwą HRSG (ang. Heat Recovery Steam Generator). W kotle odzyskincowym znajduje się woda, która dzięki spalinom posiadającym wysoką entalpię jest zamieniana na parę wodną, która jest kierowana na turbinę parową. Jest to układ kombinowany, dzięki któremu możliwe jest uzyskanie znacznie lepszej sprawności całego procesu, ponieważ spaliny opuszczające turbinę gazową posiadają wysoką temperaturę, a wypuszczanie ich w atmosferę byłoby straconą energią w postaci ciepła. Technologia IGCC nie tylko pozwala zwiększyć wydajność całego procesu, ale również pozwala usunąć wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia, które zawarte są w węglu, już przed procesem spalania, a nie jak to ma miejsce w obecnie stosowanych elektrowniach, gdzie zanieczyszczenia są wychwytywane ze spalin. Strumień gazu otrzymanego w procesie zgazowania jest oczyszczany w warunkach wysokiego ciśnienia i dlatego oczyszczany strumień objętości gazu jest znacznie mniejszy w porównaniu ze strumieniem objętością spalin opuszczających kocioł. Jest to proces bardziej wydajny a jednocześnie dużo tańszy. W dzisiejszych czasach, szczególnie w krajach Unii Europejskiej emisja dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] jest ograniczana ze względów na politykę ochrony środowiska. Sprzyja to technologii IGCC, ponieważ dzisiejsze instalacje mogą usunąć nawet do ponad 90 [%] dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] z gazu otrzymanego w procesie zgazowania. Wychwyt dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w instalacji IGCC wymaga wykorzystania reaktora gazu wodnego tzw. Absorbera, dodatkowego wymiennika ciepła, procesu wiązania chemicznego i usunięcia dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>], sprężarek oraz sprzętu służącego do regeneracji reagentu wiążącego dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>] tzw. Regenerator. Instalacje IGCC pozwalają w sposób prostszy technologicznie a zarazem bardziej ekonomicznie usuwać dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], który później może być składowany w formacjach geologicznych [1,2].

## **2. Technologie czystego spalania oraz związane z tym koszty**

Konsekwencją pozostania przy dotychczasowych metodach spalania paliw kopalnych w instalacjach energetycznych, będzie negatywny trend pogłębiania się zmian klimatycznych. Aby nie dopuścić do tego, należy w jak najbliższym czasie wdrożyć takie technologie, które

umożliwią spalanie paliw kopalnych przy jak najmniejszej emisji zanieczyszczeń do atmosfery, głównie z dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ]. Technologia CCS jest procesem, który składa się z etapów jak wychwytywanie dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] przed lub po procesie spalania paliwa, transportowania dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] do przygotowanych składowisk oraz późniejsze jego zatłoczenie do pokładów geologicznych. Przyjmuje się, że zastosowanie technologii CCS będzie miało głównie miejsce w sektorze energetycznym ale również w sektorze przemysłowym, ponieważ w obu tych sektorach powstaje największa ilość emisji antropogenicznych (wywołanych przez człowieka) gazów cieplarnianych. Według Europejskiej Agencji Środowiska określanej skrótem EEA – (ang. European Environment Agency) sektor energetyczny odpowiada za około 28 [%] emisji gazów cieplarnianych, transport za około 21 [%], przemysł za ponad 20 [%], natomiast gospodarstwa domowe jak również małe i średnie przedsiębiorstwa za około 17 [%] [4,5].

Do realizacji pakietu energetyczno – klimatycznego Unia Europejska wybrała z katalogu „Czystych technologii węglowych” w zasadzie cztery opcje technologiczne wytwarzania energii, wychwyty oraz usuwaniu dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] [6].



**Rysunek 4. Technologie czystego spalania (TP – turbina parowa, TG –turbina gazowa) [6]**

Na powyższym rysunku zostały przedstawione cztery opcje technologiczne wytwarzania energii elektrycznej z jednoczesną możliwością wychwytywania oraz usunięcia dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ].

Pierwsza technologia oznaczona literą A, to technologia konwencjonalnego spalania węgla w tradycyjnych kotłach kondensacyjnych, lub nowo budowanych. Znana jest również pod nazwą „post – combustion”. Wychwytywanie i usuwanie dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] następuje po procesie spalania węgla w kotle. Technologia ta jest najbardziej optymalna pod względem modernizowania obecnych elektrowni węglowych poprzez nadbudowę instalacji CCS. Biorąc pod uwagę polską energetykę, która bazuje w około 95 [%] na węglu przy

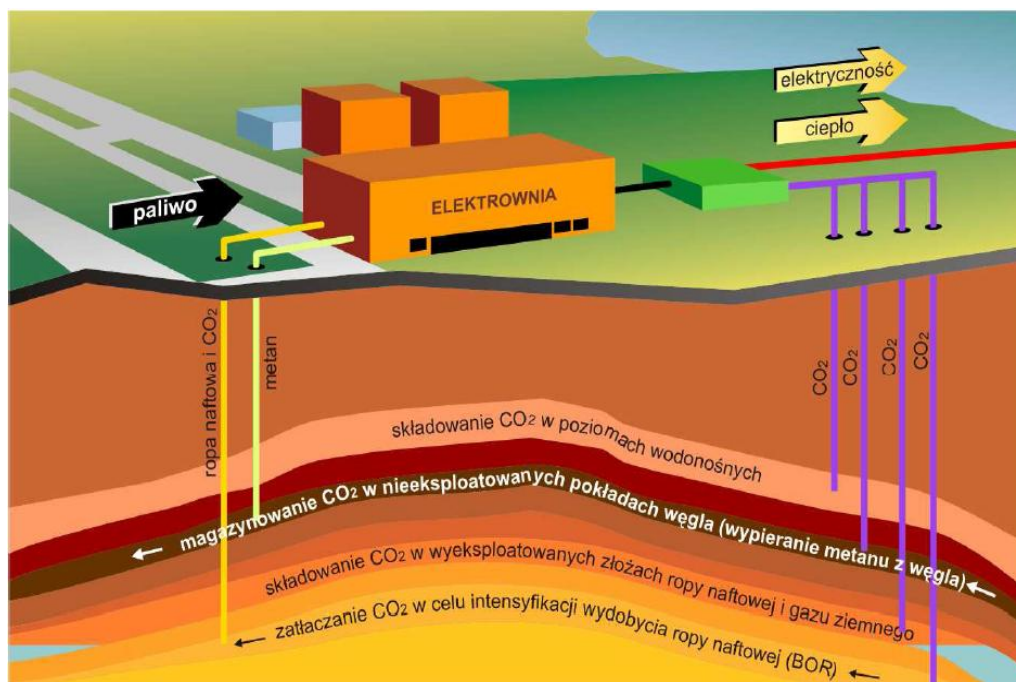
stosowaniu bloków kondensacyjnych, największe znaczenie obecnie w polskim przemyśle elektroenergetycznym posiada właśnie ta technologia. Celem w tej technologii jest odseparowanie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] od innych produktów procesu spalania, które zawarte są w spalinach, między innymi azot [N<sub>2</sub>], dwutlenek siarki [SO<sub>2</sub>] oraz tlenki azotu [NO<sub>x</sub>]. Technologiami separacji są procesy takie jak absorpcja fizyczna, absorpcja chemiczna, adsorpcja, separacja kriogeniczna oraz separacja membranowa. Technologię separacji dobiera się w zależności od właściwości spalin, czyli ich temperatury, ciśnienia, stężenia dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Jako absorbenty dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>], podobnie jak w przypadku komercyjnie stosowanych instalacji chemicznych w procesie usuwania gazów kwaśnych, stosowane są zazwyczaj aminy. Rzadziej stosowany jest glikol – polietylenowy, tlenek wapnia, węglan propylenowy, wodorotlenek potasu czy wodorotlenek sodu. Po procesie absorpcji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] ze spalin, zużyty do tego celu sorbent należy poddać regeneracji poprzez ogrzanie oraz uwolnienie czystego dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Potrzebne do tego procesu jest dodatkowe ciepło. Należy tutaj podkreślić, że właśnie regeneracja absorbentu jest przyczyną istotnego zmniejszenia się całkowitej sprawności termicznej elektrowni [6,7].

Druga technologia oznaczona literą B, to technologia „oxy – combustion”. Proces spalania węgla w kotle następuje przy dużej zawartości tlenu wynoszącego w zależności od zaawansowania technologicznego 95 [%], sięgając nawet poziomu 99 [%] czystego tlenu. Spalanie w atmosferze tlenowej, daje strumień dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] stosunkowo łatwy do wychwycenia. Zazwyczaj spalanie paliw kopalnych w tradycyjnych kotłach kondensacyjnych odbywa się przy użyciu powietrza atmosferycznego, zawierającego 21 [%] tlenu oraz 79 [%] azotu. Z uwagi na bardzo dużą zawartość azotu w powietrzu atmosferycznym, zawartość dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w spalinach opuszczających kocioł mieści się w zakresie zwykle ok. 14 [%]. W tej sytuacji rozdzielenie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] od reszty składników spalin jest dosyć kłopotliwe, ze względu na małą zawartość dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w spalinach opuszczających kocioł. Z tego powodu rozwija się koncepcję alternatywną spalania, która polegać ma na wyeliminowaniu podawanego razem z powietrzem atmosferycznym azotu oraz zastąpienia go prawie że czystym tlenem [O<sub>2</sub>] oraz cyrkulowanym dwutlenkiem węgla [CO<sub>2</sub>]. Proces ten prowadzi do tego, że w spalinach znajdują się głównie para wodna [H<sub>2</sub>O] i dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], który może zostać stosunkowo w prosty sposób wydzielony poprzez kondensację. Jest to znacznie mniej energochłonne niż stosowanie technologii wychwytywania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] metodami absorpcyjnymi. Natomiast w procesie tym występuje konieczność wcześniejszego wydzielenia tlenu [O<sub>2</sub>] z powietrza atmosferycznego, co jest operacją dość energochłonną. Studia nad tą technologią, które prowadzone są jak narazie w skali pilotowej wskazują, że metoda ta może być również zastosowana do przebudowy już istniejących kotłów eksploatowanych. Jest to dość stosunkowo młoda technologia stosowana do produkcji energii, a pierwsza instalacja w skali pilotowej o mocy zainstalowanej 30 [MW] uruchomiona została w Niemczech – Schwarze Pumpe w 2008 roku przez firmę Vattenfall [6,8,9].

Trzecia technologia oznaczona literą C oraz czwarta technologia oznaczona literą D, to technologie znane pod nazwą „pre – combustion”. Oznacza to, że wychwyt i usuwanie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] następuje przed procesem spalania. Zasadniczym produktem obu technologii jest gaz syntezowy zawierający wodór [H<sub>2</sub>] i tlenek węgla [CO]. W przypadku

dość prostego zabiegu polegającego na konwersji tlenku węgla [CO] w dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], a następnie jego usunięcie, otrzymuje się gaz bogaty w wodór [H<sub>2</sub>], który można wykorzystać do zasilania turbiny gazowej w układzie kombinowanym IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) do wytworzenia energii elektrycznej. Dlatego zostały podzielone te technologie na dwie osobne gałęzie, ponieważ można tą metodą nie tylko wytwarzać energię elektryczną jak zostało to pokazane na wyżej przedstawionym schemacie oznaczonym literą C, ale również odprowadzać gaz, który stosowany jest do różnych syntez chemicznych. Przedstawione to zostało na wyżej przedstawionym schemacie oznaczonym literą D. Można z odprowadzonego gazu wyprodukować paliwa ciekłe – silnikowe, metanol, mocznik czy nawet wydzielić z niego wodór [H<sub>2</sub>]. Technologia IGCC, wydaje się najbardziej obiecująca i dlatego też została ona wybrana jako główny temat pracy inżynierskiej [6,8].

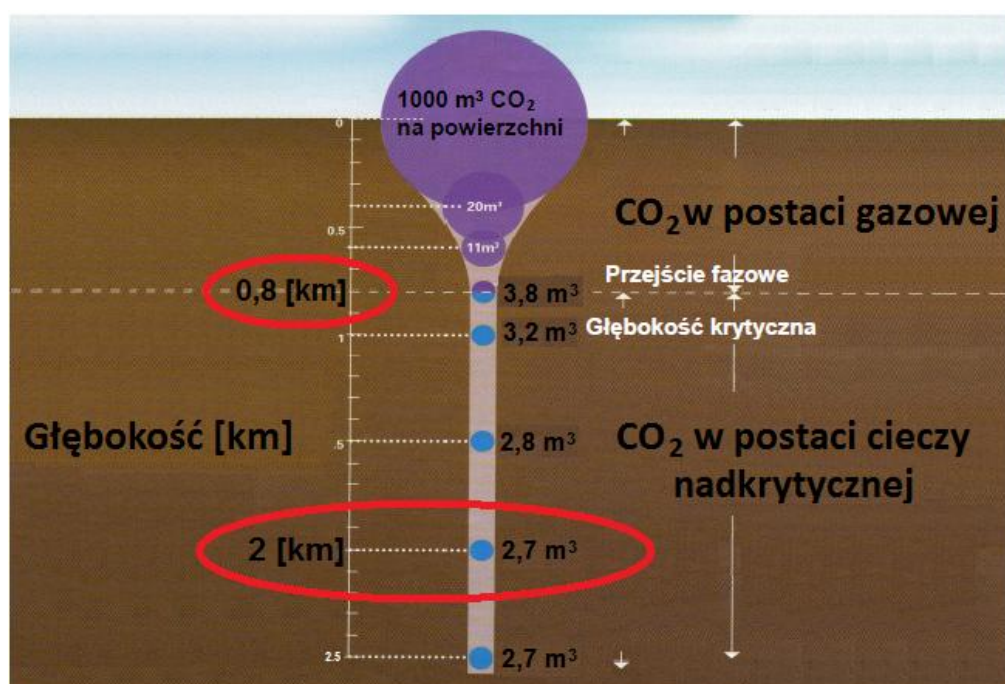
Mając już wychwycony dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>] należałoby go następnie przetransportować do przygotowanych wcześniej składowisk oraz zatłoczyć do pokładów geologicznych. Pytanie gdzie najefektywniej go składować, i jaki to będzie miało wpływ na środowisko naturalne? Czy w pokładach węgla nie nadających się do eksploatacji? Czy w głębokich słonych warstwach wodonośnych? Czy w wybranych złożach ropy i gazu? lub zatłaczanie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w celu intensyfikacji wydobywania ropy naftowej. Również brane pod uwagę jest możliwość magazynowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] w oceanie. Tutaj właśnie okazuje się, że samo wydzielenie dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] ze spalin, w czasie procesu spalania lub przed procesem spalania, nie wystarcza aby go bezpiecznie wyeliminować z naturalnego obiegu w ekosystemie, lub przynajmniej ustabilizować jego stężenie w atmosferze. Ważne jest jego odpowiednie oraz bezpieczne dla środowiska magazynowanie. Na rysunku poniżej zostały przedstawione możliwości geologicznego magazynowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [6,10,11].



Rysunek 5. Możliwości geologicznego magazynowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [11]



Trwała eliminacja dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] oznacza, że najpierw należy go wytransportować z zakładu gdzie jest wytwarzana energia, a następnie zatłoczyć, zazwyczaj w stanie ciekłym, w struktury geologiczne, które zalegają na głębokości poniżej 0,7 [km] od poziomu gruntu z uwagi na potrzebę utrzymywania tego dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] pod ciśnieniem około 10 [MPa]. Pozwala mu to pozostać w stabilnym stanie ciekłym, inaczej zwanym stanem nadkrytycznym. Dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ] posiada właściwości takie, że może występować w trzech stanach skupienia w zależności od ciśnienia i temperatury. Stałym, ciekłym i gazowym. Jest on jednym z gazów atmosfery ziemskiej występujących przy powierzchni Ziemi, w stężeniu około 0,037 [%]. W temperaturze pokojowej jest to bezbarwny, bezwonny i niepalny gaz, dobrze rozpuszczalny w wodzie i cięższy od powietrza. Ma lekko kwaskowaty smak i jest gazem nietoksycznym. W procesie zatłaczania korzystne jest utrzymywanie dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w fazie nadkrytycznej, w której zachowuje się on jak gaz ale posiada gęstość cieczy. Na głębokości ok. 0,8 [km], zatłoczony dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ] przechodzi w stan tzw. nadkrytyczny. Zostało to przedstawione schematycznie na poniższym rysunku (patrz Rys.6). Jego objętość zmniejsza się diametralnie z 1000 [ $\text{m}^3$ ] na powierzchni do 2,7 [ $\text{m}^3$ ] na głębokości 2 [km]. Jest to jeden z ważniejszych czynników, który sprawia, że geologiczne składowanie wielkich ilości dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] jest korzystne, oraz dzięki temu można zaoszczędzić bardzo dużo przestrzeni, poprzez właściwości jakie posiada dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ] [6,10,11].



Rysunek 6. Redukcja objętości dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] z głębokością [11]

Jak widać występuje wiele możliwości geologicznego magazynowania dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ], oraz dzięki właściwościom jakie posiada ten gaz, można go w dużych ilościach składować. Poniżej zostały przedstawione koszty związane z wdrożeniem technologii CCS w konwencjonalnych, modernizowanych instalacjach energetycznych oraz nowych, w technologii gazowej na gaz ziemny oraz w technologii IGCC.

### 3. Koszty technologii CCS

Koszty technologii CCS zostały sporządzone tylko hipotetycznie, gdyż nie istnieje jeszcze żadna pełnoskalowa aplikacja tych technologii. Zastosowany został do tego celu model LIBEMOD (LIBeralisation MODel for the European Energy Markets). Ten model wymaga jednak dość szczegółowego określenia parametrów kosztowych, bowiem stałych i zmiennych kosztów eksploatacji i utrzymania, kosztów paliwa oraz kosztów inwestycyjnych. Występujące rozbieżności, prezentowane przez opinie personelu elektrowni jak również ekspertów, autorzy w poniższym opracowaniu oparli się wyłącznie na dostępnych oszacowaniach kosztów. Miarodajnym podsumowaniem tych kosztów był raport zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń klimatycznych IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change [6].

**Tabela 1. Przegląd kosztów technologii CCS [6]**

| Elektrownia<br>Parametr                                                                               | Węglowa nowa<br>IGCC<br>„pre-combustion” | Gazowa nowa<br>„post-combustion” | Węglowa<br>modernizowana<br>„post-combustion” | Gazowa<br>modernizowana<br>„post-combustion” |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Zmniejszenie sprawności netto                                                                         | 10%                                      | 15%                              | 40%                                           | 30%                                          |
| Ograniczenie emisji CO <sub>2</sub> na MWh                                                            | 89%                                      | 88%                              | 83%                                           | 86%                                          |
| Średni koszt en. elektr. bez CCS<br>USD/MWh (2007)                                                    | 49,4                                     | 44,8                             | 25,8                                          | 33%                                          |
| Wzrost kosztu e.e. na skutek CCS                                                                      | 18,3                                     | 18,7                             | 48,2                                          | 32,6                                         |
| Średni koszt z CCS                                                                                    | 67,7                                     | 63,5                             | 73,9                                          | 65,6                                         |
| Koszt uniknięty redukcji CO <sub>2</sub><br>USD/t CO <sub>2</sub>                                     | 27,4                                     | 58,8                             | 60,9                                          | 105,8                                        |
| Koszt uniknięty redukcji CO <sub>2</sub><br>(z transportem i magazynowaniem)<br>USD/t CO <sub>2</sub> | 35,6*                                    | 67,4*                            | 73,9*                                         | 116,6*                                       |

W tabeli powyżej przedstawiono przegląd kosztów technologii CCS, również wpływ na obniżenie sprawności oraz możliwości ograniczenia emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] na [MWh] energii. Według danych przedstawionych powyżej, można zauważyć znaczące różnice dla czterech wybranych zastosowań technologicznych, ale jak widać dla wszystkich przypadków koszty związane z transportem i magazynowaniem są niewiele większe niż w porównaniu z kosztami wychwytywania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Zauważyć można, że bardziej kosztowne w odniesieniu do „Kosztu unikniętej tony redukcji emisji CO<sub>2</sub>”, jest technologia CCS dla stosowanego paliwa gazowego w technologii post – combustion niż dla węgla stosowanego w technologii IGCC. Wynika to z niższej emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] na jednostkę wyprodukowanej energii. Z tabeli wynika, że ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> na [MWh] energii dostarczonej do sieci, średnio mieści się w przedziale 86,5 [%]. Założenia technologii CCS podają, że redukcje emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] uzyska się na poziomie około 90 [%], ale nie zostały przy tym uwzględnione potrzeby własne instalacji redukcyjnej. Można zauważyć, że wprowadzenie technologii CCS zmniejszy sprawność netto wszystkich układów. W technologii IGCC wyniesie ona około 10 [%]. Jest to najniższy spadek

w porównaniu z innymi wyżej wymienionymi technologiami z instalacją CCS. Największy spadek sprawności netto natomiast wynosi przy modernizowaniu obecnych elektrowni węglowych – 40 [%]. Również największy stopień na ograniczenie emisji dwutlenku węgla ma technologia IGCC. Posiada bowiem 89 [%] skuteczności ograniczenia emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Choć średni koszt energii elektrycznej bez instalacji CCS wyliczony w roku 2007 wynosił najwięcej dla technologii IGCC, bowiem 49,4 [USD/MWh], to wzrost kosztu na skutek zastosowania instalacji CCS był najmniejszy [6].

#### 4. Podsumowanie

Pomimo wyżej wymienionych korzyści technologii CCS na obniżenie emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] występują bariery szerokiego wykorzystywania tej technologii. Są to tzw. sztuczne przeszkody, które są stwarzane przez politykę rządów. Jedną z nich są dodatkowe koszty. Generalnie zawsze tak jest, że nowe technologie wymagają wyższych kosztów, niż technologie konwencjonalne, szczególnie kosztów kapitałowych. Więc nie mogą sobie pozwolić na nie kraje o niskich dochodach, chyba że są one wspierane poprzez fundusze pomocowe. Drugą z nich to ryzyko techniczne. Niektóre technologie są na tyle nowe, że nie są na czas dzisiejszy komercyjnie sprawdzone, są to również często bardziej złożone instalacje niż instalacje konwencjonalne. Użytkownicy oraz instytucje dysponujące takimi funduszami na rozpowszechnianie nowych technologii mogą unikać wyższego ryzyka jakim jest wspieranie takich rozwiązań. Trzecią z nich to ryzyko regulacyjne. Nawet jeżeli technologie przynoszą korzyści dla mniejszego zanieczyszczenia środowiska, polityka rządowa nie zawsze wspiera ich rozpowszechnienie. Niepewność co do przyszłościowych trendów stosowanych nośników energii mogą zniechęcać Państwa do długoterminowych inwestycji w technologie opartych na wykorzystywaniu węgla, nawet gdy są one najbardziej efektywne i ekonomiczne w przypadku redukcji emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Jednakże należy tutaj podkreślić, że węgiel zarówno brunatny jak i kamienny występuje na świecie w największych ilościach, szacowany na kolejne 200 do 300 lat więc o niepewności co do przyszłościowych trendów stosowania nośników energii raczej niema tutaj mowy, ponieważ i tak prędzej czy później węgiel będzie stanowić podstawowy nośnik energii na całym świecie.

Spekuluje się, że technologie wychwytywania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] z procesów spalania paliw oraz magazynowania go pod ziemią posłużą ludzkości przez najbliższe kilkadziesiąt lat, do czasu, gdy wynalezione zostaną inne metody pozyskiwania energii niż z paliw kopalnych, również w wysokim stopniu wydajnych. Tak więc technologia CCS jest, można powiedzieć technologią przejściową, która ma wspomóc proces ograniczenia emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] oraz przyczynić się do obniżenia kosztów dekarbonizacji gospodarki światowej. Największy postęp nad technologią CCS ma miejsce w Europie, USA i Australii. Pomimo tego, że w ostatnich latach znacznie przyspieszyły badania nad tą technologią, to z uwagi na ogromne koszty projektów w skali przemysłowej konieczne staje się dofinansowanie rozwoju tej technologii ze środków publicznych. Stany Zjednoczone, Australia i Wielka Brytania przeznaczyły spore środki na wsparcie takich projektów. Komisja Europejska również oznajmiła, że dofinansowanie dostanie kilka pierwszych demonstracyjnych zakładów na łączną kwotę około 6 – 8 mld Euro. Te środki mają być dostępne już w połowie 2013 roku. Starania dotyczą tego aby pierwsze projekty powstawały



jak najszybciej, możliwie przed końcem roku 2015. Proponowane dofinansowania dla najbardziej zaawansowanych projektów w Europie przedstawione zostały w projekcie European Energy Recovery Plan. Postanowiono tam przeznaczyć 3,5 mld Euro na projekty związane z wytwarzaniem czystej energii, w tym ponad 1 mld Euro na demonstracyjne projekty CCS. Przemysł energetyczny w bardzo dużym stopniu przygotowuje się do wdrażania tej nowej technologii. Na świecie zostały już uruchomione pierwsze jednostki pilotażowe w technologii spalania w tlenie. Pierwszą instalacją pilotażową była instalacja OXY – combustion, która została uruchomiona w Niemczech – Schwarze Pumpe w roku 2008 przez firmę Vattenfall. Zakłada się, że technologia CCS zostanie w najbliższych latach rozwinięta do tego stopnia, że łączne koszty związane z wychwytywaniem dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] oraz jego zatłaczaniem będą niższe niż koszty związane z zakupem pozwoleń na emisję. Pozostaje jednak wielki problem związany z akceptacją społeczną dla transportu oraz składowania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] pod ziemią. Przekonanie społeczeństwa może nie być łatwe. W zapisach dyrektywy CCS można znaleźć informację, które nakładają na operatora magazynu, w którym zmagazynowany jest dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], 50 – letni okres kontroli magazynu po zakończeniu jego eksploatacji. Podsumowując to brak zaufania społeczeństwa jak również długi okres odpowiedzialności oraz nierozpoznane w dużej skali koszty zastosowania technologii CCS to przyczyny, które mogą zniechęcić inwestorów do inwestycji w tą technologię. Z drugiej strony jednak, jak szacuje Międzynarodowa Agencja Energii, bez technologii CCS koszty związane z uzyskaniem założonego ograniczenia emisji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] o 50 [%] na całym świecie byłyby o około 70 [%] wyższe. Zatem konieczne staje się być silne wsparcie rządów wszystkich krajów Europy, aby przekonać społeczeństwa do korzyści, jakie wynikają z zastosowania technologii CCS. Bez wsparcia, zarówno ekonomicznego jak również politycznego, wdrożenie tej technologii konwencjonalnie może być niezwykle trudne. Dlatego należy podążać w kierunku jak największej współpracy rządów, przedsiębiorstw, naukowców związanych z tematyką CCS, organizacji społecznych oraz społeczności w propagowaniu oraz rozwijaniu technologii CCS. W celu propagowania oraz rozwijania technologii CCS został utworzony w 2008 roku, za pośrednictwem rządu Australii, Globalny Instytut Wychwytywania i Składowania dwutlenku węgla (GCCSI – Global Carbon Capture and Storage Institute). Również rząd Wielkiej Brytanii ma zamiar finansowania budowy bloku energetycznego zawierającego instalację CCS w pełnej, tzw. przemysłowej skali wraz ze składowaniem wychwyconego dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] pod dnem morza. Przyczynia się to również bezpośrednio do rozwoju technologii CCS [10,11].

**Bibliografia:**

1. AGH, Wydział Energetyki i Paliw. Zgazowanie węgla - szansa na czyste jutro, Michał Kumor, Kraków 2010.
2. Możliwość ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> w energetyce, prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak, dr inż. Izabela Majchrzak – Kucęba, mgr Anna Majchrzak, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2010.
3. Węgiel i nowoczesne technologie – wywiad Wojciecha Kwinta z Rod Christie, szefa GE Energy na Europę Środkową i Wschodnią, Rosję i kraje WNP. Energia Gigawat – kwiecień 2007.

4. POLITYKA ENERGETYCZNA Tom 12 \_ Zeszyt 2/1 \_ 2009 PL ISSN 1429-6675 Marek Ściążko, Technologiczne i ekonomiczne bariery usuwania dwutlenku węgla w układach energetycznych.
5. World Energy Outlook, International Energy Agency, OECD, 2009.
6. Technologia wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS) sposobem na złagodzenie zmian klimatu; Konfederacja Pracodawców Prywatnych Lewiatan, Foreign & Commonwealth Office - promującego gospodarkę niskoemisyjną; Warszawa, listopad 2010 r.
7. Załącznik nr 2 do Zielonej Księgi Narodowego Programu Redukcji Emisji Gazów Ciężkich: „Czyste Technologie Węglowe” - Społeczna Rada Narodowego Programu Redukcji Emisji, Warszawa, maj 2010 r.
8. Wychwytywanie i zagospodarowanie CO<sub>2</sub> w energetyce, Prof. Wojciech Nowak – Inauguracja Polsko – Norweskiego projektu, Częstochowa 19 wrzesień 2008.

**Wykaz stron internetowych:**

9. <http://www.zgazowaniewegla.agh.edu.pl/>
10. <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/ewr/co2/oxycombustion.html>
11. [http://www.vattenfall.com/www/co2\\_en/co2\\_en/879177tbd/879211pilot/index.jsp](http://www.vattenfall.com/www/co2_en/co2_en/879177tbd/879211pilot/index.jsp)

## 27. WYSOKOSPRAWNA TECHNOLOGIA IGCC SEKTORA ENERGETYCZNEGO

**Mathias Romańczyk**

Politechnika Częstochowska

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

Instytut Maszyn Ciepłych

al. Armii Krajowej 21; 42-201 Częstochowa

Promotor: Prof. dr hab. inż. Witold Elsner

Email: mathias@imc.pcz.czyst.pl

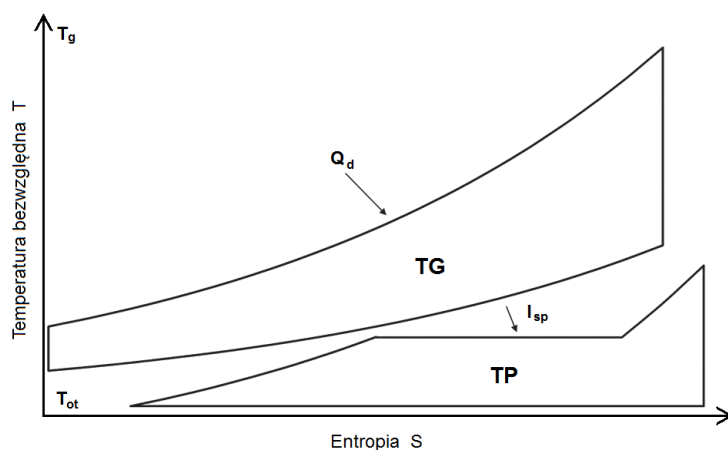
### 1. Wstęp

Technologia IGCC (ang. Integrated Gasification Combined Cycle) to technologia bloku gazowo-parowego ze zintegrowanym układem zgazowania paliwa. Technologia ta zaliczana jest do grupy czystych technologii węglowych (CCT- Clean Coal Technologies). Posiada ona najwięcej zalet, spośród rozważanych technologii przyszłościowych wytwarzania energii elektrycznej z punktu widzenia energetycznego jak i również ekologicznego. Cechą charakteryzującą tą technologię jest wysoka sprawność energetyczna wynosząca około 50 [%] a uzyskiwana dzięki kombinowanemu obiegowi gazowo-parowego [1]. Obieg gazowo – parowy składa się z turbiny gazowej oraz turbiny parowej. Spaliny wylatujące z turbiny gazowej posiadają stosunkowo wysoką temperaturę wynoszącą od około 500 – 700 [°C]. W prostym układzie, tylko z zastosowaniem turbiny gazowej, spaliny są wyrzucane do otoczenia. Ich stosunkowo wysoka wartość entalpii stanowi stratę wylotową. W układzie gazowo-parowym natomiast spaliny te wykorzystuje się do wytworzenia pary w tzw. kotle odzysknicowym, która kierowana jest w dalszym etapie na turbinę parową, w celu wytworzenia energii elektrycznej [2].

Sprawność klasycznych parowych elektrowni na parametry podkrytyczne (temperatura pary odpływającej z kotła nie przekracza 540 [°C] przy ciśnieniu 18,3 [MPa]) jest istotnie mniejsza, wynosi zaledwie 37 [%] [3].

Powodem małej sprawności wytwarzania energii elektrycznej w klasycznych układach parowych, które pracują według obiegu Clausiusa-Rankine’a, jest nie wykorzystanie w kotle parowym (tj. przeponowy wymiennik ciepła, w którym podgrzewana jest woda poprzez spaliny aż do momentu wytworzenia się pary), górnego zakresu temperaturowego spalin (patrz rys. na następnej stronie), pomimo tego, że kocioł parowy posiada dużą sprawność energetyczną. Spowodowane to jest bardzo dużą różnicą pomiędzy temperaturą, przy której następuje spalanie paliwa w kotle a temperaturą produkowanej w nim pary. Wynosi ona bowiem grubo ponad 1000 [°C]. Skutkuje to dużymi stratami, które powstają w wyniku nieodwracalności przepływu ciepła między spalinami a produkowaną w tym kotle parą. Zmniejszyć można te straty poprzez jak największe wykorzystanie górnego zakresu temperaturowego spalin. Istotnie zwiększa to sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach co zostało już osiągnięte. Bowiem największe sprawności wytwarzania energii elektrycznej w klasycznych elektrowniach parowych, dochodzą już do 45 [%]. Sprawności te są osiągane przy nadkrytycznych parametrach pary. Oznacza to, że temperatura

pary odpływającej z kotła wynosi około 600 [°C] przy ciśnieniu 27 [MPa]. Możliwe jest także uzyskanie sprawności wytwarzania energii elektrycznej wynoszącej około 50 [%]. Realizowane to jest przy parametrach ultra – nadkrytycznych. Temperatura pary wówczas dochodzi do temperatury około 720 [°C] oraz ciśnieniu 35 [MPa]. Pozwala to znacznie obniżyć tzw. tracony górny zakres temperaturowy [4].



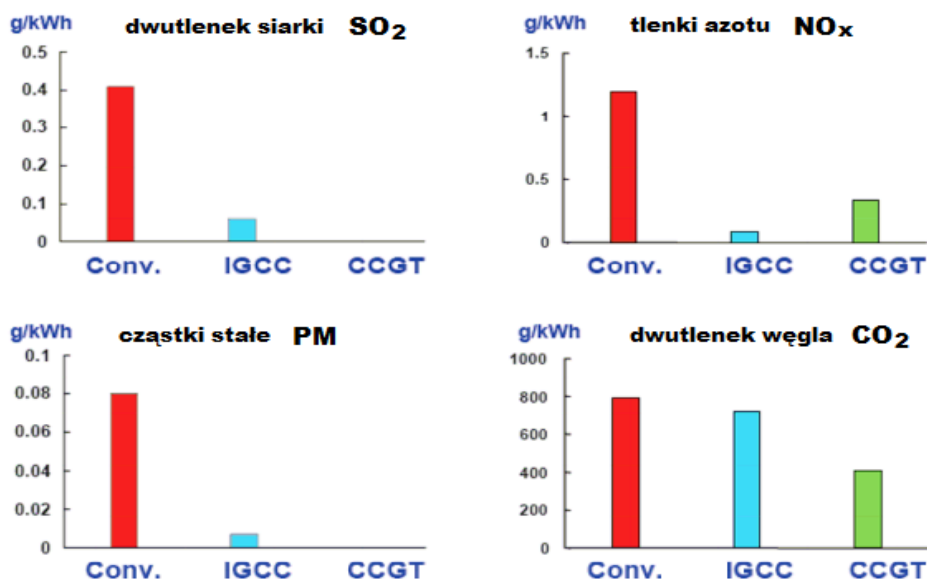
**Rysunek 1. Obieg porównawczy układu gazowo – parowego (TG – turbina gazowa – obieg Joule’a**

TP – turbina parowa – obieg Clausiusa – Rankine’a;  $Q_d$  – ciepło napędowe doprowadzone do turbiny gazowej – TG;  $I_{sp}$  – entalpia spalin wylotowych z turbiny gazowej – TG doprowadzone do turbiny parowej – TP za pomocą kotła odzysknicowego) [4]

Na rysunku powyższym przedstawiony został porównawczy obieg układu gazowo parowego. Część z turbiną gazową (TG) pracuje według obiegu Joule’a a część z turbiną parową (TP) pracuje według obiegu Clausiusa – Rankine’a. Można zauważyć, że całe ciepło napędowe  $Q_d$  (jest to ciepło pochodzące z zewnętrznego źródła) doprowadzane zostaje wyłącznie do części gazowej – TG. Natomiast entalpia spalin wylotowych z turbiny gazowej ( $I_{sp}$ ) zostaje doprowadzona do turbiny parowej – TG, poprzez wcześniejsze wytworzenie w kotle odzysknicowym pary [4].

Nowym, w stosunku do powyższego, elementem w technologii IGCC jest występowanie dwustopniowego procesu spalania. Oznacza to, że w pierwszym stopniu procesu następuje zgazowanie paliwa, jego oczyszczenie (odpylenie i odsiarczenie), natomiast w drugim stopniu procesu następuje spalanie oczyszczonego gazu w komorze spalania turbiny gazowej [3]. Oprócz sprawności całego procesu należałoby dodać, że do zalet technologii IGCC można zaliczyć możliwość stosowania wszelkiego rodzaju naturalnych lub sztucznych paliw stałych. Patrząc na dzisiejszą energetykę, w procesie zgazowania paliw stałych, wykorzystuje się najczęściej małowartościowe węgle kamienne jak i węgle brunatne. Gaz otrzymany z takiego surowca, jako paliwo uszlachetnione, można w stosunkowo łatwy sposób uwolnić od wszelkich rodzajów zanieczyszczeń takich jak siarka [S], dwutlenek węgla [ $CO_2$ ], tlenek azotu [NO] itp. Jest to dość istotna przewaga systemu IGCC nad blokami spalającymi węgiel w kotłach pyłowych tzw. konwencjonalnych. Możliwość wychwytu skoncentrowanego dwutlenku węgla [ $CO_2$ ] wynosi ponad 95 [%], skuteczność odsiarczania wynosi 99 [%] a odazotowania 90 [%]. Dzięki temu czystość pracy elektrowni węglowych

IGCC jest porównywalna do elektrowni gazowych zasilane gazem ziemnym. Poniżej zostało przedstawione porównanie emisji najważniejszych zanieczyszczeń [5,6].



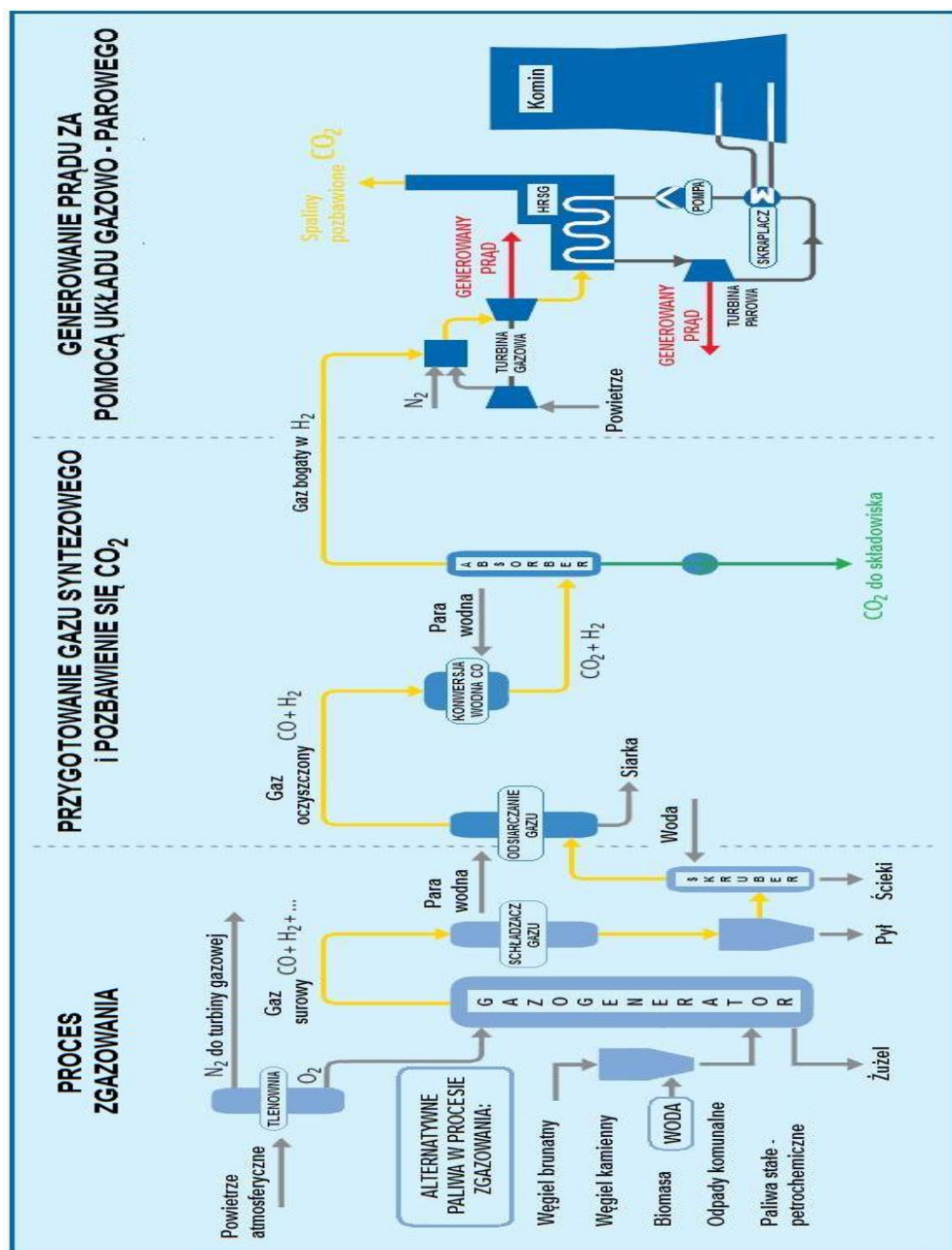
**Rysunek 2. Porównanie emisji najważniejszych zanieczyszczeń z technologią IGCC [6]**

Conv. – kotły pyłowe konwencjonalne, CCGT – technologia bloku gazowo - parowego

Jak można zauważyć na powyższym rysunku metody konwencjonalne, czyli obecnie stosowane kotły pyłowe w większości krajach, nie tylko w Polsce posiadają największe emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Technologia IGCC w stosunku do pozostałych technologii posiada znikome zanieczyszczenia (zwłaszcza emisji tlenków azotu [NO<sub>x</sub>]), a dodatkowa możliwość ich usunięcia eliminuje je prawie że w 100 [%]. Także należałoby dodać, że zużycie wody jest o połowę mniejsze, niż w elektrowniach konwencjonalnych. Technologia IGCC stosowana jest od dziesięcioleci, a koszt elektrowni, chociaż większy od konwencjonalnej, lecz po uwzględnieniu cen, jakie będzie trzeba płacić w przyszłości za emisję dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] to staje się ona konkurencyjna oraz opłacalna [5,6].

## 2. Opis technologii IGCC

Rozdział ten poświęcony jest szczegółowemu omówieniu przebiegu procesu technologicznego IGCC. W tym celu wykorzystano schemat instalacji IGCC firmy RWE z zastosowaniem gazogeneratora typu Winkler (patrz Rys.3). Instalacja ta ma zostać wybudowana w niemieckiej miejscowości Hürth. Planowane zakończenie budowy było pod koniec 2014 roku. Moc, jaką instalacja miała dysponować to 450 [MW], z zastosowaniem układu separacji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [7].

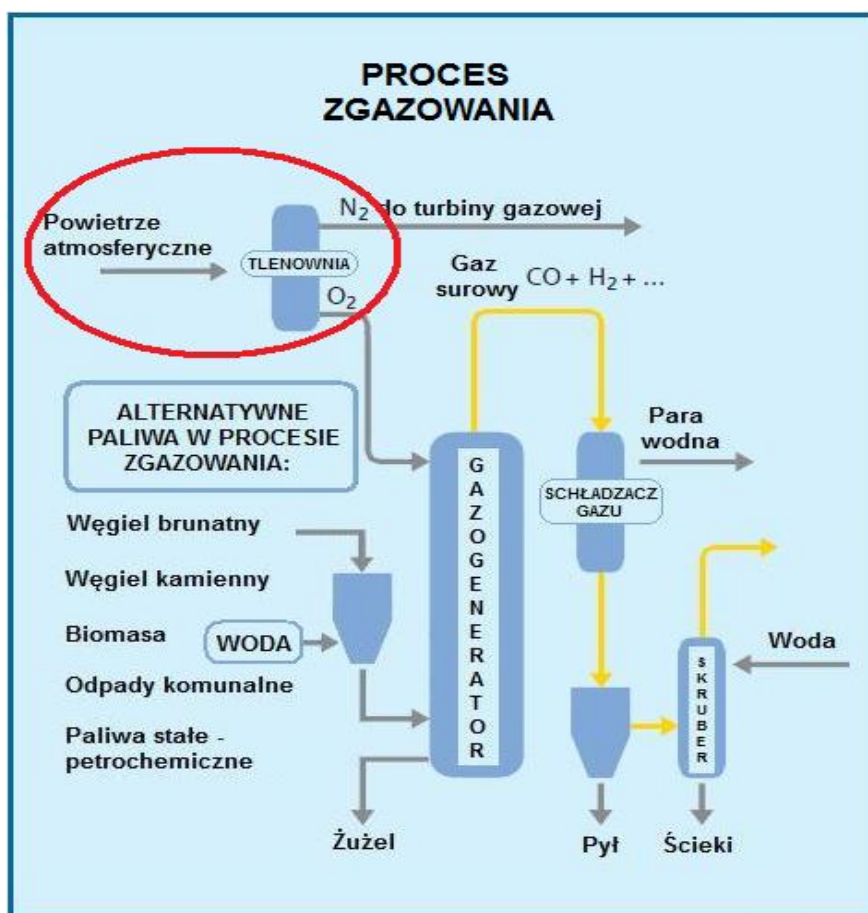


**Rysunek 3. Technologia IGCC – zobrazowany schemat technologii IGCC według RWE [7]**

Cykl procesu IGCC można podzielić na trzy oddzielne podprocesy. Zostało to również zaznaczone na powyższym schemacie technologii IGCC według RWE:

1. **Proces zgazowania**, który zawiera w sobie separację tlenu i azotu z powietrza atmosferycznego w tlenowni, oraz późniejsze zgazowanie paliwa (omawianym paliwem jest węgiel)
2. **Przygotowanie gazu syntezowego**, tzn. jego oczyszczanie z wszelkich zanieczyszczeń w tym także sekwestracja dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ]
3. **Generowanie prądu za pomocą układu gazowo – parowego**, czyli spalanie gazu syntezowego w turbinie gazowej oraz późniejsza kombinacja z turbiną parową [7].

Odwołując się do wyżej przedstawionego schematu RWE, w pierwszym etapie następuje separacja tlenu [O<sub>2</sub>] i azotu [N<sub>2</sub>] z powietrza atmosferycznego, co następuje w tzw. tlenowni. Zostało to przedstawione na poniższym rysunku [7].



Rysunek 4. Proces zgazowania według RWE [7]

Separacja gazów jest to jedna z podstawowych metod służąca do pozyskiwania czystych gazów, które są niezbędne w realizacji wielu procesów przemysłowych. Gazy czyste stosowane są praktycznie we wszystkich obszarach, które związane są z produkcją, ochroną środowiska oraz pracami badawczo-rozwojowymi. Najczęściej stosowane gazy to: powietrze syntetyczne, tlen, azot, wodór, hel, metan, dwutlenek węgla, chlor [8].

Niektóre gazy można bezpośrednio uzyskać z powietrza atmosferycznego. Skład powietrza atmosferycznego przedstawia się następująco:

**Tabela 1. Skład powietrza atmosferycznego [8]**

| <b>Składnik</b> | <b>Udział objętościowy (%)</b> |
|-----------------|--------------------------------|
| Azot            | 78,03                          |
| Tlen            | 20,93                          |
| Argon           | 0,93                           |
| Dwutlenek węgla | 0,03                           |
| Wodór           | $5 \cdot 10^{-5}$              |
| Neon            | $1,5 \cdot 10^{-2}$            |
| Hel             | $5 \cdot 10^{-1}$              |
| Krypton         | $1 \cdot 10^{-4}$              |
| Ksenon          | $0,9 \cdot 10^{-5}$            |

Celem separacji w technologii IGCC jest uzyskanie czystego tlenu [O<sub>2</sub>], który jest wykorzystywany w procesie zgazowania, natomiast azot [N<sub>2</sub>], który posiada wysoką czystość zostaje podany razem z Syngazem → (paliwo syntetyczne – to gaz uzyskiwany w procesie zgazowania węgla oraz po oczyszczeniu z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń jakimi są siarka, dwutlenek węgla, tlenki azotu itp.) → do komory spalania w turbinie gazowej. Dzięki tej metodzie wzrasta przepływ masy czynnika przez turbinę gazową, co podnosi automatycznie jej moc wyjściową. Taka metodyka postępowania przyczynia się ponadto (przy obecności azotu [N<sub>2</sub>] w spalonym gazie) do redukcji emisji jego tlenków [NO<sub>x</sub>] oraz może znacznie przyczynić się do zmniejszenia potrzeby wtrysku wody lub pary wodnej do turbiny gazowej [8,9].

Miarą efektywności przeprowadzenia procesu zgazowania jest sumaryczny udział wodoru [H<sub>2</sub>] oraz tlenku węgla [CO] w wytworzonym gazie procesowym. Stąd bardzo dużo zależy od czystości tlenu [O<sub>2</sub>] stosowanego w procesie zgazowania, jakie produkty w końcowym efekcie uzyskamy. Zostały przyjęte jego standardy czystości na poziomie wynoszącym 95 [%] oraz 99,5 [%]. Niższa czystość tlenu [O<sub>2</sub>], czyli ta o wartości 95 [%], stosowana jest zazwyczaj w zintegrowanych układach energetycznych IGCC, natomiast wyższa czystość tlenu [O<sub>2</sub>] potrzebna jest w technologii wytwarzania gazu do syntezy chemicznej. Do technologii wydzielania tlenu [O<sub>2</sub>] z powietrza można stosować technologie takie jak: adsorpcja, absorpcja chemiczna, separacja kriogeniczna, separacja membranowa lub tzw. wymiana jonowa (ITM – Ion Transport Membrane). Poniżej została przedstawiona tabela porównująca technologie wytwarzania tlenu [O<sub>2</sub>] [9,10].

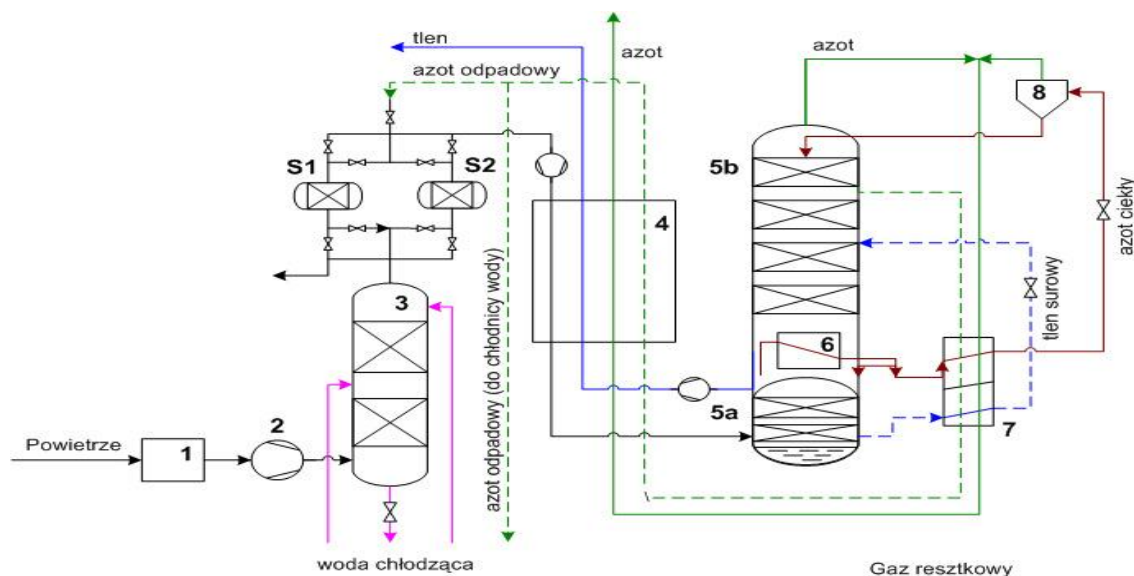


**Tabela 2. Porównanie technologii wytwarzania tlenu [O<sub>2</sub>] [11]**

| Proces                 | Stopień rozwoju    | Zakres stosowności<br>kg O <sub>2</sub> /h | Możliwość wytwarzania produktów ubocznych | Czystość wytwarzanego tlenu (%obj.) | Czas rozruchu |
|------------------------|--------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Adsorpcja              | częściowo dojrzała | < 6 000                                    | słaba                                     | 95                                  | minuty        |
| Absorpcja chemiczna    | Rozwijana          | nieokreślona                               | słaba                                     | > 99                                | godziny       |
| Separacja kriogeniczna | komercyjna         | > 750                                      | doskonała                                 | > 99                                | godziny       |
| Separacja membranowa   | częściowo dojrzała | < 750                                      | słaba                                     | ~ 40                                | minuty        |
| Wymiana jonowa ITM     | Badania            | nieokreślona                               | słaba                                     | > 99                                | godziny       |

Spośród wyżej przedstawionych w tabeli metod wytwarzania tlenu [O<sub>2</sub>], aktualnie w dużej skali przemysłowej stosowana jest najczęściej separacja kriogeniczna. Pozostałe metody nie są jak na razie tak konkurencyjne w przypadku masowej produkcji tlenu [O<sub>2</sub>], zwłaszcza przy wysokiej wymaganej czystości tego produktu. Rozwój ich związany jest głównie z badaniami w zakresie stosowania nowych materiałów adsorbujących i membranowych dla optymalizacji oraz efektywności ekonomicznej całego procesu. Pozostałe procesy są obecnie na etapie prac badawczych. Duże nadzieje wiąże się z rozwojem technologii ITM, która ma być w stanie wyprodukować duże strumienie tlenu [O<sub>2</sub>] o wysokiej czystości. Metoda ta rozważana jest jako potencjalny konkurent dla separacji kriogenicznej [10,11].

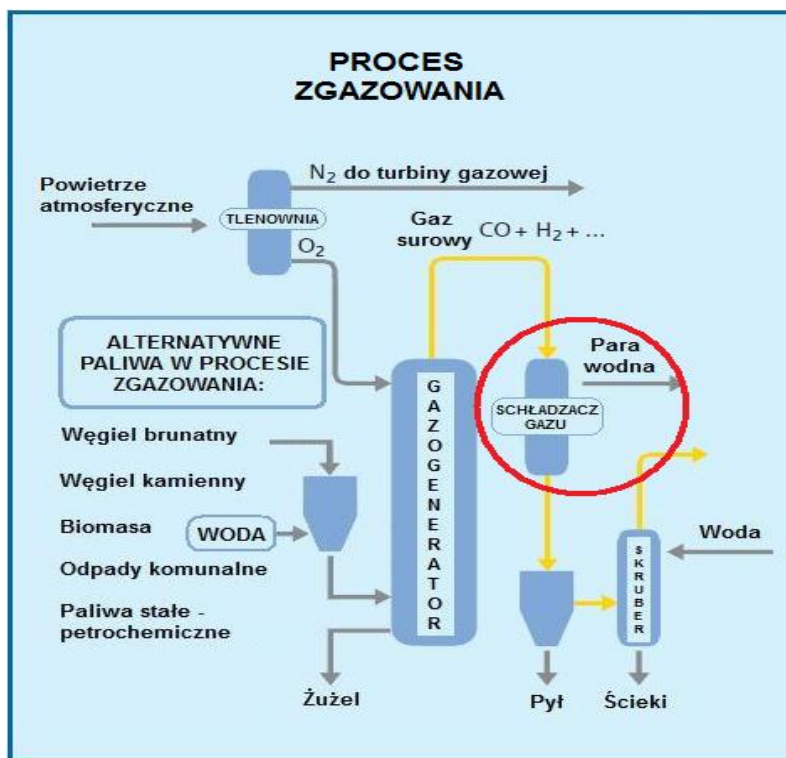
Schemat instalacji kriogenicznej separacji powietrza dla technologii zgazowania węgla w metodzie IGCC został przedstawiony na poniższym rysunku zgodnie z ofertą firmy Messer, która jest komercyjnym dostawcą tej technologii [11].

**Rysunek 5. Schemat instalacji kriogenicznej separacji powietrza [11]**

Opis schematu instalacji kriogenicznej separacji powietrza przedstawionego na poprzedniej stronie jest następujący. Powietrze doprowadzane do instalacji poddawane jest filtracji [1], a następnie ulega sprężaniu w tzw. głównym kompresorze powietrza [2] do ciśnienia wynoszącego około 0,62 [MPa]. Po jego sprężeniu, powietrze następnie kierowane jest do wieży chłodniczej [3], gdzie następuje jego chłodzenie. Schłodzone powietrze kolejno przekazywane jest do układu adsorpcji. Są to tzw. sita molekularne oznaczone na rysunku jako [S1], [S2], gdzie następuje proces oddzielania wilgoci jak również śladowych ilości innych zanieczyszczeń, w tym także dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] oraz węglowodorów. Dlatego stosowane są dwa adsorbery, ponieważ gdy jeden adsorber zajmuje się oczyszczaniem powietrza, to drugi poddawany jest cyklowi regeneracji. Jako gaz regeneracyjny stosowany jest odpadowy azot. Część już suchego oraz czystego powietrza odprowadzana jest z układu jako powietrze do układów regulacji jak i sterowania oraz jako powietrze technologiczne. Oczyszczone powietrze następnie doprowadzane jest do wymiennika ciepła oznaczony na powyższym schemacie liczbą [4]. Podlega on tam dalszemu chłodzeniu do temperatury wynoszącej około - 180 [°C]. Następnie w postaci tzw. nasyconych oparów wprowadzane zostaje do wieży destylacyjnej, która składa się z dwóch kolumn. Pierwsza z nich to kolumna wysokociśnieniowa [5a] a druga z nich to kolumna niskociśnieniowa [5b]. Przy wejściu powietrza do kolumny wysokociśnieniowej następuje jego wstępna separacja do czystego azotu oraz surowego tlenu. Strumień azotu kolejno przechodzi przez kondensator oznaczony numerem [6] do kolumny [5b]. Część azotu, która została skondensowana jest chłodzona w chłodnicy [7] oraz doprowadzana, po przejściu przez tzw. separator [8], do górnej części kolumny [5b] aby osiągnąć określoną temperaturę chłodzenia. Następnie nadwyżka skondensowanego azotu wraca ponownie do kolumny [5a]. Kolejno strumień surowego tlenu po ochłodzeniu w chłodnicy, oznaczonej numerem [7], wprowadzany zostaje do środkowej części kolumny [5b]. W dolnej części kolumny [5a] zachodzi natomiast separacja czystego tlenu [O<sub>2</sub>]. Czysty azot [N<sub>2</sub>], który opuszcza górną część kolumny [5b], wraz z czystym tlenem [O<sub>2</sub>] ogrzewane są w wymienniku ciepła [4] przed opuszczeniem instalacji. Natomiast azot odpadowy po jego ogrzaniu w wymienniku [7] wykorzystywany jest ponownie do regeneracji adsorberów oznaczonych na powyższym rysunku jako [S1], [S2] oraz również do chłodzenia wody, która służy do zasilania wieży chłodniczej powietrza [3] [9,10,11].

Zdarzają się również takie przypadki, że tlenownie nie produkują azotu [N<sub>2</sub>] to w takich sytuacjach używa się pary wodnej [H<sub>2</sub>O] w celu zwiększenia przepływu masowego w turbinie gazowej. Aby móc używać, tak samo jak czystego tlenu [O<sub>2</sub>] również czystego azotu [N<sub>2</sub>] dużo firm oferuje w swoich produktach osobne nowoczesne generatory azotu [N<sub>2</sub>]. Są to urządzenia, które wytwarzają azot ze sprężonego powietrza atmosferycznego. Dzięki stosowaniu w nich nowoczesnych wysokowydajnych membran do separacji gazu czystość azotu może sięgać nawet do 99.99 [%]. Ale przeważnie nie ma potrzeby stosowania osobnych urządzeń do produkcji jednego jak i drugiego gazu, ponieważ większość instalacji jak ta, która została opisana powyżej posiadają możliwość wyprodukowania czystego tlenu [O<sub>2</sub>] jak również czystego azotu [N<sub>2</sub>]. Podczas procesu separacji tlenu [O<sub>2</sub>] i azotu [N<sub>2</sub>] z powietrza atmosferycznego konieczne jest włożenie dużej ilości energii, która jest potrzebna do sprężania powietrza. Proces ten pochłania około 25 [%] generowanej mocy (brutto) przez turbiny gazowe [7,9,12].

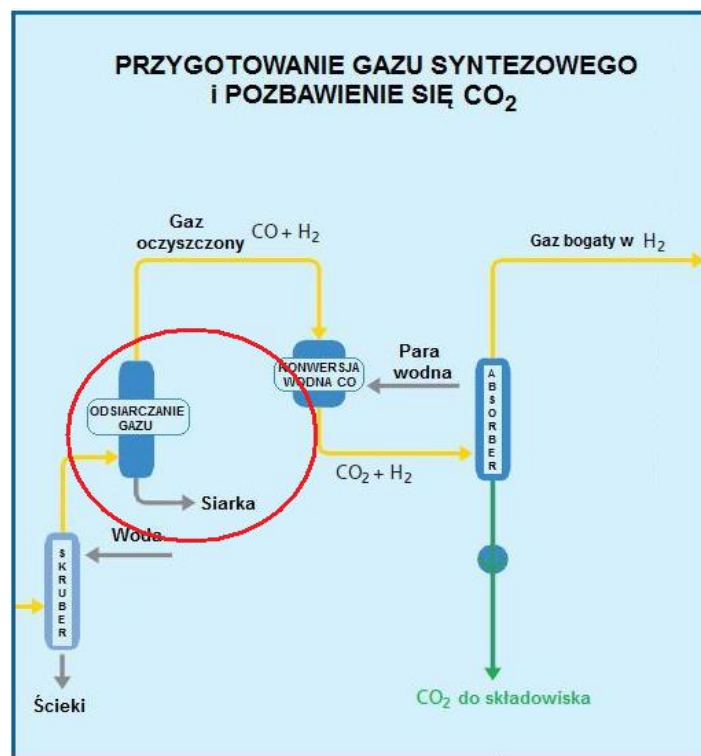
Po procesie separacji tlenu [O<sub>2</sub>] jak również azotu [N<sub>2</sub>] z powietrza atmosferycznego tlen kierowany jest do gazogeneratora, natomiast azot do turbiny gazowej, co wyjaśnia poniższy rysunek. Kolejnym procesem jest schładzanie gazu.



**Rysunek 6. Proces zgazowania według RWE [7]**

Gorący gaz pochodzący z gazogeneratora jest najpierw schładzany do temperatury około 400 [°C] wtryskiem wody tzw. „quench”. Później gaz ten przepływa przez schładzacz gazu nazywany schładzaczem konwekcyjnym w którym wytwarzana jest wysokociśnieniowa para wodna. W trakcie tego procesu temperatura gazu ulega dalszemu schłodzeniu do temperatury około 200 [°C]. Przed podaniem gazu do skrubera wodnego z gazu zostaje wytrącony pył. Później gazy płyną do tzw. myjni wodnej. W skruberze wodnym (patrz Rys.6) następuje wymywanie wodą z wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń jakimi są cząstki stałe np. chlorki [9,12].

Gaz syntezowy tzw. Syngaz wypływający z gazogeneratora nazywany jest gazem surowym. Składa się w większości z tlenku węgla [CO], wodoru [H<sub>2</sub>] oraz wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń jak pyłów, innych cząstek stałych, metali ciężkich, związków siarki itp. Aby uzyskać czysty gaz tzw. gaz oczyszczony musimy poddać otrzymany gaz różnorodnym procesom oczyszczania. Wstępne oczyszczenie gazu nastąpiło w skruberze wodnym z cząstek stałych jakimi są chlorki. Kolejnym etapem w procesie technologiczny IGCC jest jego odsiarczanie tak jak zostało to zaznaczone na poniższym schemacie [7,12].



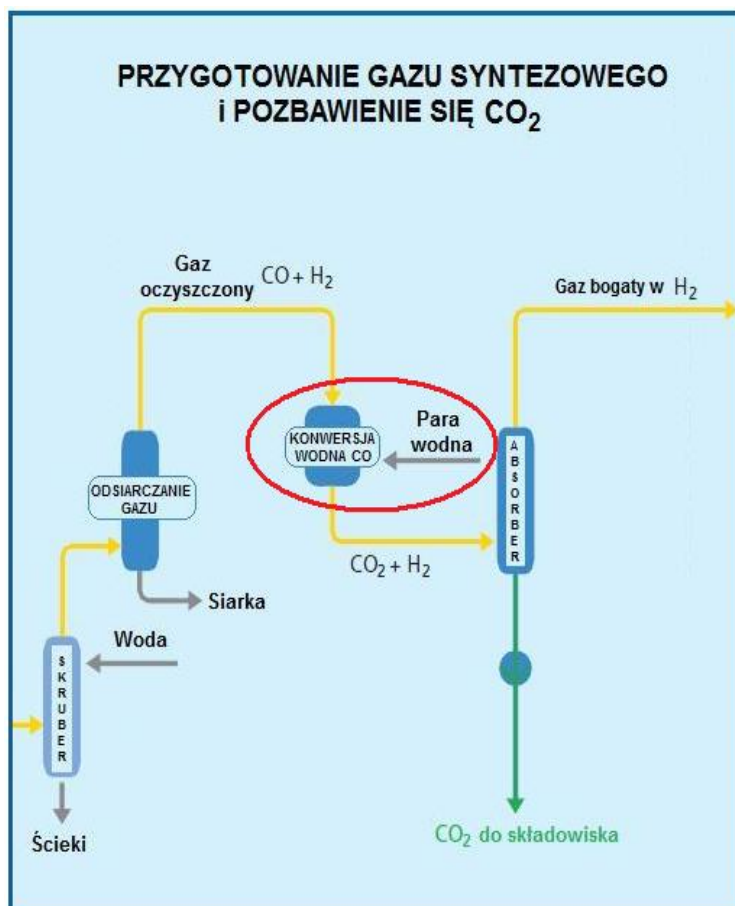
**Rysunek 7. Przygotowanie gazu syntezowego i pozbawianie się dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [7]**

Aby odsiarczyć gaz, następuje tzw. hydroliza tlenosiarczku – węgla [COS]. W procesie tym reaktor przekształca siarczki węgla [CS], w surowy niewypalony syngaz do siarczku wodoru [H<sub>2</sub>S], który można łatwo usunąć z gazu. Surowy gaz dalej podlega chłodzeniu przed wprowadzeniem do konwencjonalnego systemu usuwania siarki aminami. Taki proces nazywany jest skrótowo SAP (Sulfuric Acid Plant) [10,13].

W dużych instalacjach energetycznych znane są dwie metody odsiarczania gazu ze zgazowania węgla. Należy do nich absorpcja chemiczna – przy zastosowaniu sorbentu monoetanolaminą (MEA) lub metyldietanolamina (MDEA), oraz absorpcja fizyczna – przy wykorzystaniu instalacji Selexol lub Rectisol. Obie te metody absorpcji chemicznej jak również absorpcja fizyczna umożliwiają redukcję tzw. gazów kwaśnych w gazie syntezowym otrzymanego w procesie zgazowania węgla, w tym najbardziej związków siarki jakimi są siarczki wodoru [H<sub>2</sub>S] oraz tlenosiarczki – węgla [COS] do poziomu ≤ 20 [ppm]. Wysokie ciśnienie gazu jakie panuje w układach zgazowania (do 50 [bar]), przemawia nam zdecydowanie za metodami, które oparte są na absorpcji fizycznej, w tym najbardziej za instalacją Selexol. Wydzielony w tej instalacji siarkowodór [H<sub>2</sub>S] jest przetwarzany na czystą siarkę [S] w instalacji Clausa. Poprzez dobudowanie w instalacji Selexol drugiego stopnia możliwe byłoby jej dostosowanie dodatkowo do usuwania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>]. Zaletą w instalacjach opartych na absorpcji fizycznej jest taka, że nie wymagają one doprowadzania znaczących ilości pary wodnej [H<sub>2</sub>O] służącego do regeneracji sorbentu, jaki to ma przypadek w instalacjach opartych na absorpcji chemicznej [9,10,13].

Po oczyszczeniu z siarki [S], otrzymuje się już tzw. gaz oczyszczony składający się prawie w całości z tlenku węgla [CO] oraz wodoru [H<sub>2</sub>]. Następnie jest on kierowany do

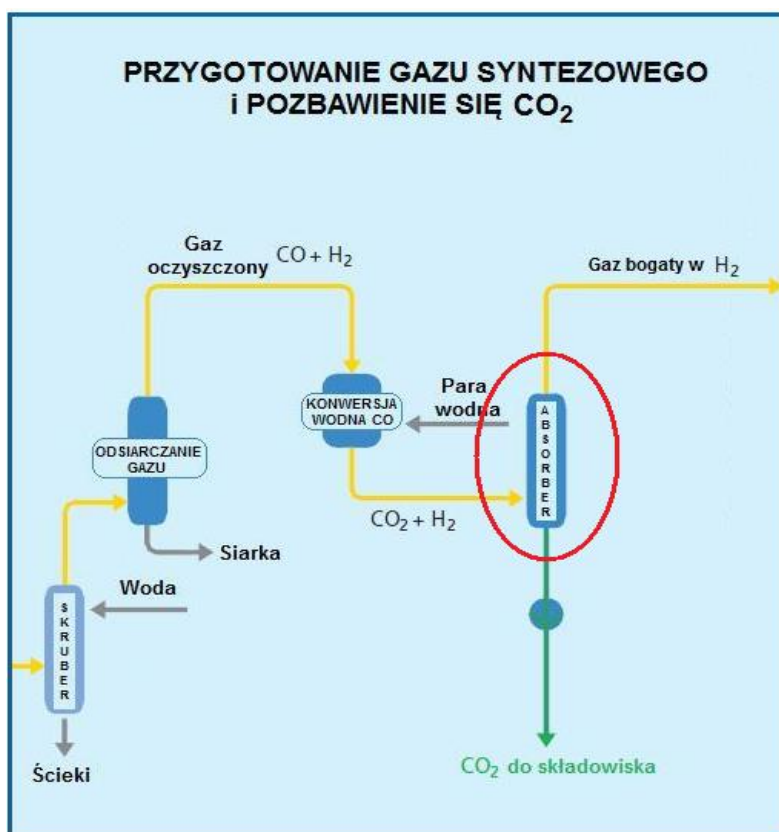
instalacji konwersji wodnej tlenku węgla [CO], co zostało przedstawione na poniższym schemacie.



**Rysunek 8. Przygotowanie gazu syntezowego i pozbywanie się dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] [7]**

Do instalacji konwersji wodnej tlenku węgla [CO] doprowadzana zostaje para wodna [ $\text{H}_2\text{O}$ ] mająca na celu podniesienia temperatury gazu do około  $300\text{ }^\circ\text{C}$  bezpośrednio przed wlotem do instalacji konwersji wodnej tlenku węgla [CO]. Konwersja ta nazywana również „Shift” polega na katalitycznym przekształcaniu tlenku węgla [CO] oraz wody [ $\text{H}_2\text{O}$ ] na wodór [ $\text{H}_2$ ] i dwutlenek węgla [ $\text{CO}_2$ ]. Reakcja konwersji przedstawia się następująco:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ . Skuteczność tego procesu zależna jest od doboru katalizatorów [7,9,10].

Następnie gaz otrzymany już w postaci czystego wodoru [ $\text{H}_2$ ] oraz dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] kierowany jest do tzw. Absorbera, gdzie następuje wydzielenie z niego dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] w celu jego późniejszej sekwestracji w pokładach geologicznych, oraz uzyskanie w efekcie końcowym oczyszczonego gazu bogatego w wodór [ $\text{H}_2$ ], który następnie kierowany jest na turbinę gazową, ale o tym później. Najpierw zostanie opisana metoda usuwania dwutlenku węgla [ $\text{CO}_2$ ] [7].



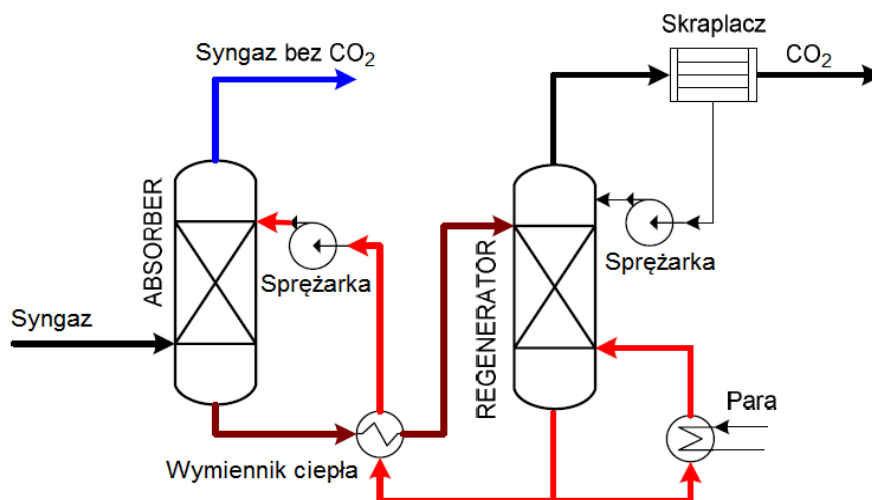
**Rysunek 9. Przygotowanie gazu syntezowego i pozbywanie się dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] [7]**

Podstawowy układ procesowy usuwania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] składa się zasadniczo z dwóch części. Po pierwsze absorbera, w którym dwutlenek węgla jest wychwytywany, po drugie regeneratora, w którym dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>] jest desorbowany tzn. uwalniany o dużym stężeniu oraz odzyskiwany jest absorbent [9,12].

Jako absorbenty dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>], podobnie jak to ma miejsce w komercyjnych instalacjach chemicznych do usuwania gazów kwaśnych, stosuje się najczęściej aminy. Rzadziej natomiast glikol polietylenowy, tlenek wapnia [CaO], węglan propylenowy, wodorotlenek sodu [NaOH] lub wodorotlenek potasu [KOH] [9]. Substancje wyżej wymienione nadają się lepiej do zastosowania w komercyjnych instalacjach chemicznych przy wyższych ciśnieniach od ciśnienia spalin, które opuszczają układ ich oczyszczania. Po procesie absorpcji dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] z gazu syntezowego, zwanego również „Syngazem”, zużyty sorbent należy poddać regeneracji, poprzez jego ogrzanie oraz uwolnienie czystego dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>], do czego potrzebna jest spora ilość dodatkowego ciepła. Należy tutaj podkreślić, że to właśnie regeneracja absorbentu jest główną przyczyną istotnego zmniejszenia sprawności termicznej całej elektrowni. Fakt ten związany jest z dość dużym ciepłem w procesie desorpcji, jakie należy dostarczyć za pomocą pary pobranej z obiegu turbiny parowej, zmniejszając jednocześnie przez to jej efektywność lub wytworzenie w oddzielnym urządzeniu ciepła na ten cel. Najczęściej jako absorbenty stosowane są aminy pierwszorzędowe. One zawierają w sobie odpowiednie dodatki antykorozyjne oraz oferowane są przez kilku producentów. W przeciągu ostatnich kilku lat podejmowane są próby w celu znalezienia bardziej efektywniejszych cieczy absorbujących.



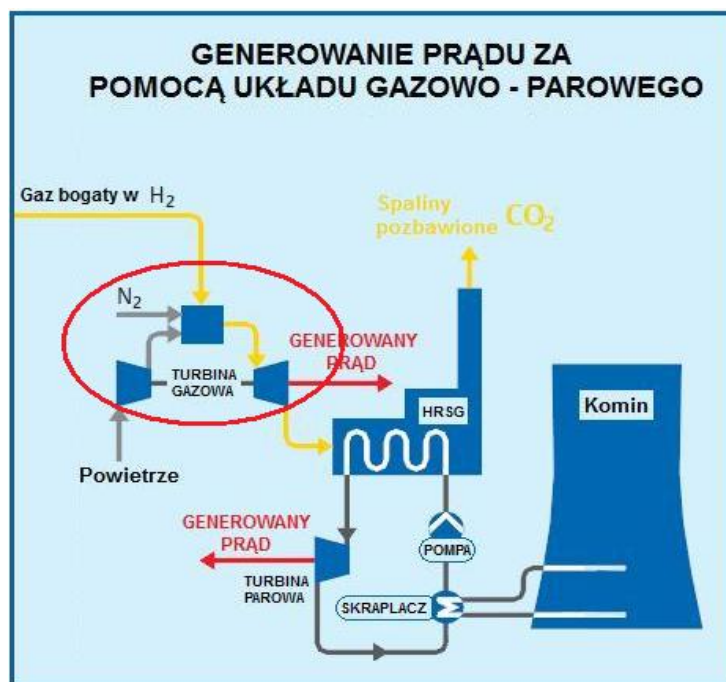
Testowany między innymi jest roztwór amoniaku przez firmę Alstom. Przewiduje się, że zużycie ciepła potrzebnego na regenerację tego absorbenta będzie znacznie mniejsze od dotychczas stosowanych amin pierwszorzędowych oraz z tego powodu obniżenie sprawności całej elektrowni nie będzie tak dotkliwe [9,10].



**Rysunek 10. Schemat usuwania dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] metodą wymywania aminowego [9]**

Dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>], który został wydzielony z gazu po procesie zgazowania i etapie oczyszczania musi zostać przetransportowany do miejsca składowania w pokładach geologicznych. W przypadku dużych instalacji oraz dużych odległości najwłaściwsze do tego wydają się być rurociągi. Wymaga to jednak stosowania kompresorów, które sprężają dwutlenek węgla [CO<sub>2</sub>] do około 100 do 150 [bar] [9,10].

Ostatnim podprocesem jest generowanie prądu za pomocą układu gazowo – parowego, czyli spalanie gazu syntezowego w turbinie gazowej oraz późniejsza kombinacja z turbiną parową. Proces ten polega na podaniu gazu bogatego w wodór [H<sub>2</sub>] (patrz Rys.11) razem z wydzielonym wcześniej azotem [N<sub>2</sub>] do spalania w turbinie gazowej [7].



**Rysunek 11. Generowanie prądu za pomocą układu gazowo – parowego według RWE [7]**

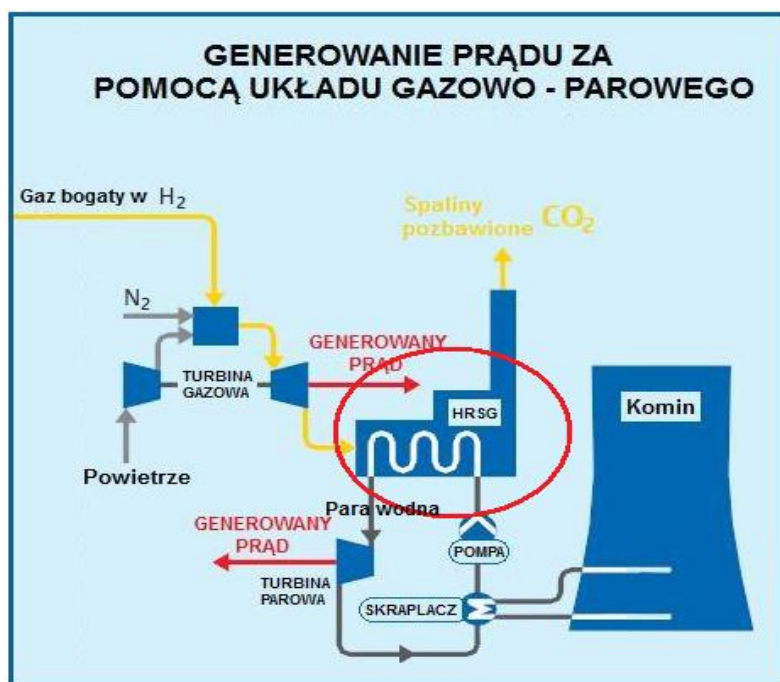
Spalane gazu syntezowego w turbinie gazowej następuje razem z wydzielonym wcześniej z procesu separacji powietrza azotem [ $N_2$ ]. Dzięki tej metodzie wzrasta przepływ masy czynnika przez turbinę gazową. Taka metodyka postępowania przyczynia się ponadto (przy obecności azotu [ $N_2$ ] w spalonym gazie) do redukcji emisji jego tlenków [ $NO_x$ ] oraz może znacznie przyczynić się do zmniejszenia potrzeby wtrysku wody lub pary wodnej do turbiny gazowej. Czasami tlenownie nie produkują azotu [ $N_2$ ] to w takich sytuacjach używa się pary wodnej [ $H_2O$ ] jako czynnika zwiększającego przepływ masowy w turbinie gazowej. Podczas procesu separacji tlenu i azotu z powietrza atmosferycznego konieczne jest włożenie dużej ilości energii, która jest potrzebna do sprężania powietrza. Proces ten pochłania około 25 [%] generowanej mocy (brutto) przez turbiny gazowe. Natomiast dodawanie azotu [ $N_2$ ] lub pary wodnej [ $H_2O$ ] do strumienia gazu przepływającego przez turbinę gazową podnosi moc turbiny gazowej, w stosunku do tej samej turbiny gazowej zasilanej gazem ziemnym, o około 20 [%]. Obecnie najwyższy możliwy udział wodoru w gazie spalonym w dużej turbinie gazowej nie może przekraczać 65 [%] objętości z tym, że gęstość energetyczna paliwa gazowego nie może być mniejsza od 7,45 [ $MJ/m^3n$ ] [7,9].

Spełnienie takiego warunku wymaga więc właśnie rozcieńczania wodoru azotem [ $N_2$ ] lub parą wodną [ $H_2O$ ]. Konieczna jest zatem modyfikacja układu doprowadzania jak również dodatkowego wtrysku paliwa gazowego. Wynika to z faktu, że wartość opałowa wodoru wynosi około 10,8 [ $MJ/m^3n$ ], a wartość opałowa gazu ziemnego około 35,8 [ $MJ/m^3n$ ]. Przy doprowadzeniu tej samej ilości ciepła wymagane jest więc zwiększenia objętości paliwa o około 330 [%]. Bardzo istotnym problemem jak już wyżej opisano jest wpływ zawartości wodoru w gazie na emisję tlenków azotu [ $NO_x$ ]. Eksperymenty przeprowadzone przez firmę General Electric przy spalaniu na stoisku badawczym wykazały, że poprzez rozcieńczanie wodoru [ $H_2$ ], który jest podawany do procesu spalania, azotem [ $N_2$ ] i parą wodną [ $H_2O$ ], pozwala na utrzymanie emisji [ $NO_x$ ] poniżej 10 [ppm]. Dzięki takiej mieszaninie z jednej



strony możemy obniżyć emisję  $[\text{NO}_x]$  ale z drugiej strony jednak może wzrosnąć zawartość wilgoci w spalinach, co może doprowadzić do ujemnych skutków takich jak np. erozja łopatek turbiny gazowej [9,10,11].

Kolejnym etapem jest generowanie prądu za pomocą generatora przyłączonego do turbiny gazowej. Następnie spaliny wychodzące z turbiny gazowej kierowane są do urządzenia zwanego HRSG (Heat Recovery Steam Generator). Jest to tzw. kocioł odzysknicowy, w którym znajduje się woda. Spaliny ogrzewają wodę aż do momentu powstania pary wodnej  $[\text{H}_2\text{O}]$ . Warto dodać, że spaliny opuszczające kocioł odzysknicowy HRSG są już całkowicie pozbawione emisji dwutlenku węgla  $[\text{CO}_2]$  [7,10].



Rysunek 12. Generowanie prądu za pomocą układu gazowo – parowego według RWE [7]

Kolejno para wodna  $[\text{H}_2\text{O}]$ , która powstała w kotle odzysknicowym HRSG (patrz Rys.12) kierowana jest do turbiny parowej, gdzie jest przetwarzana na energię elektryczną za pomocą przyłączonego do niej generatora prądu. Taki układ technologiczny, gazowo – parowy nazywany jest układem skojarzonym produkcji energii elektrycznej [7,11].

### 3. Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że IGCC to technologia, która umożliwia budowanie elektrowni o znacznie wyższych sprawnościach sięgających od 40 [%] do ponad 55 [%], w porównaniu do konwencjonalnych elektrowni węglowych, których sprawności wynoszą rzędu od 25 do 35 [%]. Dodatkowo, elektrownie dzięki zastosowaniu technologii IGCC są o wiele bardziej ekologiczne. Dzięki wysokiemu ciśnieniu gazu syntezowanego przed spalaniem problem eliminacji zanieczyszczeń w technologii IGCC jest zarówno tańszy jak i posiada większą skuteczność niż w tradycyjnych elektrowniach węglowych (tzn. kondensacyjnych parowych), ponieważ jego stężenie w gazie uzyskanym w procesie zgazowania jest znacznie większe niż przy wychwytywaniu dwutlenku węgla  $[\text{CO}_2]$  ze spalin.

Zużycie wody jest około o połowę mniejsze w porównaniu do konwencjonalnych technologii, emisja tlenków azotu [NO<sub>x</sub>], dwutlenku siarki [SO<sub>2</sub>] i dwutlenku węgla [CO<sub>2</sub>] spełnia wszelkie normy Unii Europejskiej, a stosunek związania węgla sięga nawet w niektórych przypadkach 99,7 [%] [10,11,12]. Posiada ona najwięcej zalet, spośród rozważanych technologii przyszłościowych wytwarzania energii elektrycznej z punktu widzenia energetycznego jak i również ekologicznego, dlatego też technologia IGCC jest ekologiczną alternatywą dla obecnie pracujących elektrowni węglowych zarówno w Polsce jak i na całym świecie.

### **Bibliografia:**

1. Załącznik nr 2 do Zielonej Księgi Narodowego Programu Redukcji Emisji Gazów Ciepłarnianych: „Czyste Technologie Węglowe” - Społeczna Rada Narodowego Programu Redukcji Emisji, Warszawa, maj 2010 r.
2. Polityka Energetyczna; Tom 10, Zeszyt specjalny 2, PL ISSN 1429-6675; Bolesław Zaporowski, Analiza efektywności energetycznej elektrownie gazowo-parowych zintegrowanych ze zgazowaniem węgla, 2007.
3. Ryszard Bartnik, Elektrownie i elektrociepłownie gazowo – parowe, efektywność energetyczna i ekonomiczna, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2009.
4. Technologia wychwytywania i geologicznego składowania dwutlenku węgla (CCS) sposobem na złagodzenie zmian klimatu, Lewiatan, Foreign & Commonwealth Office - Strategic Programme Fund Low Carbon High. Warszawa, listopad 2010.
5. Możliwość ograniczenia emisji CO<sub>2</sub> w energetyce, prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak, dr inż. Izabela Majchrzak – Kucęba, mgr Anna Majchrzak, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2010.
6. „Energoprojekt – Katowice” SA; Studium wykonalności projektu instalacji do produkcji paliw gazowych i płynnych z węgla kamiennego; DYREKTOR NACZELNY: Dr inż. Andrzej Kowalski; DYREKTOR: Dr inż. Marek Ściążko, KATOWICE, Październik 2008.

### **Wykaz stron internetowych:**

7. <http://ziemianarozdrozu.pl/encyklopedia/51/energetyka-konwencjonalna>
8. <http://www.gigawat.net.pl/archiwum/article/articleview/321/1/36/index.html>
9. [http://www.filtertech.com.pl/artykuly/separacja\\_gazow](http://www.filtertech.com.pl/artykuly/separacja_gazow)
10. <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/EB0B7DB6-8D76-41FE-94B650176C2CA721/56375/Studiumwykonalnosci.pdf>
11. <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/pdfs/GTC9808P.pdf>
12. <http://www.rwe.com/web/cms/de/53724/rwe-dea/pressnews/pressemitteilungen/pressemitteilung/?pmid=4002423>, Zum Kraftwerk mit IGCC- und CCS-Technologie (Broschüre); Hamm, 29. August 2008, RWE Dea
13. [http://pl.wikipedia.org/wiki/Uklad\\_gazowo-parowy](http://pl.wikipedia.org/wiki/Uklad_gazowo-parowy)

## 28. PRZEGLĄD ZASTOSOWAŃ DRUKU 3D W MEDYCYNIE

**Joanna Wiśniowska**

Uniwersytet Śląski

Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

ul. Będzińska 6, Sosnowiec 41-205

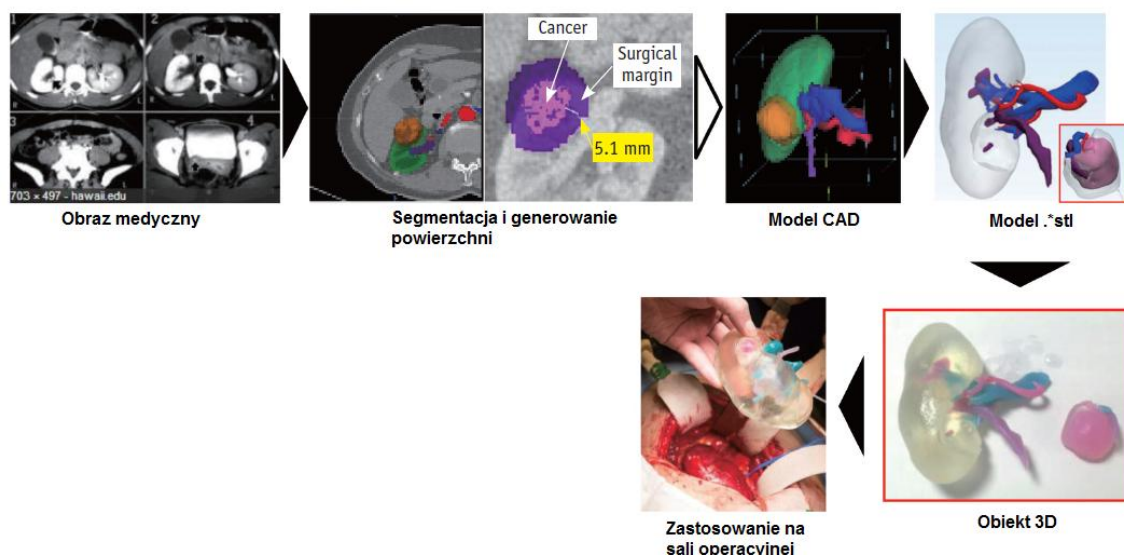
Email: jwisniowska@us.edu.pl

### 1. Wstęp

Celem niniejszego opracowania jest zaprezentowanie zagadnień związanych z zastosowaniem druku 3D w obecnej medycynie. W artykule zostanie omówiony proces rekonstrukcji 3D oparty na obrazowaniu medycznym oraz zarys metod i technologii drukowania przestrzennego. Ponadto zostanie przytoczony przegląd konkretnych zastosowań medycznych z udziałem technologii druku przestrzennego.

### 2. Schemat procesu rekonstrukcji 3D

Dzisiejsza medycyna w celu diagnostyki obrazowej najczęściej wykorzystuje badanie CT (tomografia komputerowa) bądź MRI (rezonans magnetyczny). Wynikami badań są obrazy zapisane w formacie DICOM, które mogą zostać eksportowane i przetworzone w pliki stereolitograficzne. W celu odseparowania pożądanego fragmentu z obrazów, wykorzystuje się szereg algorytmów segmentacji oraz wygładzenia powierzchni aby uzyskać jak najbardziej dokładny model. Plik modelu jest przesyłany do oprogramowania typu CAD.



**Rysunek 1. Schemat rekonstrukcji 3D [Guk Bae Kim, Sangwook Lee, Haekang Kim, Dong Hyun Yang, Young-Hak Kim, Yoon Soo Kyung, Choung-Soo Kim, Se Hoon Choi, Bum Joon Kim, Hojin Ha, Sun U. Kwon, Namkug Kim, 2016]**

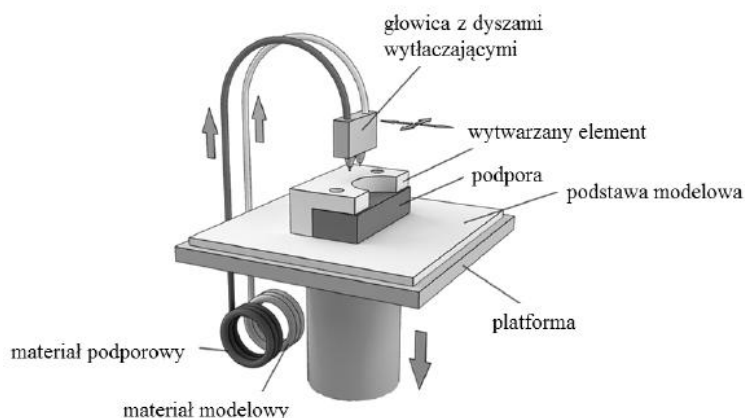
W tym miejscu jest wykorzystywane projektowanie wspomagane komputerowo, model zostaje poddany korekcie lub na jego podstawie są projektowane osobne struktury, przykładem mogą być prowadnice narzędzia chirurgicznego podczas operacji odcinków kręgosłupa [Guo F, Dai J, Zhang J, Ma Y, Zhu G, Shen J, 2017]. Po wygenerowaniu modelu

przestrzennego, należy wybrać technologię druku 3D. Wybór jest uzależniony od konkretnego zastosowania modelu oraz jego dokładności. Finalnym etapem pozyskania modelu przestrzennego jest wysłanie danych na drukarkę 3D, obiekt jest drukowany przyrostowo tzn. warstwa po warstwie [Guk Bae Kim i in., 2016]. Ogólny schemat rekonstrukcji 3D bazującej na obrazach medycznych przedstawia rys. 1 [Guk Bae Kim i in., 2016].

### 3. Technologie druku 3D

#### *Technologia FDM*

Metoda FDM (ang. Fused Deposition Modelling) jest najbardziej popularną i rozpowszechnioną metodą. Technologia FDM jako materiał budulcowy wykorzystuje uplastycznione tworzywo sztuczne [Kuczko, Wichniarek, Górski, Buń, Zawadzki, 2017]. Technologia przyrostowa FDM polega na liniowym nakładaniu materiału warstwa po warstwie. Uplastyczniony termoplast jest włączany dyszą o niewielkiej średnicy przez głowicę, która ma możliwość ruchu w dwóch osiach: X, Y. Gdy geometria na powierzchni danej warstwy jest wytworzona stół roboczy na którym budowany jest obiekt zmienia położenie wzgl. osi Z o grubość jednej warstwy z jaką budowany jest model. Stabilność geometrii elementu zapewniają podpory, które również są drukowane, a po zakończeniu procesu usuwane mechanicznie [Kuczko i in., 2017]. Schemat technologii FDM przedstawia rys. 2.



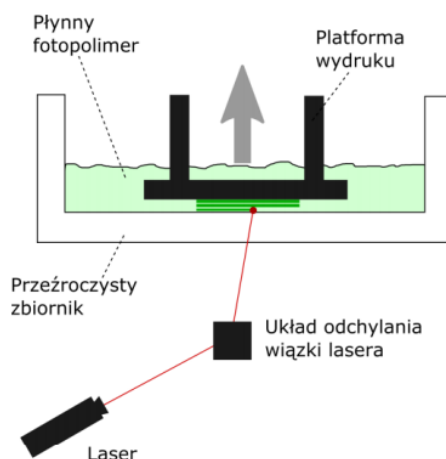
**Rysunek 2. Schemat działania technologii FDM [Kuczko i in., 2017]**

Często stosowanym materiałem budulcowym jest ABS, zapewnia odpowiednie właściwości wytrzymałościowe a także umożliwia dalszą obróbkę wydrukowanych obiektów (tj. szlifowanie, malowanie, klejenie). Modele wytwarzane technologią FDM najczęściej pełnią funkcję prototypów. W medycynie służą jako modele poglądowe, przedstawiające wizualizację pewnego rozwiązania medycznego [Kuczko i in., 2017].

#### *Technologia SLA*

Technologia SLA inaczej zwana stereolitografią wykorzystuje jako materiał budulcowy płynny fotoutwardzalny polimer. Drukarka SLA posiada pojemnik z płynem światłoutwardzalnym. Warstwy są utwardzane na powierzchni fotopolimeru a wewnętrzny system

podnosi poziom fotopolimeru o kolejną warstwę. Jako alternatywę wspomnianej zasady działania jest utwardzanie fotopolimeru na dnie zbiornika. Promienie UV przenikają przez przezroczyste dno pojemnika a następnie utwardzają fotopolimer na stopniowo wynurzającej się platformie. Wiązka UV jest generowana przez laser, a jej odchylenie jest sterowane mechanicznie lub za pomocą galwanometru. Zasada działania technologii SLA przedstawia rys. 3 [Ludwikowski, 2017].



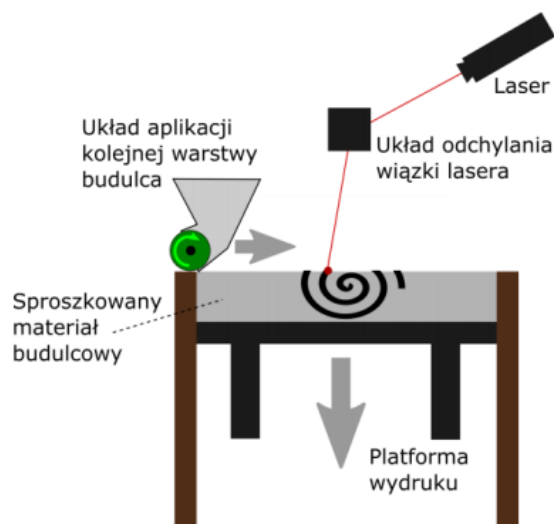
**Rysunek 3. Schemat zasady działania technologii SLA [Ludwikowski,2017]**

Metoda SLA również wykorzystuje podpory w celu zapewnienia stabilności geometrii. Jednak usunięcie podpór czyli tzw. postprocessing odbywa się w osobnej komorze z specjalistycznym roztworem. Niewątpliwą zaletą tej metody jest szeroka gama materiałów o różnych właściwościach: zwiększona elastyczność, różna przezroczystość, odporność na wysokie temperatury. Obiekty pozyskane metodą SLA są bardziej precyzyjne, ich grubość warstw wartość nawet do 10  $\mu\text{m}$ , wiąże się to jednak z wydłużonym czasem wytwarzania obiektu [Ludwikowski, 2017].

### *Technologia SLS*

Technologia SLS (ang. Selective Laser Sintering) należy do techniki przyrostowej, która polega na spiekaniu laserem polimerów w postaci sypkiego proszku. Metoda SLS polega na rozprowadzeniu kolejnych warstw sypkiego materiału a następnie spieczeniu go wiązką lasera, warstwa po warstwie aż do momentu uzyskania gotowego wyrobu. Technologia SLS jest jedną z najbardziej zaawansowanych metod spośród technologii druku 3D polimerów [Ludwikowski, 2017].

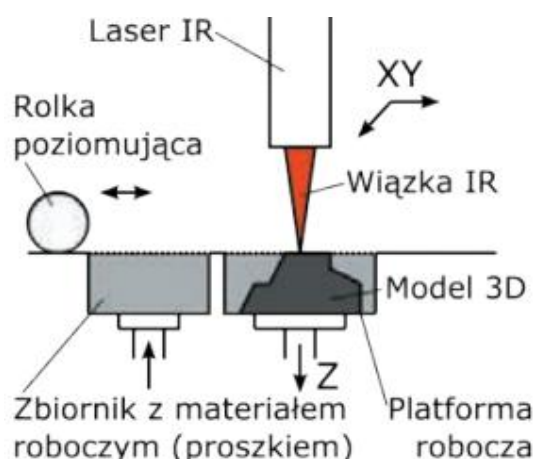
W SLS nie ma konieczności stosowania podpór tak jak w wyżej opisanych metodach. Niepoddany procesowi spiekania sypki materiał sam stanowi podporę dla kolejnych warstw [Caban, Szala, Kęsik, Czuba, 2017]. Jest to również wada, ponieważ niezabudowane przestrzenie modelu są wypełnione proszkiem. Jeśli jest potrzeba uzyskania pustych przestrzeni w modelu należy zaprojektować otwory, które umożliwią usunięcia proszka z wnętrza przestrzeni [Ludwikowski, 2017].



**Rysunek 4. Schemat zasady działania technologii SLS [Ludwikowski, 2017]**

#### *Technologia DMSL/SLM*

Metody DMLS (ang. Direct Metal Laser Sintering) oraz SLM (ang. Selective Laser Sintering) są określane jako ta sama technologia. W tej technologii spiekane są proszki metali [Caban i in., 2017]. W trakcie procesu SLM materiał, który jest w postaci cienkiej warstwy proszku, którego średnia wielkość cząstki jest rzędu kilkudziesięciu mikrometrów, jest rozprowadzany na platformie roboczej, a następnie spiekany za pomocą wiązki lasera. Gdy pierwsza warstwa proszku metalu zostanie stopiona stół roboczy zostaje obniżony o wysokość, która jest równa grubości warstwy. Po obniżeniu stołu roboczego rozprowadzana jest kolejna warstwa proszku, która jest stapiana zgodnie z kształtem następnej warstwy budowanego modelu. Tym sposobem proces stapiania przez laser luźno rozprowadzanego proszku jest powtarzany, aż do momentu uzyskania oczekiwanego modelu 3D [Wysocki, Chmielewska, Szlęzak, 2017].

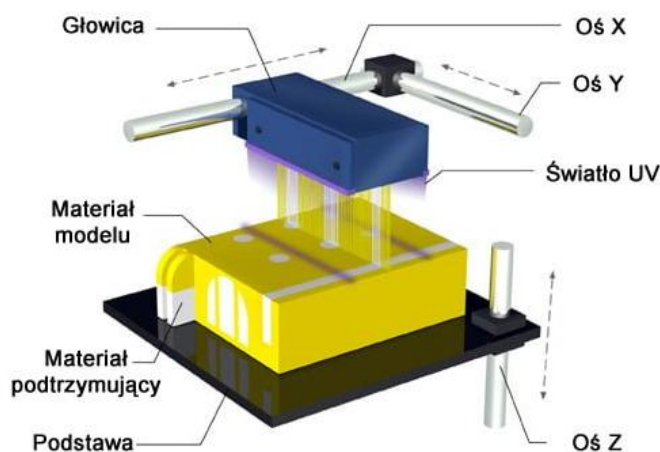


**Rysunek 5. Schemat zasady działania technologii SLM [Wysocki i in., 2017]**

W metodzie SLM wykorzystywane są takie materiały jak: stopy tytanu, niklu, chromu, a także stal nierdzewna. Spiekanie metali znajduje zastosowanie również w medycynie, gdzie są drukowane tytanowe implanty wszczepiane w ciało pacjenta [Caban i in., 2017].

### *Technologia PolyJet*

Technologia PolyJet umożliwia drukowanie z ciekłego fotopolimeru, utwardzanego pod wpływem światła UV. Modele drukowane techniką PolyJet wykonane są z ciekłej żywicy fotopolimerowej, nanoszonej za pomocą głowic piezoelektrycznych na platformę roboczą i utwardzanej z użyciem światła UV (Rys. 6). Wydrukowany przedmiot jest zbudowany z materiału modelowego oraz podporowego. Materiał podporowy to specjalna żywica natryskiwana przez oddzielne głowice, która po wykonanym druku jest usuwana za pomocą wody pod ciśnieniem lub rozpuszczana w wodzie o odczynie zasadowym [<https://drukarki3d.pl/technologie/polyjet/>].



**Rysunek 6. Schemat zasady działania technologii PolyJet** [<https://drukarki3d.pl/technologie/polyjet/>]

Technologia PolyJet odnajduje zastosowanie w medycynie, ze względu na dużą dokładność odwzorowania modeli anatomicznych, posiada także możliwość symulacji tkanek miękkich i twardych w różnych kolorach, oraz posiada transparentność z wyróżnieniem najbardziej istotnych struktur [<https://drukarki3d.pl/technologie/polyjet/>].

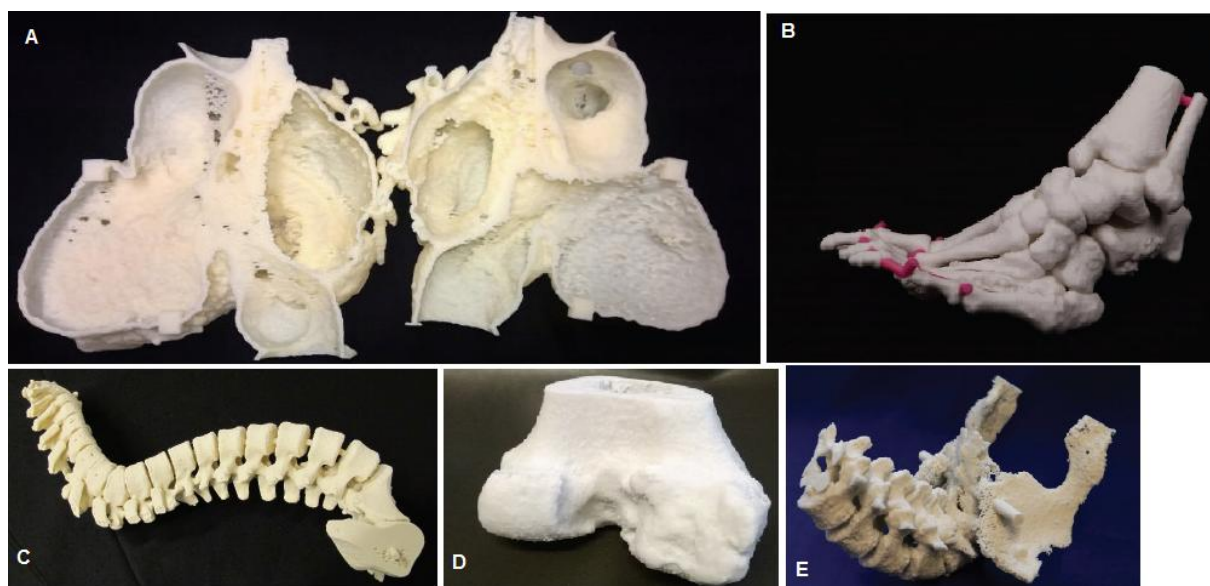
## **3. Zastosowania druku 3D w medycynie**

### *Chirurgia*

Jednym z zastosowań druku 3D w medycynie jest produkcja modeli przedoperacyjnych. Chirurdzy różnych specjalizacji wykorzystują druk 3D, w celu zaplanowania zabiegu chirurgicznego. Mając zmieniony chorobowo model narządu bądź obszaru mają możliwość precyzyjnego planowania przedoperacyjnego. Proces wytwarzania modelu przedoperacyjnego przebiega zgodnie z przedstawionym w poprzednim punkcie schematem. Pierwszy model przedoperacyjny to model serca. Serce jest złożone z określonych struktur anatomicznych, jednak wielu pacjentów zmaga się z deformacjami anatomicznymi, które podlegają korekcie chirurgicznej. Lekarz chirurg posiadając model



przestrzenny serca ma możliwość dokładnej analizy wady oraz wykonania dokładnego planowania przedoperacyjnego, co zwiększa szanse prawidłowo przeprowadzonego zabiegu. Model serca został wykonany technologią FDM, gdzie materiałem budulcowym był ABS [Salmi, 2016]. Rekonstrukcje urazów stawu skokowego i kości śródstopia należą do skomplikowanych zabiegów, ze względu na budowę anatomiczną wspomnianych struktur. Śródstopie jest zbudowane z wielu licznych kości a ruchome połączenie jakim jest staw skokowy przysparza dodatkowych trudności. Technologie druku 3D pozwalają na wyodrębnienie interesujących lekarza chirurga struktur w postaci kolorowych elementów – rys. 7-B, dzięki temu zmienione chorobowo miejsca są łatwe do lokalizacji. Model przedoperacyjny stopy wykonano technologią drukowania proszkowego.



**Rysunek 7. A- model serca-struktury wewnętrzne, B- model kości stopy wraz z stawem skokowym, C-model odcinka kręgosłupa-skolioza, D- model kości kolana, E- model kości miednicy [8]**

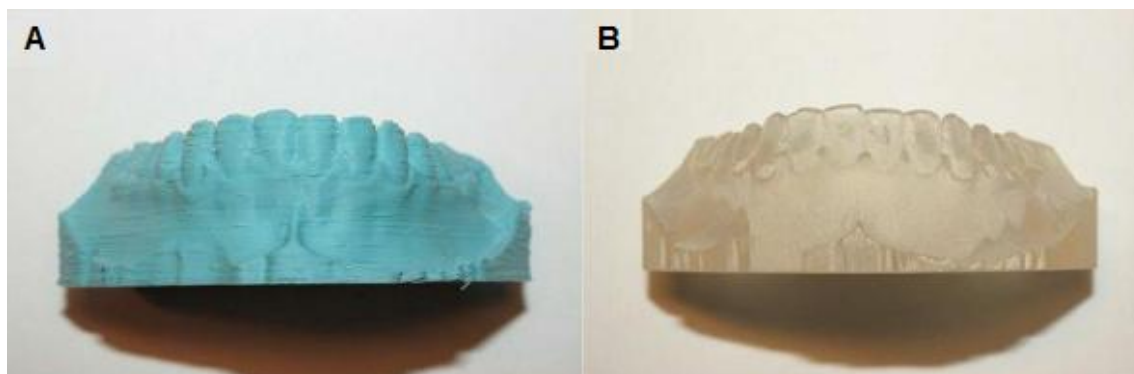
Model odcinka kręgosłupa wykonano technologią drukowania proszkiem. Skolioza u każdego z pacjentów kwalifikujących się do zabiegu chirurgicznego ma inną formę zniekształcenia (różny stopień zaawansowania), przez co wymagane jest indywidualne podejście do każdego z przypadków. Kolejne modele struktur kostnych to model kości kolana oraz miednicy. Wspomniane struktury kostne są elementami ruchomymi, posiadając modele przedoperacyjne jest możliwe symulowanie wzajemnego ruchu modeli po wykonanych korektach operacyjnych. Zdjęcia w postaci 2D (RTG) bądź nawet 3D (TK) nie daje takiej możliwości. Chirurg ma możliwość przeprowadzenia próbnych manewrów operacyjnych na modelu oraz sprawdzenia ich efektów. Modele przedoperacyjne kolana i miednicy zostały wykonane technologią drukowania proszkowego [Salmi, 2016].

#### *Stomatologia*

Druk 3D w stomatologii znajduje zastosowanie jako alternatywa dla odcisków gipsowych szczęki. Tradycyjna metoda pozyskiwania geometrii szczęki i podniebienia polega na wykonaniu odlewu gipsowego. Odlew jest stosunkowo kruchy i nietrwały. Innym rozwiązaniem dla zastąpienia metody tradycyjnej jest zastosowanie druku 3D. Wykonany



odlew jest poddawany skanowaniu przestrzennemu, w celu pozyskania geometrii a następnie drukowany jedną z technologii druku 3D. Innym rozwiązaniem pozyskania modelu 3D szczęki jest odseparowanie pożądaných struktur ze zdjęć tomografii komputerowej bądź rezonansu magnetycznego [Kasparova, Grafova, Dvorak, Dostalova, Prochazka, Eliasova, 2013 ]. Model 3D może służyć jako adaptacja protezy szczęki lub jako pomoc w stomatologii chirurgicznej do planowania przedoperacyjnego. Korzyścią jaką niesie ze sobą nowoczesna metoda wykorzystująca inżynierię odwrotną jest zwiększona trwałość wyrobu oraz model w postaci cyfrowej, który można wykorzystać na różnych etapach leczenia [Hu Chen, Han Wang, Peijun Lv, YongWang, Yuchun Sun, 2015].



**Rysunek 8. Widok wydrukowanych 3D modeli szczęki. A-model drukowany technologią FDM, B-model drukowany technologią Poly Jet [Kasparova i in.,2013]**

### *Ortopedia*

Jednym z zastosowań druku 3D w ortopedii jest planowanie przedoperacyjne. Opisywany przykład to planowanie przedoperacyjne zabiegu wszczepienia endoprotezy stawu biodrowego. Na podstawie zdjęć z tomografii komputerowej, stosując odpowiednie algorytmy odseparowano kości miednicy, kość krzyżową oraz 20cm odcinkiem kości udowej. Wydruk kości miednicy zostały wykonane w celu pokazania szczegółów, które są niezauważalne na zdjęciach RTG. Tym sposobem lekarze mogą lepiej przygotować się i zaplanować operację [Cykowska-Błasiak, Ozga, 2015]. Skracany jest czas operacji pacjenta jak i ryzyko przeprowadzanego zabiegu, gdyż lekarz zaznajamia się z defektem przed zabiegiem. Tym samym zmniejszone jest ryzyko powikłań pooperacyjnych, gdyż na wydruku są widoczne nawet odłamki kości, które przemieściły się w inne miejsca. Model kości miednicy został wydrukowany technologią drukowania proszkowego [Cykowska-Błasiak i in., 2015].



**Rysunek 9. Model kości miednicy z założonym implantem oraz zdjęcie RTG po wykonanym zabiegu [Cykowska-Błasiak i in., 2015]**

Technologię druku przestrzennego obecna ortopedia wykorzystuje również, w celu wytwarzania spersonalizowanych wkładek ortopedycznych. Coraz częściej w trakcie leczenia lekarze ortopedii odchodzą od tradycyjnych wkładek korekcyjnych na rzecz nowoczesnej spersonalizowanej wkładki, która powstaje z wykorzystaniem kilku materiałów. Indywidualnie dobrana wkładka ortopedyczna zapewnia większy komfort chodzenia oraz minimalizuje przeciążenia kości, powodujące dolegliwości bólowe, które prowadzą do przewlekłych stanów zapalnych [Kuczko i in., 2016]. Zindywidualizowane wkładki ortopedyczne pozyskuje się w pierwszym etapie z skanowania przestrzennego odlewu stopy, następnie w dalszym postępowaniu generuje się model przestrzenny typu CAD. Gdy powierzchnia modelu posiada odpowiednią krzywiznę, wkładkę można wydrukować przestrzennie wykorzystując kombinację technologii i materiałów [Łagan, Marcinkowska, 2012].

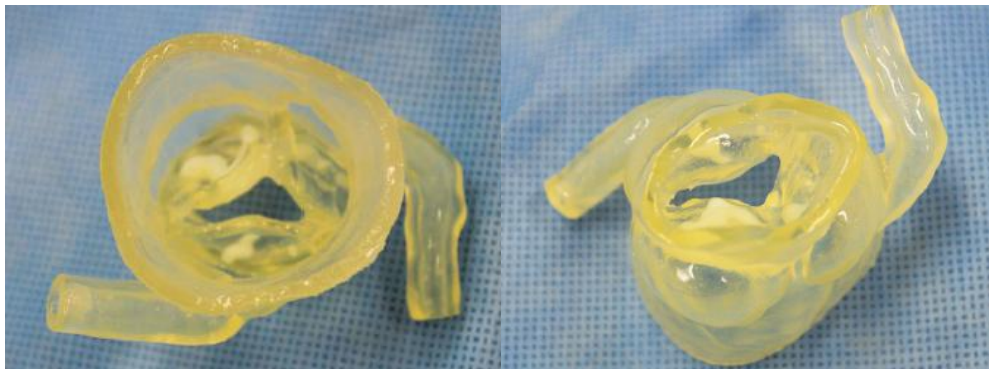


**Rysunek 10. Wkładka wykonana częściowo technologią druku 3D [Kuczko i in., 2016]**

### *Kardiologia*

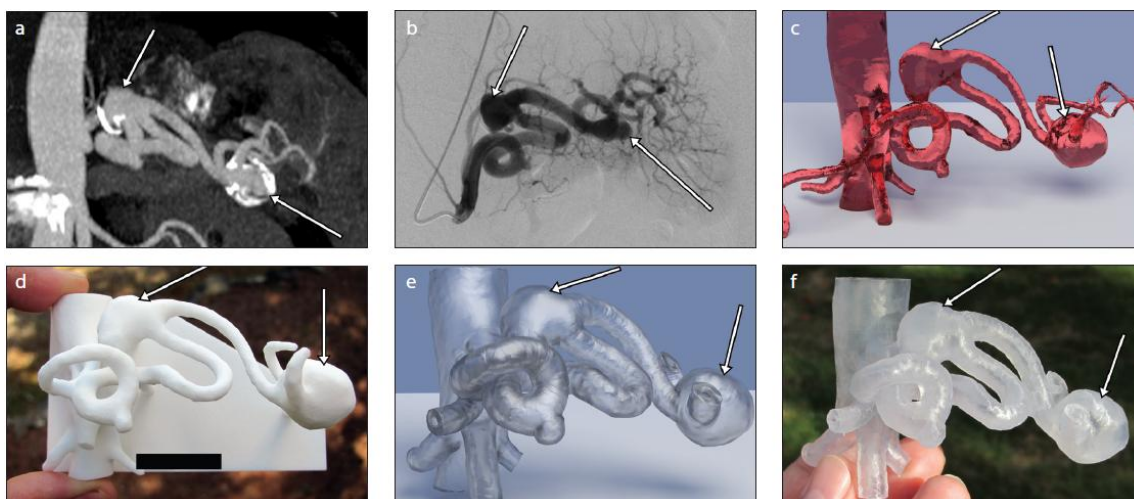
Przykładem zastosowania druku 3D w kardiologii jest wykonanie przestrzennego modelu aorty, który służy jako model planowania przedoperacyjnego zabiegu przezcewnikowej implantacji zastawki aortalnej. W pierwszej kolejności wykonano tomografię komputerową, dzięki badaniu dokonano pomiaru pierścienia aorty, jest to niezbędne, aby poprawnie przeprowadzić zabieg. Zdjęcia tomografii komputerowej wykorzystano w celu wygenerowania modelu 3D, który wydrukowano. Model 3D zapewnił kardiologowi rzeczywiste postrzeganie anatomii sercowo-naczyniowej oraz dodatkowe pomiary średnicy aorty, które odgrywają kluczową rolę przy zabiegu implantacji zastawki aortalnej. Model przestrzenny aorty (Rys. 11) zapewnił dokładniejszą wizualizację anatomii

aorty, specyficznej dla każdego pacjenta, dzięki temu zmniejsza się ryzyko popełnienia błędu podczas zabiegu [Jung Im Jung, Yoon-Seog Koh, Kiyuk Chang, 2015].



**Rysunek 11. Model przestrzenny aorty [Jung Im Jung i in., 2015]**

Innym przykładem zastosowania druku 3D w kardiologii jest model tętnicy śledzionowej wraz z istniejącymi tętniakami. Tak jak w poprzednio przytoczonym przykładzie najpierw wykonano tomografię komputerową. Na podstawie zdjęć tomografii odseparowano struktury naczyniowe (tętnice i tętniaki), następnie wykonano model przestrzenny oraz poddano go procesowi druku 3D. Model 3D miał podwójne zastosowanie. Pierwszym jest przetestowanie sprzętu i przećwiczenie procedury cewnikowania wewnątrznaczyniowego. Drugim zastosowanie jest śródoperacyjne. Model posłużył jako odniesienie do rzeczywistej anatomii, co umożliwiło zmniejszenie powtórnych angiogramów w celu zoptymalizowania orientacji obrazu [Itagaki, 2015].



**Rysunek 12. Angiogram CT z projekcją o maksymalnej intensywności (a) i angiogram cyfrowy cewnika (b) tętnicy śledzionowej przedstawiający dwa 2 cm tętniaki śledziony (strzałki). Trzeci, mniejszy 5 mm tętniak można zobaczyć w bliższej tętnicy śledzionowej. Stworzono cyfrowe renderowanie światła tętnicy śledzionowej (c) i wydrukowany w 3D model nylonowy światła fizycznego światła tętnicy śledzionowej (d). Podstawy i konstrukcje wsporcze zostały dodane do wydrukowanego modelu fizycznego 3D w celu zwiększenia wytrzymałości mechanicznej. Utworzono cyfrowe renderowanie modelu pustej tętnicy śledzionowej (e) oraz przezroczysty model fizyczny wydrukowanej w 3D żywicy pustej tętnicy śledzionowej (f) [Itagaki, 2015].**

#### 4. Podsumowanie

Artykuł przedstawia zagadnienia związane z zastosowaniem druku 3D w medycynie. W pierwszej części artykułu zostały opisane techniki drukowania przestrzennego. Zaprezentowano najbardziej popularne metody przyrostowe tj. technologie FDM, SLA, SLS, SLM, PolyJet. Druga część artykułu obrazuje zastosowania druku 3D w dziedzinach medycyny takich jak: chirurgia, ortopedia, stomatologia, kardiologia. Na podstawie zaprezentowanych przykładów można stwierdzić, że druk 3D znajduje szerokie zastosowanie w medycynie jako narzędzie planowania przedoperacyjnego oraz nawigacji śródoperacyjnej. Dzięki wykorzystaniu modeli przestrzennych lekarze mają dokładniejsze dane dotyczące miejsc zmienionych chorobowo, co w pewnym stopniu upraszcza diagnozę oraz wybór metody leczenia. Modele 3D również służą jako nowoczesna alternatywa dla metod tradycyjnych (odciski szczęki oraz wkładki ortopedyczne).

#### Bibliografia:

1. Caban J., Szala M., Kęsik J., Czuba Ł. (2017). Wykorzystanie druku 3d w zastosowaniach automotive. Eksploatacja i testy nr 6.
2. Cykowska-Błasiak M., Ozga P.(2015). Wydruk 3D jako narzędzie do planowania zabiegów ortopedycznych. Budownictwo i Architektura 14(1) s. 15-23.
3. Guk Bae Kim, Sangwook Lee, Haekang Kim, Dong Hyun Yang, Young-Hak Kim, Yoon Soo Kyung, Choung-Soo Kim, Se Hoon Choi, Bum Joon Kim, Hojin Ha, Sun U. Kwon, Namkug Kim, (2016) Three-Dimensional Printing: Basic Principles and Applications in Medicine and Radiology, Korean J Radiol 17(2) s.182-197.
4. Guo F, Dai J, Zhang J, Ma Y, Zhu G, Shen J, (2017) Individualized 3D printing navigation template for pedicle screw fixation in upper cervical spine. PLoS ONE 12(2).
5. Hu Chen, Han Wang, Peijun Lv, Yong Wang, Yuchun Sun (2015). Quantitative Evaluation of Tissue Surface Adaption of CAD-Designed and 3D Printed Wax Pattern of Maxillary Complete Denture. BioMed Research International.
6. Itagaki Michael W (2015). Using 3D printed models for planning and guidance during endovascular intervention: a technical advance. Turkish Society of Radiology.
7. Jung Im Jung, Yoon-Seog Koh, Kiyuk Chang (2015). 3D Printing Model before and after Transcatheter Aortic Valve Implantation for a Better Understanding of the Anatomy of Aortic Root. Images in Cardiovascular Medicine.
8. Kasparova M., Grafova L., Dvorak P., Dostalova T., Prochazka A., Eliasova H., Prusa J., Kakawand S. (2013). Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D. digital study models. BioMedical Engineering OnLine .
9. Kuczko W., Wichniarek R., Górski F., Buń P., Zawadzki P. (2016). Nowoczesne sposoby projektowania i wytwarzania zindywidualizowanych wkładek ortopedycznych. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 1, s. 155-165.
10. Ludwikowski F. (2017). Technologie druku 3D. Automatyka i Mechatronika nr 4.
11. Łagan S., Marcinkowska M. (2012). Projektowanie wkładek ortopedycznych z wykorzystaniem systemów inżynierskich, Aktualne Problemy Biomechaniki, nr 6.
12. Salmi M. (2016). Possibilities of Preoperative Medical Models Made by 3D Printing or Additive Manufacturing, Journal of Medical Engineering.

13. Wysocki B., Chmielewska A., Szlązak K. (2017). Druk 3D implantów na wymiar metodami FDM oraz SLM. Tworzywa sztuczne w przemyśle nr 3.

**Wykaz stron internetowych:**

14. <https://drukarki3d.pl/technologie/polyjet/> (dostęp: 10.08.2019).

## II NAUKI MEDYCZNE

### 1. POSTRZEGANIE ŚMIERCI PRZEZ POLSKIE PIEŁĘGNIARKI – BADANIA PILOTAŻOWE

**Dominika Gniewek**

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu  
Wydział Nauk o Zdrowiu

**Mgr Agnieszka Maj**

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu  
Wydział Nauk o Zdrowiu  
Zakład Pielęgniarstwa Internistycznego  
Email: agnieszkamaj90@gmail.com

#### 1. Wstęp

Od zarania dziejów śmierć kojarzona jest z bólem oraz cierpieniem, a także stratą i wieloma innymi negatywnie zabarwionymi emocjami. Pomimo faktu, że jest to nieodłączna część ludzkiego egzystowania jej definicja jest bardzo trudna do opisanie, a nad jej stworzeniem już od starożytności pracowali lekarze, filozofowie, duchowni oraz psychologowie, którzy dążyli do duchowego, psychologicznego, jak i fizjologicznego poznania celu bytowania człowieka na ziemi [Becler, 2015]. Zarówno pojęcie umierania, jak i śmierci są bardzo rozległe i dotyczą wielu sfer życia człowieka.

W poprzednich stuleciach w Polsce tuż przed śmiercią, jak i po niej, wszystkie obrzędy związane z tymi przykrymi wydarzeniami odbywały się w domu. Wiązało się to z obecnością członków rodzin przy umierającym człowieku i udzielanym mu w ostatnich minutach wsparcia najbliższych osób. W czasach obecnych miejscem zgonu jest najczęściej szpital.

W związku z tym, że coraz więcej osób ostatnie dni swojego życia spędza w szpitalu, wśród obcych mu osób, nie można nie wspomnieć o postawach personelu medycznego, wobec tego nieuchronnego procesu. Ludzi ci na co dzień obcuje ze śmiercią i osobami u kresu życia, które przeżywają w tym okresie różne emocje. Zgodnie ze stanowiskiem autorów prac odnoszących się do postaw zespołu interdyscyplinarnego związanych ze śmiercią, postawy te są determinowane przez trzy podstawowe czynniki, jakimi są emocje, wcześniejsze doświadczenia i prezentowane wówczas zachowania. Ze wszystkich członków zespołu wielospecjalistycznego, najtrudniejsza rola spoczywa na pielęgniarkach, w związku z czym prezentują one wiele rozmaitych postaw w chwili zetknięcia się ze śmiercią pacjenta [Gaworska-Krzemińska, Kujawska, Żuralska, i in., 2007]. W pracy Sleziona i Krzyżanowskiego zwrócono uwagę na postawy: partnerską, filozoficzno-heterocentryczną, religijną, obojętną [Sleziona, Krzyżanowski, 2011].

W przypadku postawy partnerskiej pacjent traktowany jest jako równorzędny partner, a w związku z tym nie jest on wyręczany we wszystkich czynnościach dnia codziennego, ale jest mu udzielana pomoc tylko w sytuacji, w której stan zdrowia nie pozwala na podjęcie

samoopieki. W tym podejściu istotnym faktem jest to, że osoba u kresu życia zachowuje swoje przekonania i możliwość decydowania o własnym losie, a członkowie zespołu opiekującego się chorym nie podważają jego decyzji. Można więc śmiało stwierdzić, że postawa partnerska opiera się na wzajemnym szacunku oraz zrozumieniu, co przynosi korzyści dla obu stron. W podejściu filozoficzno- heterocentrycznym postawy prezentowane przez pielęgniarki jest poczucie bycia potrzebnym i będą one realizowane za wszelką ceną. Postawa religijna jest determinowana przez stosunek do wiary personelu sprawującego opiekę nad pacjentem umierającym. W Polsce najczęściej ten światopogląd kreuje podejście Kościoła Katolickiego do procesu umierania i śmierci.

Ostatnią postawą w stosunku do pacjenta u kresu życia jest postawa obojętna. Personel przejawiający takie zachowanie wykonuje swoje obowiązki nie nawiązując zbędnego kontaktu z chorym. W tym podejściu unika się także kontaktu z najbliższą rodziną podopiecznego. Jest to nastawienie niekorzystne dla pacjenta, jak i dla całego personelu pielęgniarskiego [Sleziona, Krzyżanowski, 2011].

De Walden-Gałuszko dokonała podziału postaw personelu medycznego w odniesieniu do pacjenta u kresu życia na te o zabarwieniu pozytywnym oraz negatywnym. O zachowaniach pozytywnych mówi się wówczas, kiedy chory traktowany jest jak partner, a jego prawa są w pełni przestrzegane. Z kolei zachowanie negatywne objawia się przedmiotowym tatuowaniem chorego, a także nierespektowaniem podjętych przez niego decyzji [de Walden-Gałuszko, 2005].

Celem przedstawianej pracy jest poznanie opinii personelu pielęgniarskiego na temat śmierci i umierania oraz określenie wpływu czynników socjodemograficznych i zawodowych kształtujących poziom prezentowanych opinii w tym zakresie.

## **2. Materiał i metody**

Badania zostały przeprowadzone w lipcu oraz sierpniu bieżącego roku. Grupę badaną stanowiło 315 pielęgniarek i pielęgniarzy. Kwestionariusz ankiety rozpowszechniany był na profilach o tematyce pielęgniarskiej jednego z największych portali społecznościowych. W celu realizacji badania wykorzystano metodę sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem kwestionariusza własnego autorstwa zawierającego 18 pytań zamkniętych z możliwością wyboru tylko jednej odpowiedzi. W badaniu wykorzystano także ankiety autoryzowane Skala Kontroli Emocji (CECS, Courtauld Emotional Control Scale) oraz pomiaru ogólnego stanu zdrowia - Kwestionariusz Oceny Stanu Zdrowia Goldberga (GHQ-12). Wyniki badania poddano analizie statystycznej w celu określenia stopnia poszczególnych wartości- są opracowaniem wstępnym i wymagają prowadzenia dalszych analiz.

## **3. Wyniki**

Pierwszych 5 pytań odnosiło się do danych socjodemograficznych ankietowanych osób. Odpowiedzi na te pytania zebrano w tabeli 1. W badaniu wzięło udział 315 pielęgniarek, w tym 95,5% kobiet oraz 2,5% mężczyzn. 34,9% badanych było w wieku pomiędzy 22, a 30 lat. 33,7% respondentów to osoby wieku 41-50 lat. 21,9% ankietowanych zostało zakwalifikowanych do grupy osób pomiędzy 31-40 lat. Tylko 9,5% osób uczestniczących w badaniu zaznaczyło przedział wiekowy od 51 do 60 lat. Wśród respondentów 34,5% pracowało na oddziałach chirurgicznych. 33,2% badanych było z oddziałów internistycznych.



Intensywną terapię reprezentowało 18,6% ankietowanych. Na pediatrii pracowało 13,7% osób. Wśród respondentów liceum medyczne ukończyło 9,8% osób. 5,4% to absolwenci stadium medycznego. Wykształcenie wyższe zadeklarowało 84,8% badanych. Większość respondentów, 49,2% pracuje w pielęgniarstwie do 10 lat. 16,8% osób pracuje w zawodzie do 20 lat. Staż pracy do 30 lat deklaruje 27,3% ankietowanych. Powyżej 30 lat w zawodzie pracuje 6,7% badanych.

Tabela druga zawiera odpowiedzi na pytania od 6 do 18. 9,6% badanych osób nie odnotowuje w ostatnim miesiącu zgonów na oddziałach, w których pracują. Respondenci najczęściej wybierali odpowiedź o liczbie zgonów w zakresie od 1 do 2 w ciągu ostatniego miesiąca. Od 3- 6 zgonów odnotowano 33,1%. 15,9% respondentów uznało, że w ostatnim miesiącu na oddziale zmarło od 7 do 10 osób. Do zakresu pomiędzy 11, a 15 zgonami przyznało się 6,3% ankietowanych. Powyżej 16 zgonów odnotowano tylko 3,2%.

Śmierć pierwszego pacjenta w czasie pracy pamięta 86,0% badanych. Zdarzenia tego nie zapamiętało 13,0% ankietowanych. 1,0% respondentów do tej pory nie doświadczyło śmierci pacjenta.

37,1% badanych w czasie śmierci pierwszego pacjenta towarzyszyło przekonanie, że jest to nieunikniony proces naturalny. 50,2% respondentów uznaje, że jest to ulga w cierpieniu dla pacjenta. 12,7% ankietowanych stwierdziło, że jest to porażka w walce o życie.

Po doświadczeniu śmierci w czasie pełnienia obowiązków zawodowych 49,8% badanych ma obawy przed własną śmiercią. 27,6% ankietowanych nie ma takich przemyśleń. 22,5% respondentów w ogóle o tym nie myśli.

**Tabela 1. Dane socjodemograficzne**

| Dane socjodemograficzne | n   | %    |
|-------------------------|-----|------|
| <b>Płeć</b>             |     |      |
| Kobieta                 | 307 | 95,5 |
| Mężczyzna               | 8   | 2,5  |
| <b>Wiek</b>             |     |      |
| 22-30 lat               | 110 | 34,9 |
| 31-40 lat               | 69  | 21,9 |
| 41-50 lat               | 106 | 33,7 |
| 51-60 lat               | 30  | 9,5  |
| >60 lat                 | 0   | 0    |
| <b>Oddział</b>          |     |      |
| Interna                 | 105 | 33,2 |
| Chirurgia               | 109 | 34,5 |
| Intensywna terapia      | 58  | 18,6 |
| Pediatrica              | 43  | 13,7 |
| <b>Wykształcenie</b>    |     |      |
| Liceum medyczne         | 31  | 9,8  |
| Studium medyczne        | 17  | 5,4  |
| Studia wyższe           | 267 | 84,8 |
|                         |     |      |



| Staż pracy     |     |      |
|----------------|-----|------|
| 1-10 lat       | 155 | 49,2 |
| 11-20 lat      | 53  | 16,8 |
| 21-30 lat      | 86  | 27,3 |
| Powyżej 31 lat | 21  | 6,7  |

Źródło: materiał własny.

45,4% badanych podchodzi do śmierci pacjenta w sposób emocjonalny, ale emocje te potrafi kontrolować. 45,1% ankietowanych uznało, że nie podchodzi do tej sytuacji emocjonalnie, ale są pacjenci, których pamiętają do dziś. 6,7% respondentów nie angażuje się emocjonalnie w relacje z pacjentem i jego rodziną. 1,9% ankietowanych nie potrafi kontrolować emocji po śmierci pacjenta. 1,0% respondentów nie przeżyło jeszcze śmierci pacjenta.

47,6% badanych po śmierci pacjenta zaczyna myśleć o własnym życiu. 31,7% ankietowanych nie traktuje tego emocjonalnie. 19,0% respondentów odczuwa obawy o swoich bliskich. 1,3% badanych odczuwa obawy o własne życie.

Wśród czynników, związanych z samym pacjentem, a wpływających na postawę pielęgniarzek wobec śmierci 34,6% ankietowanych uznaje, że jest to wiek. 25,1% respondentów stwierdziło, że na podejście do tego procesu mają relacje z samym pacjentem, jak i jego rodziną. 23,5% badanych twierdzi, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na postawę pielęgniarzek wobec śmierci ma jej charakter. 12,7% ankietowanych uważa, że czynnikiem tym jest stan pacjenta, im jest on cięższy, tym łatwiej przyjąć jego odejście. 3,8% respondentów nie podchodzi do tego procesu emocjonalnie. Tylko 0,3% osób nie doświadczyło jeszcze śmierci pacjenta.

W przypadku czynników związanych z pracą pielęgniarki 58,4% badanych uznało, że przeżywanie śmierci jest procesem indywidualnym. 25,1% ankietowanych uważa, że im dłuższy staż pracy, tym bardziej pielęgniarki są odporne na śmierć pacjentów. 13,3% respondentów stwierdziło, że przyzwyczajenie do śmierci jest równoznaczne z wypaleniem zawodowym. 2,9% badanych nie podchodzi do tego procesu emocjonalnie. Tylko 0,3% osób nie doświadczyło jeszcze śmierci pacjenta.

W ostatnim czasie mówi się o konieczności udzielania wsparcia psychologicznego dla pracowników ochrony zdrowia. Wśród badanych, aż 69,8% nie ma takiego wsparcia. 22,9% ankietowanych uznało, że wsparcie psychologiczne jest udzielne tylko rodzinom osoby umierającej. 6,0% respondentów ma możliwość wsparcia psychologicznego, ale z niego nie korzysta. Tylko 1,3% badanych korzysta z pomocy psychologa w miejscu pracy.

Z możliwości darmowej pomocy psychologa skorzystałoby 72,1% ankietowanych. 27,9% respondentów mimo wszystko nie skorzystałoby z takiej formy pomocy.

Przyczyną braku chęci skorzystania z darmowej opieki psychologicznej jest najczęściej uznanie, że takie wsparcie nie jest potrzebne. Odpowiedzi takiej udzieliło 37,8% osób. 25,4% badanych stwierdziło, że najlepszym wsparciem w sytuacji śmierci pacjenta jest rozmowa z drugą pielęgniarką. 18,7% ankietowanych uważa, że korzystanie z pomocy psychologa jest źle postrzegane przez współpracowników. 18,1% respondentów twierdzi, że taki rodzaj pomocy jest źle odbierany w społeczeństwie.

61,9% badanych w sytuacji śmierci pacjenta wspiera się rozmową ze współpracownikami. 24,8% ankietowanych rozmawia z osobami najbliższymi. Dla 7,3% respondentów śmierć pacjenta jest obojętna. 5,7% osób nie radzi sobie z doznaniem śmierci.

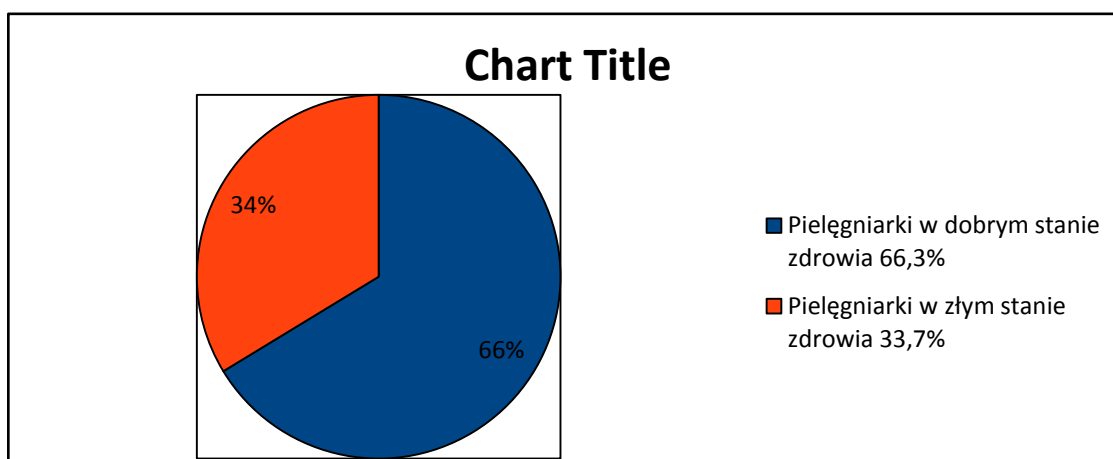
**Tabela 2. Odpowiedzi na pytania 6-18**

| Zmienne                                                                       | n   | %    |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|------|
| <b>Pierwszy kontakt ze śmiercią pacjenta</b>                                  |     |      |
| Pamiętam                                                                      | 271 | 86,0 |
| Nie pamiętam                                                                  | 41  | 13,0 |
| Nie doświadczyłem                                                             | 3   | 1,0  |
| Powyżej 31 lat                                                                | 21  | 6,7  |
| <b>Emocje towarzyszące pierwszej śmierci pacjenta</b>                         |     |      |
| Porażka w walce o życie                                                       | 40  | 12,7 |
| Naturalny proces                                                              | 117 | 37,1 |
| Ułga w cierpieniu                                                             | 158 | 50,2 |
| <b>Obawy przed własną śmiercią</b>                                            |     |      |
| Tak                                                                           | 157 | 49,8 |
| Nie                                                                           | 87  | 27,6 |
| Nie myślę o tym                                                               | 71  | 22,5 |
| <b>Nastawienie do śmierci chorego</b>                                         |     |      |
| Emocjonalne z ich kontrolą                                                    | 143 | 45,4 |
| Emocjonalne bez ich kontroli                                                  | 6   | 1,9  |
| Nie angażuję się emocjonalnie                                                 | 21  | 6,7  |
| Nie angażuję się emocjonalnie, ale są tacy pacjenci, których pamiętam do dziś | 142 | 45,1 |
| Nie doświadczyłem śmierci pacjenta                                            | 3   | 1,0  |
| <b>Emocje odczuwane po śmierci pacjenta</b>                                   |     |      |
| Nie traktuję tego emocjonalnie                                                | 100 | 31,7 |
| Zaczynam myśleć o swoim życiu, o swoich wyborach i dokonaniach                | 150 | 47,6 |
| Boję się o własne życie                                                       | 4   | 1,3  |
| Boję się o swoich bliskich                                                    | 60  | 19,0 |
| Nie doświadczyłem śmierci pacjenta                                            | 0   | 0    |
| <b>Czynniki wpływające na postawę pielęgniarki wobec śmierci pacjenta</b>     |     |      |
| <b>Czynniki związane z pacjentem</b>                                          |     |      |
| Nie podchodzę do tego emocjonalnie                                            | 12  | 3,8  |
| Nie doświadczyłem śmierci pacjenta                                            | 1   | 0,3  |
| Wiek pacjenta                                                                 | 109 | 34,6 |
| Stan pacjenta                                                                 | 40  | 12,7 |
| Relacje z pacjentem lub jego rodziną                                          | 79  | 25,1 |
| Rodzaj śmierci (np. nagła)                                                    | 74  | 23,5 |
| <b>Czynniki związane z pracą pielęgniarki</b>                                 |     |      |
| Nie doświadczyłem śmierci pacjenta                                            | 1   | 0,3  |
| Nie podchodzę do tego emocjonalnie                                            | 9   | 2,9  |
| Przeżywanie śmierci jest indywidualne                                         | 184 | 58,4 |
| Staż pracy – im dłuższy tym bardziej staje się odpornym psychicznie           | 79  | 25,1 |
| Przyzwyczajanie się do śmierci jest równe z wypaleniem zawodowym              | 42  | 13,3 |

| Udzielanie wsparcia w miejscu pracy                  |     |      |
|------------------------------------------------------|-----|------|
| Tak, korzystam z niego                               | 4   | 1,3  |
| Tak, ale nie korzystam z niego                       | 19  | 6,0  |
| Wsparcie psychologiczne jest tylko dla pacjentów     | 72  | 22,9 |
| Nie ma                                               | 220 | 69,8 |
| Korzystanie z darmowej pomocy psychologicznej        |     |      |
| Tak                                                  | 227 | 72,1 |
| Nie                                                  | 88  | 27,9 |
| Przyczyny braku korzystania z pomocy psychologicznej |     |      |
| Jest źle postrzegane przez społeczeństwo             | 57  | 18,1 |
| Nie potrzebuję jej                                   | 119 | 37,8 |
| Jest źle postrzegane przez współpracowników          | 59  | 18,7 |
| Nikt nie zrozumie mnie lepiej niż druga pielęgniarka | 80  | 25,4 |
| Sposoby radzenia sobie ze śmiercią pacjenta          |     |      |
| Nie radzę sobie, jest mi ciężko                      | 18  | 5,7  |
| Chodzę do psychologa                                 | 1   | 0,3  |
| Rozmawiam z koleżankami/kolegami z zawodu            | 195 | 61,9 |
| Rozmawiam z najbliższymi                             | 78  | 24,8 |
| Jest mi obojętne                                     | 23  | 7,3  |

Źródło: materiał własny.

W badaniu respondenci określili także stan swojego zdrowia. Do tego celu wykorzystano kwestionariusz GHQ-12. Na podstawie otrzymanych wyników okazało się, że w badanej populacji pielęgniarek znalazło się 66,3% pielęgniarek w dobrym stanie zdrowia oraz 33,7% osób z zaburzeniami zdrowia psychicznego. Należy jednak pamiętać, że wykorzystany kwestionariusz nie określa rodzaju, a także stopnia nasilenia problemu zdrowotnego. Służy on jedynie do stwierdzenia czy dana osoba jest chora czy zdrowa (ryc.1).



**Rycina 1. Wyniki kwestionariusza GHQ-12**

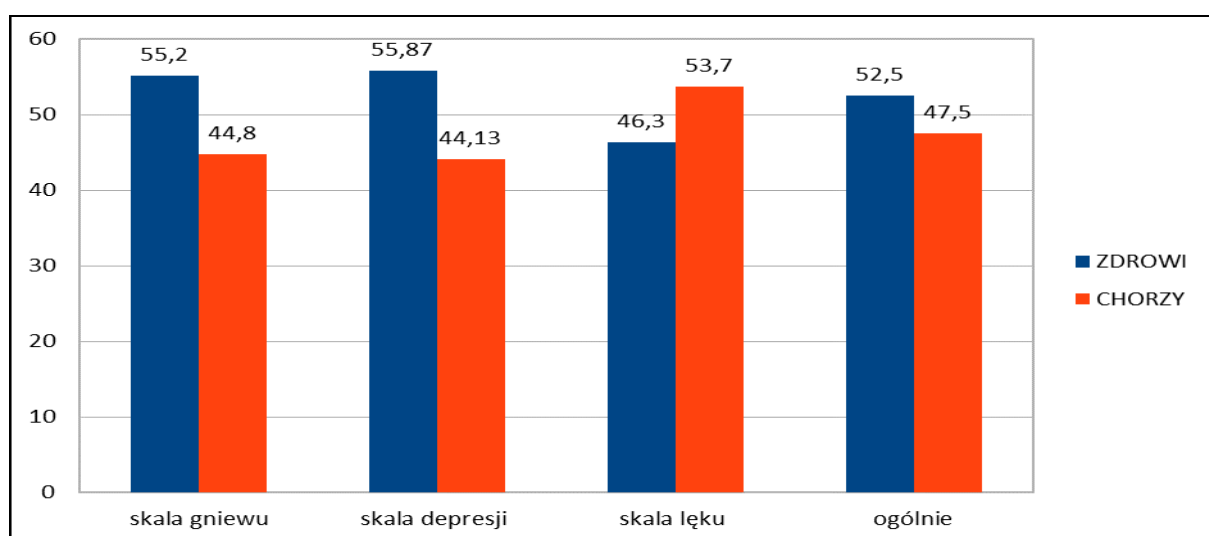
Źródło: materiał własny.

Sposobem łagodzenia negatywnych emocji jest często ich tłumienie. W celu oceny tych mechanizmów posłużono się kwestionariuszem CECS. Jest to narzędzie służące dokładnie do pomiaru wielkości tłumienia gniewu, depresji i lęku. Proces ten wyrażony jest

na skali liczbowej z minimalną oceną 7, a maksymalnie 28 punktów. 7 oznacza najniższy stopień tłumienia wymienionych emocji, natomiast liczba 28- najwyższy.

Po wielu przeprowadzonych rozmowach uznaje się, że ten sposób radzenia sobie ze śmiercią jest wykorzystywany przez większość czynnych zawodowo pielęgniarek.

Rycina 2 zawiera średnie wyniki wskaźników kontroli emocji. Im wyższy wskaźnik, tym większe tłumienie negatywnych emocji. Z zawartych tam danych wynika, że chorzy prezentowali średni wskaźnik kontroli emocji, średnio 47,5% maksymalnej wartości dla skali ogólnej kwestionariusza CECS. Z kolei wskaźnik ten w grupie osób zdrowych wyniósł 52,5%, co wskazuje na dość dobrą kontrolę emocji. Uzyskane w badaniach wartości dla kontroli emocji pielęgniarek stykających się ze śmiercią, są wyższe od opublikowanych przez Juczyńskiego [Juczyński Z.,2001], występujących u pacjentów: dializowanych, chorych na cukrzycę, mężczyzn po zawale serca i kobiet w okresie menopauzy.



**Rycina 2. Wyniki kwestionariusza CECS**

Źródło: materiał własny.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że:

1. 69,8% ankietowanych nie może liczyć na wsparcie psychologiczne w miejscu pracy.
2. 5,7% respondentów nie radzi sobie emocjonalnie ze śmiercią pacjentów.
3. U niemal 40% pielęgniarek stwierdzono zaburzenia stanu zdrowia, które można zakwalifikować do konieczności udzielenia profesjonalnej pomocy psychologicznej.
4. Pielęgniarki wykazują wysoki poziom tłumienia gniewu, depresji i lęku, jako przejaw radzenia sobie ze śmiercią pacjenta.

#### 5. Podsumowanie

Na podstawie powyższych wniosków należy wysnuć jeden ogólny wniosek płynący z przeprowadzonych badań. W grupie pielęgniarek powszechne jest występowanie negatywnych emocji w reakcji na śmierć pacjentów, a jednocześnie pojawia się spory deficyt umiejętności radzenia sobie z tymi sytuacjami, co bardzo często doprowadza do pogorszenia stanu zdrowia w sferze emocjonalnej, jak i somatycznej.

Wspominany już wcześniej program wprowadzenia terapii dla pracowników ochrony zdrowia może wpłynąć na poprawę samopoczucia personelu sprawującego opiekę nad pacjentami, a to przełoży się na znaczącą poprawę jej jakości.

**Bibliografia:**

1. Becler R. 2015. Ewolucja operacyjnej definicji śmierci człowieka. *Prawo i Medycyna*. 2 (59, 17): 52-59.
2. Gaworska-Krzemińska A., Kujawska L., Żuralska R., Książek J., Grabowska H.. 2007. Postawy i emocje towarzyszące pielęgniarcom w opiece nad pacjentem umierającym. [w:] Krajewska-Kułak E., Szczepański M., Łukaszuk C., Lewko J.. (red.) *Problemy terapeutyczno-pielęgnacyjne od poczęcia do starości*. Tom II. Białystok: Wydawnictwo Akademia Medyczna w Białymstoku: 173-180.
3. Sleziona M., Krzyżanowski D. 2011. Postawy pielęgniarek wobec śmierci i umierania. *Pielęgniarstwo i Zdrowie Publiczne*. 1(3): 217-223.
4. de Walden-Gałuszko K. 2005. Problemy psychiczne, duchowe i etyczne. [w:] de Walden-Gałuszko K., Kaptacz A. (red.) *Pielęgniarstwo w opiece paliatywnej i hospicyjnej*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL: 194-221.
5. Juczyński Z. Narzędzia pomiaru w promocji i psychologii zdrowia. *Pracownia Testów Psychologicznych*, Warszawa 2001; 55-59.

## **2. FLUOR – NIEZBĘDNY ELEMENT HIGIENY JAMY USTNEJ, CZY ZAGROŻENIE DLA ZDROWIA?**

**Karolina Kosmala**

Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Wydział lekarski II, kierunek lekarsko-dentystyczny

Email: Karolina.kosmala25@gmail.com

**Katarzyna Kliniec, Mateusz Mendowski, Krzysztof Przeorski, Marcin Dereziński**

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział lekarski, kierunek lekarski

Email: katarzyna.kliniec@interia.pl

### **1. Wstęp**

Higiena jamy ustnej w postaci szczotkowania zębów stanowi jeden z fundamentów dbania o nasze zdrowie. Podobną procedurę stosowali już starożytni Grecy, Rzymianie i Arabowie, używając patyczków do żucia, które porównać można do dzisiejszej szczoteczki. Wraz z biegiem czasu ludzkość udoskonaliła ten rytuał, dodając do niej pastę, żeby pomagała usuwać z powierzchni zębów i dziąseł zanieczyszczenia i naloty o zróżnicowanym składzie chemicznym, głównie płytkę nazębną<sup>3</sup>. Następnie wzbogacano jej skład w liczne związki zapewniające świeży oddech i wspomagające ochronę zębów. Do substancji tych należy między innymi fluor. W pastach do zębów występuje on pod postacią aminofluorków, które w odpowiednich stężeniach wzmacniają zęby, zwiększając ich odporność na działanie kwasów i zapobiegając rozwojowi próchnicy<sup>3</sup>. Jego działanie wykorzystywane jest również w żelach, piankach i lakierach fluorkowych używanych przez stomatologów w celu profilaktyki profesjonalnej u dzieci z podwyższonym ryzykiem próchnicy.

Mycie zębów jest tradycją przekazywaną z pokolenia na pokolenie i doskonaloną przez stulecia. Już od wczesnych lat szkolnych dzieci uczone są prawidłowych nawyków związanych z prawidłową higieną jamy ustnej. Odbywa się to za sprawą licznych akcji promocji zdrowia, które często obejmują prelekcje dla młodzieży i przedstawienia szkolne. Uczniowie angażują się w przedsięwzięcia artystyczne promujące korzyści płynące z regularnego mycia zębów. Nawet najmłodsi mają styczność z tą tematyką dzięki wpleceniu wątków edukacyjnych w przeznaczonych dla nich bajkach i programach rozrywkowych.

Wydawać by się mogło, że po tylu latach praktyki i dzięki licznym programom promocji zdrowia, korzyści płynące z używania past z fluorem nie powinny wzbudzać żadnych wątpliwości. W obecnych czasach nietrudno natknąć się na wiele kontrowersyjnych teorii, które często przeczą dotychczasowym osiągnięciom nauki i są rozpowszechniane dzięki łatwemu dostępowi do Internetu. Jedną z nich przekonuje o szkodliwości mycia zębów pastą zawierającą fluor. Obok radykalnych poglądów traktujących o możliwości kontroli ludzkich umysłów dzięki codziennej ekspozycji na fluor zawarty w pastach do zębów, znajdują się z pozoru bardziej racjonalne, zarzucające temu pierwiastkowi nie tylko toksyczne działanie na ludzki organizm, ale także udział w procesach nowotworowych. Przez takie doniesienia, niektóre osoby ze strachu zaniedbują higienę jamy ustnej, narażając się tym

samym na poważne konsekwencje zdrowotne. Do jednej z nich należy próchnica, definiowana jako choroba przewlekła obejmująca szkliwo, zębinę i cement korzeniowy. Nieleczona może postępować aż do całkowitego zniszczenia zęba<sup>8</sup>. Nie wszyscy jednak zdają sobie sprawę z tego, że do jej złych skutków, poza nieestetycznym wyglądem, należy także wiele schorzeń. Za choroby ściśle związane z ogniskiem zakażenia w obrębie jamy ustnej uważa się m. in.: zapalenie wsierdza, kłębuszkowe zapalenie nerek, chorobę reumatyczną, wstrząs septyczny, zapalenie kości, ropne stany zapalne opon mózgowo-rdzeniowych, choroby płuc, a także miażdżycę<sup>4,20</sup>.

## 2. Materiały i metody

W niniejszym artykule wykorzystaliśmy materiały dostępne w serwisach PubMed, Google Scholar, wyszukując wyników dla słów takich jak: „fluor”, „pasta do zębów”, „nowotwór”, „toksyczność”, „próchnica”, „profilaktyka” „fluoroza” w języku polskim i angielskim. Celem naszej pracy był przegląd i weryfikacja popularnych teorii, dotyczących negatywnego wpływu fluoru na ludzki organizm oraz jego skuteczności w profilaktyce próchnicy.

## 3. Wyniki i dyskusja

Fluor to pierwiastek chemiczny, który jest niezwykle ważny dla prawidłowego rozwoju kości i zębów, ponieważ odgrywa kluczową rolę w procesie remineralizacji<sup>16</sup>. Dostarczany jest egzogennie poprzez miejscowe stosowanie produktów higieny jamy ustnej samodzielnie w domu oraz w gabinetach stomatologicznych poprzez używanie past, płukanek, żeli bądź lakierów. Drugą metodą jego przyjmowania jest metoda endogenna, do której zaliczamy doustne przyjmowanie tabletek, kropeł oraz pokarmów bogatych w fluor (woda pitna, wody butelkowane, herbata, przetwory rybne, żywność importowana produkowana w rejonie z wodą fluorkowaną)<sup>24</sup>. Należy jednak pamiętać, że podobnie jak w przypadku innych mikroelementów zarówno jego niedobór i jak i nadmiar jest szkodliwy. Zbyt duża podaż fluoru może prowadzić np. do fluorozy, zaś zbyt mała może predysponować do próchnicy<sup>7</sup>.

## 4. Czy pasty z fluorem są skuteczną metodą profilaktyki przeciwpróchnicowej?

Spożycie cukru było szczególnie wysokie w bardziej rozwiniętych krajach w XX wieku i to właśnie w tych państwach odnotowano szczególnie wysoką zachorowalność na próchnicę. W latach 50. i 60. XXw. bezzębie było normą wśród starszych dorosłych, a dzieci w wieku około 12 lat miały osiem do dwunastu zębów zajętych procesem próchnicznym. Pionierami w dziedzinie wpływu fluoru na ludzki organizm byli badacze Black i McKay. Zaczęli oni opisywać swoje spostrzeżenia już na przełomie XIX i XX wieku. Ich uwagę przykuły brązowe plamki na szkliwie, występujące w różnych częściach Stanów Zjednoczonych. Nazwali je "szkliwem plamkowym". W 1931 roku dzięki analizie chemicznej odkryto, iż to właśnie fluor jest powodem tego zjawiska. Następnie dokonano szeregu badań epidemiologicznych z których wynioskowano, że ilość plamek na szkliwie jest zależna od stężenia fluoru w spożywanej wodzie. Badacze określili to terminem fluorozy. W 1942 roku porównano zapisy zachorowania na fluorozę i próchnicę u dzieci i zauważono odwrotną relację. Po badaniu przeprowadzonym w 21 miastach USA wysnuto wniosek, że spożycie

wody ze stężeniem fluoru równym 1ppm może zapobiec rozwojowi próchnicy, wzmocnić zęby, jednocześnie nie wywierając negatywnego wpływu na szkliwo. W 1945 roku przeprowadzono badanie w czterech miastach USA - Grand Rapids, Evanston, Brantford i Newberg, gdzie dodano 1 mg fluoru na litr wody pitnej. Odnotowano spadek zachorowalności na próchnicę o co najmniej 50%. Z powodu ogromnego sukcesu tego badania zaczęto masowo fluorować wodę, używać fluorowanej soli, mleka i produkować suplementy zawierające ten pierwiastek w formie tabletek, kropeł, gum do żucia oraz pastylek do ssania. Zachorowalność na próchnicę wciąż spadała. W ciągu ostatnich 30 lat dowiedziono, że najlepsze efekty przeciwpróchnicowe uzyskuje się aplikując fluor bezpośrednio na powierzchnię zębów<sup>23,26</sup>.

Hydroksyapatyt jest głównym składnikiem budującym szkliwo. Pod wpływem fluorków jest on przekształcany we fluoroapatyt, który jest bardziej odporny na działanie kwasów<sup>15</sup>. Charakterystyczne dla próchnicy są ubytki na powierzchni zębów spowodowane działaniem kwasów produkowanych przez szczepy bakterii *Streptococcus mutans* i *Lactobacillus acidophilus*, a wytwarzanych podczas trawienia cukrów przez bakterie. Gdy pH spadnie poniżej 5.5, rozpoczyna się proces demineralizacji szkliwa. Kwasy przemieszczają się z płytki nazębnej do kryształów szkliwa, rozpuszczając je. Jeżeli w otoczeniu będą znajdowały się jony fluoru, zostaną one zaadsorbowane na powierzchnię hydroksyapatytu i będą go częściowo chronić, spowalniając proces degradacji szkliwa. Gdy pH wzrośnie powyżej 5.5, a w otoczeniu hydroksyapatytu obecne będą jony fluoru, zostaną one wchłonięte do minerału i utworzony zostanie fluoroapatyt, który jest bardziej odporny na rozpuszczenie. W jego przypadku procesy demineralizacji zainicjowane będą dopiero w pH równym 4.5<sup>13</sup>.

Istnieją również przesłanki, które wskazują, że fluor działa pośrednio na procesy mineralizacji i demineralizacji poprzez oddziaływanie na bakterie *Streptococcus mutans*. Teoria głosi, iż pierwiastek ten hamuje działanie enzymów komórkowych odpowiedzialnych za procesy glikolizy oraz H<sup>+</sup>/ATP-az. Zmniejsza to przepuszczalność błon komórkowych, pH wewnątrz komórki, a w konsekwencji - ilość produkowanych kwasów<sup>13</sup>.

W 2007 roku opublikowana została praca, która jako pierwsza zajęła się przeglądem systematycznym literatury dotyczącej wpływu fluoru na zahamowanie rozwoju próchnicy u dorosłych. Po przeanalizowaniu 20 prac, w których łącznie poddanych badaniu zostało 13551 osób udowodnione zostało, że stosowanie fluoru jest skutecznym środkiem zapobiegającym rozwojowi próchnicy u dorosłych<sup>9</sup>.

Światowa Organizacja Zdrowia, zgodnie z opublikowanymi w październiku 2017 roku wytycznymi, zaleca używanie fluoru jako skutecznego środka zapobiegania rozwojowi próchnicy zębów w całej populacji i wskazuje, że spowalnia on proces próchniczny oraz opóźnia powstawanie ubytków w zębach<sup>27</sup>.

European Academy of Paediatric Dentistry jasno określa, że codzienne używanie prawidłowo dobranych past z fluorem w połączeniu z higieną jamy ustnej jest zalecaną metodą profilaktyki próchnicy zębów<sup>19</sup>.

Kolejne badanie uwzględnia fakt, że fluorowane pasty do zębów są skutecznym środkiem profilaktyki próchnicy, ale jednocześnie mogą być czynnikiem etiologicznym fluorozy. Badacze doszli do wniosku, że mniejsze (<600 ppm) stężenie fluoru w paście stanowi mniejsze zabezpieczenie przed rozwojem próchnicy w porównaniu z jego średnim (1000 ppm) lub wysokim (1500 ppm) stężeniem. Ponadto, pasty o mniejszym stężeniu fluoru



powinny być przeznaczone dla dzieci poniżej 7 roku życia o niskim ryzyku zachorowania na próchnicę, szczególnie jeżeli żyją na terenach bogatych we fluor. Dla pozostałych dzieci, badacze zalecają pasty o wyższym stężeniu fluoru. Zęby szczotkować powinno się dwa razy dziennie, unikając płukania dużą objętością wody. Skuteczność używania małych i dużych dawek pasty opisywana jest jako porównywalna. Zależność przyjętej dawki fluoru zależy w głównej mierze od ilości spożytej pasty, a mniej od stężenia tego pierwiastka w użytym produkcie<sup>7</sup>.

Mimo to, wraz ze wzrostem ruchów w medycynie opierających się na stosowaniu wyłącznie naturalnych metod walki z chorobami, pojawiły się postulaty głoszące, że stosowanie past z fluorem nie jest potwierdzoną metodą zapobiegania próchnicy. W tych kręgach popularne jest używanie past do zębów pozbawionych fluoru, a bazujących głównie na składnikach pochodzenia roślinnego.

## 5. Stosowanie pasty z fluorem a fluoroza

Fluoroza zębów objawia się jako widoczna hipomineralizacja szkliwa i w zależności od stopnia zaawansowania może przybierać postać białych plamek aż do brunatnych plam. Osoby borykające się z tym problemem mogą czuć się niekomfortowo z uwagi na nieestetyczny wygląd zębów dotkniętych fluorozą. Za zaburzenie to odpowiedzialny jest spożyty w nadmiarze fluor i fakt ten wykorzystują przeciwnicy używania tego pierwiastka w pastach do zębów. Środowisko to zachęca do korzystania z past bez fluoru zarówno dorosłych jak i dzieci. Postawa ta nie jest słuszna przede wszystkim dlatego, iż nadmiar fluoru może prowadzić do fluorozy tylko tych zębów, które znajdują się w fazie rozwoju. Dlatego też osoby z zakończonym rozwojem zębowym mogą używać pasty z fluorem, a wręcz powinny z uwagi na jego działanie kariostatyczne. Światowa Federacja Dentystyczna w zaleceniach mających na celu utrzymanie zdrowia jamy ustnej wymienia między innymi szczotkowanie zębów przez dwie minuty, dwa razy dziennie z użyciem pasty z fluorem<sup>25</sup>. Odontogeneza zębów stałych przypada na wiek dziecięcy, dlatego w przypadku dzieci należy rozważyć korzystać ze środków higieny jamy ustnej zawierających wspomniany pierwiastek. Aby odpowiednio dobrać stężenie fluoru w paście oraz jej ilość trzeba pamiętać o innych, wspomnianych wcześniej, źródłach fluoru. Dlatego też zaleca się używanie pasty o zawartości fluoru na poziomie 1000 ppm w ilości śladowej od wyrżnięcia pierwszego zęba do wieku 3 lat, zaś dla dzieci w wieku 3-6 lat rekomenduje się użycie pasty o zawartości 1000 ppm fluoru w ilości ziarna groszku<sup>22</sup>. Co ważne, szczotkowanie zębów przez dzieci powinno za każdym razem odbywać się pod nadzorem rodziców bądź opiekunów z uwagi na ryzyko nakładania przez dziecko większej niż zalecana ilości pasty oraz połykanie jej. W przypadkach podwyższonej zawartości stężenia fluoru w wodzie pitnej (wg Światowej Organizacji Zdrowia optymalna zawartość jonów fluorkowych w wodzie: 0,5 - 1,0 mg/l) bądź niestosowania się do zaleceń dotyczących ilości pasty czy też zasadnego podejrzenia przyjmowania większych dawek fluoru z innych źródeł, zaleca się używanie pasty o niższej zawartości fluoru, tj. 500 ppm. Preparaty profilaktyczne o wysokim stężeniu fluoru: żele/pianki (5000-12500 ppm), lakiery (1000-56300 ppm) mogą być stosowane w gabinetach stomatologicznych u dzieci o wysokim ryzyku próchnicy oraz powyżej 6 roku życia.

Osoby pragnące ustrzec swoje dzieci przed fluorozą powinny zdawać sobie sprawę, iż nawet całkowite odrzucenie środków higieny jamy ustnej zawierających fluor może okazać

się bezskuteczne. Endemiczne szkliwo plamkowe występuje na całym świecie. Jego przypadki opisano również w Polsce w okolicach Malborka, Błaszek, Henrykowa, Nysy i Lublińca. W rejonach tych odnotowano naturalną zawartość fluoru w wodzie pitnej jako znacznie wyższą od optymalnej<sup>12</sup>. Dane dotyczące stężenia fluoru w wodzie na danym obszarze w Polsce dostępne są w lokalnych Stacjach Sanitarno- Epidemiologicznych, warto zapoznać się z nimi, aby dobrać odpowiednie produkty do higieny jamy ustnej, przestrzec dzieci przed fluorozą, a jednocześnie bez obaw korzystać z przeciw próchnicowego działania fluoru.

## **6. Czy stosowanie fluoru może powodować efekty cytotoksyczne i genotoksyczne?**

Wśród przeciwników stosowania środków higieny jamy ustnej zawierających fluor pojawiły się głosy, że może on przenikać do tkanek błony śluzowej jamy ustnej, kumulować się w nich i wywoływać efekty cytotoksyczne oraz genotoksyczne w komórkach tkanki nabłonkowej jamy ustnej. Poglądy te wynikają między innymi z faktu, że fluorek sodu (NaF), w warunkach *in vitro*, ma udowodnione działanie wywołujące apoptozę komórek tkanki kostnej i miękkich tkanek człowieka, w tym ludzkich fibroblastów dziąseł<sup>1</sup>. Stwierdzono, że w zależności od dawki i czasu stosowania, fluorek sodu powoduje kondensację chromatyny oraz fragmentację DNA w ludzkich fibroblastach dziąseł<sup>18</sup>.

W badaniach przeprowadzonych na fibroblastach dotyczących genotoksyczności związków fluoru, mimo że została ona wykazana, stwierdzono bardzo wysoki margines bezpieczeństwa jej wystąpienia. Ponadto uważa się, że fluor nie wykazuje mutagenności, a co najwyżej może spowodować uszkodzenie chromosomów. W badaniach przeprowadzonych na zwierzętach, którym podawano fluor w dawkach 2-4 mg F/kg nie został zaobserwowany efekt mutageny. Inne badania przeprowadzono na myszach. W wyniku eksperymentu wystąpiły u nich aberracje chromosomów, które były zależne od czasu stosowania i dawki fluorku sodu. Wyniki tych badań wykazały, że efekt genotoksyczny spowodowany przez fluor, występuje po podaniu bardzo wysokich jego stężeń, znacznie przekraczających te, na które narażony może być człowiek<sup>17</sup>.

Grupa naukowców z wydziału medycznego i stomatologicznego Uniwersytetu w Split zbadała, w warunkach *in vivo*, możliwość cytogenetycznego uszkodzenia komórek nabłonkowych jamy ustnej u osób stosujących różne powszechnie dostępne pasty do zębów. W badaniu wzięło udział 40 ochotników w wieku od 20 do 26 lat. Badanych podzielono na dwie grupy. Grupa pierwsza używała trzech różnych past tego samego producenta i o podobnym składzie. Grupa druga używała trzech różnych past o podobnym składzie i pochodzących od tego samego producenta, ale innego niż grupa pierwsza. Wszyscy badani używali takiej samej szczoteczki do zębów. Przez pierwsze dwa miesiące, badani używali pasty niezawierającej fluoru ani laurylosiarczanu sodu (SLS), przez kolejne dwa miesiące pasty zawierającej fluor, ale niezawierającej SLS, a przez ostatnie 2 miesiące pasty zawierającej fluor oraz SLS. Pasty używali 2 razy dziennie, przez 3 minuty w ilości 1g. Pobrano próbki komórek nabłonkowych jamy ustnej na początku badania i po 30, 60, 90, 120, 150 i 180 dniach licząc od początku badania. Wpływ na uszkodzenie DNA analizowano za pomocą testu mikrojądrowego. Dobierając grupę badaną wykluczono osoby, które nie spełniały kryteriów związanych ze zdrowiem i stylem życia oraz zadbanoby badani nie używali innych środków higieny jamy ustnej oraz by nie wystąpiły inne czynniki, które

mogłyby zakłócić badanie. W eksperymencie oceniono zależność między używaniem trzech rodzajów past:

- 1) niezawierających SLS i niezawierających fluoru,
- 2) zawierających fluor i niezawierających SLS,
- 3) zawierających fluor i SLS, a efektem cytotoksycznym i genotoksycznym na komórki nabłonkowe jamy ustnej. Na podstawie wyników badania, otrzymanych po porównaniu danych pozyskanych z obu grup badanych, sformułowano wniosek, że nie występuje zależny od fluoru efekt cytotoksyczny lub genotoksyczny<sup>18</sup>.

## 7. Czy fluor zwiększa ryzyko nowotworów?

Przeciwnicy fluorowania wody oraz past do zębów z fluorem od samego początku prowadzenia tych akcji podnoszą obawy, jakoby działania te skutkowały znacznie częstszymi zachorowaniami na nowotwory, z wyszczególnieniem nowotworów kości.

O ile sam fluor może prowadzić do uszkodzenia mitochondriów, o tyle wiadomo, że nie wywołuje mutacji, czyli nagłych, skokowych zmian materiału genetycznego komórki, które to predysponują do utraty kontroli nad podziałami, a tym samym do wspomnianego już procesu nowotworowego.

W badaniach na zwierzętach wykazano, że nawet dawki 2-4 mg F/kg nie prowadzą do działań mutagennych. Fluor występuje we wszystkich naturalnych wodach, w wodzie morskiej 1.2-1.5mg/l, w wodzie słodkiej stężenia fluoru są jednak znacząco niższe od 0.03mg/l do 0.3mg/l<sup>13</sup>. Dla porównania warto wspomnieć, że United States Public Health Service (PHS) zaleca, aby stężenie fluoru w wodzie wynosiło 0.7 mg/L, z kolei US Environmental Protection Agency EPA ustaliło górną granicę stężenia fluoru w wodzie pitnej na poziomie 4.0 mg/L<sup>21</sup>.

W innych badaniach wykazano, że dopiero w bardzo wysokich dawkach, na jakie człowiek nie jest narażony, fluor wykazuje działanie genotoksyczne. Mówimy więc o ewentualnym działaniu onkogennym, które wywołują dopiero bardzo wysokie, nieosiągalne przy stosowaniu past do zębów, stężenia fluoru<sup>17</sup>.

Już w 1987 roku Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) będąca agendą WHO, wydała raport, w którym uznała fluorki za nieonkogenne, a populacje, które żyją na terenach bogatych w fluor, nie są bardziej narażone na zachorowanie na nowotwory<sup>11</sup>.

Pewne obawy wzbudziło opublikowanie pierwszej części badania przez Harvard School of Public Health w 2006 roku, które sugerowało, że zwiększona ekspozycja na fluor w wodzie podnosi ryzyko wystąpienia kostniakomięsaka - osteosarcomy. Niemniej jednak, w kolejnej części badania, opublikowanej pięć lat później, nie wykazano związku występowania kostniakomięsaka z ekspozycją na fluor, a poziomy fluoru w tkankach występujących wokół tkanki nowotworowej u osób chorych były takie same jak poziomy fluoru w tkance kostnej osób zdrowych<sup>6</sup>. Analiza opublikowanych prac przeprowadzona przez Scientific Committee on Health and Environmental Risks SCHER w 2011 roku nie wykazały związku pomiędzy fluorem i nowotworami oraz zaklasyfikowała fluor jako nieonkogenny<sup>15</sup>.

Zarówno badania na zwierzętach jak i wyniki badań populacyjnych jasno wskazują, że fluorowanie wody oraz past do zębów nie przyczynia się do częstszych zachorowań na nowotwory. Szereg badań europejskich oraz amerykańskich, przeprowadzanych przez

ostatnie trzy dekady, wykazał bezpieczeństwo prowadzenia badań fluorowania wody, a także ich znaczącą skuteczność.

## 8. Podsumowanie

Internet, przy odrobinie zdrowego rozsądku, może być świetnym narzędziem, służącym do poszerzania horyzontów. Czasami jednak używany jest do propagowania wątpliwych teorii. Dotyczy to także fluoru, o którym krąży wiele „mitów”. Pomimo solidnych podstaw higieny jamy ustnej, przekazywanych ludziom od najmłodszych lat, wielu z nich często wpada w pułapkę chwytliwych sloganów, za którymi nie kryje się żadna merytoryczna wiedza. Osoby je wygłaszające często nie mają dowodów na potwierdzenie słuszności ich przekonań lub wyciągają błędne wnioski z artykułów, na które się powołują. Badania jasno pokazują, że fluor jest niezwykle ważnym elementem profilaktyki przeciwpróchnicowej. Nie potwierdzają się natomiast zarzuty jakoby pierwiastek ten, stosowany miejscowo w środkach higieny jamy ustnej, wywoływał efekty cytotoksyczne i genotoksyczne, powodował mutacje, prowadząc w konsekwencji do chorób nowotworowych, ani te o możliwości wywoływania przez niego ciężkich przypadków fluorozy. Niestety, z racji tego, że żyjemy w dobie „młodego internetu”, gdzie panuje informacyjny chaos, wielu jego użytkowników przychodzi z dużą trudnością oddzielenie rzetelnych informacji od tzw. „fake newsów”, co prowadzi do dezinformacji. Należy zatem położyć większy nacisk na edukację pacjentów odnośnie mycia zębów. Lekarze stomatolodzy powinni poświęcać więcej czasu na rozmowę z pacjentem, dopytywać o ich wątpliwości i kiedy zajdzie taka potrzeba - wyprowadzać z błędu, powołując się na wiarygodne źródła. Powinno się także zachęcać pacjentów do podejmowania dialogu z lekarzem dentystą, na przykład za pomocą materiałów edukacyjnych, obrazujących skutki niewłaściwej profilaktyki przeciw próchnicowej.

## Bibliografia:

1. Arnold FA, Jr, Likins RC, Russell AL, Scott DB. Fifteenth year of the Grand Rapids fluoridation study. *J Am Dent Assoc.* 1962;65:780–85.
2. Ast DB, Fitzgerald B. Effectiveness of water fluoridation. *J Am Dent Assoc.* 1962;65:581–7.
3. Badek S. (2008) Higiena jamy ustnej. Procesy innowacyjne i gospodarka oparte na wiedzy.
4. Banach M., Markuszewski L., Zasłonka J., Grzegorzczak J., Okoński P., Jegier B. (2004) Rola zapalenia w patogenezie miażdżycy. *Przegląd epidemiologiczny*, 58.
5. Bassin, Elise B., et al. "Age-specific fluoride exposure in drinking water and osteosarcoma (United States)." *Cancer Causes & Control* 17.4 (2006): 421-428.
6. Blayney JR, Hill IN. Fluorine and dental caries. *J Am Dent Assoc.* 1967;74:225–302.
7. Davies, R. M., Ellwood, R. P. and Davies, G. M. (2003), The rational use of fluoride toothpaste. *International Journal of Dental Hygiene*, 1: 3-8.
8. Fejerskov O., Kidd E. red: Próchnica zębów. Choroba próchnicowa i postępowanie kliniczne. Wydanie I. Wrocław Wydawnictwo Elsevier Urban&Partner, 2006 s.73.
9. Griffin, Susan & Regnier, Eva & Griffin, Paul & Huntley, V. (2007). Effectiveness of Fluoride in Preventing Caries in Adults. *Journal of dental research*. 86. 410-5.

10. Hutton WL, Linscott BW, Williams DB. Final report of local studies on water fluoridation in Brantford. *Can J Public Health*. 1956;47:89–92.
11. IARC MONOGRAPHS SUPPLEMENT 7 s. 208-210.
12. Jańczuk Z., Kaczmarek U., Lipski M. (2018). *Stomatologia zachowawcza z endodoncją*. Warszawa: PZWL, s. 2370, 98.
13. Kanduti D, Sterbenk P, Artnik B. FLUORIDE: A REVIEW OF USE AND EFFECTS ON HEALTH. *Mater Sociomed*. 2016;28(2):133–137. doi:10.5455/msm.2016.28.133-137.
14. Kruś S, Skrzypek-Fakhoura E. *Patomorfologia kliniczna*, wydawnictwo Lekarskie PZWL Warszawa 1996.
15. on buccal epithelial cells toxicity, *Acta Odontologica Scandinavica*, 77:5, 386-393
16. Peckham S, Awofeso N, “Water Fluoridation: A Critical Review of the Physiological Effects of Ingested Fluoride as a Public Health Intervention,” *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 293019, 2014.
17. Seńczuk W. red.: *Toksykologia. Podręcznik dla studentów, lekarzy i farmaceutów*, Wydanie IV. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2002 s.547
18. Szczepańska J., Pawłowska E. (2007) Niektóre problemy związane z toksykologią fluorków, *Borgis - Nowa Stomatologia* 2-3/2007, s. 82-87.
19. Tadin A, Gavic L., Govic T. Galic N, Zorica N Zeljezic V Zeljezic D (2019) *In vivo* evaluation of fluoride and sodium lauryl sulphate in toothpaste
20. Toumba J, Lygidakis N, Oulis C, Parnell C, Espelid I, Poulsen S, Twetman S. Guidelines on the use of fluoride in children: an EAPD policy document. *European Academy of Paediatric Dentistry* 2009 Sep;10(3):129-35.
21. Zaremba M., Górka R. (2008) Choroba przyzębia jako potencjalny czynnik ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. *Kardiologia Polska*, 66.

#### **Wykaz stron internetowych:**

22. <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/water-fluoridation-and-cancer-risk.html?fbclid=IwAR2fd18W6fXoWW8Z5D02vgEv73f9ePoWaq5eog3ka1vpNr-5Cu1IxsBMg8w> (16-08-2019).
23. <http://www.czytelniamedyczna.pl/5611,stanowisko-polskich-ekspertow-dotyczace-indywidualnej-profilaktyki-fluorkowej-ch.html?fbclid=IwAR0nKmqcrKgAqe6BVSKcSxCqd4IuwRQyIA33gv2ZAo-i0Jy4EQZdk6W6wPA> (16-08-2019).
24. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0022034519843495?fbclid=IwAR2Ne-PZgBtkZgeo6o8hU3joOkp6QoKk61TWXnA0pnqJeBvJTHjFafIEudg&> (15-08-2019).
25. [http://www.ptsd.net.pl/wp-content/uploads/2016/01/PTSD\\_Wytyczne\\_na\\_temat\\_indywidualnej\\_profilaktyki\\_fluorkowej.pdf](http://www.ptsd.net.pl/wp-content/uploads/2016/01/PTSD_Wytyczne_na_temat_indywidualnej_profilaktyki_fluorkowej.pdf) (16-08-2019).
26. <https://www.fdiworldddental.org/oral-health/prevention> (15-08-2019).
27. [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4851520/?fbclid=IwAR3e8fBnYiB9VCFp4f585NKKV8ATZHeg-oSjjXhSzLKCys2s1aC\\_Ku60x0ttw#ref19](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4851520/?fbclid=IwAR3e8fBnYiB9VCFp4f585NKKV8ATZHeg-oSjjXhSzLKCys2s1aC_Ku60x0ttw#ref19) (18-08-2019).
28. WHO TECHNICAL INFORMATION NOTE OCTOBER 2017 “Sugars and dental caries” <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259413/WHO-NMH-NHD-17.12-eng.pdf;jsessionid=09A2663AF57ECB09C075785F757E7156?sequence=1> (15-08-2019).

### **3. SKŁADNIKI AKTYWNE STOSOWANE W PROBLEMACH SKÓRNYCH KOBIET W CIĄŻY**

**mgr Nicola Kubik**

Wyższa Szkoła Kosmetyki i Nauk o Zdrowiu

ul. Wileńska 53/55, 94-011 Łódź

Email: nicola1230@wp.pl

**mgr Agnieszka Łaska-Jesionowska**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

ul. Tamka 12, 91-403 Łódź

Email: agnieszka.laska@chemia.uni.lodz.pl

#### **1. Wstęp**

Ciąża jest szczególnym okresem w życiu kobiety. Zachodzą wtedy w jej organizmie różne zmiany, głównie o podłożu hormonalnym. Mają one wpływ nie tylko na psychikę ciężarnej, ale również na jej ciało. Funkcjonowanie układu dokrewnego ma ogromny znaczenie dla skóry i jej przydatków i przyczynia się do powstawania wielu niedoskonałości kosmetycznych. Taki przebieg zmian fizjologii w okresie ciąży nie jest w żaden sposób patologiczny i dotyka wielu ciężarnych.

W dobie nowoczesności, kiedy wdraża się technologie poprawiające przenikalność preparatu, bardzo ciężko jest odnaleźć właściwe rozwiązania na skórne problemy ciążowe. Należy jednocześnie zastosować skuteczne metody, pozwalające na zniwelowanie niechcianych zmian lub zapobiegające ich powstaniu, a przy tym skupić się na bezpieczeństwie rozwijającego się dziecka i uniknięciu ewentualnego negatywnego oddziaływania. Ciężarne nie są wykwalifikowane w tym zakresie i bardzo często ich przekonania dotyczące pielęgnacji są mylne. W swojej pracy scharakteryzuję główne problemy ciężarnych kobiet, ich przyczynę i mechanizm powstawania oraz przybliżę składniki aktywne, których zastosowanie u kobiet w ciąży nie jest obarczone nadmiernym ryzykiem, a jednocześnie są one skuteczne w zwalczaniu najczęstszych problemów skórnych.

#### **2. Materiały i metody**

W realizacji zagadnienia wykorzystałam badanie ankietowe, które miało na celu określić jaki będzie zakres merytoryczny dalszej części wywodu, a następnie analizę literatury i własne poglądy na temat zgłaszanych przez kobiety w ciąży defektów. Temat niniejszej ankiety to zagadnienie skupiające się na problemach i pielęgnacji skóry w okresie ciąży. Jej celem było zbadanie świadomości, a także potrzeb kobiet ciężarnych, w aspekcie kosmetyki prenatalnej.

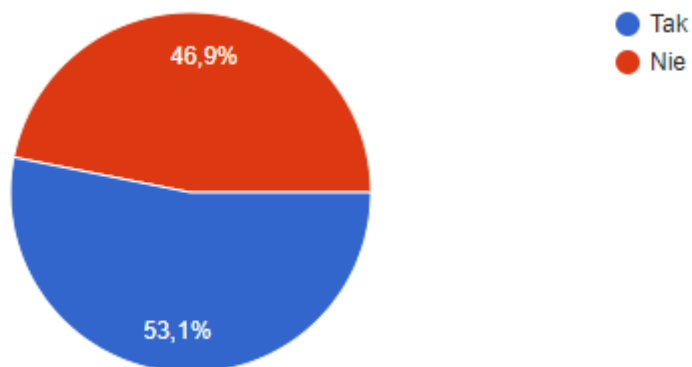
Badanie realizowane było w formie ankiety internetowej. Pytania w niej zawarte miały charakter zamknięty, z możliwością jednokrotnego wyboru, a także otwarty, gdzie osoby badane mogły swobodnie kreować odpowiedzi. Przed wypełnieniem ankiety grupa badana nie otrzymała żadnych dodatkowych informacji, które mogłyby w jakikolwiek sposób wpłynąć na decyzje podejmowane w jej przebiegu. Ankieta miała charakter jednorazowy.

Próbie badawczą  $n=96$  stanowiły kobiety, które obecnie są w ciąży albo w przeszłości były. Dobór ankietowanych miał charakter losowy, bez możliwości ponownego udziału w badaniu.

### 3. Wyniki i dyskusja

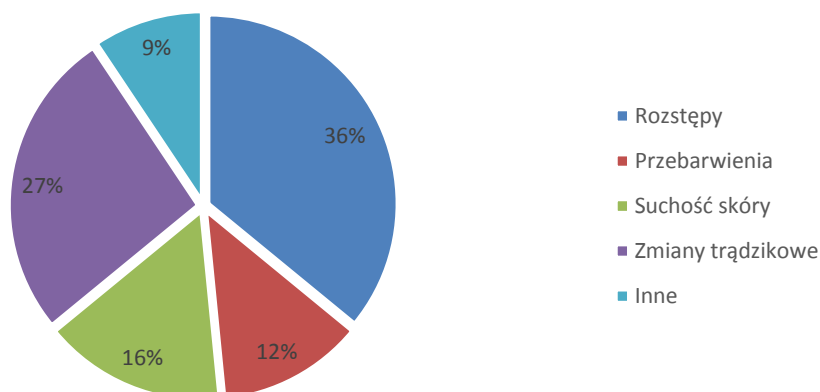
Zmiany jakie zachodzą w ustroju ciężarnych kobiet są w głównej mierze związane z funkcjonowaniem układu hormonalnego. W czasie ciąży poziom wielu hormonów ulega istotnej zmianie. Dzieje się tak, ponieważ organizm zmienia priorytety i kluczowym staje się dla niego zachowanie dobrego stanu ciąży, a nie kobiety. Do hormonów ciążowych zaliczamy: gonadotropinę kosmówkową hTG, prolaktynę, oksytocynę, relaksynę, endorfiny. Hormony te warunkują prawidłowy przebieg ciąży i przyczyniają się do właściwego przygotowania organizmu kobiety w czasie okołoporodowym. Zasadniczo nie wpływają przy tym na wygląd kobiet w ciąży. Kolejne opisane przeze mnie hormony, poza funkcją związaną z rozwojem płodu, w głównej mierze odpowiadają za problemy kosmetyczne ciężarnych. Należą do nich androgeny, melanotropina, estrogeny, progesteron i kortyzol. Poziom androgenów u ciężarnych stopniowo wzrasta, a pod koniec ciąży jest niemalże równy wartości prawidłowej dla mężczyzn [Syrenicz, 2005]. Męskie hormony płciowe odpowiadają za nasilone wydzielanie łoju, co może być przyczyną problemów o charakterze trądzikowym u kobiet w omawianym okresie. Melanotropina pobudza komórki barwnikowe skóry do syntezy melaniny. W czasie ciąży jej poziom znacząco wzrasta, co skutkuje powstaniem przebarwień tj. ostuda (umiejscowiona na twarzy), czy też kresa czarna (na brzuchu od pępka w kierunku wzgórka łonowego). Dodatkowo ciemniejsze zabarwienie nasilane jest przez progesteron. Hormon ten przygotowuje ciało do porodu, a jego stężenie wzrasta w ciąży stukrotnie. Reguluje on funkcje łożyska i zapobiega przedwczesnym skurczom macicy [Syrenicz, 2005]. Dba tylko o płód, a nie o kobietę. Nasila funkcje melanotropiny. Ponad to powoduje zatrzymanie wody w organizmie i sprzyja rozszerzaniu naczyń krwionośnych, będąc przyczyną obrzęków i cellulitu. Progesteron stymuluje pracę gruczołów łojowych, przez co obserwowane są zmiany trądzikowe u wielu kobiet w ciąży. Kolejną grupą hormonów ciążowych są estrogeny. Do głównych estrogenów produkowanych przez ciężarną należy: estriol, estradiol i estron [Syrenicz, 2005]. Wzrost stężenia estrogenów w ciąży niesie za sobą zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki. Poprawia nastrój w II trymestrze ciąży, wzmacnia ukrwienie, powoduje widoczny lepszy wygląd cery i przydatków oraz stymuluje syntezę włókien kolagenowych czy też kwasu hialuronowego [Placek, 2016]. Jednocześnie wzmacnia indywidualne predyspozycje do kruchości naczyń krwionośnych, co skutkuje pojawieniem się teleangiektazji, wenektazji, a w skrajnych przypadkach żylaków, predestynuje do powstawania obrzęków i cellulitu. Dodatkowo powoduje powstawanie rozstępów skórnych, ponieważ kolagen jest przekazywany w głównej mierze dziecku, a nie matce [Thornfeldt, 2013]. Ostatnim omówionym przeze mnie hormonem jest kortyzol. Wzrost poziomu kortyzolu ma pobudzić rozwój dziecka, jednakże wiąże się z tym negatywny skutek dla matki, ponieważ hamuje on naprawę włókien kolagenowych [Thornfeldt, 2013], a więc sprzyja rozwojowi rozstępów skórnych.

### Czy wystąpiły u Pani/obawia się Pani wystąpienia problemów kosmetycznych w okresie ciąży?



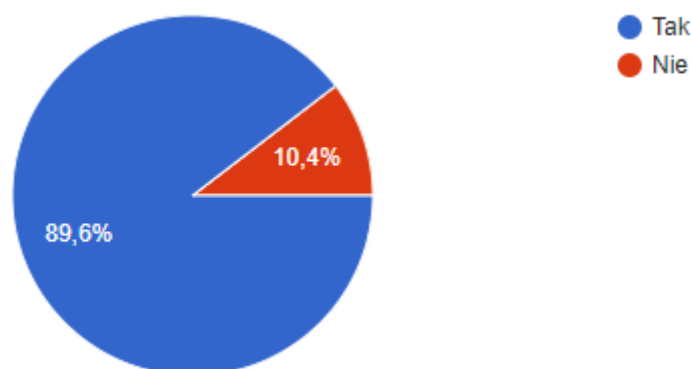
Pytanie dotyczące wystąpienia dolegliwości kosmetycznych w okresie ciąży podzieliło respondentki. Ponad połowa z nich, a więc 53,1% (51 osób), obawia się lub posiada problemy skórne, których pojawienie się wiąże ze swoim odmiennym stanem. Natomiast 46,9% (45 osób), nie dotyczy omawiane zagadnienie.

### Jakie to problemy kosmetyczne?



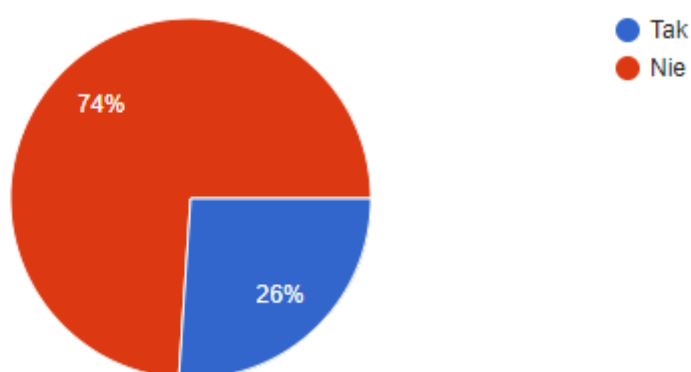
Dane na wykresie przedstawiają jakie problemy kosmetyczne najczęściej dotyczą ciężarne respondentki. Główną dolegliwością okazały się rozstępy, które wskazało 36% badanych (23 osoby), kolejno 27% (17 osób) ma kłopoty z trądzikiem lub zmianami zapalnymi czy też zaskórnikami, które dla ułatwienia zbiorczo określe zmianami trądzikowymi, 16% (10 osób) uskarża się na suchość skóry i towarzyszący jej świąd, a 12% (8 osób) zauważyło pojawienie się przebarwień na skórze. Pozostałe 9% (6 osób) boryka się z innymi problemami, wśród których wymieniają alergię, wysypkę i widoczne drobne naczynia krwionośne.

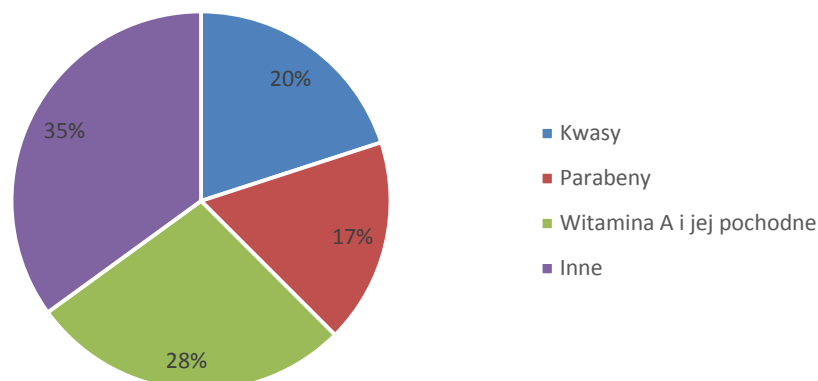


**Czy będąc w ciąży stosuje / stosowała Pani kosmetyki pielęgnacyjne?**

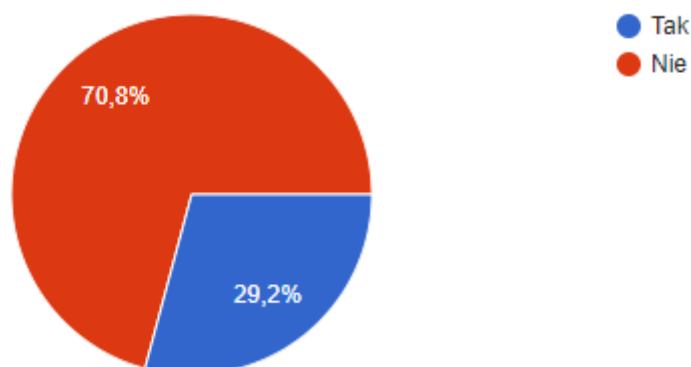
Wykres wyraźnie wskazuje, że większość badanych 89,6% (86 osób) stosuje kosmetyki pielęgnacyjne przez okres ciąży. Zaledwie 10,4% (10 osób) tego nie robi, a za przyczynę zaniechania pielęgnacji domowej podaje brak wiedzy na temat odpowiednich preparatów i opieszałość.

W tym miejscu pragnę zwrócić uwagę na fakt, iż w kolejnych pytaniach, do których wykresy zamieszone zostały w dalszej części pracy, dotyczących wiedzy na temat nie zalecanych i zalecanych składników aktywnych, respondentki wykazały się brakiem świadomości w zakresie odpowiedniego doboru kosmetyków. Świadczy to o tym, że używane przez nie preparaty są prawdopodobnie nieodpowiednio dobrane do potrzeb skóry w ciąży. Możliwa jest więc zawartość w nich komponentów, których stosowania powinno się zaniechać w okresie prenatalnym albo takich, które w żaden sposób nie odpowiadają wymogom pielęgnacyjnym.

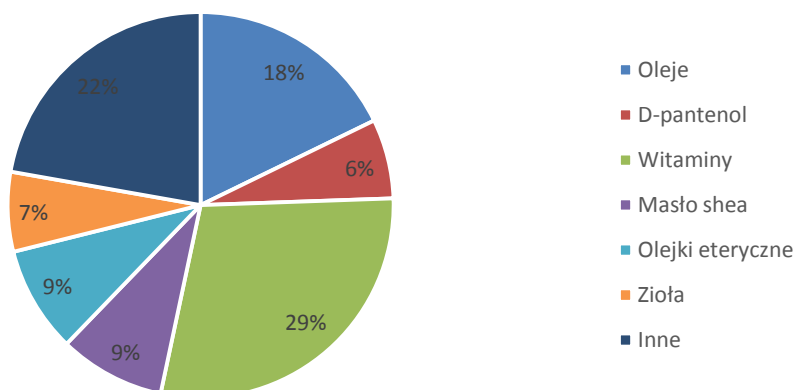
**Czy wie Pani jakie składniki NIE SĄ zalecane w preparatach dla ciężarnych?**

**Jakie składniki NIE SĄ zalecane w preparatach dla ciężarnych?**

Z powyższych danych wynika, że przeważająca większość badanych, bo aż 74% (71 osób), nie wie jakie składniki aktywne nie powinny być stosowane w preparatach przeznaczonych do pielęgnacji skóry w okresie ciąży. Pozostałe 26% (25 osób) deklaruje posiadanie orientacji w tym zakresie, jednakże odpowiedź na kolejne pytanie, gdzie respondentki zostały poproszone o wymienienie wspomnianych składników, poddaje w wątpliwość prawdziwość tego przekonania. 28% wyników dotyczyło witaminy A, retinolu i kwasu retinowego, a więc pochodnych witaminy A, 20% wskazało kwasy a 17% parabeny. Były to jedyne grupy związków, które powtarzały się w ankietach. Pozostałe 35% to pojedyncze odpowiedzi poszczególnych badanych tj. silikon, sls-y, sztuczne barwniki, alergen, olejki eteryczne, alkohol, kwas hialuronowy, przeciwutleniacze, zioła, sterydy. Brak jest więc konkretnych składników aktywnych, a udzielane odpowiedzi nie są powtarzalne, co stanowi o braku jednolitej i ugruntowanej wiedzy na temat niezalecanych komponentów i potwierdza wcześniejsze wnioski o niekompetencji ciężarnych w zakresie wykluczania nieodpowiednich kosmetyków na okres ciąży.

**Czy wie Pani jakie składniki są zalecane w preparatach dla ciężarnych?**

### Jakie składniki są zalecane w preparatach dla ciężarnych?



Składniki aktywne zalecane w preparatach dla ciężarnych były, podobnie jak nie zalecane, źródłem niepewności u respondentek. Aż 70,8% (68 osób) nie wie co powinno być w składzie takich kosmetyków, a jedynie 29,2% (28 osób) deklaruje ich znajomość, co tak jak w poprzednich rozważaniach, jest przeze mnie podważane, z uwagi na nieprecyzyjne odpowiedzi w zakresie przedstawienia tych składników. Badane głównie, bo aż w 29%, uważały za zalecane witaminy, jednakże grupę tę stanowiły różne witaminy: A, B, C, D, E. Najczęściej wskazywane były witaminy C i E. Kolejno 18% stanowiły oleje: migdałowy, arganowy, kokosowy i słonecznikowy. 9% odpowiedzi dotyczyło olejków eterycznych i masła shea, 7% ziół, a 6% D-pantenolu. 22% to pojedyncze wyniki, wśród których wyróżniamy m.in. kolagen, emolienty, NNKT, lanolinę, parafinę, glicerynę, masło kakaowe, alantoinę, zieloną herbatę. Jak można więc zauważyć, podobnie jak poprzednio, nie są to sprecyzowane odpowiedzi, a jedynie określone grupy substancji. Bardzo szerokie spektrum, o powtarzalnym w niewielkim stopniu charakterze, świadczy o nieznanym składzie zalecanych składników, przez kobiety ciężarne, a co za tym idzie, niemożności dostosowania przez nie pielęgnacji do odpowiednich problemów skórnych.

Zauważyć tu można pewną prawidłowość. Nieznacznie więcej ankietowanych zna składniki, których nie powinno się stosować u ciężarnych, a nie zna polecanych. Świadczy to o pewnej zachowawczej tendencji i skłanianiu się ku niepewności, skupianiu się jedynie na negatywnych aspektach i zakazach, a nie dostrzeganiu możliwości, jakie daje współczesna kosmetologia.

### Przenikalność składników aktywnych

Kosmetyki stosowane obecnie zawierają wiele składników aktywnych, których skuteczność nie ogranicza się jedynie do powierzchniowego nawilżenia, czy regeneracji naskórka. Mają one właściwości, które pozwalają na znacznie głębsze działanie, będące formą walki z niedoskonałościami skóry. Stosowanie takich preparatów jest niezwykle istotne, ponieważ wspomaga naturalne funkcje skóry. Istotne jest, aby kosmetyki stosowane przez ciężarne były skuteczne względem problemów kosmetycznych, a jednocześnie bezpieczne dla rozwijającego się dziecka. W tym miejscu należy więc poruszyć kwestie przenikalności aplikowanych kosmetyków.

Przenikalność preparatów podawanych na skórę matki, do płodu, uzależniona jest, w głównej mierze, od przepuszczalności bariery naskórkowej i bariery łożyskowej. Skóra jest bezpośrednią zaporą, oddzielającą organizm od środowiska zewnętrznego, to tzw. bariera warstwy rogowej [Peters, 2007]. Pełni ona funkcję ochronną o charakterze biernym (wynikającym z jej budowy) i czynnym (polegającym na odpowiedzi na określony bodziec) [Kasprzak i Mańkowska, 2010]. Zasadniczą rolę w tym zakresie odgrywa naskórek i płaszcz lipidowy [Placek, 2016], które zapobiegają przedostawaniu się substancji do wnętrza organizmu. Nie jest to w pełni możliwe i niewielkie ilości związków nakładanych na jego powierzchnię, mogą zostać przetransportowane [Bender, 2011]. Jest to niezbędne, dla prawidłowej wymiany substancji między organizmem, a otoczeniem. Początkowo preparat zaaplikowany na skórę ulega absorpcji przezskórnej [Adamski i Kaszuba, 2010] (dyfuzji biernej) [Placek, 2016] do uwodnionych warstw naskórka. Substancje rozpuszczalne w wodzie są wchłaniane przez komórki rogowie, a rozpuszczalne w tłuszczach – przez substancję łączącą. Możliwa jest również dyfuzja przez ujścia gruczołów potowych i mieszki włosowe [Peters, 2007]. Następnie częściowo penetruje do skóry właściwej, a z niej może zostać zresorbowany przez naczynia do krwi i limfy [Kasprzak i Mańkowska, 2010]. Dostanie się substancji aktywnej do krwioobiegu jest niezwykle ryzykowne, gdy dotyczy kosmetycznych wyrobów [Łupkowska, Grobelna i Maćkiewicz, 2012]. Transport transdermalny (przezskórny) jest uzależniony m.in. od stanu skóry, budowy fizykochemicznej wprowadzanej substancji, podłoża w którym się ona znajduje, stężenia składników aktywnych, a także istnienia ewentualnych czynników wspomagających. Najczęściej, aby poprawić przenikalność preparatu, przemysły kosmetyczne umieszczają składniki aktywne w liposomach [Peters, 2007] lub innych transporterach, stosując specjalne podłoża, emulgatory czy środki powierzchniowo czynne. Niesie to jednak za sobą ryzyko wystąpienia stanów zapalnych, alergii i zakażeń, na skutek przypadkowego zanieczyszczenia produktu, lub współistnienia dodatkowych składników czy środków konserwujących. Bariera wodno-lipidowa naskórka powstaje już w okresie płodowym, w celu ochrony przed substancjami rozpuszczonymi w wodach płodowych [Placek, 2016], co dodatkowo chroni rozwijający się płód przed niekorzystnym oddziaływaniem preparatów aplikowanych przez ciężarną.

Jeśli zaś chodzi o barierę łożyskową, to składa się ona z tkanek pozapłodowych, oddzielających krew matczyną od płodowej. Przy czym większość substancji wykrywalnych w osoczu matki, przechodzi przez nią i znajduje się również w osoczu płodu [link1].

Substancje kosmetyczne poddawane są obecnie szeregom testów, które mają na celu określić charakter toksykologiczny danego produktu. Badana jest np.: zdolność penetracji przez skórę, działanie drażniące, uczulające, fototoksyczność, mutagenność, czy też toksyczność [Adamski i Kaszuba, 2010]. Dzięki temu oceniane jest bezpieczeństwo stosowania kosmetyku. Niektórzy autorzy uważają jednak, że nie jest to wystarczające i z uwagi na brak jednoznacznych dowodów, a także badań na ciężarnych, wiedza na temat negatywnego oddziaływania na płód niektórych składników kosmetyków, oparta jest jedynie na domniemaniach [Zubcowa i Orasmae-Meder, 2016]. Pomimo tego, uważam że należy stosować się do ograniczeń pielęgnacyjnych, gdyż nie są one szczególnie uciążliwe, a być może pozwolą uniknąć problemów rozwojowych płodu, jak to np. miało miejsce w 1960r., w przypadku talidomidu, którego używanie zalecano ciężarnym w celu zmniejszenia wymiotów i dolegliwości bólowych, a który okazał się przyczyną niedorozwoju około 15000

dzieci [Zubcowa i Orasmae-Meder, 2016]. Przede wszystkim należy unikać składników określanych jako teratogenne (tzn. wywołujące wady wrodzone u płodu) [Kowalska-Wohna i Borkim, 2016/2017].

### **Preparaty przeciw rozstępom skórnym**

Na szczególną uwagę zasługują preparaty przeciw rozstępom dla kobiet w ciąży, których regularne stosowanie, przez cały czas trwania ciąży, minimalizuje ryzyko powstania rozstępów. Dzięki nim możliwe jest złagodzenie procesu naciągania i pęknięcia włókien, a dodatkowo zapobiegają świądowi skóry w miejscach szczególnie napiętych. Głównymi składnikami tego typu preparatów są lipidy. Częstym dodatkiem są też ekstrakty roślinne, z zawartością flawonoidów, które pielęgnują skórę i wpływają na syntezę fibroblastów [Bender, 2011]. Warto wykorzystywać również olejki eteryczne tj. olejek z drzewa sandałowego czy olejek mandarynkowy.

Profilaktyka powstawania rozstępów opiera się na suplementacji witaminy A, B<sub>5</sub>, E, PP, mikroelementów tj. krzem i cynk, a także stosowaniu kosmetyków na bazie elastyny, kolagenu, witamin, preparatów łożyskowych. Najczęściej polecanymi składnikami aktywnymi są:

- wyciąg z soi – ze względu na przeciwzapalne, anyutleniające i pobudzające fibroblasty działanie, a także z uwagi na zawartość genisteiny – fitohormonu zwiększającego gęstość skóry (wpływającego na zawartość kolagenu);
- związki krzemu – sprzyjających regeneracji włókien kolagenowych i elastynowych, a także zwalczających wolne rodniki;
- pirogronian sodowy – stymulujący aktywność fibroblastów;
- czerwone algi atlantyckie; peptydy – tj. argan, niacynamid; aminokwasy – leucyna, izoleucyna, walina;
- pantenol, alantoina, masło Shea – redukujące świąd skórny, spowodowany stanem zapalnym i naciągnięciem, poprzez nawilżenie obszaru objętego problemem;
- mukopolisacharydy – o właściwościach wypełniających;
- proteiny pszenicy; oliwa z oliwek; witamina E; kolagen.

Innym składnikiem kosmetyków przeciw rozstępom dla ciężarnych jest arbinogalakton – połączenie galaktozy i kwasu arabinowego. Zapobiega on powstawaniu prostaglandyn (hormonów stanu zapalnego), które stanowią jedną z przyczyn rozstępów, a także cellulitu. W terapii ciężarnych warto wykorzystać również wąkrotkę azjatycką, która pobudza syntezę kolagenu i poprawia proces zablizniania ran, co wpływa na redukcję rozstępów [Ratz-Łykoi Arct, 2015].

Kolejną zalecaną substancją jest kwas hialuronowy, który nawilża skórę i zwiększa jej podatność na rozciąganie, dzięki czemu może zapobiec pękaniu włókien kolagenowych nawet przy intensywnym naciągnięciu. Dodatkowo zmniejsza wrażliwość skóry, co pomaga w walce ze świądem w miejscu nadmiernego napięcia. Podobne działanie wykazuje również masło Shea i uzupełniająca lipidy witamina E [Niżnik, Wzgarda i Stanisław, 2017]. Doskonale sprawdza się w tym aspekcie olej migdałowy, który należy wcierać w ciało po każdej kąpieli [Agrawal, 2013]. Uelastycznienie skóry i jej nawilżenie uzyskujemy również stosując inne oleje roślinne, bogate w NNKT [Skóra, 2017].

### **Składniki rozjaśniające przebarwienia**

Zaburzenia barwnikowe w ciąży, są dość powszechnym problemem. Najczęściej stosowane preparaty to te, o działaniu rozjaśniającym, bazujące na hamowaniu powstawania barwnika w skórze, poprzez blokowanie enzymu tyrozynazy, niezbędnego do syntezy melaniny [Peters, 2007]. Ponad to należy wykorzystywać składniki złuszczone, a także filtry przeciwsłoneczne.

W celu redukcji przebarwień wykorzystać można kwas azelainowy, który hamuje działanie tyrozynazy [Placek, 2016]. Często stosuje się również ekstrakt z lukrecji (glabradyna) i morwy, które mają podobny mechanizm działania [Pierzchała i Jurzak, 2007]. W przypadku lukrecji właściwości wybielające zostały potwierdzone badaniami w stosunku do ostudy, będącej jednym z głównych problemów ciężarnych [Morąg, Glinka i Jokiel, 2014]. Wstępne badania nad bzem czarnym, nagietkiem i zielem świetlika wskazują na to, że także one są inhibitorami tyrozynazy i można je wykorzystać w terapii przebarwień [Studzińska-Sroka, Frątczak i Bylka, 2016]. W terapii przebarwień stosuje się często również karotenoidy. Jest to grupa barwników pochodzenia roślinnego, która chroni je przed nadmierną ilością światła, co sprawdza się także przy kosmetykach fotoprotekcyjnych. Przykładami karotenoidów wykorzystywanych w pielęgnacji są: astaksantyna, likopen, luteina i  $\beta$ -karoten [Placek, 2016].

Do najczęściej stosowanych i polecanych składników aktywnych przeciwdziałających problemom pigmentacyjnym należy witamina C [Nowicka, 2017]. Kwas askorbinowy jest wysoce skutecznym antyutleniaczem – chroni przed wolnymi rodnikami i działa przeciwzapalnie. Najczęściej w celu ustabilizowania w preparacie, łączony jest z innymi przeciwutleniaczami tj. tokoferol, glutation, kwas ferulowy, czy zielona herbata [Placek, 2016]. Hamuje aktywność tyrozynazy, a zaaplikowana w preparacie przed ekspozycją na promieniowanie słoneczne przeciwdziała oparzeniom (UV B) i fotostarzeniu (UV A) [Pierzchała i Jurzak, 2007]. Stabilizujący ją tokoferol również zmniejsza intensywność melanogenezy i przeciwdziała powstawaniu przebarwień.

### **Preparaty zwalczające suchość skóry**

Nawilżenie i odbudowanie bariery hydro-lipidowej skóry w walce z jej suchością jest niezwykle istotne. Wysuszenie może bowiem być przyczyną późniejszych problemów ze swiędem, podrażnieniem, zmarszczkami, czy zaburzeniami złuszczenia warstwy rogowej. Istotne jest więc, aby właściwie pielęgnować i odpowiednio zmiękczać oraz nawilżać skórę. Mechanizm walki z problemem suchości opiera się głównie na zatrzymaniu parującej z naskórka wody (ograniczenie TEWL) poprzez zastosowanie składników higroskopijnych, naśladujących NMF (naturalny czynnik nawilżający) oraz odbudowie płaszcza ochronnego, który pozwala zatrzymać wodę w naskórku [Placek, 2016].

W przypadku cer suchych świetnie sprawdzają się kosmetyki nawilżające o działaniu filmogennym tj. woski, kolagen, elastyna, mukopolisacharydy (np. kwas hialuronowy), śluzu (wiążące wodę), a także wiążące wodę (humektanty) tj. mocznik, aminokwasy, aloes, gliceryna, sorbitol – które przyciągają wodę do głębszych warstw naskórka, wiążą ją i zatrzymują w warstwie rogowej [Placek, 2016]. Warto zaopatrzyć się również w preparaty zawierające składniki okluzyjne np. wazelina, fosfolipidy, glikol propylenowy, alkohol lanolinowy. Zmniejszają one TEWL przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej ilości

składników tłuszczowych. Z drugiej strony w celu regulacji rogowacenia warto zastosować substancje złuszczone tj. kwasy.

Często do walki z suchością skóry u ciężarnych wykorzystywany jest kwas hialuronowy, który znany jest ze swoich silnie nawilżających właściwości. Podobne działanie wykazuje alantoina, która ogranicza TEWL i poprawia stan skóry przesuszonej, nie powoduje przy tym podrażnienia i jest całkowicie bezpieczna [Arct i Depta, 2016]. Także mocznik doskonale wpływa na nawilżenie i dodatkowo niweluje świąd [Niżnik, Wzgarda i Stanisław, 2017]. Innymi składnikami kosmetyków nawilżających są oleje roślinne, będące głównym źródłem NNKT. Barielowo działa również wazelina, lanolina i ceramidy roślinne. W preparatach dedykowanych kobietom w ciąży, które borykają się z problemem suchej skóry znajdujemy masło Shea, które ma silnie natłuszczający charakter i doskonale nawilża.

### **Substancje redukujące trądzik**

Preparaty mające na celu przeciwdziałanie zmianom o charakterze trądzikowym skupiają się na składnikach aktywnych które z jednej strony wykazują właściwości przeciwzapalne, a z drugiej regulują nadprodukcję łoju i nadmierną keratynizację. Należy przy tym pamiętać, aby nie stosować nadmiernie drażniących kosmetyków, które mogą negatywnie wpłynąć na uwrażliwioną wahaniem hormonalnym skórę ciężarnych.

Stosowane są w takich przypadkach preparaty przeciwłojotokowe, a jednocześnie przeciwzapalne. Można stosować substancje aktywne tj. kwas azelainowy, cynk, siarka, nadtlenek benzoilu [Kaszuba i Maj, 2016]. Doskonale regulują one pracę gruczołów łojowych, poprawiają kondycję cery tłustej i zapobiegają powstawaniu wykwitów, a jednocześnie nie stanowią zagrożenia w przypadku wahań hormonalnych, ponieważ nie są to agresywne składniki.

Jedną z substancji wykorzystywanych przy terapii cery tłustej w ciąży jest też olejek z drzewa herbacianego. Ma on właściwości przeciwbakteryjne i przeciwzapalne. Jako jeden z nielicznych olejków eterycznych, może być stosowany bezpośrednio na skórę w formie nierozcieńczonej. Warto posilkować się także preparatami zawierającymi ziele pokrzywy, które hamuje łojotok. Innymi składnikami ziołowymi, na których można bazować w terapii cery tłustej są np. przeciwzapalny rumianek, nagietek, oczar wirgilijski i korzeń prawoślazu [Nawrot i Nowak, 2018].

### **4. Podsumowanie**

Znając genezę powstawania problemów skórnych u ciężarnych, należy skupić się na sposobach przeciwdziałania negatywnym skutkom. Zawarte w kosmetykach składniki aktywne mogą w skuteczny sposób wpłynąć na poprawę wyglądu i zapobiegać powstawaniu niechcianych zmian skórnych. W przypadku ciężarnych klientek aplikowane preparaty muszą być odpowiednio dobrane, aby uniknąć ryzyka negatywnego oddziaływania na płód. Nie należy zupełnie wykluczać pielęgnacji. Selekcja składników aktywnych z uwagi na ewentualne teratogenne i mutagenne działanie powinna nastąpić w sposób przemyślany i opierać się na doniesieniach naukowych. Aplikowanie nieodpowiednich komponentów może bowiem przyczynić się do powstania problemów zdrowotnych zarówno u ciężarnej, jak i spowodować zaburzenia rozwoju u płodu.

**Bibliografia:**

1. Adamski Z., Kaszuba A. (2010). Dermatologia dla kosmetologów, s. 9, 219.
2. Agrawal P. (2013). M jak mama. W: Les Nouvelles esthetiques spa, 4, s. 46.
3. Arct J., Depta P. (2016). Alantoina – działanie i wykorzystanie kosmetyczne. W: Polish Journal of Cosmetology, 1, s. 13-15.
4. Bender S. pod red. E. Budzisz (2011). Pielęgnacja ciała, s. 15, 179.
5. Kasprzak W., Mańkowska A. (2010). Fizjoterapia w kosmetologii i medycynie estetycznej, s.31, 41.
6. Kaszuba A., Maj J. (2016). Praktyka dermatologiczna, s. 82.
7. Kowalska-Wochna E., Borkim A. (2016/2017). Kosmetyczne dylematy macierzyństwa. W: Cabines, 79, s. 70.
8. Łubkowska B., Grobelna B., Maćkiewicz Z. (2012). Przenikanie składników aktywnych przez skórę. W: Polish Journal of Cosmetology, 1, s. 35.
9. Morąg M., Glinka M., Jokiel I. (2014). Wybrane ekstrakty roślinne o właściwościach rozjaśniających przebarwienia skóry. W: Polish Journal of Cosmetology, 3, s. 209.
10. Nawrot J., Nowak G. (2018). Leki pochodzenia naturalnego, s. 311-319, 349-352.
11. Niżnik B., Wzgarda A., Stanisław B. (2017). Kosmetyki stosowane przez kobiety w ciąży – pomoc czy zagrożenie? W: Polish Journal of Cosmetology, 2, s. 96.
12. Nowicka D. (2017). Dermatologia. ilustrowany podręcznik dla kosmetologów, s. 104.
13. Peters I. B. (2007). Kosmetyka. Podręcznik do nauki zawodu. Poradnik, s. 36-39, 192.
14. Pierzchała E., Jurzak M. (2007). Substancje czynne hamujące tworzenie melaniny, stosowane w kosmetykach pielęgnacyjnych. W: Dermatologia estetyczna, 6, s. 382-383.
15. Placek W. (2016). Dermatologia estetyczna, s. 29-30, 88-90, 155, 259-262, 408.
16. Ratz-Łyko A., Arct J. (2015). Kosmetyczne i dermatologiczne właściwości Centella asiatica. W: Polish Journal of Cosmetology, 1, s. 27.
17. Skóra P. (2017), Cztery gesty piękna dla przyszłej mamy. W: Les Nouvelles esthetiques spa, 6, s. 153.
18. Studzińska-Sroka E., Frątczak A., Bylka W. (2016). Ocena właściwości hamujących tyrozynazę przez wybrane wyciągi roślinne. W: Polish Journal of Cosmetology, 1, s. 51-55.
19. Syrenicz A. (2005). Choroby endokrynologiczne w ciąży–diagnostyka i leczenie, s. 10-12.
20. Thornfeldt C. (2013). Epionce wymagająca pielęgnacja w ciąży. W: Les Nouvelles esthetiques spa, 4, s. 58.
21. Zubcowa J., Orasmae-Meder T. (2016). 50 mitów o urodzie, s. 258-259.

**Wykaz stron internetowych:**

22. [https://www.pum.edu.pl/\\_\\_data/assets/file/0010/70867/IWLA\\_Embriologia-II.pdf](https://www.pum.edu.pl/__data/assets/file/0010/70867/IWLA_Embriologia-II.pdf), dostęp dnia 19.10.2017r.



## 4. METODY TERAPII FARMAKOLOGICZNEJ W LECZENIU TRĄDZIKU POSPOLITEGO

**mgr Agnieszka Łaska-Jesionowska**

Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii

Email: agnieszka.laska@chemia.uni.lodz.pl

**mgr Nicola Kubik**

Wyższa Szkoła Kosmetyki i Nauk o Zdrowiu

Email: nicola1230@wp.pl

### 1. Wstęp

Trądzik pospolity (*Acne vulgaris*), zwany również trądzikiem zwyczajnym, jest jedną z najczęściej występujących dermatoz, która dotyka około 80% całego społeczeństwa i coraz częściej występuje u osób dorosłych, w okolicy 40.-50. roku życia jest nie tylko jedną z najczęściej występujących chorób skóry, ale również jedną z najstarszych dermatoz. Występowanie zmian trądzikowych zauważono już w starożytności, co w IV wieku p.n.e. opisywał Arystoteles czy w I roku n.e. Pliniusz [Janda K. i Chwiłkowska M., 2014].

Z uwagi na jej przewlekły charakter oraz coraz częściej pojawiającą się nawrotowość, choroba, jaką jest trądzik pospolity stała się poważnym wyzwaniem terapeutycznym. Niestety większość osób nie zdaje sobie sprawy z wieloczynnikowości tej choroby, nie tylko w zakresie etiopatogenezy, ale również metodyki leczenia i pielęgnacji. Chociaż trądzik pospolity nie należy do chorób, które bezpośrednio zagrażają zdrowiu i życiu, to w dość istotny sposób wpływa na jego jakość. W wielu przypadkach, w terapii przeciwtrądzikowej, niezbędne jest dodatkowo wsparcie psychologiczne, ze względu na coraz częściej pojawiające się zaburzenia związane z wycofaniem społecznym, brakiem samoakceptacji, obniżonym poczuciem własnej wartości, pogorszeniem nastroju, depresją czy zaburzeniami na tle nerwowym - lękowo-obsesyjnymi. Uświadomienie społeczeństwu, jak ważne, w całej terapii przeciwtrądzikowej jest wczesne podjęcie leczenia, staje się sprawą niezwykle istotną i wielu przypadkach może przyczynić się do zahamowania rozwoju tej choroby i znacznego skrócenia czasu leczenia.

### 2. Metody terapii

Dokonana została analiza literaturowa metod badawczych rekomendowanych przez Polskie Towarzystwo Dermatologiczne, które w Konsensusie, określiło główne kierunki, jakim powinna odpowiadać pielęgnacja skóry trądzikowej [Szepielkowski i in., 2012]. Przeprowadzone zostało również badanie ankietowe, mające na celu weryfikację metod leczenia i stosowanych środków. Przy łagodnej i umiarkowanej postaci trądziku dermatolodzy stosują leczenie zarówno przyczynowe, jak i objawowe, mające na celu zmniejszenie ilości zmian skórnych. W przypadku terapii przyczynowej najczęściej stosowane są: - doustne preparaty hormonalne – w celu normalizacji gospodarki hormonalnej, - miejscowe i ogólne antybiotyki – w celu zwalczania infekcji bakteryjnej, natomiast objawowo – wszelkiego rodzaju preparaty dermatologiczne o działaniu miejscowym, mającym na celu zapobieganie

powstawania oraz niwelowanie już istniejących zmian skórnych i stanu zapalnego [Kasprzak W. i Mańkowska A., 2012]. Mając do czynienia z postaciami ciężkimi trądziku pospolitego, takimi jak trądzik piorunujący, bliznowcowy, skupiony czy ropowiczy, zastosowanie mają głównie retinoidy doustne oraz wysokie dawki antybiotyków ogólnych w połączeniu z preparatami miejscowymi. W zależności od stopnia nasilenia zmian trądzikowych, lekarze stosują różnego rodzaju preparaty, które zostały przedstawione w tabeli poniżej:

**Tabela 1. Algorytm leczenia trądziku**

|                                         | Łagodny                                                    |                                                               | Średnio nasilony                                                                           |                                                                                                              | Ciężki                                                                                 |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         | zaskórnikowy                                               | grudkowy/krostkowy                                            | grudkowo-krostkowy                                                                         | guzkowy                                                                                                      | guzkowy/skupiony                                                                       |
| <b>Leki I rzutu</b>                     | retinoid miejscowy                                         | retinoid miejscowy + antybiotyk miejscowy                     | antybiotyk p.o. + retinoid miejscowy lub nadtlenek benzoilu                                | antybiotyk p.o. + retinoid miejscowy lub nadtlenek benzoilu                                                  | izotretynoina p.o.                                                                     |
| <b>Leczenie alternatywne</b>            | retinoid miejscowy lub kwas azelainowy lub kwas salicylowy | antybiotyk miejscowy + retinoid miejscowy lub kwas azelainowy | antybiotyk p.o. + retinoid miejscowy lub nadtlenek benzoilu                                | izotretynoina p.o. lub antybiotyk p.o. + retinoid miejscowy z lub bez nadtlenu benzoilu / kwasu azelainowego | wysoka dawka antybiotyku p.o. + retinoid miejscowy + nadtlenek benzoilu                |
| <b>Leczenie alternatywne dla kobiet</b> | patrz – leki I rzutu                                       | patrz – leki I rzutu                                          | antyandrogen p.o. + retinoid miejscowy / kwas azelainowy z lub bez antybiotyku miejscowego | antyandrogen p.o. + retinoid miejscowy z lub bez antybiotyku p.o.                                            | wysoka dawka antyandrogenu p.o. + retinoid miejscowy z lub bez antybiotyku miejscowego |
| <b>Terapia podtrzymująca</b>            | retinoid miejscowy                                         |                                                               | retinoid miejscowy z lub bez nadtlenu benzoilu                                             |                                                                                                              |                                                                                        |

Źródło: [Czarnecka-Operacz M. i Jakubowicz A., 2010].

Szacuje się, że u około 50% pacjentów, nie ma konieczności stosowania leczenia ogólnego i wystarczające jest leczenie oparte na preparatach zewnętrznych, aplikowanych w monoterapii lub terapii skojarzonej z zastosowaniem retinoidów, antybiotyków, nadtlenu benzoilu czy kwasu azelainowego, salicylowego, glikolowego [Maj J. i Jankowska-Konsur A., 2016]. Dodatkowo stosowane są preparaty w witaminami z grupy B, wit. A, PP, C oraz cynk.

## 2.1. Terapia retinoidami

Pojęcie – retinoidy – zostało wprowadzone w roku 1976 i obejmuje określoną grupę substancji: retinol, czyli wit.A oraz jego pochodne, zarówno naturalne jak i syntetyczne [online3].

Retinoidy wykazują duży wpływ na procesy biologiczne komórki, regulując jej namnażanie, różnicowanie czy apoptozę. Jest to możliwe dzięki receptorom retinoidowym (podobnie jak w przypadku hormonów), znajdującym się zarówno w naskórku, skórze właściwej, jak i w mieszkach włosowych, gruczołach łojowych oraz komórkach układu immunologicznego, np. w komórkach Langerhansa. Ilość tych receptorów dodatkowo uzależniona jest od innych czynników, np. od występującego stanu zapalnego, współtowarzyszących chorób, czy też od cyklu, w jakim dana komórka się znajduje [Marona H, Gunia A., Pękala E., 2010].

Możemy wyróżnić trzy generacje, które różnicują retinoidy ze względu na ich

właściwości i budowę: [Marona H. i in., 2010]

- retinoidy I generacji – zaliczmy tu retinoidy naturalne, czyli retinol i jego metabolity: retinal, tretynoinę, izotretynoinę i alitretynoina;
- retinoidy II generacji – to związki syntetyczne, które budową przypominają naturalne retinoidy: acytretyna, etretynian, motretynid. Zaliczany do tej grupy etretynian został wycofany z używania w leczeniu, ponieważ następowała jego akumulacja w organizmie;
- retinoidy III generacji – tu należą związki będące syntetycznymi pochodnymi, ale w znacznym stopniu różniące się budową w porównaniu z naturalnymi retinoidami. Do tej grupy zaliczamy: adapalen, tazaroten, beksaroten oraz arytynoid.

Terapia ogólna stosowana jest w bardziej ostrych postaciach trądziku pospolitego, czyli w trądziku bliznowcowym, skupionym, piorunującym, ropowiczym oraz w przypadku nasilonego trądziku grudkowo-krostkowego, gdy zawiodły inne metody leczenia. Zastosowanie ma tu głównie izotretynoina, która podana doustnie wykazuje szerokie działanie ogólnoustrojowe. Wyróżniamy następujące preparaty: Actaven, Aknenormin, Axotret, Curacne, Isoderm, Isotrex, Izotek, Tretoskin. Leki te występują w formie kapsułek, podawanych w dawkach od 0,5 do 1,0 mg/kg masy ciała, 1-2 razy na dobę przez okres około 16-24 tygodni, cała, skumulowana dawka leku powinna wynosić 120-150 mg/kg masy ciała. Wykazują działanie przeciwzapalne, przeciwłojotokowe, przeciwbakteryjne i keratolityczne, wywołując jednocześnie wiele efektów ubocznych, nie tylko na skórze, ale również w całym organizmie. Dlatego, istnieje wiele przeciwwskazań i ograniczeń oraz środków ostrożności przy stosowaniu tych preparatów. W przypadku retinoidów miejscowych można powiedzieć, że to tzw. leki pierwszego rzutu, stosowane głównie w leczeniu trądziku zaskórnikowego i grudkowo-krostkowego, czyli łagodnej lub umiarkowanej postaci tego schorzenia. Preparaty dostępne są w postaci żeli, kremów lub roztworów o różnych stężeniach od 0,025% - 0,1%, wydawane na receptę. Ich działanie polega przede wszystkim na: - normalizacji procesów keratynizacji w jednostce włosowo-łojowej, - zmniejszeniu stanu zapalnego, - zapobieganiu tworzenia się i redukcji liczby już istniejących zaskórników [Czarnecka-Operacz i Jakubowicz O., 2010]. W pierwszych kilkunastu dniach aplikowania leku może nastąpić pogorszenie stanu dermatologicznego. Terapia rozpoczyna się aplikowaniem preparatu o najniższej dawce, co drugi dzień, a w przypadku skór wrażliwych nawet co trzeci, z czasem skracając czas do użycia codziennego. Ze względu na ich działanie fotouczulające, preparaty te należy używać wieczorem, na oczyszczoną, suchą skórę. Poprawa stanu skóry powinna pojawić się najczęściej po około 6-8 tygodniach.

**Tabela 2. Przykłady retinoidów miejscowych**

| Nazwa preparatu | Substancja czynna                               | Postać preparatu |
|-----------------|-------------------------------------------------|------------------|
| Retin-A         | tretinoina 0,1%                                 | krem             |
| Atrederm        | tretinoina 0,025%, 0,05%<br>tokofetol (wit.E)   | płyn na skórę    |
| Airol Van       | tretinoina 0,05%                                | krem             |
| Locacid         | tretinoina 0,05%                                | krem             |
| Acnatac         | tretinoina 0,025%<br>klindamycyna 1%            | żel              |
| Aknemycin Plus  | tretinoina 0,025%<br>erytromycyna 4%            | płyn na skórę    |
| Isotrex         | tretinoina 0,05%                                | żel              |
| Isotrexin       | tretinoina 0,05%<br>erytromycyna 2%             | żel              |
| Differin        | adapalen 0,1%                                   | krem, żel        |
| Acnelec         | adapalen 0,1%                                   | krem, żel        |
| Epiduo          | adapalen 0,1% - 0,3%<br>nadtlenek benzoilu 2,5% | żel              |
| Zorac           | tazaroten 0,05%, 0,1%                           | żel              |

Źródło: opracowanie własne.

## 2.2. Antybiotykoterapia

Antybiotykoterapia w leczeniu trądziku pospolitego jest stosowana bardzo często, zarówno w postaci preparatów o działaniu miejscowym, jak i ogólnym, najczęściej równocześnie w terapii skojarzonej, co niestety, przy tak częstym stosowaniu, przyczynia się do rozwoju antybiotykooporności. Dlatego też, powinno się ograniczyć zastosowanie tych preparatów jednocześnie oraz w monoterapii. Antybiotyki o działaniu ogólnym, czyli doustne, stosowane są najczęściej w umiarkowanej i ciężkiej postaci trądziku. Możemy wyróżnić tu tetracykliny, ich pochodne oraz makrolidy (o działaniu bakteriostatycznym) i fluoroerytromycynę [Czarnecka-Operacz M. i Jakubowicz O., 2010]. Najśłabsze działanie, ze względu na rosnącą lekooporność bakterii *P.acnes*, wykazuje erytromycyna i inne antybiotyki makrolidowe, nieco lepsze tetracyklina i doksycyklina a największe minocyklina [Różewicka-Czabańska M., Maleszka R., Ratajczyk-Stefańska V., 2012]. Wykazują one głównie szerokie działanie przeciwbakteryjne. W Polsce nie są dostępne leki z minocykliną, natomiast stosowane są: Erythromycinum TZF, Tetracyclinum TZF, Clindamycin-MIP, Doxycyclinum TZF, Davercin. Terapia antybiotykowa to terapia wielomiesięczna a polepszenie stanu klinicznego można zaobserwować po około 4-6 tygodniach leczenia. Antybiotykoterapia miejscowa stosowana jest w łagodnej i umiarkowanej postaci trądziku pospolitego. Jak to określiła grupa ekspertów, w opublikowanym przez Polskie Towarzystwo Dermatologiczne Konsensusie terapeutycznym, dotyczącym trądziku pospolitego, najbardziej odpowiednimi antybiotykami miejscowymi w leczeniu trądziku są klindamycyna, erytromycyna oraz fluoroerytromycyna (cykliczny węglan erytromycyny), który wykazuje prawie 3-krotnie mocniejsze i dłuższe działanie oraz większą trwałość w kwaśnym

środowisku w porównaniu z erytromycyną [Szepliowski J. i in., 2012]. Niestety, w przypadku erytromycyny, stwierdzona została dość wysoka, bo sięgająca nawet 60%, oporność bakterii *Propionibacterium acnes* na ten antybiotyk [Placek W., Romańska-Gocka K., Grzanka A., 2011]. Należy pamiętać, że preparaty miejscowe stosujemy na całą powierzchnię skóry, a nie tylko punktowo, na wykwity, ponieważ w ten sposób nie jesteśmy w stanie zadziałać na mikrozaskórnik, które są niewidoczne gołym okiem a stanowią punkt wyjścia do powstania wykwitów trądzikowych. Antybiotyki te powinny być stosowane aż do całkowitego ustąpienia zmian, ale nie dłużej niż 12 tygodni. Preparaty te mogą być stosowane przez kobiety w ciąży [Kaszuba A., Szepliowski A., Adamski J. i in., 2013].

**Tabela 3. Przykładowe antybiotyki o działaniu miejscowym**

| Nazwa preparatu     | Substancja czynna       | Postać preparatu             |
|---------------------|-------------------------|------------------------------|
| Tetracyclinum Chema | tetracyklina 3%         | maść                         |
| Aknemycin           | erytromycyna 2%         | maść, płyn na skórę          |
| Clindacne           | klindamycyna 1%         | żel                          |
| Klindacin T         | klindamycyna 1%         | żel                          |
| Normaclin           | klindamycyna 1%         | żel                          |
| Dalacin T           | klindamycyna 1%         | żel, emulsja i płyn na skórę |
| Davercin            | fluoroerytromycyna 2,5% | żel, roztwór na skórę        |

Źródło: opracowanie własne.

### 2.3. Pozostałe preparaty stosowane miejscowo

Preparaty miejscowe stosowane są jako jeden ze składników terapii przeciwtrądzikowej skojarzonej. Wspomagają one stosowane leczenie ogólne lub naprzemienne miejscowe.

#### **nadtlenek benzoilu**

To organiczny związek chemiczny, który w styczności ze skórą podlega rozpadowi na kwas benzoesowy i nadtlenek wodoru (reaktywna forma tlenu), działający hamująco na kolonizację bakterii beztlenowych *P.acnes*.

Dodatkowo wykazuje on działanie: [online2]

- przeciwzapalne, przeciwłojotokowe, przeciwświądowe,
- keratolitycznie i komedolitycznie,
- brak wywoływania oporności na antybiotyki – dlatego najczęściej stosowany w połączeniu z antybiotykami i retinoidami,
- hamuje wydzielanie łoju.
- Preparaty dostępne na polskim rynku i stosowane w terapii anti acne to: Benzacne, Akneroxid czy Aquaclin.
- Efekty uboczne: [online4]
- podrażnienie skóry, uczucie pieczenia, szczypania, nadmierne wysuszenie skóry, złuszczenie a nawet obrzęk, ze względu na dość silne działanie drażniące,

- odbarwienia i przebarwienia – w całym okresie leczenia unikać ekspozycji na promieniowanie UV, unikać stosowania w okolicach brwi, włosów czy brody, a także unikać kontaktu z odzieżą,
- nie należy stosować w przypadku egzemy, przewlekłego zapalenia skóry, oparzeń posłonecznych, otwartych ran, podrażnionej skóry,
- wchodzi w interakcje z pochodnymi wit.A, rezorcyną, kwasem salicylowym, siarką, alkoholem etylowym, więc nie należy jednocześnie łączyć preparatów (nasilone podrażnienie i przesuszenie skóry),
- osłabia równoległe działanie miejscowe antybiotyków oraz preparatów z retinoidami.
- Preparaty dostępne na polskim rynku i stosowane w terapii anti acne to: Benzacne, Akneroxid czy Aquaclin.

#### **preparaty miejscowe:**

- z *kwasem azelainowym* wykazujący działanie przeciwłojotokowe (hamowanie 5 $\alpha$ reduktazy i tym samym przekształcenie testosteronu w DHT), przeciwbakteryjne, delikatnie złuszczone, przeciwzapalne, polecany w przypadku przebarwień trądzikowych [Pastuszka M. i Kaszuba A., 2015];
- z *kwasem salicylowym* – działanie głównie keratolityczne i komedolityczne, w kosmetykach stosowany w stężeniach od 0,5-5%, przyczyniając się do usunięcia nadmiaru sebum oraz udrożnienia ujść mieszków włosowych [Seneczko F., 2017];
- z *tlenkiem cynku* – działanie wysuszające i ściągające.

#### **2.4. Terapia hormonalna**

Stosowane są w terapii przeciwtrądzikowej, głównie w przypadku występowania oporności na powyższe metody lecznicze oraz gdy trądzikowi towarzyszy hirsutyzm, nieregularne cykle miesiączkowe, łojotok, łysienie androgenowe oraz w przypadku trądziku w wieku dorosłym. Do tej grupy zaliczmy: [Thiboutot D., 2009] - antyandrogeny (dezagestrel, drospirenon), - leki, które blokują produkcję androgenów nadnerczowych i jajnikowych (octan cyproteronu, estrogeny) oraz - leki łączące dienogest, czyli syntetyczną pochodną progesteronu z etynyloestradiolem - syntetycznym estrogenem (Aidee, Atywia, Bonadea, Diener, Dionelle, Dorin, Ethinylestradiol/Dienogest Pharbil, Jeanine, Omisson, Sibilla). Zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn gruczoły łojowe są nadwrażliwe na androgeny [Bergler-Czop B., 2014]. Terapia hormonalna to głównie działanie przeciwłojotokowe, działające na jeden z czynników patogennych w trądziku pospolitym, dlatego też zalecane jest kojarzenie jej z innymi preparatami – antybiotykami lub retinoidami. Leki hormonalne wykazują dość dobrą skuteczność w przypadku kobiet dojrzałych, gdzie zmiany głównie zlokalizowane są w dolnej i bocznej części twarzy oraz w okolicy szyi, dość często nasilając się przed okresem menstruacji [Czarnecka-Operacz M. i Jakubowicz O., 2010]. Niestety terapia hormonalna jest długotrwała i może minąć nawet kilkanaście miesięcy zanim nastąpi zauważalna poprawa stanu klinicznego.

### 3. Wyniki i podsumowanie

Leczenie trądziku pospolitego to proces przewlekły, który przede wszystkim polega na likwidowaniu i łagodzeniu już istniejących objawów oraz zapobieganiu powstawania następstw tej choroby, czyli powikłań w postaci przebarwień i blizn. Powinno ono być połączone z psychologicznym wsparciem pacjenta oraz jego edukacją. Zastosowanie odpowiedniej terapii, dostosowanej do indywidualnych potrzeb i możliwości pacjenta oraz jego dobra współpraca z lekarzem, są niezwykle istotne w skutecznej terapii przeciwtrądzikowej. W dalszym ciągu efektywne leczenie pozostaje wyzwaniem. Coraz wyraźniej rosnąca antybiotykooporność bakterii *Propionibacterium acnes*, zmusza do poszukiwania nowych, alternatywnych metod leczenia. Z kolei stosowanie retinoidów o działaniu ogólnym, niesie za sobą ryzyko wystąpienia wielu, uciążliwych efektów ubocznych i niestety dość często doprowadza do poważnych zaburzeń w pracy organów wewnętrznych.

### Bibliografia:

1. Bergler-Czop B. (2014), Nowości w leczeniu chorób o podłożu łojotokowym, 05/2014 [online]. Dostępny w internecie: <https://podyplomie.pl/dermatologia/16975,nowosci-w-leczeniu-chorob-o-podlozu-lojotokowym> [dostęp: 15.03.2019].
2. Czarnecka-Operacz M., Jakubowicz O. (2010), Rola zabiegów pielęgnacyjnych w leczeniu trądziku, *Przegląd Dermatologiczny*, 97; s.335-341.
3. Gelmetti C. (2008), Local antibiotics in dermatology, *Dermatol Ther*, 21; s.187-195.
4. Janda K., Chwiłkowska M. (2014), Trądzik pospolity – etiologia, klasyfikacja, leczenie; *Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie*; 60(2); s.13-18.
5. Kamangar F., Shinkai K. (2012), Trądzik dorosłych kobiet: praktyczne podejście; *Dermatologia i Kosmetologia*, 4(28); vol.7.
6. Kasprzak W., Mańkowska A. (2012), Fizjoterapia w kosmetologii i medycynie estetycznej, Wydawnictwo Lekarskie PWWL, Warszawa; s.111-112, 128-147.
7. Kaszuba A., Szepielowski J., Adamski Z. i wsp. (2013), Współczesna antybiotykoterapia w trądziku, Panel dyskusyjny, *Dermatologia Praktyczna*, 1; s.47-56.
8. Kaszuba A., (2014) Trądzik: Kiedy i jakie leczenie miejscowe, kiedy ogólne, *Medical Tribune*, [online]. Dostęp w internecie: <https://podyplomie.pl/medical-tribune/17387,tradzikkiedy-i-jakie-leczenie-miejscowe-kiedy-ogolne> [dostęp: 03.06.2019].
9. Kyriakopoulos A., Grech I. (2011), Current data on propionibacterium acnes and its involvement on acne vulgaris pathogenicity, *Review of Clinical Pharmacology and Pharmacokinetics, International Edition*, 25(2); s.75-82.
10. Maj J., Jankowska-Konsur A. (2016), Preparaty jednoskładnikowe w leczeniu trądziku zwykłego, *Dermatologia Praktyczna*, 4; s.51-54.
11. Marona H., Gunia A., Pękala E., Retinoidy (2010) – rola w farmakoterapii w aspekcie komórkowego mechanizmu działania, *Farm. Pol* 2010, 66(3), 187-192 [online]; Dostępny w internecie: <http://www.ptfarm.pl/pub/File/Farmacja%20Polska/2010/03-2010/06%20Retinoidy.pdf> [dostęp: 10.02.2019]
12. Pastuszka M., Kaszuba A. (2015), Rola preparatów jednoskładnikowych w leczeniu trądziku pospolitego, *Dermatologia Praktyczna*, 4; s.39-45.

13. Placek W., Romańska-Gocka K., Grzanka A. (2011), Leczenie miejscowe trądziku, *Przegląd Dermatologiczny*, 98(5); s.442-448.
14. Różewicka-Czabańska M., Maleszka R., Ratajczyk-Stefańska V. (2012), Antybiotykoterapia jako istotny element leczenia trądziku pospolitego, *Dermatologia estetyczna*, 14(2); s.109-115.
15. Seneczko F. (2017), Rola kwasu salicylowego w dermatologii, *Dermatologia Praktyczna*, 1; s.15-27
16. Szepielkowski J., Karpińska-Morowiecka M., Kaszuba A., Langer A., Placek W., Wolska H., Matusiak Ł. (2012), Trądzik zwyczajny: patogeneza i leczenie. Konsensus Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego, *Przegląd Dermatologiczny*, 99; s.649-673.
17. Szepielkowski J., Karpińska-Morowiecka M., Kaszuba A., Langer A., Placek W., Wolska H., Matusiak Ł. (2012), Trądzik zwyczajny: patogeneza i leczenie. Konsensus Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego, *Przegląd Dermatologiczny*, 99; s.649-673.
18. Thiboutot D. (2009) Rola hormonów w trądziku. [w:] Webster G.F., Rawlings A.V., Krasowska D.(red) Trądzik. Diagnostyka I leczenie. Wydawnictwo Czelej, Lublin; s.97-113.
19. Webster G.F. Terapia przeciwbakteryjna w trądziku. (2009) [w:] Webster F.G., Rawlings A.V., Krasowska D. (red.), Trądzik. Diagnostyka i leczenie. Wydawnictwo Czelej, Lublin; s.115-170.

**Wykaz stron internetowych:**

20. online1 - <http://dermatologia.info.pl/wplyw-retinoidow-na-nasza-skore> [20.04.2019].
21. online2 - [https://bazalekow.mp.pl/leki/doctor\\_subst.html?id=586](https://bazalekow.mp.pl/leki/doctor_subst.html?id=586) [dostęp: 20.04.2019].
22. online3 - <http://dermatologia.info.pl/wplyw-retinoidow-na-nasza-skore> [20.04.2019].
23. online4 - [https://bazalekow.mp.pl/leki/doctor\\_subst.html?id=586](https://bazalekow.mp.pl/leki/doctor_subst.html?id=586) [dostęp: 20.04.2019].



## **5. WPLYW DODATKU EKSTRAKTU Z CZARNEGO BZU *SAMBUCUS NIGRA* NA JAKOŚĆ PRODUKTÓW MIĘSNYCH**

### **Monika Mazur**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności  
ul. Chełmońskiego 37, 51 – 630 Wrocław  
Email: monika.mazur@upwr.edu.pl

### **Anna M. Salejda**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności  
ul. Chełmońskiego 37, 51 – 630 Wrocław  
Email: anna.salejda@upwr.edu.pl

### **Agnieszka Dauksza**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności  
ul. Chełmońskiego 37, 51 – 630 Wrocław

### **Agnieszka Nawirska–Olszańska**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności  
ul. Chełmońskiego 37, 51 – 630 Wrocław  
Email: agnieszka.nawirska-olszanska@upwr.edu.pl

### **Grażyna Krasnowska**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności  
ul. Chełmońskiego 37, 51 – 630 Wrocław  
Email: grazyna.krasnowska@upwr.edu.pl

### **1. Wstęp**

Projektowanie nowych produktów, jak również ciągły ich rozwój stanowią jedną z ważniejszych strategii działalności firm spożywczych. W przemyśle mięsnym definicję jakości określają wartość odżywcza, właściwości organoleptyczne, właściwości technologiczne i bezpieczeństwo produktu [Muzolf – Panek, Kaczmarek, Tomaszewska – Gras, Cegielska – Radziejewska i Majcher, 2019 ].

W ostatnich latach szczególną uwagę zarówno naukowców, producentów, jak i konsumentów skupia żywność, która poza wartością odżywczą posiada również wartość prozdrowotną wynikającą z obecności lub dodatku związków bioaktywnych, np. polifenoli [Grochowicz, Dominik i Fabisiak, 2017]. Zauważa się również wzrost badań dotyczących korzystnego wpływu ekstraktów roślinnych na jakość mięsa [Muzolf – Panek i in., 2019 ].

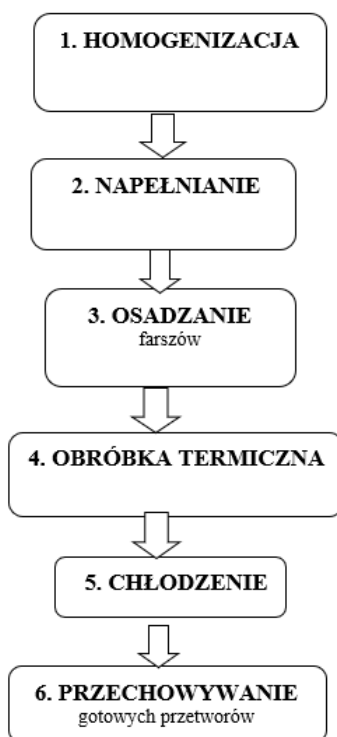
Przykładem rośliny, która może stanowić atrakcyjny dodatek do mięsa jest czarny bez *Sambucus nigra*. Owoce czarnego bzu wykazują wysoką koncentrację fitozwiązków, w tym polifenoli. W Polsce występują dwa gatunki dzikiego bzu bez czarny *Sambucus nigra* i bez koralowy *Sambucus racemosa*. Charakteryzują się one niewielkimi wymaganiami glebowymi. Bez koralowy rośnie w górach, natomiast bez czarny występuje w stanie dzikim na terenie całego kraju. Owoce bzu określane są jako jagody i wykazują wysoką koncentrację antocyjanów, które są silnymi przeciwutleniaczami. Zaleca się, aby owoce zbierać w fazie dojrzałości, gdyż niedojrzałe zawierają sambunigrinę (glikozyd cyjanogeny o potencjalnym działaniu toksycznym) i wymagają wówczas obróbki termicznej przed spożyciem.

Ekstrakt, otrzymany z owoców czarnego bzu, dzięki obecności związków polifenolowych może stanowić pożądany dodatek do żywności i pełnić funkcję przeciwutleniacza [Liszka, Najgebauer-Lejko i Tabaszewska, 2016].

W pracy podjęto próbę opracowania technologii aplikacji ekstraktu z czarnego bzu w produkty mięsne. Celem doświadczenia była ocena wpływu zastosowanego dodatku na wybrane cechy jakości otrzymanych produktów mięsnych. Poddano analizie wyniki otrzymane dla następujących wyróżników: wyciek termiczny, kwasowość czynna (pH), profil tekstury, barwa. Produkty finalne poddano także ocenie sensorycznej.

## 2. Materiały i Metody

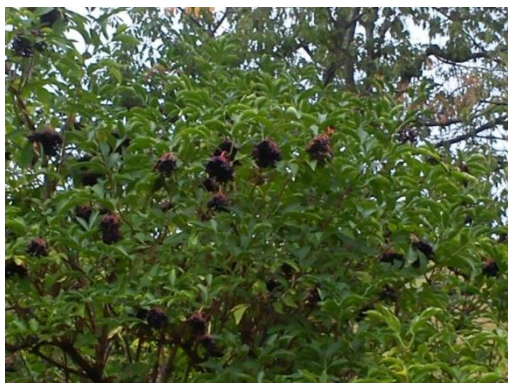
Materiał badawczy stanowiły modelowe przetwory mięsne homogenizowane, parzone. Przed przygotowaniem farszu surowiec mięsny i tłuszczowy został rozdrobniony na wilku. Do wsadu mięsno-tłuszczowego dodano peklosól, koncentrat przypraw, kwas askorbinowy, lód łuskowy oraz odpowiednią ilość PACB - preparatu antocyjanów z owoców czarnego bzu (odpowiedni wariant FO, F1, F2, F3, Tabela1). Uzupełnieniem ilości preparatu była odpowiednia ilość wody przewidzianej w recepturze i została ustalona na podstawie wyników badań pilotażowych. Proces produkcji modelowych przetworów mięsno-tłuszczowych został przedstawiony na Rysunku 1. Doświadczenie przeprowadzono w 2 powtórzeniach produkcyjnych.



**Rysunek 1. Proces produkcji modelowych przetworów mięsno-tłuszczowych**

#### **Przygotowanie preparatu**

Preparat roślinny wyizolowano w Katedrze Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Owoce dzikiego czarnego bzu (Fot.1, 2) zebrano w miejscowości Mąkolno leżącej w Kotlinie Kłodzkiej. Jagody zebrano w fazie dojrzałości zbiorczej. W wyniku rozdziału otrzymano preparat składający się z frakcji polifenolowych, głównie antocyjanów.



**Fot. 1. Krzew czarnego bzu**  
[Fot. A. Nawirska - Olszańska ]



**Fot. 2. Zebrane owoce czarnego bzu**  
[Fot. A. Nawirska - Olszańska ]

**Oznaczenie wielkości wycieku termicznego**

W modelowych przetworach mięsno-tłuszczowych oznaczono ilość wycieku po obróbce termicznej. Oznaczenie wykonano metodą Pohja [1974]. Wartość tego parametru wyznaczono na podstawie różnicy masy i wyrażono procentowo w stosunku do masy próby przed obróbką termiczną.

**Oznaczenie kwasowości czynnej (pH)**

Oznaczenie kwasowości czynnej przeprowadzono zgodnie z normą PN-ISO 2917:2001. Metoda polegała na pomiarze pH bezpośrednio w surowym farszu oraz w gotowym produkcie po obróbce termicznej. Pomiar został przeprowadzony w temperaturze pokojowej przy użyciu pehametru z czytnikiem cyfrowym. Wyniki uzyskano z dokładnością do około 0,01 jednostki pH.

**Aparaturowy pomiar barwy**

Pomiary fizycznych wyróżników barwy modelowych przetworów wykonano za pomocą kolorymetru odbiciowego MINOLTA CR-200b. Pomiar został przeprowadzony na powierzchni wykrojonych plastrów (wys. 10 mm,  $\phi$  25mm), bezpośrednio po produkcji przetworów oraz po 2. tygodniach chłodniczego przechowywania prób. Barwę modelowych przetworów scharakteryzowano na podstawie wyników uzyskanych z pomiaru parametrów  $L^*$ ,  $a^*$  oraz  $b^*$  w systemie CIE Lab, gdzie  $L^*$  opisuje jasność barwy, w obrębie od 0 (czarny) do 100 (biały);  $a^*$  przedstawia udział barwy zielonej (wartości ujemne) lub czerwonej (wartości dodatnie);  $b^*$  udział barwy niebieskiej (wartości ujemne) lub żółtej (wartości dodatnie) [Molenda, Wrona i Siwiec, 2012].

**Analiza profilu tekstury**

Do analizy profilu tekstury (TPA) wykorzystano urządzenie do badań wytrzymałościowych Zwick/Roell Z010. Przy oznaczeniu zastosowano test TPA 50 (50 % deformacji niszczącej; prędkość przesuwu głowicy 60 mm/min; czas relaksacji 30 s). Do analizy wykorzystano próby w postaci plastrów, wyciętych poprzecznie do osi produktów mięsnych, o wysokości 10 mm i średnicy 25mm. Próby zostały dwukrotnie ściśnięte pomiędzy dwoma równoległymi płytkami do 50% pierwotnej wysokości.

Podczas analizy profilu tekstury wyznaczono parametry, takie jak:

- twardość – wyrażoną jako siłę szczytową potrzebną podczas pierwszego cyklu ściskania próby [N];
- spoistość – stosunek pracy wykonanej w ramach drugiego cyklu ściskania, do pracy wykonanej podczas pierwszego cyklu ściskania próby [-];
- sprężystość – dystans, jaki musi przebyć głowica w trakcie drugiego cyklu ściskania próby [mm];
- gumowatość – siła potrzebna do rozpadu próby badanej, np. żywności, tak aby mogła być przełknięta; iloczyn twardości i spoistości [N];
- żujność - siłę można odnieść do organoleptycznego wrażenia podczas przeżuwania próby; iloczyn twardości, spoistości i sprężystości [Nmm] [Bourne, 1982]. Ocenę przeprowadzono w temperaturze pokojowej bezpośrednio po procesie produkcyjnym i po 2 tygodniach przechowywania prób w warunkach chłodniczych.

### Ocena sensoryczna

Ocena sensoryczna została przeprowadzona wg 9. stopniowej skali hedonicznej (1 – cecha wyjątkowo niepożądana; 9 – cecha wyjątkowo pożądana) określającej pożądalność sensoryczną doświadczalnych przetworów [PN-ISO 4121:1998]. Ocenę cech sensorycznych modelowych wyrobów przeprowadzono bezpośrednio po obróbce cieplnej stosując kartę oceny sensorycznej. Próby w postaci plastrów (wys. 10 mm,  $\varnothing$  25mm) uprzednio zakodowano i przedstawiono do oceny na białym tle. Oceniano wygląd ogólny, barwę, zapach, smak oraz twardość.

### 3. Wyniki

Dodatek preparatu z owoców czarnego bzu istotnie wpłynął na wartości badanych parametrów (Tabela 1,2, 3).

**Tabela 1. Warianty doświadczalne modelowych produktów mięsnych, odpowiadające im ilości PACB, wyciek oraz pH**

| Wariant | Ilość PACB [g] | Wyciek [%]         | pH                |
|---------|----------------|--------------------|-------------------|
| F0      | 0              | 13,88 <sup>a</sup> | 6,15 <sup>d</sup> |
| F1      | 0,03           | 16,00 <sup>b</sup> | 6,11 <sup>c</sup> |
| F2      | 0,06           | 16,68 <sup>b</sup> | 6,08 <sup>b</sup> |
| F3      | 0,12           | 20,93 <sup>c</sup> | 6,01 <sup>a</sup> |

Objaśnienia: a, b, c, d – różne litery w kolumnach oznaczają różnice statystycznie istotne przy  $p \leq 0,05$

Wzrost zawartości preparatu antocyjanów w recepturze modelowych przetworów mięsnych skutkował większym ubytkiem masy podczas obróbki termicznej (Tabela 1). Najniższy wyciek termiczny zaobserwowano w wariantach produkcyjnych bez dodatku preparatu (13,88%), natomiast najwyższy przy dodatku 0,12 g (20,93%). Wykazano, że pomiędzy wariantami F0 (bez dodatku) i F3 (0,12 g) istnieją różnice statystyczne. W badaniach własnych zaobserwowano większy wyciek termiczny podczas obróbki prób z największą ilością dodatku roślinnego, która koreluje z wartościami uzyskanymi z pomiaru kwasowości czynnej. Im większy dodatek PACB w recepturze, tym niższa była wartość pH przetworów mięsno-tłuszczowych. Potwierdzają to również w wynikach badania Tyburcego, Ścibisz, Rostek, Pasierbiewicz i Florowskiego [2014]. W badaniach wykazano, że dodatek soku, zarówno z żurawiny jak i róży powodował wzrost kwasowości (zmniejszenie wartości pH) burgerów wieprzowych (odpowiednio: pH= 6,29 - dodatek soku z żurawiny, pH=6,40 - dodatek soku z róży, pH=6,56 - próba kontrolna).

Podobną zależność wykazano w badaniach przeprowadzonych przez Tril, Salejdę i Krasnowską [2011]. Wprowadzenie soku z aronii do produkcji modelowych przetworów mięsnych spowodowało zwiększenie wycieku po obróbce termicznej z 6,63 % w próbach kontrolnych do 7,23% w próbach z 20% dodatkiem soku. Odmienne wyniki uzyskano w badaniach prowadzonych przez Lara, Gutierrez, Timón i Andrés [2011]. Próby kontrolne pasztetu wieprzowego wykazywały większy ubytek masy podczas obróbki termicznej (19%, pH 7,04) niż próby z dodatkiem (100 mg/ 100 g mięsa) ekstraktu z melisy (14%, pH 6,88).

W badaniach własnych oceniono również wpływ zastosowanego preparatu z owoców czarnego bzu na barwę modelowych przetworów. Wykazano, że wraz z rosnącym jego

udziałem w recepturze powierzchnia przekroju produktów finalnych była znacznie ciemniejsza niż prób wyprodukowanych bez jego udziału (Tabela 2). Czas przechowywania również wpłynął na wartości badanych wyróżników. Najniższe wartości parametru  $L^*$ , odpowiadającego jasności fotometrycznej, zostały oznaczone w próbach z największym dodatkiem PACB po 14. dniach przechowywania w warunkach chłodniczych ( $L^* = 65,9$ ), natomiast najwyższe w przetworach wyprodukowanych bez jego dodatku, analizowanych bezpośrednio po obróbce termicznej ( $L^* = 86,7$ ). Również w badaniach Salejdy i wsp. [2017] zauważono, że w miarę zwiększania zawartości składnika roślinnego (wyciągu owoców rokitnika) wartości parametru  $L^*$  oznaczone w finalnym produkcie mięsnym obniżały się. Odmienne zależności wykazano w badaniu Muzolf-Panek i in. [2019]. Podczas okresu przechowywania dodatek ziela angielskiego, liści laurowych i gałki muszkatołowej do prób mięsa mielonego, wieprzowego, spowodował wzrost wartości parametru  $L^*$  w porównaniu do prób kontrolnych, bez dodatków.

Dodatek preparatu antocyjanów spowodował wzrost wartości parametru  $a^*$ , który oznacza udział barwy czerwonej (wartości dodatnie). Jego wartość była najwyższa w próbce z największą ilością preparatu. Zauważono, że w trakcie okresu przechowywania intensywność barwy czerwonej zmalała. Wartości parametru  $b^*$  świadczą o wzroście udziału barwy niebieskiej, która jest najbardziej intensywna w wariancie z dodatkiem 0,12 g preparatu. Próby poddane okresowi przechowywania charakteryzowały się wyższą wartością parametru  $b^*$  (intensywniejszą barwą niebieską) w porównaniu do prób otrzymanych bezpośrednio po produkcji.

**Tabela 2. Wartości składowych barwy modelowych przetworów mięsno-tłuszczowych w zależności od ilości preparatu antocyjanów z czarnego bzu oraz czasu przechowywania**

| Wyróżnik | Wariant | Czas przechowywania [dni] |                    |
|----------|---------|---------------------------|--------------------|
|          |         | 0                         | 14                 |
| $L^*$    | F0      | 86,7 <sup>h</sup>         | 84,6 <sup>g</sup>  |
|          | F1      | 82,1 <sup>f</sup>         | 79,8 <sup>e</sup>  |
|          | F2      | 77,6 <sup>d</sup>         | 73,5 <sup>c</sup>  |
|          | F3      | 70,5 <sup>b</sup>         | 65,9 <sup>a</sup>  |
| $a^*$    | F0      | 8,99 <sup>b</sup>         | 8,30 <sup>a</sup>  |
|          | F1      | 9,93 <sup>c</sup>         | 8,83 <sup>b</sup>  |
|          | F2      | 10,9 <sup>d</sup>         | 10,0 <sup>c</sup>  |
|          | F3      | 13,3 <sup>f</sup>         | 11,8 <sup>e</sup>  |
| $b^*$    | F0      | 5,37 <sup>f</sup>         | 4,63 <sup>e</sup>  |
|          | F1      | 1,94 <sup>d</sup>         | 1,68 <sup>d</sup>  |
|          | F2      | 0,12 <sup>c</sup>         | -0,56 <sup>b</sup> |
|          | F3      | -3,11 <sup>a</sup>        | -3,22 <sup>a</sup> |

Objaśnienia: a, b, c, d – różne litery w kolumnach oznaczają różnice statystycznie istotne przy  $p \leq 0,05$

Wartości wybranych parametrów tekstury modelowych przetworów mięsno-tłuszczowych przedstawiono w Tabeli 3. Wykazano, że wyroby po okresie przechowalniczym wykazują wyższą twardość niż próby bezpośrednio po procesie produkcji. Różnice te są istotne statystycznie. Wykazano również, że gumowatość wyrobów była wyższa dla prób po okresie przechowalniczym.

Wzrost twardości podczas przechowywania wynika z intensywności zachodzących reakcji utleniania białka, prowadząc do sieciowania i polimeryzacji w białkach [Lara i in., 2011]

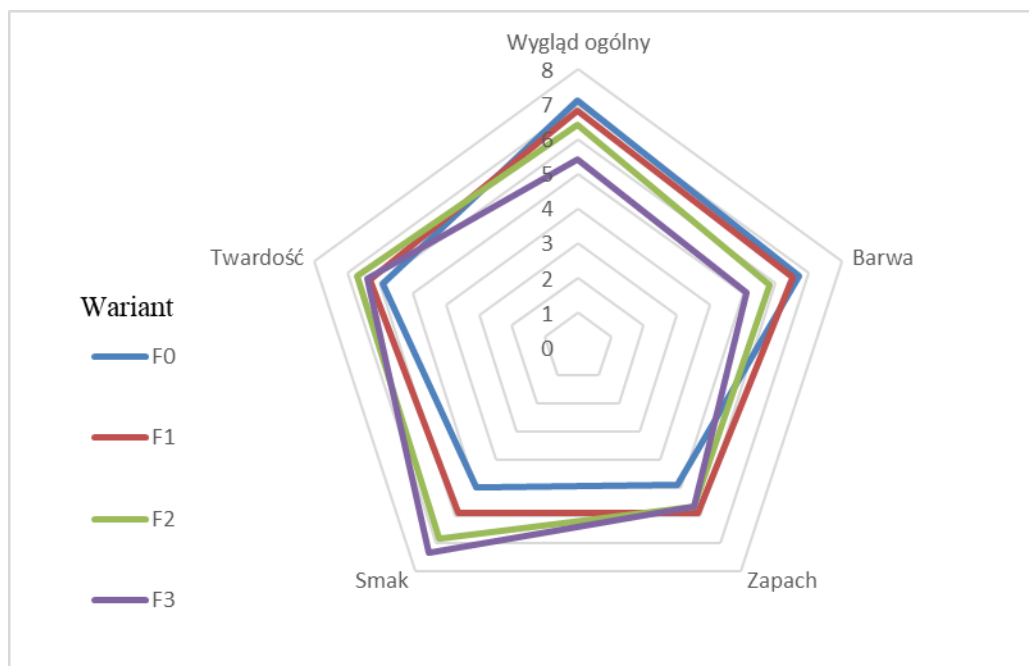
Przetwory mięsno-tłuszczowe wykazywały mniejszą sprężystość bezpośrednio po wyprodukowaniu niż po okresie przechowalniczym. Zauważono to również w badaniach Tril i in. [2011] Analiza statystyczna wykazała, że ilość dodanego preparatu antocyjanów nie miała istotnego wpływu na sprężystość finalnego produktu.

**Tabela 3. Wartości wybranych parametrów tekstury modelowych przetworów mięsno-tłuszczowych w zależności od ilości preparatu antocyjanów z czarnego bzu oraz czasu przechowywania**

| Parametry tekstury | Czas przechowywania [dni] | Wariant             |                    |                    |                    |
|--------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                    |                           | F0                  | F1                 | F2                 | F3                 |
| Twardość [N]       | 0                         | 29,3 <sup>a</sup>   | 28,0 <sup>a</sup>  | 31,0 <sup>a</sup>  | 29,4 <sup>a</sup>  |
|                    | 14                        | 41,3 <sup>b</sup>   | 42,6 <sup>b</sup>  | 38,2 <sup>b</sup>  | 39,1 <sup>b</sup>  |
| Sprężystość [mm]   | 0                         | 0,77 <sup>abc</sup> | 0,75 <sup>ab</sup> | 0,75 <sup>a</sup>  | 0,72 <sup>a</sup>  |
|                    | 14                        | 0,80 <sup>bc</sup>  | 0,81 <sup>c</sup>  | 0,78 <sup>bc</sup> | 0,78 <sup>bc</sup> |
| Gumowatość [N]     | 0                         | 17,7 <sup>b</sup>   | 15,9 <sup>ab</sup> | 16,6 <sup>ab</sup> | 15,1 <sup>a</sup>  |
|                    | 14                        | 25,3 <sup>d</sup>   | 25,2 <sup>d</sup>  | 21,7 <sup>c</sup>  | 23,6 <sup>cd</sup> |
| Żujność [Nmm]      | 0                         | 13,6 <sup>b</sup>   | 12,0 <sup>ab</sup> | 12,5 <sup>ab</sup> | 10,9 <sup>a</sup>  |
|                    | 14                        | 20,2 <sup>d</sup>   | 20,4 <sup>d</sup>  | 16,9 <sup>c</sup>  | 18,4 <sup>cd</sup> |
| Spoistość [-]      | 0                         | 0,56 <sup>cd</sup>  | 0,53 <sup>bc</sup> | 0,49 <sup>ab</sup> | 0,47 <sup>a</sup>  |
|                    | 14                        | 0,57 <sup>d</sup>   | 0,55 <sup>cd</sup> | 0,53 <sup>bc</sup> | 0,56 <sup>ab</sup> |

Objaśnienia: a, b, c, d... – różne litery w kolumnach i wierszach dla danego wyróżnika oznaczają różnice statystycznie istotne przy  $p \leq 0,05$

W trakcie oceny sensorycznej (Wykres 1) ocena barwy, zapachu i twardości modelowych produktów mięsnych nie różniła się istotnie, natomiast ilość dodanego preparatu antocyjanów z owoców czarnego bzu miała istotny wpływ na ocenę smaku i wyglądu ogólnego. Próby zawierające największą ilość składnika roślinnego uzyskały najniższą ocenę pod względem wyglądu ogólnego (5,40pkt.), natomiast odznaczyły się najbardziej pożądanym smakiem (7,30pkt.). W licznych badaniach podczas oceny sensorycznej panel oceniający nie wyczuwa niepożądanego wpływu dodatku roślinnego na smak produktu mięsnego [Lara i in., 2011, ].



**Wykres 1. Ocena sensoryczna**

### 3. Podsumowanie

Dodatek ekstraktu z czarnego bzu może kształtować jakość oraz parametry technologiczne produktów mięsnych. Dodatek PACB powodował wzrost kwasowości i wycieku termicznego,

Wprowadzenie PACB nie wpłynęło negatywnie na ocenę smaku i zapachu, jednak pogorszyło wygląd ogólny i barwę. Ze względu na wysokie właściwości antyoksydacyjne ekstraktu planowane są badania pod kątem hamowania procesów utleniania w przetworach mięsnych.

### Bibliografia:

1. Bourne M. C. (1982). Food texture and viscosity: Concept and Measurement, Academic Press, New York.
2. Grochowicz J., Dominik P., Fabisiak A. (2017). Możliwości wykorzystania żywności naturalnej jako efekt ogólnoświatowego trendu w zakresie zapotrzebowania na żywność prozdrowotną. Zeszyty Naukowe Uczelni Vistula, (54 (3) Turystyka III), s. 223-240.
3. Halagarda M. (2008). New food product development. Towaroznawcze problemy jakości, 4(17), s. 32-39.
4. Liszka K., Najgebauer-Lejko D., Tabaszewska M. (2016). Owoce czarnego bzu (*Sambucus Nigra* L.) - charakterystyka i możliwości wykorzystania w przemyśle spożywczym. W: Innowacyjne rozwiązania w technologii żywności i żywieniu człowieka, Tarko T., Drożdż I., Najgebauer-Lejko D., Duda-Chodak A. (red.) Polskie Towarzystwo Technologów Żywności, Kraków, s. 102-109.
5. Molenda J., Wrona M., Siwiec E. (2012). Zastosowanie modelu CIE Lab w badaniach barwy lotnych popiołów. Problemy eksploatacji, 3, s. 178.
6. Muzolf-Panek M., Kaczmarek A., Tomaszewska-Gras J., Cegielska-Radziejewska R., & Majcher M. (2019) Oxidative and microbiological stability of raw ground pork during



- chilled storage as affected by Plant extracts, *International Journal of Food Properties*, 22:1, s. 111-129.
7. Pohja M.S. (1974). Methode zur Bestimmung Hitzestabilitat von Wurstbrat. *Fleishwirtschaft*: 54, s. 1984-1989.
  8. Polska Norma PN-ISO 2917:2001. Mięso i przetwory mięsne. Pomiar pH. Metoda odwoławcza.
  9. Polska Norma PN-ISO 4121:1998. Analiza sensoryczna. Metodologia. Ocena produktów żywnościowych przy użyciu metod skalowania.
  10. Tril U., Salejda A.M., Krasnowska G. (2011). Próba zwiększenia stabilności oksydacyjnej modelowych przetworów mięsnych poprzez zastosowanie soku z aronii. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*: 6(79), s. 55-66.
  11. Tyburcy A., Ścibisz I., Rostek E., Pasierbiewicz A., Florowski T. (2014). Przeciwutleniające właściwości soków z żurawiny i z róży w produktach z mięsa rozmrożonego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*: 5(96), s. 72-84.
  12. Salejda A.M., Nawirska-Olszańska A., Janiewicz U., Krasnowska G. (2017). Effects on Quality Properties of Pork Sausages Enriched with Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). *Journal of Food Quality*, vol. 2017, s. 1-6.
  13. Lara M.S, Gutierrez, J. I., Timón M. i Andrés, A. I. (2011). Evaluation of two natural extracts (*Rosmarinus officinalis* L. and *Melissa officinalis* L.) as antioxidants in cooked pork patties packed in MAP. *Meat Science*, 88(3), s. 481–488.

## 6. POSTAWA SPOŁECZEŃSTWA WOBEC SZCZEPIEŃ NA GRYPĘ

**mgr Mieczysława Myszona – Tarnowska**

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu

Email: myszonatarnowska@gmail.com

**Abstrakt:** Szczepienia przeciw grypie stanowią ważne ogniwo w łańcuchu epidemiologicznym, dążącym do zmniejszenia liczby chorych na grypę, a tym samym zmniejszenia liczby powikłań pogrypowych. Pomimo kampanii promujących szczepienia przeciw grypie, w polskim społeczeństwie widoczne są duże rozbieżności pomiędzy deklarowanym udziałem w szczepieniu a ich realizacją. Szczepienia te od lat znajdują się na liście szczepień zalecanych przez polski Program Szczepień Ochronnych, dodatkowo liczne samorządy oraz niektóre zakłady pracy oferują pracownikom takie szczepienia. Pomimo powyższych działań szczepienia przeciw grypie są na bardzo niskim poziomie.

**Słowa kluczowe:** szczepienia, grypa, częstość, postawa, powikłania.

### 1. Wstęp

Grypa zakwalifikowana jest do chorób zakaźnych dotyczących układu oddechowego. Choroba wywołana przez wirus grypy przenosi się drogą kropelkową, a zachorowania występują sezonowo. Po raz pierwszy opisana została przez Hipokratesa w IV wieku p.n.e. Zachorowania na grypę dziesiątkowały społeczeństwa, a od XVI wieku przez wszystkie kontynenty przechodziły duże pandemie, które pochłonęły miliony ofiar. Złą sławą okryła się grypa „Hiszpanka”, którą przenosiły ptaki, była wywołana przez mutację wirusa AH<sub>1</sub>N<sub>1</sub>. W ciągu dwóch lat zmarło na nią więcej ludzi niż zginęło podczas I Wojny Światowej. Wirusy ulegają mutacjom, co może być przyczyną wielokrotnych zachorowań w ciągu nawet jednego roku. Grypa przenosi się drogą kropelkową, dlatego w okresie epidemii jest trudna do wyizolowania, odznacza się ona wysoką zaraźliwością. Następstwa grypy należy rozpatrywać w kategoriach zarówno zdrowotnej jak i ekonomicznej. Grypa to zespół objawów klinicznych, które mają związek z ostrym zakażeniem układu oddechowego. Grypa sezonowa - występuje każdego roku w okresie epidemicznym i wywołują ją wirusy grypy występujące u ludzi: najczęściej są to wirusy podtypów H1N1 i H3N2. Grypa pandemiczna - charakteryzuje się występowaniem co kilkanaście lub kilkadziesiąt lat w postaci światowej epidemii. Grypa pandemiczna wywoływana jest przez różnego rodzaju podtypy wirusa. Zakażenie szerzy się bardzo szybko, ponieważ większość osób nie posiada odporności na nowe rodzaje wirusa. Zatem liczba osób chorych na grypę w okresie endemicznym jest znacznie większa niż w przypadku grypy sezonowej. O występowaniu pandemii informuje zwykle WHO na podstawie informacji na temat zasięgu geograficznego zakażeń nowym rodzajem wirusa.

Epidemiologia grypy obejmuje sezonowość (najczęściej zimowe miesiące roku), powszechność występowania na całym świecie oraz typ wirusa. Corocznie obserwuje się zmiany antygenów poszczególnych szczepów wirusa. Przechorowanie grypy daje tylko krótkotrwałą odporność – do kilku miesięcy i jedynie w stosunku do tego typu wirusa, który chorobę wywołał. Grypa wywoływana jest przez wirusy grypy A i B. Okres wylegania grypy

wynosi średnio dwa dni, natomiast może być wydłużony nawet do 7 dni. Najczęściej okres zakaźności to okres przypadający na 1 dzień przed i 3-5 dni po wystąpieniu objawów (u dorosłych). U dzieci okres zaraźliwości obejmuje kilka dni przed i ok. 10 dni po wystąpieniu objawów. Z kolei osoby z upośledzoną odpornością mogą wydalać wirusa i być źródłem zakażenia nawet kilka tygodni/miesięcy. Do czynników zwiększających zachorowanie należą: brak odpowiedniej higieny rąk, bezpośredni kontakt z chora osobą/zwierzętami lub skażonymi przedmiotami, przebywanie w dużych grupach ludzi (szczególnie w okresie grypy sezonowej) oraz przebywanie w bliskiej odległości od chorego na gripę, bez żadnego zabezpieczenia, np. maseczki na twarzy, a także dotykanie skażonymi rękami nosa, oczu lub ust.

Objawy grypy charakteryzują się gorączką, katarzem, kaszlem, bólem głowy, gardła i bólami mięśniowymi. Oprócz tego należy wymienić również wyciek wydzieliny z nosa oraz uczucie rozbicia i osłabienia. Grypa zwykle mija samoistnie po około 7 dniach, jednak niektóre symptomy, takie jak kaszel czy ogólne osłabienie mogą utrzymywać się znacznie dłużej. Objawy grypy należy różnicować z objawami przeziębienia. Jest to szczególnie ważne, ponieważ grypa podlega zgłoszeniu do PIS przez lekarza placówki medycznej, w której została rozpoznana. Taka procedura obowiązuje zgodnie z ustawą o zapobieganiu i zwalczaniu chorób zakaźnych. Objawy grypy zazwyczaj mają gwałtowny początek, natomiast objawy przeziębienia rozpoczynają się z 1-2 dniowym okresem ogólnego rozbicia i osłabienia (objawy narastają stopniowo); grypie częściej towarzyszy wysoka temperatura, bóle mięśni i stawów oraz dreszcze, katar nie jest tak bardzo nasilony, jak u osób przeziębionych; grypa jest chorobą prowadzącą do różnego rodzaju powikłań, np. niewydolności oddechowej lub zapalenia płuc.

Szczepionki mają na celu zapobieganie grypie, zwłaszcza u osób, które należą do grupy podwyższonego ryzyka powikłań pogrypowych, np. cukrzycy czy osoby po ukończeniu 50. roku życia). Ponadto szczepienie zalecane jest u wszystkich osób po ukończeniu 6. miesiąca życia (w celu zminimalizowania prawdopodobieństwa zachorowania na gripę). Szczepienia powinny być wykonywane w okresie jesiennym zaraz przed sezonem wzmożonego zachorowania na gripę. Konieczne jest zakwalifikowanie szczepienia przez lekarza.

Po zaaplikowaniu szczepionki układ immunologiczny naszego organizmu zaczyna wytwarzać przeciwciała, czyli bronić się przed chorobą. Oporność rozwija się zazwyczaj w ciągu trzech tygodni od podania szczepionki, a utrzymuje się nawet do 12 miesięcy. Największa skuteczność szczepionki występuje u zdrowych dorosłych. Okres ważności szczepionki wynosi jeden sezon grypowy.

W dniu 10 września odbyła się debata Flu Forum o skuteczności szczepień i korzyściach płynących z takiej profilaktyki. Mówili o niej eksperci na zorganizowanej w Sejmie debacie. Prof. Andrzej Antczak, przewodniczący Rady Naukowej Ogólnopolskiego Programu Zwalczania Grypy, zwrócił uwagę, że w Polsce odsetek szczepionych ludzi rośnie bardzo powoli, lecz systematycznie. W 2018 ok. 4 proc. populacji zaszczepiło się przeciw grypie [1,2,3,4,5,7,8].

## 2. Cel badania

Celem badania była próba analizy postaw badanych wobec szczepień przeciw grypie.

## 3. Materiał i metoda

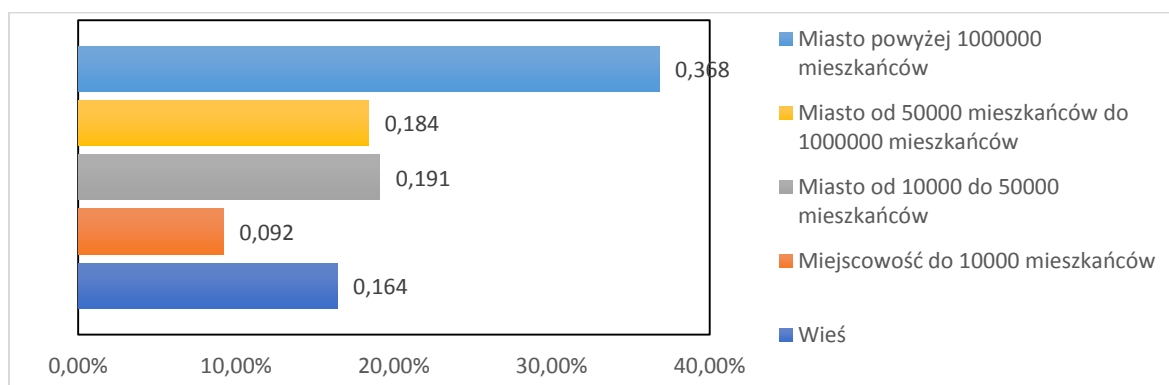
Badanie przeprowadzono na grupie 153 osób za pomocą anonimowego kwestionariusza w wersji elektronicznej lub papierowej, liczącego 16 pytań. Dotyczyły one płci, wieku, wykształcenia, miejsca zamieszkania, sytuacji zawodowej. Odpowiedzi uczestników chronione były zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Europy UE 2016/ 679 z dnia 27 kwietnia 2016 roku w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych i w sprawie swobodnego przepływu informacji.

## 4. Charakterystyka socjometryczna badanej grupy

W prowadzonym badaniu wzięło udział 153 osób, w tym jedna osoba nie udzieliła odpowiedzi na zadawane pytania. W analizie uwzględniono następujące parametry:

- Płeć
- Wiek
- Wykształcenie
- Miejsce zamieszkania
- Sytuacja zawodowa

Wśród ankietowanych 78,3% stanowią kobiety, a 21,7% mężczyźni. Średni wiek ankietowanych to 29 lat. Najwięcej badanych to mieszkańcy miast, gdzie ich liczba wynosi powyżej 100 tys. (36,8% ogółu badanych). Najmniejszą grupę stanowią mieszkańcy miast o liczebności mieszkańców do 10 tys., czyli 9,2% ogółu badanych. Na wsi zamieszkuje 16,4% badanych, natomiast w miastach od 10 tys. do 50 tys. mieszkańców odsetek to 19,1%. 18,4% dotyczy mieszkańców miast pomiędzy 50 tys. a 100 tys. Szczegółowy rozkład przedstawia rycina nr1.

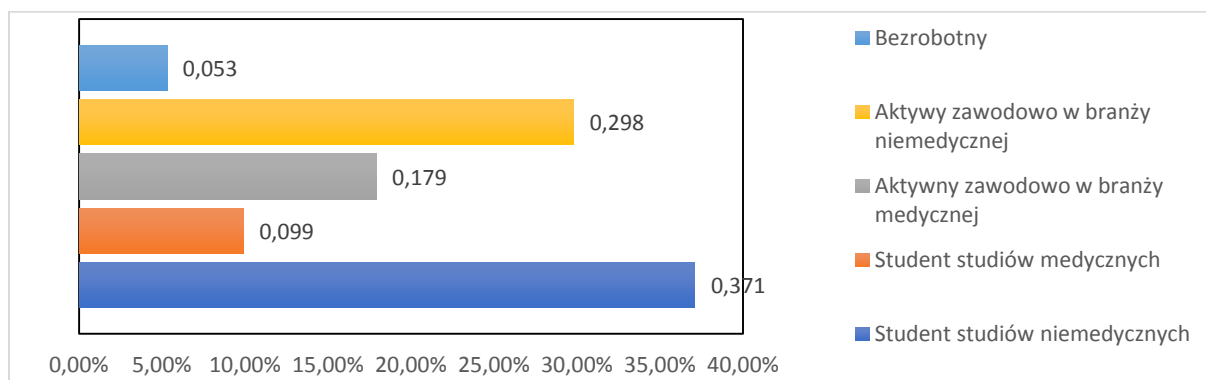


**Rycina 1. Podział respondentów ze względu na miejsce zamieszkania**

Źródło: Opracowanie własne.

W badanej grupie najwięcej osób posiadało wykształcenie wyższe (aż 57,9% ogółu badanych). Najmniejszą grupę stanowiły osoby z wykształceniem podstawowym (0,7% badanej populacji). Kolejnym badanym parametrem była sytuacja zawodowa ankietowanych. Odpowiedzi udzieliło 151 osób. Najliczniejszą grupę stanowili studenci studiów niemedycznych (56 osób, czyli 37,1% ogółu respondentów). Najmniej reprezentowaną grupą

byli bezrobotni (8 osób - 5,3% ogółu badanych). Szczegółowy rozkład zawiera rycina nr.2.



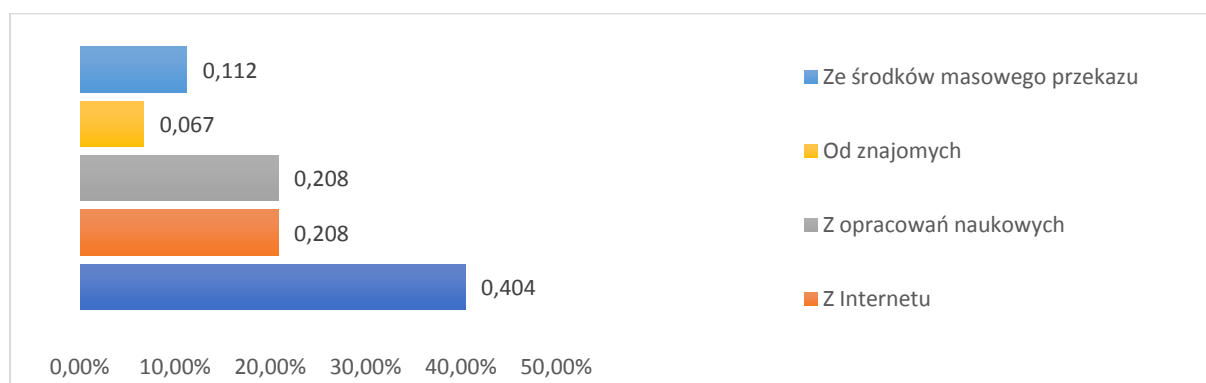
**Rycina 2. Podział respondentów ze względu na sytuację zawodową**

Źródło: opracowanie własne.

## 5. Analiza badań

Według danych z kwestionariusza wynika, że 128 osób, czyli 84,2% uznało szczepienia ochronne za słuszne i uzasadnione. Negatywnych odpowiedzi udzieliło 10 osób, co stanowiło 6,6% ogółu badanych, nieprzekonanych było 5 osób, czyli 3,3% badanych, natomiast brak zdania na ten temat przejawiał się u 9 osób, czyli 5,9%.

Najwięcej osób informacji na temat szczepień ochronnych uzyskała od pracowników ochrony zdrowia (72 osoby, czyli 40,4% badanej grupy), a najmniej od znajomych. Z opracowań naukowych informacje uzyskało 20,8% respondentów, ze środków masowego przekazu -11,2%, natomiast z internetu - 20,8% badanych. Rozkład odpowiedzi przedstawia rycina 3.



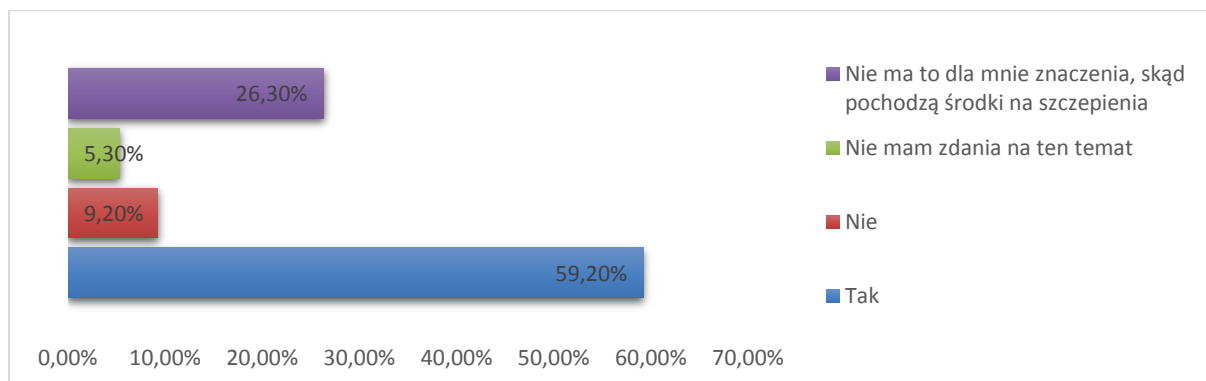
**Rycina 3. Podział respondentów ze względu na źródło informacji na temat zalecanych szczepień ochronnych**

Źródło: opracowanie własne.

Wśród respondentów 65% chorowała na grypę, 34,4% - nie. Zapobieganie powikłaniom pogrypowym jest bardzo ważne zarówno z punktu widzenia epidemiologicznego, jak i ekonomicznego. Najistotniejsza jest wiedza na ten temat. Wśród badanych 67,8% miało taką wiedzę, jej brak zadeklarowało 19,7%, natomiast brak zdania na ten temat miało 12,5% respondentów.

Oprócz wiedzy na temat zapobiegania, wykluczania czy łagodzenia choroby, istotna

jest prewencja poprzez szczepienia ochronne przeciw grypie. Chęć zaszczepienia zadeklarowało 12,5%, niezdecydowani stanowili 12,5%. W niektórych miastach samorządy lokalne finansują szczepienia przeciw grypie dla mieszkańców zamieszkałych na danym terenie. Jeżeli takie szczepienia byłyby bezpłatne 59,2% skorzystałoby z nich, natomiast 9,2% ankietowanych, nie. Rozkład procentowy pozostałych deklaracji przedstawiono na rycinie nr. 4.



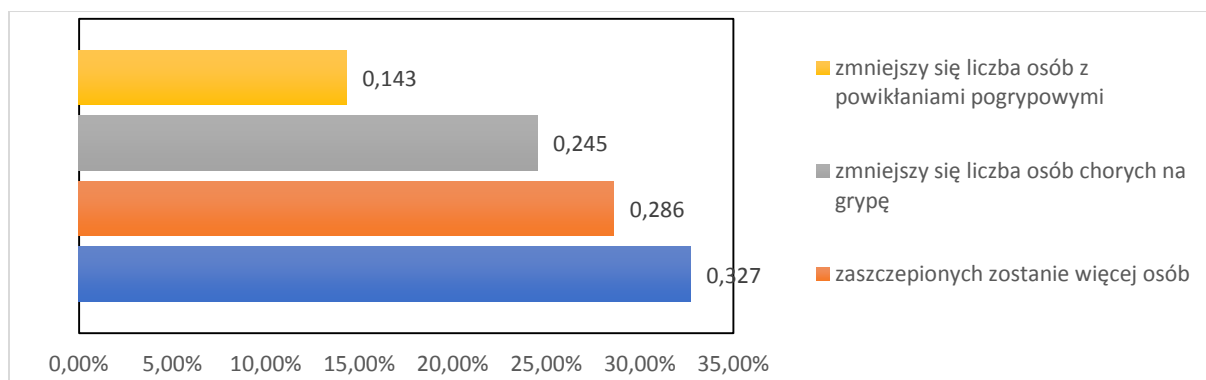
**Rycina 4. Podział ankietowanych ze względu na deklarację udziału w szczepieniach finansowanych przez samorządy lokalne**

Źródło: opracowanie własne.

Osobom, które wyraziły chęć skorzystania ze szczepień przeciw grypie finansowanych przez samorządy terytorialne, zostało postawione dodatkowe pytanie, dotyczące uzasadnienia swojej decyzji. Do wyboru respondenci otrzymali następujące propozycje:

- Ze szczepień mogą skorzystać osoby mniej zamożne zamieszkujące na danym terenie.
- Zaszczepionych zostanie więcej osób.
- Zmniejszy się liczba osób chorych na grypę.
- Zmniejszy się liczba osób z powikłaniami pogrypowymi.

Najwięcej, czyli 32,7% osób zgadza się ze stwierdzeniem, że „ze szczepień mogą skorzystać osoby mniej zamożne zamieszkujące na danym terenie”. Szczegółowe odpowiedzi badanych przedstawia ryc. 5.



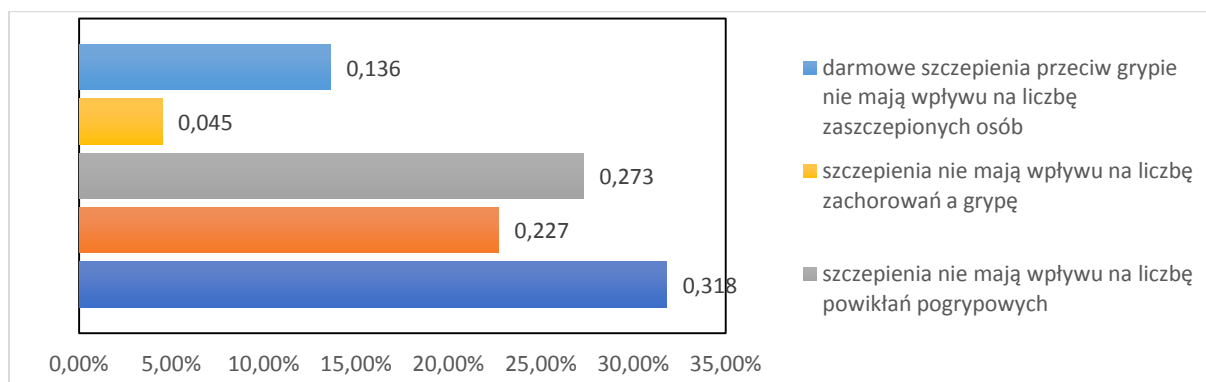
**Rycina 5. Podział badanych ze względu na deklarowane uzasadnienie udziału w bezpłatnych szczepieniach**

Źródło: Opracowanie własne.

Osobom, które nie zdecydowałyby się na szczepienie przeciwko grypie, mimo finansowania go z budżetów samorządów lokalnych, również zostało zadane dodatkowe pytanie, dotyczące uzasadnienia swojego stanowiska. Do wyboru uczestnicy otrzymali następujące propozycje:

- Są to niepotrzebnie wydane pieniądze z budżetów samorządów.
- Nie ma potrzeby finansowania takich szczepień.
- Szczepienia nie mają wpływu na liczbę zachorowań na grypę.
- Szczepienia nie mają wpływu na liczbę powikłań pogrypowych.
- Darmowe szczepienia nie mają wpływu na liczbę zaszczepionych osób.

Dane na ten temat przedstawiono na ryc. 6.



**Rycina 6. Podział respondentów ze względu na uzasadnienie odmowy udziału w bezpłatnych szczepieniach**

Źródło: Opracowanie własne.

## 6. Dyskusja: porównanie badań

Badaniami Lerich i Mastalerz- Migas (2013) objętych zostało 100 losowo wybranych osób, z czego 53% stanowili mężczyźni, a 47% kobiety. W badaniach własnych podział respondentów ze względu na płeć wyglądał inaczej: kobiety stanowiły 78,3% ogółu badanych, natomiast mężczyźni 21,7%. Ponadto w badaniu tym wzięło udział 153 respondentów.

Jedno z pytań ankietowych w badaniach wykonanych przez Lerich i Mastalerz- Migas (2013) brzmiało następująco: „Czy kiedykolwiek szczepił/ -a się Pan / Pani przeciwko grypie”? 74% mężczyzn i 49% kobiet zadeklarowało, że nigdy nie było szczepione przeciw grypie. Raz lub kilka razy w życiu szczepiło się 26% kobiet i 39% mężczyzn. Jedynie 6% ankietowanych twierdziło, że szczepiło się regularnie. Dodatkowo ankietowani, którzy kiedykolwiek szczepili się przeciw grypie, podawali następujące uzasadnienia swoich działań: 51% badanych nie chciało zachorować, 24% otrzymało szczepionkę z zakładu pracy, a 21% badanych zaszczepiło się, aby uniknąć powikłań. W badaniach własnych dokonano analizy, jaki jest stosunek respondentów do prewencji przeciw grypie za pomocą szczepienia. 75% osób jest za, przeciw - 12,5%, niezdeterminowani stanowili 12,5%. W niektórych miastach samorządy lokalne finansują szczepienia przeciw grypie dla mieszkańców zamieszkałych na danym terenie. Jeżeli takie szczepienia byłyby bezpłatne, 59,2% skorzystałoby z nich, a 9,2% ankietowanych, nie.

Dalej w badaniach Lerich i Mastalerz- Migas (2013) uwagę zwraca pytanie: „Czy warto się szczepić”. Rozkład odpowiedzi był następujący: 38% kobiet i 35% mężczyzn

udzieliło odpowiedzi, że nie warto. Następnie 34% kobiet i 32% mężczyzn udzieliło odpowiedzi, że nie wie, co myśleć na ten temat. Natomiast 28% kobiet i 33% mężczyzn odpowiedziało, że tak, warto. Z badań własnych wynika, że 128 osób, czyli 84,2% uznało szczepienia ochronne za słuszne i uzasadnione. Negatywnych odpowiedzi udzieliło 10 osób, co stanowiło 6,6% ogółu badanych. Nie przekonanych było 5 osób, czyli 3,3% ogółu badanych. Brak zdania na ten temat wyraziło 9 osób, co stanowiło 5,9% ankietowanych.

Dodatkowo najwięcej badanych to mieszkańcy miast, gdzie ich liczba wynosi powyżej 100 tys. (36,8% ogółu badanych). Najmniejszą grupę stanowią mieszkańcy miast o liczebności mieszkańców do 10 tys., czyli 9,2% ogółu badanych. Na wsi zamieszkuje 16,4% badanych, natomiast w miastach od 10 tys. do 50 tys. mieszkańców odsetek to 19,1%. 18,4% dotyczy mieszkańców miast pomiędzy 50 tys. a 100 tys.

Jeszcze inaczej prezentują się badania wykonane przez CBOS z grudnia 2013 roku. Dotyczyły one stosunku do szczepień przeciw grypie. Badani, którzy już zaszczepili się przeciwko powyższej chorobie, to najczęściej mieszkańcy największych, ponad półmilionowych miast (16%), małych miast do 20 tys. mieszkańców (11%), ankietowani o stosunkowo wysokich miesięcznych dochodach per capita – powyżej 1500 zł (12%), najmłodszy respondenci do 24 roku życia (12%), a także absolwenci wyższych uczelni (10%). Natomiast zamiar zaszczepienia się przeciwko grypie ponadprzeciętnie często deklarują badani z wykształceniem podstawowym (9%), źle oceniający swoją sytuację materialną (9%) oraz badani z miast do 20 tys. mieszkańców (9%). Badania CBOS są najbardziej wiarygodnymi, ponieważ obejmują bardzo dużą populację badanych. Natomiast nie należy pomijać badań wykonanych na mniejszych populacjach w środowiskach lokalnych, które pokazują zależności w środowisku lokalnym i powinny być wskazówką dla samorządów lokalnych w celu dostosowania polityki lokalnej do potrzeb zdrowotnych mieszkańców.

Wyniki uzyskane w pracy wskazują, że większość badanych chorowała na grypę i zna powikłania pogrypowe. Równocześnie respondenci deklarują chęć szczepienia się przeciw grypie. Systematyczna edukacja na temat prewencji grypy powinna być prowadzona za pomocą różnych narzędzi z równoczesnym wykorzystaniem dominującego w naszym społeczeństwie Internetu i portali społecznościowych. Jak podkreślał Dr hab. Jarosław Pinkos, Główny Inspektor Sanitarny i Konsultant Krajowy w Dziedzinie Zdrowia Publicznego, szczepić powinni się wszyscy. Jest to naszym obowiązkiem wobec tych, którzy zaszczepić się nie mogą z różnych powodów zdrowotnych, ponieważ grypa jest chorobą bardzo zaraźliwą i dotyka większość społeczeństwa na różne sposoby.

## 7. Wnioski

Po przeanalizowaniu udzielonych odpowiedzi przez respondentów można przedstawić następujące wnioski:

1. W badaniach uczestniczyło więcej kobiet, co stanowiło 78,3% ogółu badanych.
2. Najwięcej osób zamieszkiwało miasta, w których liczebność wynosiła powyżej 100 tysięcy, czyli 36,8%.
3. Dominującym wykształceniem było wykształcenie wyższe (stanowiło 57% ogółu badanych).
4. Większość respondentów uważała szczepienia ochronne za słuszne i uzasadnione.



5. Najwięcej ankietowanych informacje o szczepieniach ochronnych pozyskało od pracowników ochrony zdrowia.
6. Większość osób uczestniczących w badaniu chorowała na grypę.
7. Wśród respondentów dominują osoby, które mają wiedzę na temat powikłań pogrypowych i chcą się przed nimi zabezpieczyć poprzez szczepienia ochronne przeciw grypie.
8. Badania przeprowadzone były na małej grupie populacyjnej, należy je traktować jako badania pilotażowe i powinny być kontynuowane z wykorzystaniem większej grupy populacyjnej.
9. Badania będą kontynuowane z wykorzystaniem kwestionariusza wywiadu w formie elektronicznej i papierowej.

**Bibliografia:**

1. Brydak L. B, Steciwko A. (2006). Grypa wskazania do szczepień, możliwe powikłania pogrypowe. *Terapia*, 14,9,1, s.9- 12.
2. Denes A. (2014). Zagrożenia zdrowia publicznego. Wybrane zagadnienia, s. 235- 249. Warszawa. ABC a Wolters Kluwer business.
3. Lerch D, Mastelarz- Migas A. (2013). Poglądy i wiedza na temat szczepień przeciw grypie. *Familiy Medicine& Primary Care Review*, 15,2, s. 131- 133.
4. Mrozek – Budzyn D. (2016). *Wakcynologia praktyczna*, s.11-36, 190- 194.α- medika press.
5. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 6 czerwca 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o zapobieganiu oraz zwalczaniu zakażeń i chorób zakaźnych u ludzi Dz.U. 2019 poz. 1239.
6. Omyta- Rudzka M. (2013). Stosunek do szczepień przeciw grypie,s. 1-12. Warszawa. Fundacja Centrum Badania Opini Publicznej.
7. Pirogowicz I, Steciwko A. (2017). Promocja zdrowia i profilaktyka chorób w pediatrii W : Dziecko i jego środowisko, s. 101-113.Wrocław. Continuo.
8. Ślusarska B, Marcinowicz L, Koncka K. (2019). *Pielęgniarstwo rodzinne i opieka środowiskowa*, s. 175- 180. Warszawa. PZWL.

**Wykaz stron internetowych:**

9. <http://www.rynekzdrowia.pl/Serwis-Szczepienia/Eksperci-za-tydzien-do-aptek-tafia-najnowsze-szczepionki-przeciwko-grypie,198057,1018.html>, (14.09. 2019).

## 7. PORÓD A POZIOM SATYSFAKCJI SEKSUALNEJ. BADANIE ANKIETOWE KOBIET Z GRUPY WIEKOWEJ 25- 35, BĘDĄCYCH DO 2 LAT PO PORODZIE

**Maria Gerber, Natalia Kusyn, Anna Śliwa**

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Wydział Lekarski

Email: natalia.kusyn@student.umed.wroc.pl

Email: maria.gerber@student.umed.wroc.pl

Email: anna.sliwa@student.umed.wroc.pl

### 1. Wstęp

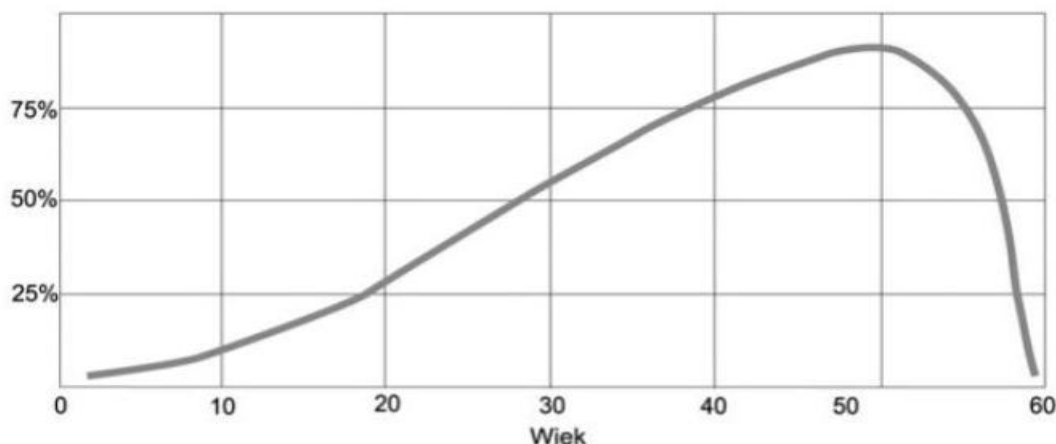
Jeszcze na przełomie wieków XIX i XX brak odczuwania satysfakcji seksualnej kobiety uważano za kryterium jej zdrowia psychicznego. Twierdzono, iż dojrzałe kobiety nie odczuwają popędu seksualnego, a te, które wykazują zainteresowanie życiem intymnym cierpią na choroby psychiczne, w tym nimfomanię. Jako metody leczenia popędu seksualnego zalecano radykalne zabiegi usuwania łechtaczki, a nawet całkowitą sterylizację kobiet. Przełomem stały się **Międzynarodowa Konferencja ONZ na rzecz Ludności i Rozwoju w Kairze (1994)**, podczas której opracowano definicję zdrowia seksualnego:

*„Zdrowie seksualne jest częścią zdrowia reprodukcyjnego, polega na zdrowym rozwoju seksualnym, równych i odpowiedzialnych relacjach partnerskich, satysfakcji seksualnej, wolności od chorób, niedomagań, niemocy seksualnej i przemocy”* oraz **Deklaracja Praw Seksualnych WHO (2002)**, w której stwierdzono, że *„seksualność jest integralną częścią osobowości każdej istoty ludzkiej, a jej pełny rozwój zależy od zaspokojenia podstawowych potrzeb człowieka, takich jak pragnienie obcowania, intymności, ekspresji uczuć, czułości i miłości. Pełny rozwój seksualności jest niezbędny do osiągnięcia dobrostanu w wymiarze indywidualnym, interpersonalnym oraz społecznym”*.

Prowadzone badania nad seksualnością kobiet pozwoliły na zgłębienie natury kobiecej odpowiedzi seksualnej, przez wiele lat obecność której uważano za dysfunkcję. Na ostateczną ekspresję kobiecej reaktywności seksualnej wpływa wiele czynników, które można zgrupować w trzy kategorie: **biologiczne** (fazy cykli: życiowego, reprodukcyjnego, menstruacyjnego, schorzenia endokrynologiczne, farmakoterapia, poważne choroby ogólnoustrojowe), **psychologiczne** (konflikty partnerskie, przeszłość seksualna, lęk przed następstwami kontaktu seksualnego, instrumentalne traktowanie aktywności seksualnej związane z chęcią posiadania dziecka, poczucie małych kompetencji w zakresie życia intymnego, brak poczucia bezpieczeństwa podczas stosunku), a także **społeczne** (niski status ekonomiczny, przynależność kulturowa, utrwalony mało elastyczny światopogląd, niski poziom funkcjonowania społecznego). Satysfakcja z aktywności seksualnej kobiety wpływa na wydłużenie życia, obniża częstość występowania wielu chorób ośrodkowego układu nerwowego takich jak migreny, kłasterowe bóle głowy, depresji, a także chorób nowotworowych i układu krążenia [Lew- Starowicz M., Lew- Starowicz Z., Skrzypulec-Plinta V., Warszawa, 2017].

Zaobserwowano zależność między rozwojem popędu seksualnego człowieka,

a poziomem hormonów płciowych we krwi. Niedobór estrogenów poniżej 50pg/ml powoduje spadek kobiecego libido. Według krzywej estrogenowej, wykreślonej na podstawie badań cykli miesięczkowych 217 pacjentek, Michalina Wisłocka (1978) (rys. 1) określiła, że szczyt poziomu estrogenów u kobiety przypada na piątą dekadę życia.



**Rysunek 1 Krzywa poziomu estrogenów w przebiegu życia kobiety**

(na odciętej- średnie wskaźników kariopyknotycznych, obliczone z badań cytohormonalnych dla poszczególnych grup wieku (Michalina Wisłocka, Warszawa 1978).

Wpływ estrogenów na seksualność kobiety obejmuje zarówno aspekty fizyczne, takie jak: poziom lubrykacji pochwy, zwiększenie przepływu krwi w obrębie narządów miednicy mniejszej, wpływ indukcyjny na rozwój przewodnictwa nerwowego, pobudzanie aktywności mięśni gładkich pochwy i łechtaczki, jak i aspekty psychiczne, do których należą: uczucie pożądania, fantazje erotyczne, odblokowanie osiągania orgazmów i zwiększenie ich częstotliwości. Drastyczne obniżenie poziomu estrogenu po porodzie wpływa na brak zainteresowania życiem intymnym kobiet w okresie do 6 tygodni po porodzie. Ponadto zaobserwowano, że zarówno poziom zainteresowania aktywnością seksualną, jaki i satysfakcja płynąca z tejże aktywności są powiązane z metodą rozwiązania ciąży. Kobiety, które odbyły poród przez cesarskie cięcie chętniej podejmowały aktywność seksualną po porodzie i częściej były z niej zadowolone. Kobiety, które odbyły poród drogą pochwową i drogą pochwową z uszkodzeniem krocza częściej unikały powrotu do życia intymnego po porodzie [Klein MC, Kaczorowski J, Firoz T, 2005].

## 2. Materiał i metody

Celem przeprowadzonego badania była ocena poczucia satysfakcji z podejmowanej aktywności seksualnej wśród kobiet do 2 lat po porodzie. Badanie zostało przeprowadzone w formie ankiety internetowej na grupie 1176 kobiet. Warunkami uczestnictwa w badaniu były: uprawianie regularnej aktywności seksualnej, podjęcie poporodowej aktywności seksualnej, stan po porodzie do lat dwóch. Ankieta składała się z 20 pytań, w tym 7 pytań posłużyło do scharakteryzowania badanej grupy. Do oceny poziomu satysfakcji seksualnej wykorzystano kwestionariusz SQoL-F (Sexual Quality of Life Questionnaire Female). Każda respondentka udzielała odpowiedzi, oceniając stopień zgodności z podanym stwierdzeniem. Odpowiedzi były punktowane zgodnie z następującym schematem: za odpowiedź „w pełni

się zgadzam” przyznawano 1 punkt, natomiast za odpowiedź „zupełnie się nie zgadzam” 6 punktów. Maksymalną ilością punktów do zdobycia było 108, na podstawie czego możliwy był podział respondentek na cztery grupy poziomów satysfakcji seksualnej. Pytania użyte w kwestionariuszu podzielone zostały na trzy grupy czynników obrazujących satysfakcję seksualną: postawa wobec własnej atrakcyjności, relacja z partnerem oraz stan emocjonalny związany z aktywnością seksualną. Do opracowania statystycznego użyto programu IBM Statistics wersja 21.

### 3. Wyniki i dyskusja

**Tabela 1. Poczucie własnej atrakcyjności w odniesieniu do aktywności seksualnej**

| Kiedy myślę o moim życiu seksualnym...        | w pełni się zgadzam | raczej się zgadzam | zgadzam się w niewielkim stopniu | raczej się nie zgadzam | zupełnie się nie zgadzam |
|-----------------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| ... uważam je za przyjemną część mojego życia | n= 423, 36%         | n= 266, 23%        | n= 287, 24%                      | n= 165, 14%            | n= 35, 3%                |
| ... jestem z siebie zadowolona                | n= 421, 36%         | n= 187, 16%        | n= 343, 29%                      | n= 144, 12%            | n= 81, 7%                |
| ... nie czuję się mniej wartościowa           | n= 349, 30%         | n= 215, 18%        | n= 236, 20%                      | n= 238, 20%            | n= 138, 12%              |
| ... nie czuję się zawstydzona                 | n= 335, 28%         | n= 245, 21%        | n= 204, 18%                      | n= 229, 19%            | n= 163, 14%              |

W badanej grupie znalazły się kobiety w wieku od 25 do 35 lat, 21% (n= 251) posiadało wykształcenie wyższe, 39% (n= 459) wykształcenie średnie, 40% (n= 466) wykształcenie zawodowe lub podstawowe, z czego 48% (n= 564) respondentek ostatni raz rodziło siłami natury z nacięciem lub pęknięciem krocza, 38% (n= 436) przez cięcie cesarskie, a 15% (n= 176) rodziło siłami natury bez pęknięcia lub nacięcia krocza. 63% (n= 741) respondentek było pierworódkami, 30% (n = 348) przeżyło 2 porody, 7% (n= 87) trzy i więcej. 57% (n= 670) badanych odbyło pierwszy kontakt seksualny od 6 tygodni do 3 miesięcy po porodzie, a 24% (n= 277) badanych do 6 tygodni po porodzie. Prawie 50% (n= 585) badanych oceniło jakość pierwszego kontaktu seksualnego po porodzie jako 3 lub 4 w sześciostopniowej skali, jednocześnie 13% (n= 153) badanych oceniło ten kontakt jedynie na jeden punkt. Subiektywna ocena satysfakcji seksualnej w badanej grupie wynosiła od 25 do 108. Satysfakcja seksualna w badanej grupie kobiet była wysoka. Liczba punktów zdobytych w kwestionariuszu kształtowała się następująco: 21-50 punktów zdobyło 9% respondentek (n= 106), 51-72 zdobyło 38% respondentek (n= 448), 73-102 punktów uzyskało 53% badanych (n= 622). Ponad połowa kobiet oceniła satysfakcję z życia seksualnego jako dobrą lub bardzo dobrą, natomiast co 11 badana oceniła tę jakość jako umiarkowaną. Żadna

z respondentek nie znalazła się w grupie o najniższej punktacji jakości życia seksualnego.

Poczucie własnej atrakcyjności w odniesieniu do aktywności seksualnej zostało obrazowane przez odpowiedź na 4 pytania (tab. 1). Ze stwierdzeniem „Uważam seks za przyjemną część mojego życia” odpowiedzi ‘w pełni się zgadzam’ lub ‘raczej się zgadzam’ udzieliło łącznie 59% respondentek (n= 689). Odpowiedzi ‘zupełnie się nie zgadzam’ udzieliło 3% (n= 35) badanych. 52% (n=608) respondentek w pełni się zgadza lub raczej się zgadza ze stwierdzeniem ‘jestem zadowolona z siebie w roli partnerki seksualnej’, natomiast 7% (n= 81) zaznaczyło odpowiedź ‘zupełnie się nie zgadzam’. 12% respondentek (n=138) zupełnie nie zgodziło się ze stwierdzeniem ‘Po porodzie nie czuję się mniej wartościowa jako partnerka seksualna’. 14% (n= 163) zadeklarowało poczucie wstydu na myśl o własnym życiu seksualnym.

Kolejna część kwestionariusza miała na celu zobrazowanie relacji z partnerem. Kobiety odpowiadały na następujące stwierdzenia (tab. 2): ‘Nie martwię się, że mój partner czuje się przeze mnie odrzucony ze względu na nasze życie intymne’, z czym zupełnie nie zgodziło się 18% (n= 215) respondentek, a zupełnie zgodziło się 55% (n= 652) respondentek. Ze stwierdzeniem „Nie straciłam pewności siebie po porodzie” zupełnie zgodziło się 43% (n= 509) badanych, natomiast zupełnie nie zgodziło się z tym stwierdzeniem 19% (n= 221) kobiet. 57% (n= 665) respondentek czuje się przywiązanych emocjonalnie do aktualnego partnera, podczas gdy 5% (n= 56) nie czuje żadnego przywiązania. Ze stwierdzeniem ‘Uważam, że mogę otwarcie porozmawiać z moim partnerem o seksie’ zupełnie zgadza się 51% (n= 600) respondentek, a 15% (n= 172) zupełnie nie zgadza się z tym stwierdzeniem. Trzecia część kwestionariusza dotyczyła stanów emocjonalnych kobiet w odniesieniu do aktywności seksualnej (tab. 3): niezadowolenie z częstości aktywności seksualnej deklarowało 22% (n= 261) ankietowanych, podczas gdy 41% (n= 483) kobiet było bardzo zadowolonych z częstości aktywności seksualnej. Respondentki zapytano również, czy starają się unikać aktywności seksualnej- 39% (n=456) zadeklarowało, że zdecydowanie nie, jednocześnie 10% (n=117) stara się unikać zbliżeń z partnerem. 12% (n= 136) badanych kobiet przyznało, że straciło przyjemność płynącą z aktywności seksualnej, jednocześnie 10% (n= 117) uważa się za winne niepowodzeniom w życiu seksualnym, a 65% (n= 767) nie odczuwa poczucia winy. Ze stwierdzeniem ‘Nie czuję się sfrustrowana moim życiem seksualnym’ zgodziło się 72% (n= 844) respondentek, zupełnie nie zgodziło się z tym stwierdzeniem 5% (n= 58) badanych. Nie zaobserwowano istotnej statystycznie różnicy między liczbą porodów a poziomem satysfakcji seksualnej. Nie zaobserwowano różnicy również między sposobem, w jaki odbył się ostatni poród, a poziomem satysfakcji seksualnej. Mediany w tych grupach miały takie same wartości i wynosiły M= 73 pkt.

**Tabela 2. Relacja z partnerem (n- liczba respondentek)**

| Kiedy myślę o moim życiu seksualnym...                       | w pełni się zgadzam | raczej się zgadzam | zgadzam się w niewielkim stopniu | raczej się nie zgadzam | zupełnie się nie zgadzam |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| ...nie martwię się, że mój partner czuje się odrzucony       | n= 652, 55,4%       | n= 203, 17,3%      | n= 56, 5%                        | n= 50, 4,3%            | n= 215, 18%              |
| ... nie straciłam pewności siebie po porodzie                | n= 509, 43%         | n= 145, 12%        | n= 136, 12%                      | n= 165, 14%            | n= 221, 19%              |
| ...czuję się przywiązana emocjonalnie do partnera            | n= 665, 57%         | n= 272, 23%        | n= 120, 10%                      | n= 63, 5%              | n= 56, 5%                |
| ...uważam, że mogę otwarcie porozmawiać z partnerem o seksie | n= 600, 51%         | n= 214, 18%        | n= 115, 10%                      | n= 75, 6%              | n= 172, 15%              |

**Tabela 3. Stany emocjonalne w odniesieniu do aktywności seksualnej (n- liczba respondentek)**

| Kiedy myślę o moim życiu seksualnym...                 | w pełni się zgadzam | raczej się zgadzam | zgadzam się w niewielkim stopniu | raczej się nie zgadzam | zupełnie się nie zgadzam |
|--------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| ...jestem zadowolona z częstości aktywności seksualnej | n= 483, 41%         | n= 242, 20,6%      | n= 105, 9%                       | n= 85, 7,2%            | n= 261, 22,2%            |
| ...nie staram się unikać aktywności seksualnej         | n= 456, 39%         | n= 217, 18%        | n= 232, 20%                      | n= 154, 13%            | n= 117, 10%              |
| ... nie straciłam przyjemności z aktywności seksualnej | n= 516, 43,9%       | n= 89, 7,5%        | n= 207, 17,6%                    | n= 228, 19,4%          | n= 136, 11,6%            |
| ...nie czuję się winna niepowodzeniom                  | n= 767, 65%         | n= 105, 9%         | n= 118, 10%                      | n= 69, 6%              | n= 117, 10%              |
| ...nie czuję się z frustrowana                         | n= 844, 72%         | n= 98, 8%          | n= 109, 9%                       | n= 67, 6%              | n= 58, 5%                |

Ciąża, poród i macierzyństwo stanowią ważne emocjonalnie i fizycznie momenty w życiu kobiety i jej partnera. Powrót do aktywności seksualnej po porodzie przyrównywany jest przez Smolińskiego [2017] do przeżycia o randze inicjacji seksualnej. U kobiet często występują obawy przed kolejną ciążą, fizyczne zmęczenie opieką nad noworodkiem, bóle zlokalizowane w obrębie blizny po cięciu cesarskim i krocza, czy lęk związany z takimi bólami podczas penetracji. Dolegliwości bólowe oraz złe samopoczucie podczas poporodowego aktu seksualnego mogą przyczyniać się do problemów w życiu intymnym w przyszłości i prowadzić do rozwoju dysfunkcji seksualnych takich jak anorgazmia, pochwica, suchość pochwy. Wg. Lwa-Starowicza [1989] przeżyty poród może stanowić przyczynę orgazmu bolesnego, będącego jednym z objawów oziębłości seksualnej kobiet. Dolegliwości bólowe związane z aktywnością seksualną mogą stanowić istotny czynnik zmniejszenia częstości aktywności seksualnej, powodować poczucie winy u kobiet, które nie chcą podejmować aktywności seksualnej z obawy przed bólem, co w konsekwencji może prowadzić do oddalenia się od siebie partnerów i utraty więzi emocjonalnej.

Niepokojącym okazuje się też być fakt, iż w badanej grupie aż 24% badanych (n=277) odbyło pierwszy stosunek seksualny do 6 tygodni po porodzie- czyli jeszcze w okresie połogu. W czasie połogu śluzówka pochwy ulega odbudowaniu, macica oczyszcza się i obkurcza, zwija się trzon szyjki macicy, rany na kroczu i ewentualne blizny po cięciu cesarskim goją się. Z tego powodu, aby uniknąć powikłań takich jak nieprawidłowe bliznowacenie ran, czy zapalenie narządów miednicy mniejszej, stosunki seksualne w okresie połogu nie są wskazane. Kobieta po połogu powinna zgłosić się do lekarza ginekologa, który po dokładnym badaniu oceni możliwość powrotu do aktywności seksualnej. Należy zastanowić się więc nad dokładną edukacją ciężarnych i położnic w zakresie bezpiecznego podejmowania poporodowej aktywności seksualnej. Tak duży odsetek ankietowanych kobiet, które podjęły aktywność seksualną w okresie połogu może być spowodowany brakiem wiedzy odnośnie ryzyka. Można postawić tezę, iż w czasie opieki nad ciężarną lekarz ginekolog podczas wizyt kontrolnych powinien poruszyć temat antykoncepcji po porodzie i postępowania w okresie połogu. W badanej grupie satysfakcja seksualna kobiet po porodzie jest zróżnicowana, jednak nie można zaprzeczyć, że jest wysoka. Ponad połowa respondentek ma dobrą lub bardzo dobrą jakość życia seksualnego i wysoką punktację kwestionariusza SQoL-F. Należy zastanowić się nad wpływem poziomu wykształcenia respondentki, a liczbą uzyskanych punktów. Być może sposób zbierania wyników (ankieta internetowa) miał wpływ na ich wiarygodność. Mimo zapewnienia pełnej anonimowości ankiety, wśród respondentek mogły pojawić się obawy co do ujawnienia udzielonych przez nie odpowiedzi.

#### 4. Wnioski

1. Aż 24% badanych, zbyt wcześnie rozpoczyna aktywność seksualną po porodzie. Bardzo ważna jest edukacja poporodowa i opieka położnej w okresie połogu odnośnie bezpiecznej aktywności seksualnej.
2. Prawie połowa respondentek bardzo nisko oceniła jakość pierwszego kontaktu seksualnego po porodzie. Może być to spowodowane zarówno uwarunkowaniami fizycznymi, jak i czynnikami psychicznymi, oraz, co najważniejsze- zbyt wczesnym rozpoczęciem aktywności seksualnej po porodzie. Jest to kolejny aspekt przemawiający za

- koniecznością profilaktyki zdrowia seksualnego wśród kobiet po porodzie i zachęcania pacjentek do wizyt kontrolnych przed rozpoczęciem poporodowej aktywności seksualnej.
3. Badana grupa kobiet charakteryzowała się wysoką jakością życia seksualnego. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju ostatniego porodu i ilości porodów na poziom jakości życia seksualnego.
  4. Co jedenasta ankietowana ma stosunkowo niską jakość życia seksualnego. Świadczy to o niskim poczuciu własnej atrakcyjności, nieprawidłowej relacji z partnerem, czy negatywnym stanie emocjonalnym respondentek. Ten niepokojący fakt jest kolejnym czynnikiem wskazującym na konieczność objęcia szczególnym zainteresowaniem zdrowia seksualnego w okresie okołoporodowym, w celu maksymalnego zminimalizowania odsetka kobiet niezadowolonych ze swojego życia intymnego.
  5. Należy wziąć pod uwagę, iż forma przeprowadzonego badania (ankieta internetowa) o tak wrażliwej tematyce mogła wpłynąć na rzetelność zebranych wyników. Należy zastanowić się nad przeprowadzeniem kolejnego badania umożliwiającego zebranie danych jakościowych na mniejszej grupie badanych.

**Bibliografia:**

1. Klein MC, Kaczorowski J, Firoz T *et al.* A comparison of urinary and sexual outcomes in women experiencing vaginal and caesarean birth. *Obstetrics & Gynecology*. 2005;
2. Lew-Starowicz Z. (1989) *Vademecum sztuki miłosnej*, Instytut Wydawniczy Związków Zawodowych, Warszawa.
3. Lew- Starowicz M., Lew- Starowicz Z., Skrzypulec- Plinta V. *Seksuologia*, (2017) PZWL Warszawa.
4. Lew-Starowicz Z. *Seksualność człowieka w ujęciu wieloaspektowym*. Wyższa Szkoła Finansów i Zarządzania w Warszawie, Warszawa 2009.
5. Lew-Starowicz Z, Szymańska M, Włodarczyk M. Uwarunkowania seksualne kobiet w czasie ciąży. *Przegląd Seksuologiczny*. 2011;7;27.
6. Lew- Starowicz Z., Skrzypulec-Plinta V. (2010) *Podstawy seksuologii* wyd. 1 PZWL, Warszawa.



## 8. OTYŁOŚĆ – PERSPEKTYWY TERAPEUTYCZNE

### **Szymon Suwała**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Katedra Endokrynologii i Diabetologii  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: suwala@doktorant.umk.pl

### **Mariusz Gawrych**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Katedra Dermatologii, Chorób Przenoszonych Drogą Płciową i Immunodermatologii  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: gawrych@doktorant.umk.pl

### **Alicja Bartoszevska-Kubiak**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: a\_bartoszevska@tlen.pl

### **Karolina Matiakowska**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej  
ul. M. Curie-Skłodowskiej 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: kmatiakowska@tlen.pl

### **1. Słowem wstępu, kilka słów o otyłości**

Otyłością nazywamy nadmierne nagromadzenie tkanki tłuszczowej w organizmie, przekraczające jego fizjologiczne potrzeby i możliwości adaptacyjne oraz mogące prowadzić do niekorzystnych skutków dla zdrowia – jest to obecnie najczęściej występująca choroba metaboliczna, osiągająca rozmiary epidemii i będąca w krajach rozwiniętych i rozwijających się największym problemem zdrowotnym [World Health Organization, 2000, s. 6-15]. Co ciekawe, według American Medical Association (AMA) otyłość została oficjalnie zaklasyfikowana jako oddzielna jednostką chorobowa dopiero w 2013 roku [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457]. Otyłość dotyczy obecnie prawdopodobnie około 13% populacji światowej. Nie sposób jednoznacznie określić przyczyny epidemii – z pewnością otyłość rozwija się na skutek zaburzenia bilansu energetycznego i utrzymywana jest jednostkowo przez nadmierny pobór energii wystarczający dla pokrycia większych potrzeb energii w otyłości. Szybki wzrost występowania otyłości w okresie ostatnich 50 lat

związany jest zapewne z czynnikami kulturowymi i środowiskowymi – dietą wysokoenergetyczną, ograniczoną aktywnością fizyczną czy zaburzeniami odżywiania.

W praktyce klinicznej, stopień otyłości oceniany jest głównie przez wskaźnik BMI (*body mass index*), który jest ilorazem masy ciała w kilogramach do kwadratu wzrostu wyrażonego w metrach kwadratowych – u dorosłych otyłość rozpoznajemy gdy BMI jest równe lub większe  $30\text{kg/m}^2$ , nadwagę zaś (określaną niekiedy jako stadium przedotyłościowe) gdy BMI mieści się w przedziale od 25 do  $29,9\text{kg/m}^2$  – szczegółowy podział przedstawia tabela nr 1.

**Tabela 1. Kategorie BMI wg World Health Organization**

| Wartość BMI [ $\text{kg/m}^2$ ] | Kategoria BMI                                |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| < 18,5                          | niedowaga                                    |
| 18,5 – 24,9                     | prawidłowa masa ciała                        |
| 25,0-29,9                       | nadwaga                                      |
| 30,0-34,9                       | otyłość I stopnia                            |
| 35,0-39,9                       | otyłość II stopnia                           |
| $\geq 40,0$                     | otyłość III stopnia (patologiczna/olbrzymia) |

BMI nie pozwala bezpośrednio i precyzyjnie ocenić zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie, jednak wykazuje istotną korelację z metodami bezpośrednio ją oceniającymi, jak badania antropometryczne (pomiar grubości fałdu skórniego), analiza impedancji bioelektrycznej, pomiar przewodnictwa elektrycznego ustroju, metoda absorpcjometrii rentgenowskiej, metoda hydrodensytometryczna, czy badania obrazowe takie jak tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny czy podobne. Innym powszechnie stosowanym parametrem antropometrycznym oceniającym dystrybucję tkanki tłuszczowej w organizmie człowieka oraz pozwalającym określić typ otyłości (otyłość brzuszna czy pośladkowo-udowa) jest wskaźnik talia-biodra (WHR, *waist-hip ratio*), będący ilorazem obwodu talii do obwodu bioder, wyrażonym w centymetrach ( $\text{WHR} = \text{obwód talii [cm]} / \text{obwód bioder [cm]}$ ). Wartości WHR u mężczyzn  $> 1,0$  oraz WHR u kobiet  $> 0,85$  świadczą o nadmiarze tkanki tłuszczowej o typie trzewno-brzusznym [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457].

Pojęcie otyłości brzusznej może być też powiązane z obwodem talii. Według aktualnych rekomendacji International Diabetes Federation dla Europy, otyłość brzuszną rozpoznajemy w przypadku obwodu talii większego lub równego 80cm u nieciężarnych kobiet i 94cm u mężczyzn. Niższe wartości graniczne dla postawienia rozpoznania otyłości brzusznej zaproponowano dla mężczyzn w Azji (90cm), Chinach (90cm) i Japonii (85cm), a wyższe dla kobiet w Japonii (90cm) [Tsigos, Hainer, Basdevant, Finer, Fried, Mathu-Vliegen, Micic, Maislos, Roman, Schutz, Toplak, Zahorska-Markiewicz, 2009, s. 87-98]. Pojęcie otyłości brzusznej, choć pozornie błahe, jest bardzo ważnym elementem w rozpoznawaniu poważniejszej jednostki chorobowej jaką jest zespół metaboliczny – choroba ta jest zbiorem czynników znamienne podwyższających ryzyko zdarzeń i zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych (kryteria rozpoznania zespołu metabolicznego przedstawia tabela nr 2). Podstawowym czynnikiem terapeutycznym w leczeniu zespołu metabolicznego jest zniwelowanie każdego z wymienionych czynników ryzyka, przy czym za najważniejszy

i jednocześnie najbardziej wpływający na ryzyko zgonu określa się właśnie otyłość brzuszna [Sieradzki, 2002, s. 187-195].

**Tabela 2. Kryteria rozpoznania zespołu metabolicznego**

| <b>Konieczne jest współwystępowanie min. 3 z poniższych nieprawidłowości:</b>                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| otyłość brzuszna (definiowana jako obwód talii u mężczyzn $\geq 94$ cm, natomiast unieciążarnych kobiet $\geq 80$ cm);                             |
| hipertriglicerydemia $\geq 150$ mg% bądź trwające leczenie tej dyslipidemii;                                                                       |
| obniżone stężenie cholesterolu frakcji HDL (definiowane jako $< 40$ mg% u mężczyzn i $< 50$ mg% u kobiet) bądź trwające leczenie tej dyslipidemii; |
| ciśnienie tętnicze w pojedynczym pomiarze $> 130/85$ mmHg bądź trwające leczenie nadciśnienia tętniczego;                                          |
| glikemia na czczo w pojedynczym pomiarze $\geq 100$ mg% bądź trwające leczenie cukrzycy.                                                           |

## 2. Aspekty behawioralne uwzględniane w leczeniu otyłości – wysiłek fizyczny i dieta

Leczenie otyłości jest wieloetapowe i złożone – w pierwszym rzucie powinno się opierać na zmianach behawioralnych, tj. zmianie stylu życia, zwłaszcza zwiększeniu aktywności fizycznej i redukcji przyjmowanej z posiłkiem energii (a także odpowiedniego zbilansowania substancji odżywczych w diecie). Z uwagi na często występujące w otyłości zaburzenia natury psychicznej, konieczne może być też leczenie psychologiczne a niekiedy nawet psychiatryczne. W kolejnych etapach rozważać można wprowadzenie leczenia farmakologicznego, a w ostateczności również metod tzw. chirurgii bariatrycznej czyli chirurgicznego leczenia otyłości. Prosty schematyczny algorytm wyboru metody leczenia otyłości w zależności od wskaźnika BMI przedstawia tabela nr 3.

**Tabela 3. Algorytm metodyki leczenia otyłości w zależności od wskaźnika BMI**

| Metoda leczenia                 | Wartość BMI [kg/m <sup>2</sup> ] |                                 |           |                                 |       |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|-------|
|                                 | 25,0-26,9                        | 27,0-29,9                       | 30,0-34,9 | 35,0-39,9                       | >40,0 |
| <b>Leczenie behawioralne</b>    | tak                              | tak                             | tak       | tak                             | tak   |
| <b>Leczenie farmakologiczne</b> | nie                              | tak, jeśli choroby towarzyszące | tak       | tak                             | tak   |
| <b>Leczenie operacyjne</b>      | nie                              | nie                             | nie       | tak, jeśli choroby towarzyszące | tak   |

Podstawową korzyścią wynikającą ze wzmożonej aktywności fizycznej jest fakt że zwiększa ona wydatek energetyczny, tym samym sprzyjając zmniejszeniu masy ciała. Nie jest to jednak jedyny pozytywny aspekt ćwiczeń fizycznych – warto zwrócić uwagę na to że regularna aktywność redukuje masę tkanki tłuszczowej i zwiększa masę mięśni, obniża wysokie stężenie insuliny i poprawia tolerancję glukozy, obniża spoczynkowe i wysiłkowe ciśnienie tętnicze krwi, ułatwia długotrwałe utrzymanie reżimu dietetycznego i wpływa ogólnie na poprawę samopoczucia, stanu emocjonalnego i zdrowia psychicznego [Plewa, Markiewicz, 2006, s. 30-37].

Typowym wysiłkiem stosowanym w leczeniu otyłości są ćwiczenia ogólnokondycyjne cechujące się maksymalnie średnim stopniem intensywności, odpowiednio efektywnym

zużyciem tlenu przez mięsień sercowy, angażowaniem dużych grup mięśniowych oraz cyklicznością i możliwością długotrwałego wykonywania wysiłku bez przerw – do takich ćwiczeń zaliczamy m.in. szybki marsz, marszobiegi, pływanie, aqua-aerobik, jazdę na rowerze, zespołowe gry sportowe (zwłaszcza siatkówkę), narciarstwo biegowe, tenis, wchodzenie po schodach czy taniec. Ze względu na obciążenie powierzchni dużych stawów w pierwszej kolejności u pacjentów z BMI przekraczającym  $35\text{kg/m}^2$  zaleca się ćwiczenia aerobiku w wodzie o temperaturze  $31\text{--}32^\circ\text{C}$  – podstawową zaletą środowiska wodnego jest odciążenie osoby ćwiczącej oraz wykorzystanie wody jako oporu do ćwiczeń. Najprostszą i najbardziej dostępną formą ćwiczeń jest trening marszowy, zwłaszcza w dobie dostępności aplikacji ułatwiających trening czy pedometrów (urządzeń zliczających np. dobową liczbę kroków – interpretację wskazań takich edometrów przedstawia tabela nr 4) w formie wygodnych opasek czy zegarków - nie można jednak tego treningu polecać bezkrytycznie wszystkim otyłym osobom ze względu chociażby na możliwość występowania zmian zwyrodnieniowo-wytwórczych stawów kończyn dolnych.

**Tabela 4. Interpretacja wskazań pedometrów dobowych [Leermakers, Dunn, Blair, 2000, s. 419-440]**

| Dobowa liczba kroków | Ocena aktywności fizycznej   |
|----------------------|------------------------------|
| <3000                | brak                         |
| 3000-6000            | niska                        |
| 6001-10000           | umiarkowana                  |
| >10000               | rekomendowana                |
| 12000-15000          | powodująca ubytek masy ciała |

Równie ważnym aspektem związanym ze stosowanym wysiłkiem fizycznym jest ustalenie właściwej intensywności ćwiczeń – określa się ją m.in. odsetek maksymalnego poboru tlenu ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), progu wentylacyjnego lub progu mleczanowego, przy czym parametry te są możliwe do wyliczenia niemal wyłącznie w warunkach laboratoryjnych lub skomplikowanych prób ergospirometrycznych. W praktyce klinicznej najczęściej intensywność ćwiczeń określa się według częstości tętna - wzór na obliczenie tętna maksymalnego to  $\text{HR}_{\text{max}} = 220 - \text{wiek}$ , zaś docelowe tętno treningowe to  $60\text{--}70\% \text{HR}_{\text{max}}$ . Pacjenci niechętnie obliczający zakresy tętna bądź kontrolujący swoje tętno podczas wysiłku mogą też skorzystać z reguły „chodź i mów” (*walk and talk*) - zasada ta zakłada, że możliwość prowadzenia rozmowy podczas ćwiczeń wskazuje na tlenowy charakter wykonywanego wysiłku.

Nie bez znaczenia jest także pora i czas ćwiczeń. Najlepsze efekty odchudzania uzyskuje się, ćwicząc na około godzinę przed posiłkiem (najlepiej przed śniadaniem) – po ćwiczeniach fizycznych odbywających się w tym czasie występuje co prawda odczucie zwiększonego głodu, zaleca się pacjentowi jednak przeczekać tego okresu i wypicie na przykład niegazowanej wody mineralnej lub spożycie niskokalorycznego pokarmu. 30 minut dodatkowego umiarkowanego wysiłku wykonywanego codziennie w czasie wolnym (*leisure time physical activity*) wystarcza dla prewencji chorób serca i cukrzycy, 45–60 min dla prewencji nadwagi/otyłości, a 60–90 min jest konieczne dla prewencji dalszego ponownego przyrostu masy ciała u otyłych.

W zakresie diety, właściwe odżywianie osoby redukującej masę ciała powinno być oparte na kilku założeniach. W ciągu doby dieta powinna obejmować możliwie wszystkie grupy produktów żywnościowych pozwalając na dostarczenie niezbędnych składników pokarmowych – ważne jest zatem odpowiednie zbilansowanie posiłków, spożywanie posiłków porannych, niepodjadanie między posiłkami, nieprzejadanie się podczas kolacji (która powinna być spożywana na około 3-4 godziny przed snem). Odpowiednia dieta jest wyjątkowo indywidualną kwestią i nie da się jej omówić w ramach tak wąskiego opracowania jak w niniejszym artykule – powinno się tym samym zachęcać wszystkich chcących zredukować masę ciała do kontaktu ze swoim lekarzem rodzinnym, tudzież dietetykiem.

### 3. Farmakoterapia w otyłości

Pierwsze próby farmakologicznego leczenia otyłości podejmowano już ponad 100 lat temu. W XIX wieku stosowano w tym celu lewo tyroksynę stosowaną w leczeniu niedoczynności tarczycy, jednak doniesienia o objawach niepożądanych (zaburzeniach rytmu serca, niewydolności tętnożę narządu, obniżeniu masy kostnej, ubytku beztłuszczowej masy ciała, indukcji nadczynności tarczycy z jej wszystkimi konsekwencjami do zgonu włącznie) doprowadziły do wycofania się z takiej formy terapii. Z powodu działań niepożądanych lewotyroksyny podzieliło również wiele innych leków (dwunitrofenol, amfetamina, glikozydy naparstnicy, efedryna, fenobarbital, deksfenfluramina) [Kusz-Rynkun, Walicka, Marcinkowska-Suchowierska, 2013, s. 44-48]. Część leków znalazła jednak swoje zasłużone miejsce w farmakoterapii otyłości - spośród aktualnie dostępnych na świecie farmaceutyków warto wspomnieć o fenterminie, orlistacie, lorkaserynie, naltreksonie z bupropionem o powolnym uwalnianiu czy lekach przeciwcukrzycowych (dostępność leków stosowanych w leczeniu otyłości w Polsce i na świecie przedstawia tabela nr 5) – poniżej omówione zostaną wyłącznie preparaty możliwe do użytku na terenie Polski.

**Tabela 5. Dostępność leków stosowanych w leczeniu otyłości na świecie i w Polsce [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457]**

| Lek                    | US Food and Drug Administration (FDA) | European Medicines Agency (EMA) | Polska      |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| fentermina             | zatwierdzony                          | zatwierdzony                    | niedostępny |
| orlistat               | zatwierdzony                          | zatwierdzony                    | dostępny    |
| lorkaseryna            | zatwierdzony                          | niezatwierdzony                 | niedostępny |
| bupropion & naltrekson | zatwierdzony                          | zatwierdzony                    | dostępny    |
| liraglutyd             | zatwierdzony                          | zatwierdzony                    | dostępny    |

Metformina to pochodna biguanidu, doustny lek zmniejszający stężenie glukozy we krwi, poprawiający tolerancję glukozy w cukrzycy typu 2 poprzez zmniejszenia wytwarzania glukozy w wątrobie na skutek zahamowania glukoneogenezy i glikogenolizy, zwiększenia wrażliwości tkanek na insulinę oraz zahamowania wchłaniania glukozy i innych heksoz. Metformina była badana pod kątem utraty masy ciała już w 1969 roku, jednakże od tego czasu tylko kilka badań brało pod uwagę redukcję wagi jako pierwszorzędowy punkt końcowy. Wszystkie te prace wykazały istotną utratę masy ciała pod wpływem leczenia

metforminą, należy jednak zaznaczyć, że były to badania krótkotrwałe i obejmujące małe grupy chorych. Opublikowano kilka dużych randomizowanych badań oceniających wpływ metforminy na masę ciała jako drugorzędowy punkt końcowy. W największym z nich - DPP (*Diabetes Prevention Program*) po średnio 2,8 latach redukcja wagi wyniosła 2,5% w grupie leczonej metforminą w porównaniu z placebo [Kusz-Rynkun, Walicka, Marcinkowska-Suchowierska, 2013, s. 44-48]. Obecnie metformina jest lekiem powszechnie stosowanym w leczeniu otyłości, zwłaszcza na tle zespołu metabolicznego.

Fentermina jest substancją zatwierdzoną przez FDA już z początkiem drugiej połowy dwudziestego wieku (1959 rok) do krótkotrwałego leczenia otyłości - jest to noradrenergiczna sympatykomimetyczna amina, która zwiększa stężenie norepinefryny w podwzgórzu, wzmacniając sygnał szlaku neuronalnego POMC do uwalniania  $\alpha$ -MSH, co skutkuje wzrostem uczucia sytości i zmniejszeniem apetytu, a także zwiększonym wydatkiem energetycznym organizmu. Zalecana standardowa dawka dla dorosłych, podawana raz na dobę, wynosi do 37,5 mg przed śniadaniem - spodziewana redukcja masy ciała wynosi około 5% wyjściowej masy ciała. W analizie sześciu badań, w których wyliczona uśredniona dawka fenterminy wynosiła 27,5 mg/dobę i była stosowana przez okres 13,2 tygodnia, stwierdzono 6,3-kilogramowy ubytek masy ciała. Z uwagi na zwiększone ryzyko zastawkowych chorób serca fentermina jest przeciwwskazana u pacjentów z chorobami układu sercowo-naczyniowego, ponadto jest też przeciwwskazana przy współwystępujących poważnych chorobach psychicznych, podczas ciąży i karmienia piersią [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457]. Lek niedostępny w Polsce, możliwy do pozyskania wyłącznie drogą zamówienia na import docelowy.

Orlistat (tetrahydrolipostatyna) jest swoistym, długo działającym inhibitorem lipaz wytwarzanych w przewodzie pokarmowym - jest częściowo uwodornioną pochodną endogennej lipostatyny syntetyzowanej przez *Streptomyces toxytricini*. Jego działanie w leczeniu otyłości polega na zmniejszeniu wchłaniania tłuszczów i zmniejszeniu ilości dostarczanych organizmowi kalorii. Zahamowanie lipaz powoduje zatrzymanie hydrolizy spożytych triglicerydów do ulegających wchłonięciu wolnych kwasów tłuszczowych i monoglicerydów. W czteroletniej obserwacji 3305 pacjentów, z których 21% miało upośledzoną tolerancję glukozy, terapia orlistatem prowadziła do ponad 11% utraty masy ciała w ciągu pierwszego roku w porównaniu do 6% redukcji w grupie placebo [Kusz-Rynkun, Walicka, Marcinkowska-Suchowierska, 2013, s. 44-48]. W związku ze swoim mechanizmem, lek ten zaburza wchłanianie rozpuszczalnych w tłuszczach witamin (A, D, E, K), dlatego zaleca się dodatkową suplementację wybranymi preparatami witaminowymi. W trakcie leczenia obserwuje się zaburzenia żołądkowo-jelitowe, w szczególności bóle brzucha, wzdęcia, biegunki tłuszczowe, gwałtowne wypróżnienia, a także odbarwienia i suchość skóry. Stosowanie orlistatu może wiązać się również z rozwojem guzków krwawniczych, zwężeniem tętnic szyjnych i żyłaków kończyn dolnych [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457].

Leki złożone na bazie naltreksonu i bupropionu o przełożonym działaniu są preparatami działającymi ośrodkowo, stosowanymi do leczenia wspomagającego podczas leczenia behawioralnego. Mechanizm działania jest skomplikowany i choć częściowo zbliżony do mechanizmu działania fenterminy, zasadniczo jest on pozbawiony jego wad (głównie przez fakt wzajemnego hamowania działań niepożądanych przez oba składniki

leku). W analizie czterech randomizowanych badań klinicznych obserwowano redukcję masy ciała o około 5 kg w porównaniu z grupą placebo w trakcie rocznego leczenia - redukcję masy ciała o 10% bądź więcej stwierdzono u co trzeciego pacjenta. Naltrekson & bupropion ma większą skuteczność w porównaniu z orlistatem. Preparat został zatwierdzony przez FDA w 2014 roku oraz EMA w 2015 roku, a w Polsce jest dostępny od listopada 2016 roku.

Liraglutyd to lek z grupy agonistów GLP-1 (glukagonopodobnego peptydu 1). Lek poprawia kontrolę glikemii poprzez zmniejszenie stężenia glukozy we krwi na czczo i po posiłku u chorych na cukrzycę typu 2. Liraglutyd w sposób zależny od stężenia glukozy reguluje trzustkowe wydzielanie insuliny i glukagonu - podczas hiperglikemii stymuluje wydzielanie insuliny i hamuje wydzielanie glukagonu, podczas gdy w odwrotnej sytuacji, podczas hipoglikemii, zmniejsza wydzielanie insuliny, nie osłabiając wydzielania glukagonu. Liraglutyd opóźnia opróżnianie żołądka, zmniejsza masę ciała i masę tłuszczową poprzez hamowanie łaknienia i spożycia energii. GLP-1 jest fizjologicznym regulatorem apetytu i spożywania pokarmu, ale dokładny mechanizm działania nie został do końca wyjaśniony. Liraglutyd wykazuje lepszą efektywność w porównaniu z orlistatem czy naltreksonem & bupropionem, powodując redukcję masy ciała u większej liczby pacjentów. Dodatkowo, zastosowanie liraglutynu w leczeniu otyłości zmniejsza prawdopodobieństwo rozwoju jawnej cukrzycy typu 2 oraz wykazuje pozytywny wpływ na ciśnienie tętnicze krwi i profil lipidowy. Do najczęstszych objawów ubocznych należą nudności i biegunki [Matyjaszek-Matuszek, Szafraniec, Porada, 2018, s. 448-457].

Pandemia otyłości zmusza naukowców do poszukiwania kolejnych substancji które w bezpieczny i skuteczny sposób można byłoby wykorzystać w farmakoterapii otyłości – jedną z takich propozycji jest Gelesis 100, aktualnie już zaakceptowane przez FDA. Jest to hydrożelowa kapsułka, której cząsteczki pęcznieją w żołądku oraz jelicie cienkim, powodując uczucie sytości i prowadząc w efekcie do zredukowania masy ciała. Jest to oczywiście przyszłość, ale warto już jej wyczekiwać.

#### 4. Chirurgiczne leczenie otyłości

Chirurgiczne leczenie otyłości powinno być rozważane wśród dorosłych chorych ze wskaźnikiem masy ciała powyżej  $40\text{kg/m}^2$  lub  $35\text{kg/m}^2$  z towarzyszącymi chorobami i schorzeniami metabolicznymi (takimi jak nadciśnienie tętnicze, cukrzyca, insulinoporność, hipercholesterolemia, hipertrójglicerydemia, dyslipidemia aterogenna etc.) [Wyleżoł, Paśnik, Dąbrowiecki, Głuszek, Michalik, Strzelczyk, Wierzbicki, Kwiatkowski, Stanowski, 2009, s. 31-34]. Typowymi przeciwwskazaniami do leczenia operacyjnego są: wiek poniżej 18 roku życia i powyżej 60 roku życia, choroby endokrynologiczne, zapalne choroby przewodu pokarmowego (przewlekłe zapalenie przełyku, owrzodzenia żołądka i dwunastnicy, choroba Crohna), ciężkie choroby układu sercowo-naczyniowego, stany predysponujące do krwawień z górnego odcinka przewodu pokarmowego (np. żylaki przełyku), wrodzone lub nabyte anomalie przewodu pokarmowego (zaniki lub zwężenia), ciąża, uzależnienie od alkoholu lub narkotyków, choroby psychiczne i/lub upośledzenie umysłowe przewidujące brak współpracy ze strony chorego oraz wszelkiej maści ogniska zapalne - ponadto, do względnych przeciwwskazań zaliczamy współistnienie dużej przepukliny rozworu przełykowego. [Paśnik, Kostewicz, 2014, s. 313-318].

Obecnie wykonywanych jest kilka typów operacji bariatrycznych, które co do zasady można podzielić na operacje restrykcyjne, ograniczające wchłanianie oraz mieszane. Do operacji restrykcyjnych zaliczamy laparoskopową lub klasyczną gastropastykę pionową (*laparoscopic/open vertical banded gastroplasty* - LVBG/VBG), mankietową resekcję żołądka (*gastric sleeve resection* – GSR) oraz laparoskopowe założenie regulowanej opaski żołądkowej (*laparoscopic adjustable gastric banding* – LAGB). Operacją ograniczającą wchłanianie jest wyłączenie żółciowo-trzustkowe z operacją przełączenia dwunastnicy (*biliopancreatic diversion with duodenal switch* – BPD-DS), podczas gdy operacją z grupy mieszanych jest zespolenie omijające żołądkowo-jelitowe z pętlą Roux-en-Y (*Roux-n-Y gastric bypass* – RYGBP) [Trybull, Fask, Michalik, 2008, s. 205-209].

Obecnie najczęściej stosowaną techniką operacyjną jest GSR, w której utrata masy ciała jest wynikiem z jednej strony ograniczenia pojemności żołądka, z drugiej zaś zmian hormonalnych, zwłaszcza redukcji stężenia ghreliny po resekcji dna żołądka (ghrelina jest hormonem odpowiedzialnym przede wszystkim za pobudzanie apetytu). Jest to metoda bezpieczna, większość powikłań nie dotyczy więcej niż 0,7% pacjentów poddanych zabiegowi, z czego najczęściej dotyczy to drobnych problemów medycznych jak zwężenie w linii szycia lub opóźnione opróżnianie żołądka.

## 5. Podsumowanie

Leczenie otyłości jest wielopłaszczyznowe – powinno zacząć się bezpośrednio od zmiany nawyków i stylu życia pacjenta, jeśli jednak to nie wystarczy konieczna może być pomoc lekarska we wprowadzeniu leków bądź zaproponowaniu postępowania chirurgicznego.

## Bibliografia:

1. Dyaczyński M., Scanes C.G., Koziec H. Pierzchała-Koziec K. (2018). Endokrynne implikacje otyłości i zabiegów bariatrycznych. *Endokrynologia Polska*, 69, s. 574-597.
2. Kusz-Rynkun A., Walicka M., Marcinkowska-Suchowierska E. (2013). Farmakologiczne leczenie otyłości. *Postępy Nauk Medycznych*, 5b, s. 44-48.
3. Leermakers E.A., Dunn A.L., Blair S.N. (2000). Exercise management of obesity. *Medical Clinics of North America*, 84, s. 419-440.
4. Matyjaszek-Matuszek B., Szafraniec A., Porada D. (2018). Farmakoterapia otyłości - obecny stan wiedzy. *Endokrynologia Polska*, 69, s. 448-466.
5. Ostrowska L. (2010). Leczenie dietetyczne otyłości - wskazówki dla lekarzy praktyków. *Forum Zaburzeń Metabolicznych*, 1, s. 22-30.
6. Paśnik K., Kostewicz W. (2014). Laparoskopowe leczenie otyłości. W: Modrzejewski A., Scierski A., Słojewski M. (red.), *Chirurgia laparoskopowa*, Warszawa: Wydawnictwo PZWL, s. 313-318.
7. Pietrych A., Filip R. (2011). Wpływ diety redukcyjnej na masę ciała u osób z nadwagą i otyłością. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 92, s. 577-579.
8. Plewa M., Markiewicz A. (2006). Aktywność fizyczna w profilaktyce i leczeniu otyłości. *Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii*, 1, s. 30-37.
9. Sieradzki J. (2002). Zespół metaboliczny — pojęcie, patofizjologia, diagnostyka i leczenie. *Diabetologia Praktyczna*, 4, s. 187-195.



10. Trybull A., Frask A., Michalik M. (2008). Rękawowa resekcja żołądka. Videosurgery and other miniinvasive techniques, 4, s. 205-209.
11. Tsigos C., Hainer V., Basdevant A., Finer N., Fried M., Mathu-Vliegen E., Micic D., Maislos M., Roman G., Schutz Y., Toplak H., Zahorska-Markiewicz B. (2009). Postępowanie w otyłości dorosłych: europejskie wytyczne dla praktyki klinicznej. Endokrynologia, Otyłość i Zaburzenia Przemiany Materii, 5, s. 87-98.
12. World Health Organization (2000). The problem of overweight and obesity. W: World Health Organization, Obesity: Preventing and managing the global epidemic: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, s. 6-15.
13. Wyleżoł M., Paśnik K., Dąbrowiecki S., Głuszek S., Michalik M., Strzelczyk J., Wierzbicki Z., Kwiatkowski A., Stanowski E. (2009). Polskie rekomendacje w zakresie chirurgii bariatrycznej. Videosurgery and other miniinvasive techniques, 4, s. 31-34.

## 9. OCENA WIEDZY PACJENTÓW Z CUKRZYCĄ TYPU II W ASPEKcie WYSTĘPOWANIA PÓŹNYCH POWIKŁAŃ CHOROBY

**Natalia Frodyma – Stefanik**

Grupowa Specjalistyczna Praktyka Lekarska

„Ban-Med” Marek Banaś Spółka Komandytowa

Dobrzechów 478A, 38 – 100 Strzyżów

Email: n.frodyma@wp.pl

### 1. Wstęp

Cukrzyca jest obecnie jedną z najczęściej występujących chorób przewlekłych dotyczących społeczeństwo. Stanowi ona, więc ogromny problem epidemiologiczny oraz ekonomiczny krajów całego świata. Według szacowań statystycznych na całym globie na tę chorobę cierpi 422 mln osób z wyszczególnieniem faktu, iż 179 mln stanowią osoby, u których choroba nie została dotąd rozpoznana. Cukrzyca jest oficjalnie uznaną chorobą cywilizacyjną, która pomimo nieustannych działań profilaktycznych zbiera coraz większe „żniwo”. Niewątpliwie jest to choroba, na której piętno odcisnęła urbanizacja i wielopłaszczyznowy rozwój gospodarczy, które są powodem negatywnych zmian w stylu życia, spośród których wyróżnić można złe nawyki żywieniowe, siedzący tryb życia, znikomą aktywność fizyczną bądź jej całkowity brak oraz stosowanie używek. Wymienione czynniki predysponują do rozwoju nadwagi i otyłości, która jest głównym determinantem rozwoju cukrzycy typu 2 gdyż u około 90% chorych na cukrzycę stwierdza się własni zaburzoną masę ciała. Statystyki corocznie wzrastają, a w przeciągu kilku ostatnich lat odnotowano systematyczny wzrost zachorowań na niezakaźne choroby przewlekłe takie jak otyłość, nowotwory złośliwe, choroby układu krążenia oraz cukrzyca. Dla zobrazowania skali problemu należy odnieść się do statystyk, które w 2013 roku wskazywały na fakt, iż 8,3% tj. 372,2 mln populacji osób dorosłych chorowało na cukrzycę. Już rok później w 2014 roku liczba zachorowań wzrosła, do 8,5% co dawało odpowiednio 381,2 mln osób. Prognozy statystyczne jasno obrazują skalę problemu szacując, że w 2035 roku na cukrzycę chorować będzie około 8,8% populacji pełnoletnich, co odpowiada 591,9 mln osób. Zastraszającym jest fakt, iż w 2015 roku cukrzyca stanowiła bezpośrednią przyczynę 1,6 mln zgonów. Największy odsetek zgonów odnotowano w krajach takich jak Indie, Chiny oraz USA. Ponadto według statystyk to właśnie te kraje będą najbardziej obciążone występowaniem cukrzycy w 2030 roku.

Polska jest jednym z wielu krajów, który jest obciążony problemem cukrzycy. Badania przeprowadzone przez NATPOL w 2002 roku wskazują, że 5,6% populacji Polski mieszczącej się w przedziale wiekowym 18 – 94 lata chorowało na cukrzycę. Badania te zostały potwierdzone przez badania WOBASZ w latach 2002 – 2005, które jasno wskazują, że cukrzyca typu 2 wśród populacji polskiej występuje u 6,0% kobiet oraz 7,0% mężczyzn w przedziale wiekowym 20 – 74 lat. Badania dotyczące częstości występowania zachorowań na cukrzycę na terenie naszego kraju przeprowadzono również w 2013 roku pod kierownictwem prof. Tomasza Zdrojewskiego w trakcie, których odnotowano 2,17 mln osób, które chorując na cukrzycę w tym 1,22 mln kobiet i adekwatnie 0,96 mln mężczyzn. Z danych

wynika, więc, że osoby chorujące na cukrzycę w 2013 roku stanowiły 5,6% łącznej liczby mieszkańców Polski. Dane te wskazywały, że współczynnik chorobowości w Polsce w 2013 roku wyniósł 4466 na 100 tysięcy mieszkańców.

Warto wspomnieć, że odsetek zachorowalności na cukrzycę został najczęściej odnotowany na terenie województwa śląskiego - 6,5%, łódzkiego - 6,4%, kolejno opolskiego - 6,2% oraz województwa dolnośląskiego - 6,0%. Najniższy odsetek zachorowań na cukrzycę został odnotowany na terenie województwa podkarpackiego - 4,6% oraz podlaskiego - 4,8% [Gugała-Mirosz, 2018].

Biorąc pod uwagę, że cukrzyca jest chorobą nieuleczalną konieczna jest specjalistyczna opieka sprawowana nad osobami cierpiącymi na schorzenie. Przez wzgląd na fakt, iż jest to choroba przewlekła niejednokrotnie wiąże się z obniżeniem, jakości życia pacjentów, występowania chorób współistniejących oraz inwalidztwa, które są wynikiem występowania przewlekłych powikłań choroby. Obowiązujące wytyczne jasno wskazują, że nie ma bezpiecznych wartości glikemii gdyż każde nawet krótkotrwałe i nieznaczne podwyższenie stężenia glukozy we krwi może być przyczyną ryzyka powikłań cukrzycy. Najczęściej występującymi powikłaniami choroby są metaboliczne skutki hiperglikemii, które są wynikiem przewlekłego toksycznego, podwyższonego stężenia glukozy w krwi, które w pierwszej fazie warunkuje proliferację komórek  $\beta$  trzustki. Przedłużająca się hiperglikemia powoduje degranulację komórek, czyli tzw. zjawisko glukotoksyczności [Cyganek, 2002]. Negatywne skutki niestabilnej cukrzycy, które są podwaliną niniejszej pracy dotyczą najczęściej układu sercowo – naczyniowego, spośród których można wyróżnić m.in. ostry zawał serca, choroby naczyniowe mózgu, chorobę niedokrwienną serca, choroby tętnic obwodowych jak również pozostałe grupy schorzeń określane makroangiopatiami i mikroangiopatiami. Najbardziej należy pochylić się nad chorobą wieńcową, która zdecydowanie częściej występuje u osób cierpiących na cukrzycę gdyż jej powodem jest zwężanie się tętnic wieńcowych, które umożliwiają odpowiednie ukrwienie serca. Stan, w którym serce jest niewystarczająco ukrwione i mamy związek z występowaniem choroby wieńcowej znacząco wpływa na zwiększoną chorobowość oraz śmiertelność wynikającą z makroangiopatii cukrzycowej [Jankowiak i wsp., 2007].

Choroba wieńcowa ma wiele postaci w tym m.in. zawał, dławicę piersiową oraz niewydolność serca, które według statystyk zdecydowanie częściej – około 2 razy częściej – i osób chorujących na cukrzycę aniżeli u osób zdrowych. Ponadto rokowanie w przypadku zawału serca jest zdecydowanie gorsze, gdy dochodzi do niego u osób chorujących na cukrzycę aniżeli w odniesieniu do całej populacji. Choroba niedokrwienna serca jest przyczyną zgonów ponad połowy chorych na cukrzycę. Istotnym jest wskazanie, że badania Wisconsin Epidemiologic of Diabetic Retinopathy dowodzą, że wzrost poziomu hemoglobiny glikowanej (HbA1c) o 1% powoduje zwiększenie ryzyka występowania epizodów wieńcowych o 10% [Kozek, 2002].

Ponadto cukrzyca przyczynia się do powstawania innych powikłań, które nazywane są nefropatiami, retinopatiami oraz neuropatiami. Najczęściej „kojarzonymi” z cukrzycą powikłaniami są choroby kończyn dolnych powodowane miażdżycą tętnic, która początkowo objawia się bólem kończyn podczas chodzenia, która postępując doprowadza do skrajnego niedokrwienia i martwicy dystalnych części stopy, najczęściej pięty i palców. Takie powikłanie nazywane jest zespołem stopy cukrzycowej [Kozek, 2002].

Koniecznym jest wspomnienie, że powikłania cukrzycy, które są wynikiem wieloletniej choroby stanowią obecnie największy problem osób, które zmagają się z chorobą. Dlatego właśnie istotnym elementem terapii choroby jest profilaktyka późnych powikłań, która obejmuje głównie utrzymanie prawidłowego poziomu glukozy we krwi, edukacja w zakresie całościowej wiedzy o chorobie, systematyczne wykonywanie badań profilaktycznych oraz odpowiednie zabiegi pielęgnacyjne. Całość podejmowanych działań sprzyja niewystępowaniu bądź skutecznemu opóźnieniu ich występowania [Jankowiak, 2007].

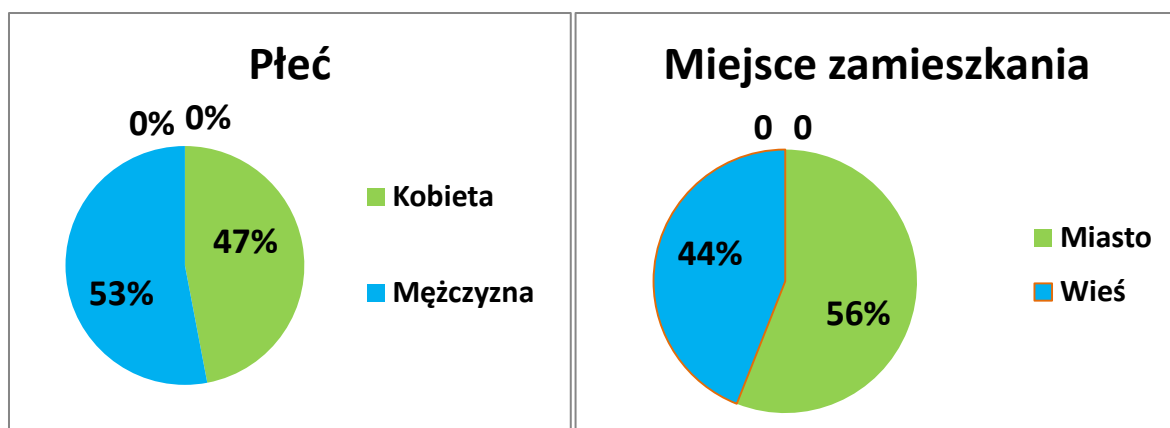
Kluczową rolą holistycznego podejścia do terapii cukrzycy typu 2 jest, więc szeroko pojęta profilaktyka, która pozwala na skuteczne zapobieganie powikłaniom cukrzycy. Koniecznym jest, więc odpowiednie edukowanie pacjentów w tym sektorze, a ocena wiedzy pacjentów z cukrzycą typu II w aspekcie występowania późnych powikłań cukrzycy będących przedmiotem niniejszej pracy jest tego podstawą.

## **2. Materiał i metoda**

Celem niniejszego artykułu było poddanie analizie wiedzy pacjentów z cukrzycą typu II w aspekcie występowania późnych powikłań cukrzycy. Badania ilościowe zostały przeprowadzone na przełomie miesięcy maj – czerwiec bieżącego 2019 roku i nosiły znamiona badań empirycznych. Materiał badawczy stanowiły autorskie kwestionariusze ankiet dotyczące poruszanego zagadnienia uzupełnione przez 200 pacjentów cierpiących z powodu cukrzycy typu II zamieszkujących województwo podkarpackie. Próba miała charakter reprezentatywny. Grupa ujęta w niniejszym badaniu dobrana została na podstawie kryteriów włączenia, którymi były: chęć wzięcia udziału w badaniu, rozpoznanie cukrzycy typu 2 oraz pełnoletniość. Grupa respondentów składała się z kobiet i mężczyzn powyżej 18 roku życia. Metodą przeprowadzania badania była metoda sondażu diagnostycznego. Narzędziem badawczym był autorski kwestionariusz ankiety składający się z dwóch części: części ogólnej zawierającej pytania pozwalające na dokonanie charakterystyki socjo – demograficznej badanej grupy oraz części właściwej składającej się z pytań pozwalających na ocenę poziomu wiedzy pacjentów na temat występowania późnych powikłań cukrzycy.

## **3. Wyniki i dyskusja**

Pierwszym elementem prezentacji wyników niniejszego badania jest przedstawienie metryczki pozwalającej na dokonanie analizy socjo – demograficznej grupy respondentów. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach poniżej.

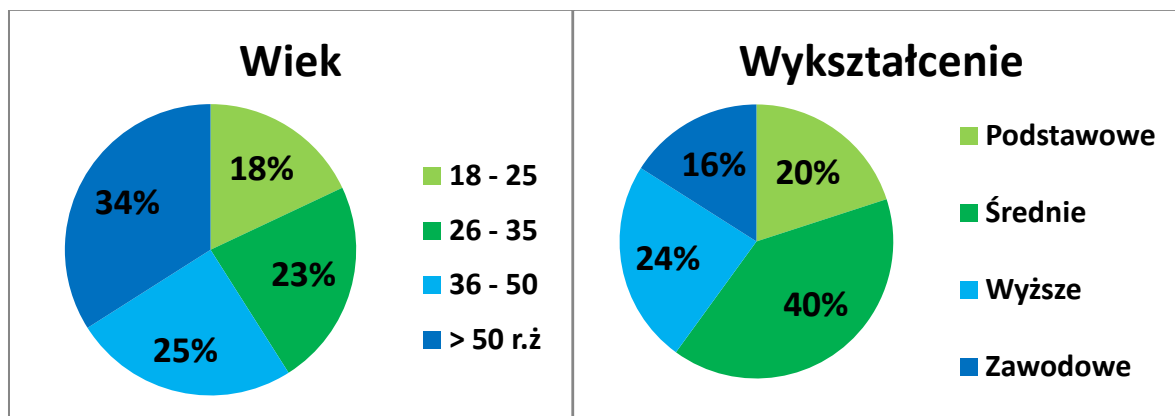


Wykres 1. Płeć respondentów

Wykres 2. Miejsce zamieszkania respondentów

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na wykresach powyżej niespełna ponad połowa respondentów biorących udział w badaniu wskazało, że są mężczyznami (53%) natomiast mniej niż połowa respondentów, jako przyznała, że jest płci żeńskiej (47%). Kolejne pytanie zawarte w kwestionariuszu ankiety dotyczyło miejsca zamieszkania osób biorących w badaniu. Jak widać na wykresie (wyk. 2) ponad połowa osób zamieszkuje miasto (56%) natomiast mniejsza część badanych, jako swoje miejsce zamieszkania wskazała wieś – 44%. Kolejnym elementem części ogólnej badania było poddanie analizie wieku oraz wykształcenia respondentów, wyniki przedstawiono poniżej.



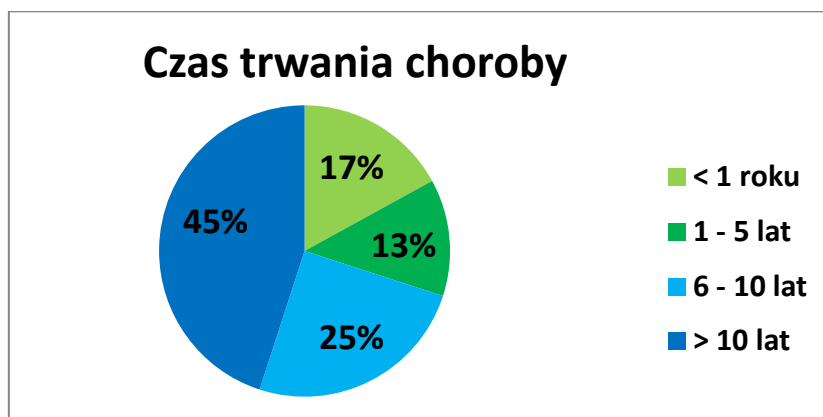
Wykres 3. Wiek respondentów

Wykres 4. Wykształcenie respondentów

Źródło: opracowanie własne.

Dane przedstawione na wykresach powyżej jasno wykazują, że największa grupa respondentów wskazywała na swój wiek powyżej 50 roku życia (34%). Kolejno osoby biorące udział w badaniu i mieszczące się w kategorii wiekowej 36 – 50 lat stanowiły drugą, co do liczebności grupę respondentów (25%). Niecała ¼ osób biorących udział w badaniu (23%) wskazała na swój wiek w przedziale 26 – 35 lat, natomiast najmniejszą grupę osób stanowiły osoby, które jako swój wiek wskazywały 18 – 25 lat. W zakresie charakterystyki socjo – demograficznej badanej grupy pozostawało również ustalenie wykształcenia respondentów, spośród, których najliczniejszą grupę stanowiły osoby z wykształceniem średnim (40%).

Zdecydowanie mniejszą grupą oscylującą na poziomie 24% stanowiły osoby, które posiadają wykształcenie wyższe. Kolejno we wskazaniach respondentów pojawiały się wskazania na wykształcenie podstawowe (20%) oraz zawodowe (16%).



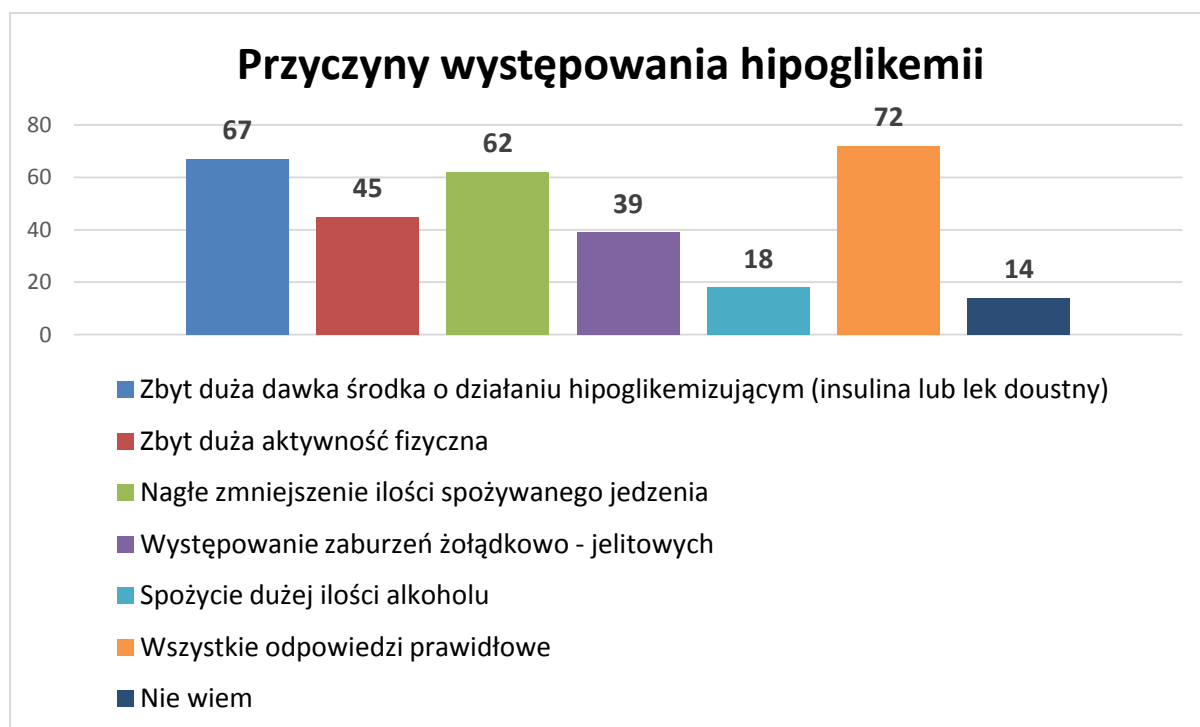
**Wykres 5. Czas trwania choroby**

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim elementem charakterystyki badanej grupy było określenie kwestii tego jak długo respondenci chorują na cukrzycę typu 2. Jak widać na wykresie powyżej najliczniejsza grupa ankietowanych wskazała na fakt, iż chorują na cukrzycę dłużej niż 10 lat (45%). Kolejno dokładnie  $\frac{1}{4}$  respondentów twierdzi, że czas trwania ich choroby mieści się w przedziale 6 – 10 lat. Mniej liczna część badanej grupy (17%) choruje krócej niż 1 rok. Ostatnią, a zarazem najmniej liczną grupę stanowią osoby, które przyznają, że czas trwania ich choroby zawiera się w przedziale trwania 1 – 5 lat.

Po zakończeniu analizy części ogólnej ankiety należy przejść kolejno do przedstawienia wyników uzyskanych na kolejnych etapach badania tj. etapie pytań dotyczących oceny wiedzy respondentów na temat występowania późnych powikłań cukrzycy typu II. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach poniżej.

Wprowadzeniem do części ogólnej badania była rozmowa z respondentami dotycząca rozpoznania wiedzy pacjentów w zakresie podstawowej terminologii związanej z występowaniem powikłań cukrzycy typu 2 tj. terminu hipoglikemia i hiperglikemia. Osoby biorące udział w badaniu w większości (57%) potrafiły prawidłowo zdefiniować wspomniane terminy. Kolejno przystąpiono do realizacji części właściwej badania.

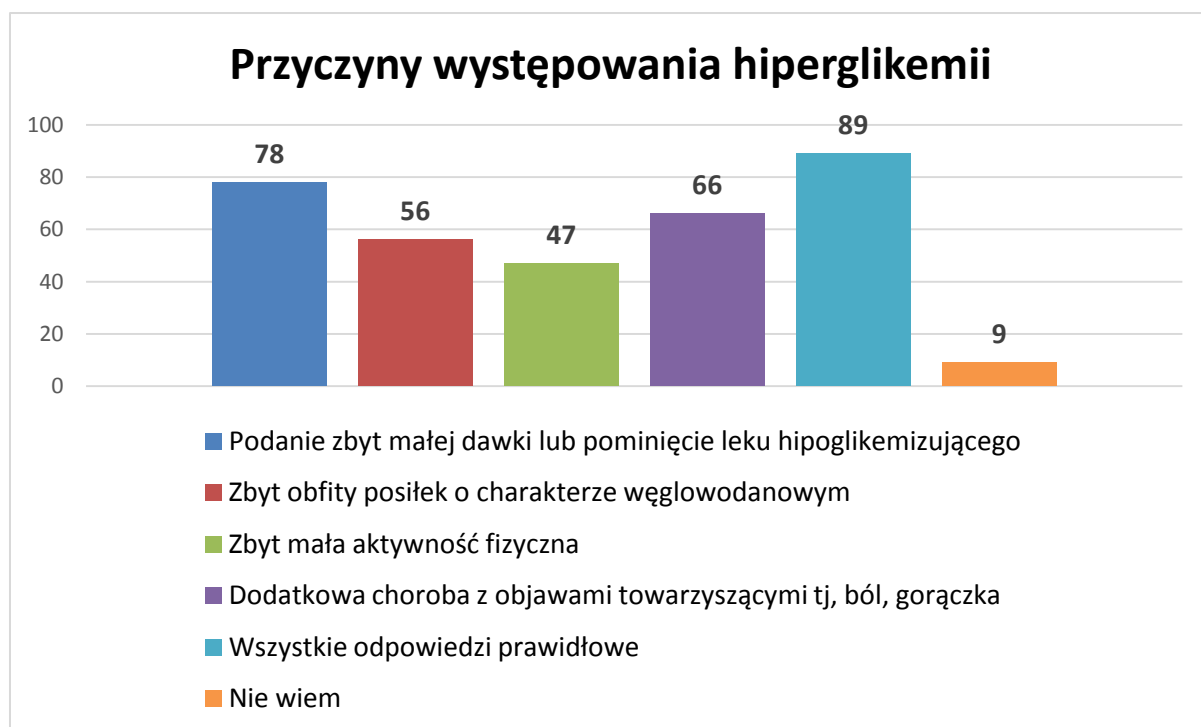


**Wykres 6. Przyczyny występowania hipoglikemii**

Źródło: opracowanie własne.

\*wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość wskazania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Pierwszym pytaniem części właściwej kwestionariusza ankiety było pytanie dotyczące znajomości przyczyn występowania hipoglikemii. Jak widać na wykresie powyżej najliczniejsza grupa osób wskazała, że wszystkie wymienione powyżej powody występowania hipoglikemii są poprawne (72%). Kolejna grupa osób stanowiąca ponad połowę ankietowanych (67%) wskazała, że główną przyczyną występowania hipoglikemii w grupie osób cierpiących na cukrzycę jest zbyt duża dawka środka o działaniu hipoglikemizującym – insuliny bądź też leku doustnego. Kolejną, co do częstości przyczyną występowania hipoglikemii wskazywaną przez respondentów jest nagle zmniejszenie ilości spożywanego jedzenia (62%) poprzez problemy zdrowotne bądź podjęcie działań mających na celu zmniejszenie masy ciała. Mniej niż połowa osób biorących udział w niniejszym badaniu (45%) uważa, że zbyt duża aktywność fizyczna może być powodem występowania hipoglikemii. Podobny odsetek respondentów (39%) twierdzi, że za występowanie hipoglikemii odpowiedzialne jest występowanie zaburzeń żołądkowo – jelitowych. Niespełna 1/5 osób biorących udział w badaniu wskazało na zasadność twierdzenia, że spożycie dużej ilości alkoholu wpływa na występowanie hipoglikemii. Ostatnia najmniej liczna grupa respondentów (14%) przyznaje, że nie zna przyczyn występowania hipoglikemii.

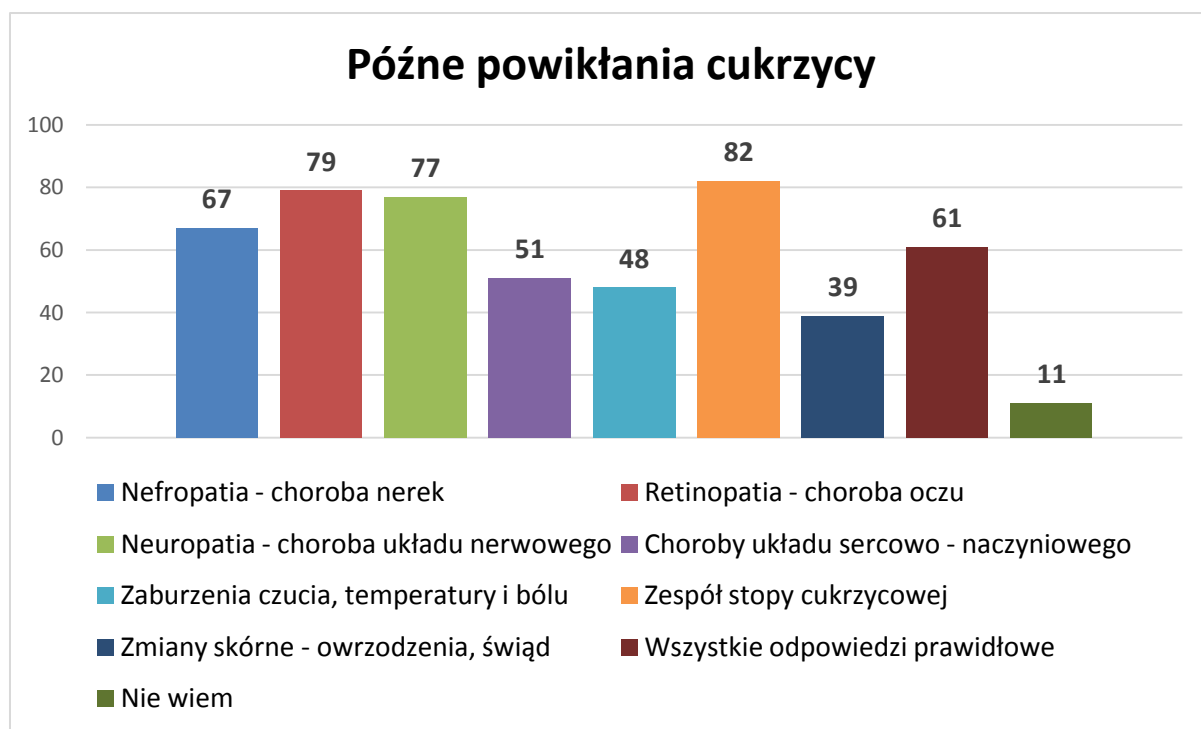
**Wykres 6. Przyczyny hiperglikemii**

Źródło: opracowanie własne

\*wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość wskazania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Kolejnym pytaniem wchodzącym w skład części właściwej badania było pytanie dotyczące przyczyn występowania hiperglikemii, czyli zwiększonego poziomu glukozy we krwi. Najliczniejsza grupa respondentów, podobnie jak w pytaniu poprzednim uważa, że wszystkie wymienione odpowiedzi są prawidłowe (89%). Kolejna, co do liczebności grupa osób biorących udział w badaniu uważa, że przyczyną występowania hiperglikemii jest podanie zbyt małej dawki bądź zupełne pominięcie podania środka hipoglikemizującego tj. insuliny bądź doustnego środka farmakologicznego (78%). Ponad połowa ankietowanych uważa, że odpowiedzialnymi za występowanie hiperglikemii są takie czynniki jak dodatkowa choroba z objawami towarzyszącymi tj. gorączką, bólem czy rozwojem infekcji w organizmie (66%) lub zbyt obfity posiłek bazujący na produktach o charakterze węglowodanowym (56%). Mniej niż połowa osób udzielających odpowiedzi na zawarte w kwestionariuszu pytania (47%) uważa, że zbyt mała aktywność fizyczna może być powodem występowania hiperglikemii. Podobnie jak w poprzednim pytaniu najmniejsza liczba respondentów (9%) twierdzi, że nie zna powodów występowania hiperglikemii.



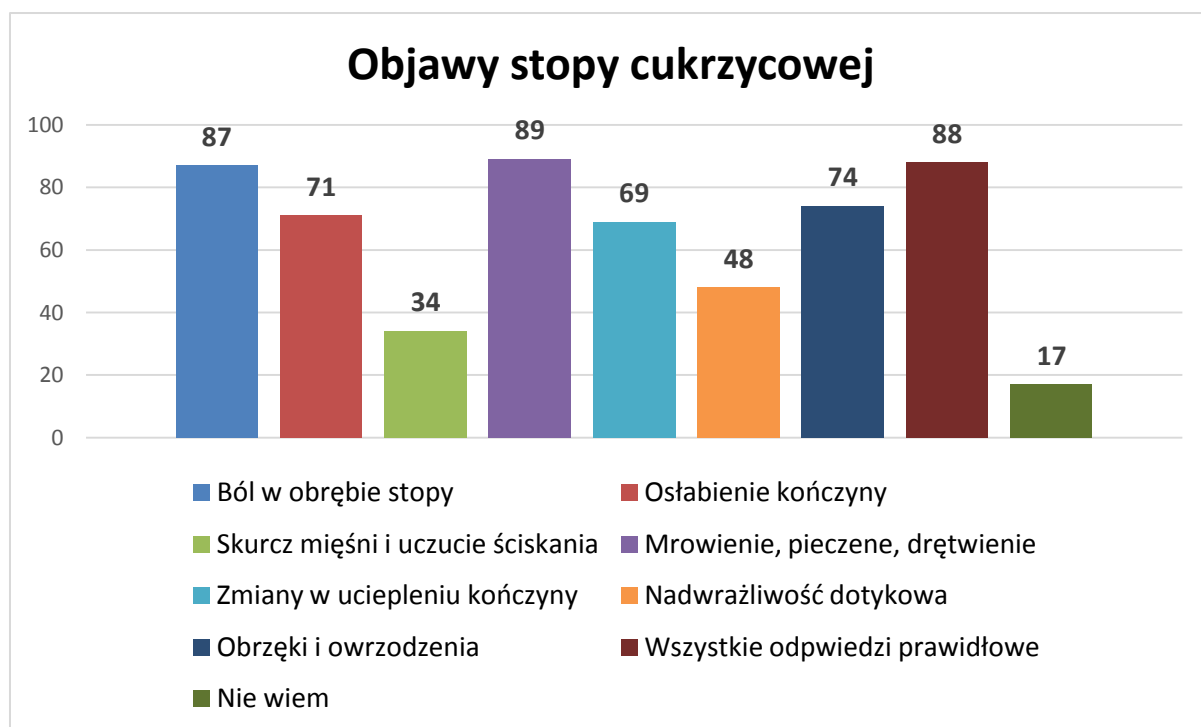


**Wykres 7. Późne powikłania cukrzycy**

Źródło: opracowanie własne

\*wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość wskazania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Kolejne pytanie ujęte w kwestionariuszu ankiety dotyczyło znajomości ankietowanych na temat późnych powikłań cukrzycy. Według najliczniejszej grupy respondentów (82%) późnym powikłaniem cukrzycy jest zespół stopy cukrzycowej. Kolejne częste odpowiedzi respondentów wskazywały na zasadność twierdzenia, że późnym powikłaniem cukrzycy jest retinopatia rozumiana, jako choroba oczu (79%), neuropatia cukrzycowa tj. choroba układu nerwowego (77%) oraz nefropatia tj. choroba nerek (67%). Ponadto ponad połowa osób biorących udział w badaniu (51%) uważa, że późnym powikłaniem cukrzycy są choroby układu sercowo – naczyniowego. Wśród wskazywanych przez respondentów późnych powikłań cukrzycy występowały odpowiedzi takie jak: zaburzenia czucia, temperatury i bólu (48%), zmiany skórne takie jak owrzodzenia i świąd (39%). Najmniejsza liczba osób (11%) przyznała, że nie potrafi wskazać późnych powikłań cukrzycy, natomiast 61% osób uważa, że wszystkie wskazane w kwestionariuszu odpowiedzi są prawidłowe.

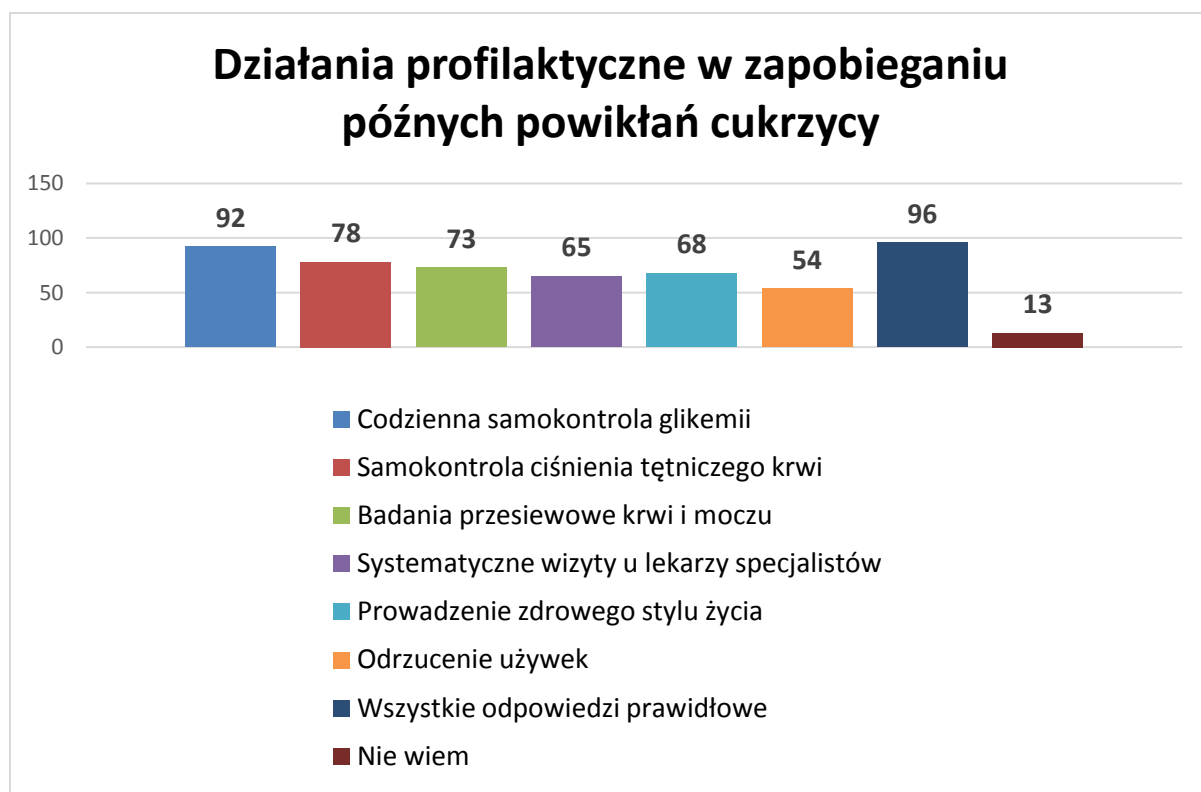


**Wykres 8. Rodzaje stopy cukrzycowej**

Źródło: opracowanie własne

\*wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość wskazania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Zespół stopy cukrzycowej jest jednym z najczęściej i najszybciej pojawiających się późnych powikłań cukrzycy, dlatego tak istotną kwestią jest, aby każda osoba chorująca na cukrzycę potrafiła rozpoznawać objawy świadczące o rozwijaniu się schorzenia. Dlatego właśnie objawy stopy cukrzycowej były kolejnym elementem uwzględnionym w niniejszym badaniu. Respondenci wskazywali na charakterystyczne według nich objawy stopy cukrzycowej. Według największego odsetka badanych osób objawami stopy cukrzycowej są: mrowienie, pieczenie i drętwienie kończyny (89%), ból w obrębie stopy (87%), obrzęki i owrzodzenia (74%) oraz osłabienie kończyny (71%). Ponadto duża część respondentów (69%) uważa, że zmiany w uciepleniu kończyny mogą świadczyć o rozwoju stopy cukrzycowej. Niespełna połowa osób (48%) twierdzi, że objawem stopy cukrzycowej jest nadwrażliwość dotykowa. Najmniejszy odsetek respondentów uważa, że występowanie stopy cukrzycowej wiąże się z pojawieniem się skurczy mięśni i czucia ściskania w kończynie (34%). Warto również wspomnieć, że bardzo duży odsetek respondentów (88%) twierdzi, że wszystkie wskazane w kwestionariuszu odpowiedzi są prawidłowe w porównaniu z niewielką liczbą osób (17%), która przyznaje, że nie wie, jakie są objawy stopy cukrzycowej.



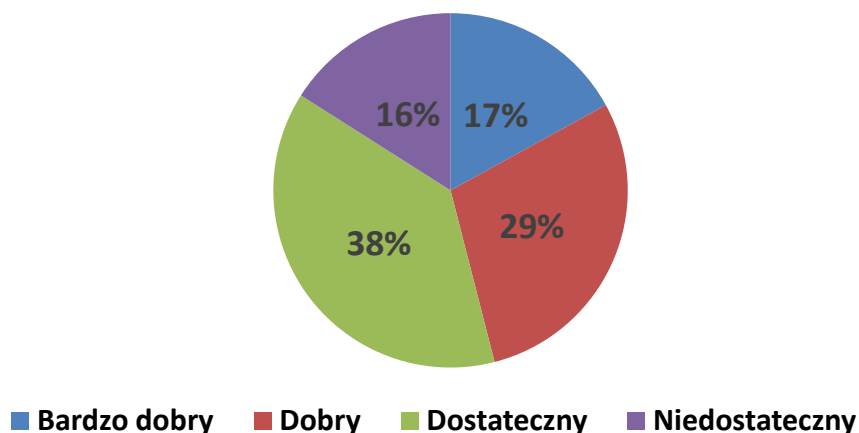
**Wykres 9. Działania profilaktyczne w zapobieganiu późnych powikłań cukrzycy**

Źródło: opracowanie własne

\*wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość wskazania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Działania profilaktyczne są podstawą zapobiegania oraz minimalizowania skutków występowania późnych powikłań cukrzycy, dlatego istotnym elementem badania było określenie znajomości respondentów na temat działań profilaktycznych. Jak widać na wykresie powyżej ankietowani wskazywali, jakie działania profilaktyczne według nich są zasadne w zapobieganiu występowania późnych powikłań cukrzycy. Zdecydowana większość osób (96%) uważa, że wszystkie odpowiedzi zawarte w badaniu są poprawne. Kolejno najliczniejsza grupa osób (92%) uważa, że kluczem w zapobieganiu występowania późnych powikłań cukrzycy jest codzienna samokontrola glikemii polegająca na kilkukrotnym badaniu stężenia glukozy we krwi włośniczkowej. Kolejno respondenci wskazali na zasadność takich działań jak: samokontrola ciśnienia tętniczego krwi (78%), badania przesiewowe krwi oraz moczu (73%), prowadzenie zdrowego stylu życia (68%) oraz systematyczne wizyty u lekarzy specjalistów (65%) np. okulisty. Niespełna ponad połowa respondentów (54%) uważa, że zasadnym działaniem profilaktycznym jest odrzucenie używek. Najmniejszy odsetek badanych osób stanowiący jedynie 13% przyznaje, że nie zna działań profilaktycznych zasadnych w zapobieganiu późnym powikłaniom cukrzycy.

### Stan wiedzy pacjentów na temat występowania późnych powikłań cukrzycy



**Wykres 10. Stan wiedzy respondentów na temat występowania późnych powikłań cukrzycy typu 2**

Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim pytaniem części właściwej kwestionariusza ankiety było pytanie dotyczące oceny stanu wiedzy pacjentów na temat występowania późnych powikłań cukrzycy. Respondenci w niniejszym badaniu zobowiązani byli do wskazania twierdzenia określającego poziom ich wiedzy na badany temat. Najliczniejsza grupa respondentów uważa, że ich wiedza na temat występowania późnych powikłań cukrzycy typu 2 plasuje się na poziomie dostatecznym (38%). Kolejno 29% ankietowanych twierdzi, że ich wiedza na temat występowania późnych powikłań cukrzycy określana jest na poziomie dobrym. Osoby twierdząc, że poziom ich wiedzy na podany temat plasuje się na poziomie bardzo dobrym stanowiły 17% badanej grupy. Najmniejszy odsetek osób badanych (16%) przyznaje otwarcie, że ich poziom wiedzy w zakresie występowania późnych powikłań cukrzycy typu 2 uplasowała się na poziomie niedostatecznym.

#### 4. Wnioski

Cukrzyca jest chorobą przewlekłą, która w przypadku niestabilnego „prowadzenia” niesie za sobą szereg powikłań. Jednakże odpowiednie postępowanie profilaktyczne umożliwia opóźnienie wystąpienia powikłań oraz utrzymania pacjenta w bardzo dobrym stanie ogólnym [Sieradzki, 2005]. Dlatego tak istotną kwestią jest określanie oraz poszerzanie wiedzy pacjentów cierpiących z powodu cukrzycy typu 2 na temat występowania późnych powikłań choroby. Podwaliną do prowadzenia edukacji pacjenta jest określenie poziomu wiedzy, która umożliwia skuteczne leczenie choroby oraz zapobieganie jej powikłaniom. Początkowo w badaniu podjęto próbę określenia znajomości respondentów na temat definicji pojęcia hipoglikemii oraz hiperglikemii. Jak wykazano w wynikach badań jedynie 14% osób biorących udział w badaniu nie znało objawów hipoglikemii oraz 9% nie potrafiło wskazać objawów towarzyszących wystąpieniu hiperglikemii, co daje bardzo obiecujący wynik. Wyniki te są szczególnie ważne ze względu na fakt, iż hiperglikemia określana jest, jako

przyczyna większości powikłań cukrzycowych [Krysoń-Serafin i wsp., 2005]. Przeprowadzone badanie pozwoliło na wysnucie wniosków w kwestii poziomu wiedzy pacjentów cierpiących z powodu cukrzycy typu 2, które jasno wykazało, że 38% ankietowanych uważa, że poziom ich wiedzy w podanym aspekcie określany jest jedynie na poziomie dostatecznym, co daje dość niepokojący wynik. Uzyskane wyniki w tym aspekcie można porównać z wynikami uzyskanymi przez Karłowicz i wsp. [Karłowicz i wsp., 2010] gdzie wskazano na poziom wiedzy pacjentów na satysfakcjonującym poziomie wynosi jedynie 37%.

**Bibliografia:**

1. Cyganek K. (2002). Znaczenie hiperglikemii poposiłkowej w rozwoju powikłań cukrzycy. *Diabetologia Praktyczna*, 3, s. 167- 171.
2. Gugala – Mirosz S. (2018). Cukrzyca - w liczbach. Czy powinniśmy się bać? <https://ncez.pl/choroba-a-dieta/cukrzyca-i-insulinoopornosc/cukrzyca-w-liczbach-czy-powinnismy-sie-bac-> [dostęp: 15.09.2019]
3. Jankowiak B, Krysoń-Serafin M, Krajewska-Kułak E, Popławska E. (2007). Powikłania cukrzycy jako choroby przewlekłej. *Nowiny Lek.* Nr 76, s. 482-484.
4. Jankowiak B., Krysoń-Serafin M., Krajewska-Kułak E., Popławska E. (2007). Powikłania cukrzycy jako choroby przewlekłej. *Nowiny Lekarskie*, 76, 6, s. 482-484.
5. Karłowicz A, Korzon-Burakowska A, Skuratowicz-Kubica A, Kunicka K, Świerblewska E, Burakowska I. (2010). Poziom wiedzy na temat zespołu stopy cukrzycowej u chorych na cukrzycę typu 2. *Diabet Prakt.* nr 11, s. 109-117.
6. Kozek E. (2002). Choroba wieńcowa u chorych na cukrzycę – odrębności kliniczne. *Diabetologia Praktyczna*, 4, s. 198- 199.
7. Krysoń-Serafin M, Jankowiak B, Krajewska-Kułak E, Sierakowska M, Popławska E. (2005). Ocena wiedzy pacjentów na temat cukrzycy typu 2 jako niezbędny element terapii. *Diabet Prakt.* nr 6, s. 7-14.
8. Sieradzki J. (2005). Cukrzyca i zespół metaboliczny. W: Szczeklik A. (red.). *Choroby wewnętrzne*, t. I. Kraków: Wyd. Medycyna Praktyczna, s. 1179-1215.

## **10. OCENA WIEDZY PACJENTÓW Z ZAKRESU POPRAWNEGO WYKONYWANIA INIEKCJI INSULINY ZA POMOCĄ WSTRZYKIWACZY TYPU PEN**

**Natalia Frodyma – Stefanik**

Grupowa Specjalistyczna Praktyka Lekarska  
„Ban-Med” Marek Banaś Spółka Komandytowa  
Dobrzechów 478A, 38 – 100 Strzyżów  
Email: n.frodyma@wp.pl

### **1. Wstęp**

Warunkiem „dobrego prowadzenia” cukrzycy warunkującego długie życie jest przede wszystkim odpowiednie leczenie oraz prowadzenie sukcesywnej profilaktyki występowania powikłań choroby. W większości przypadków podstawą terapii schorzenia, jakim jest cukrzyca jest insulinoterapia polegająca na podskórnej podaży insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen bądź osobistych pomp insulinowych. Odpowiednia terapia pozwala na uzyskiwanie zbliżonych do norm wartości poziomów glukozy w surowicy krwi, odsetków procentowych hemoglobiny glikowanej, cholesterolu wraz z frakcjami LDL i HDL oraz trigójglicerydami, prawidłowego ciśnienia tętniczego krwi jak również nieodnotowywanie występowania powikłań choroby. Jedynie dobrze skonstruowany plan terapeutyczny pozwalający na wielopłaszczyznowe spojrzenie na problem warunkuje odnoszenie sukcesów. Dlatego tak istotnym elementem terapii jest znajomość działania sprzętów służących do insulinoterapii oraz umiejętność wykonywania przez pacjentów iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen, które są nadal najczęściej używanym sprzętem do prowadzenia insulinoterapii szczególnie w gronie osób starszych.

Prawidłowa technika wykonywania iniekcji insuliny jest, więc kluczowy elementem kontroli i terapii cukrzycy. Ponadto prawidłowa techniki wykonywania iniekcji za pomocą wtrzykiwaczy pozwala zapobiegać licznym powikłaniom, spośród których można wyróżnić hipoglikemię, hiperglikemię oraz lipohipertrofię. Zazwyczaj początkowa faza leczenia cukrzycy opiera się o wykonywanie iniekcji insuliny oraz podaż doustnych środków o działaniu hipoglikemizującym. Jednakże, kiedy sposób ten nie przynosi zamierzonych efektów w formie obniżenia poziomu glikemii do zalecanych wartości wówczas rezygnuje się z podaży środków doustnych na rzecz prowadzenia insulinoterapii, która najczęściej przyjmuje formę 2 – 3 wstrzyknięć na dobę. Należy jednak uwzględnić fakt, iż u części osób dorosłych chorujących na cukrzycę typu 2 od samego początku trwania choroby zachodzi konieczność leczenia insuliną. Podstawą do takiego działania jest występowanie przeciwwskazań do stosowania doustnych leków obniżających poziom cukru we krwi, rozpoznanie cukrzycy w nagłych stanach zagrażających życiu tj. udar, zawał serca lub w przypadku, kiedy poziom glikemii przygodnej w surowicy krwi przekraczają wartości 270 mg% [Wierusz-Wysocka, 2018].

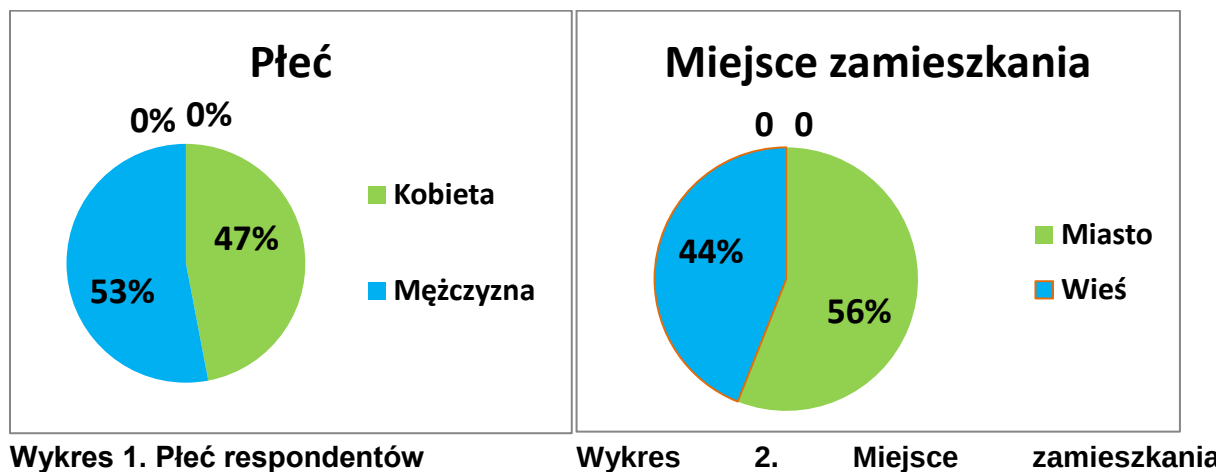
Dlatego tak ważnym elementem insulinoterapii jest ocena wiedzy pacjentów z zakresu poprawnego wykonywania iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen, które było zagadnieniem poruszonym w niniejszej pracy.

## 2. Materiał i metoda

Jak wspomniano powyżej celem niniejszego artykułu była ocena wiedzy pacjentów z zakresu poprawnego wykonywania iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen. Badania ilościowe zostały przeprowadzone na przełomie miesięcy maj – czerwiec bieżącego 2019 roku i nosiły znamiona badań empirycznych. Materiał badawczy stanowiły autorskie kwestionariusze ankiet dotyczące poruszanego zagadnienia uzupełnione przez 200 pacjentów cierpiących z powodu cukrzycy typu II zamieszkujących województwo podkarpackie. Próba miała charakter reprezentatywny. Grupa ujęta w niniejszym badaniu dobrana została na podstawie kryteriów włączenia, którymi były: chęć wzięcia udziału w badaniu, prowadzenia terapii cukrzycy za pomocą podaży insuliny z wykorzystaniem wstrzykiwaczy typu pen, rozpoznanie cukrzycy typu 2 oraz pełnoletniość. Grupa respondentów składała się z kobiet i mężczyzn powyżej 18 roku życia. Metodą przeprowadzania badania była metoda sondażu diagnostycznego. Narzędziem badawczym był autorski kwestionariusz ankiety składający się z dwóch części: części ogólnej zawierającej pytania pozwalające na dokonanie charakterystyki socjo – demograficznej badanej grupy oraz części właściwej składającej się z pytań pozwalających na ocenę poziomu wiedzy pacjentów na temat poprawnego wykonywania iniekcji insuliny wstrzykiwaczami typu pen.

## 3. Wyniki i dyskusja

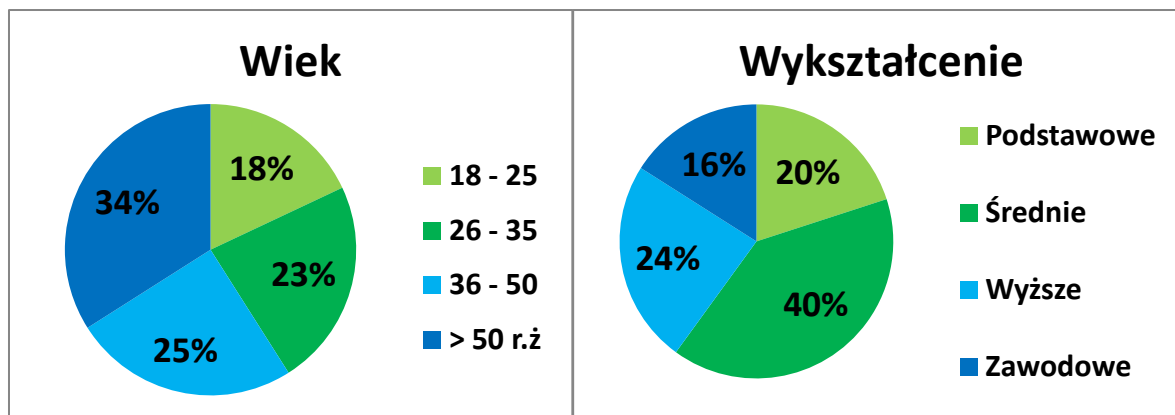
Pierwszym elementem prezentacji wyników niniejszego badania jest przedstawienie metryczki pozwalającej na dokonanie analizy socjo – demograficznej grupy respondentów. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach poniżej.



Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na wykresach powyżej niespełna połowa respondentów biorących udział w badaniu wskazała, że są mężczyznami (53%) natomiast mniej niż połowa respondentów, jako przyznała, że jest płci żeńskiej (47%). Kolejne pytanie zawarte w kwestionariuszu ankiety dotyczyło miejsca zamieszkania osób biorących w badaniu. Jak widać na wykresie (wyk. 2) ponad połowa osób zamieszkuje miasto (56%) natomiast mniejsza część badanych, jako swoje miejsce zamieszkania wskazała wieś – 44%. Kolejnym

elementem części ogólnej badania było poddanie analizie wieku oraz wykształcenia respondentów, wyniki przedstawiono poniżej.

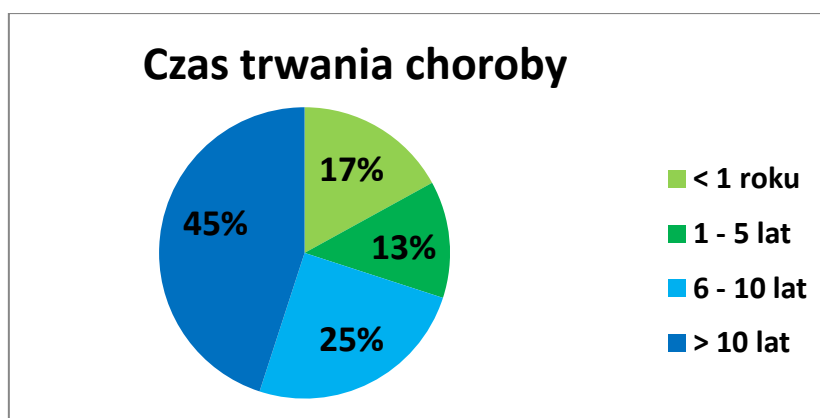


**Wykres 3. Wiek respondentów**

**Wykres 4. Wykształcenie respondentów**

Źródło: opracowanie własne.

Dane przedstawione na wykresach powyżej jasno wykazują, że największa grupa respondentów wskazywała na swój wiek powyżej 50 roku życia (34%). Kolejno osoby biorące udział w badaniu i mieszczące się w kategorii wiekowej 36 – 50 lat stanowiły drugą, co do liczebności grupę respondentów (25%). Niecała ¼ osób biorących udział w badaniu (23%) wskazała na swój wiek w przedziale 26 – 35 lat, natomiast najmniejszą grupę osób stanowiły osoby, które jako swój wiek wskazywały 18 – 25 lat. W zakresie charakterystyki socjo – demograficznej badanej grupy pozostawało również ustalenie wykształcenia respondentów, spośród, których najliczniejszą grupę stanowiły osoby z wykształceniem średnim (40%). Zdecydowanie mniejszą grupą oscylującą na poziomie 24% stanowiły osoby, które posiadają wykształcenie wyższe. Kolejno we wskazaniach respondentów pojawiały się wskazania na wykształcenie podstawowe (20%) oraz zawodowe (16%).



**Wykres 5. Czas trwania choroby**

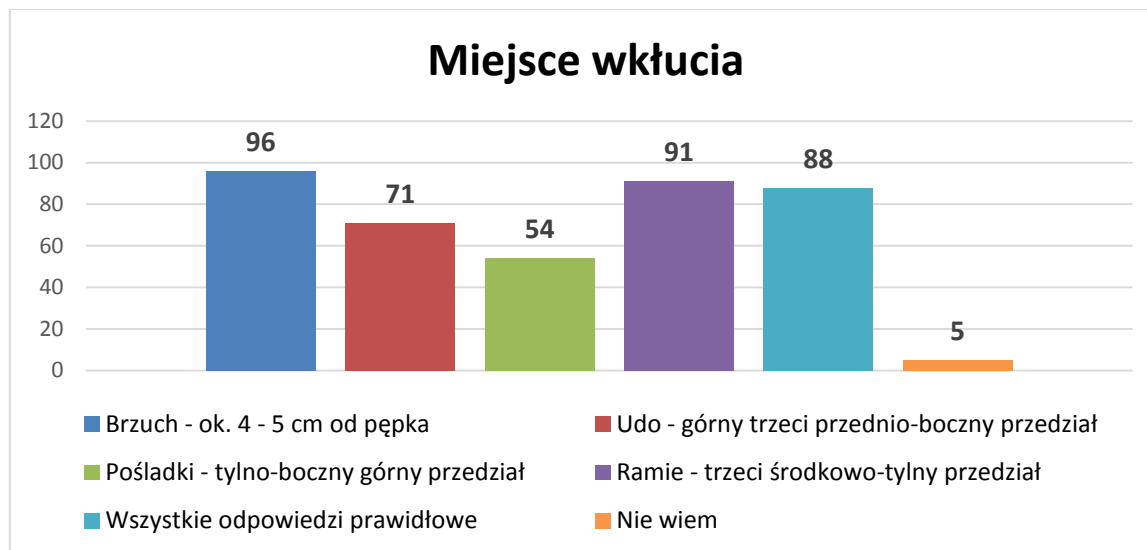
Źródło: opracowanie własne.

Ostatnim elementem charakterystyki badanej grupy było określenie kwestii tego jak długo respondenci chorują na cukrzycę typu 2. Jak widać na wykresie powyżej najliczniejsza grupa ankietowanych wskazała na fakt, iż chorują na cukrzycę dłużej niż 10 lat (45%).



Kolejno dokładnie  $\frac{1}{4}$  respondentów twierdzi, że czas trwania ich choroby mieści się w przedziale 6 – 10 lat. Mniej liczna część badanej grupy (17%) choruje krócej niż 1 rok. Ostatnią, a zarazem najmniej liczną grupę stanowią osoby, które przyznają, że czas trwania ich choroby zawiera się w przedziale trwania 1 – 5 lat.

Po zakończeniu analizy części ogólnej ankiety należy przejść kolejno do przedstawienia wyników uzyskanych na kolejnych etapach badania tj. etapie pytań dotyczących oceny wiedzy respondentów na temat prawidłowego wykonywania iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen.

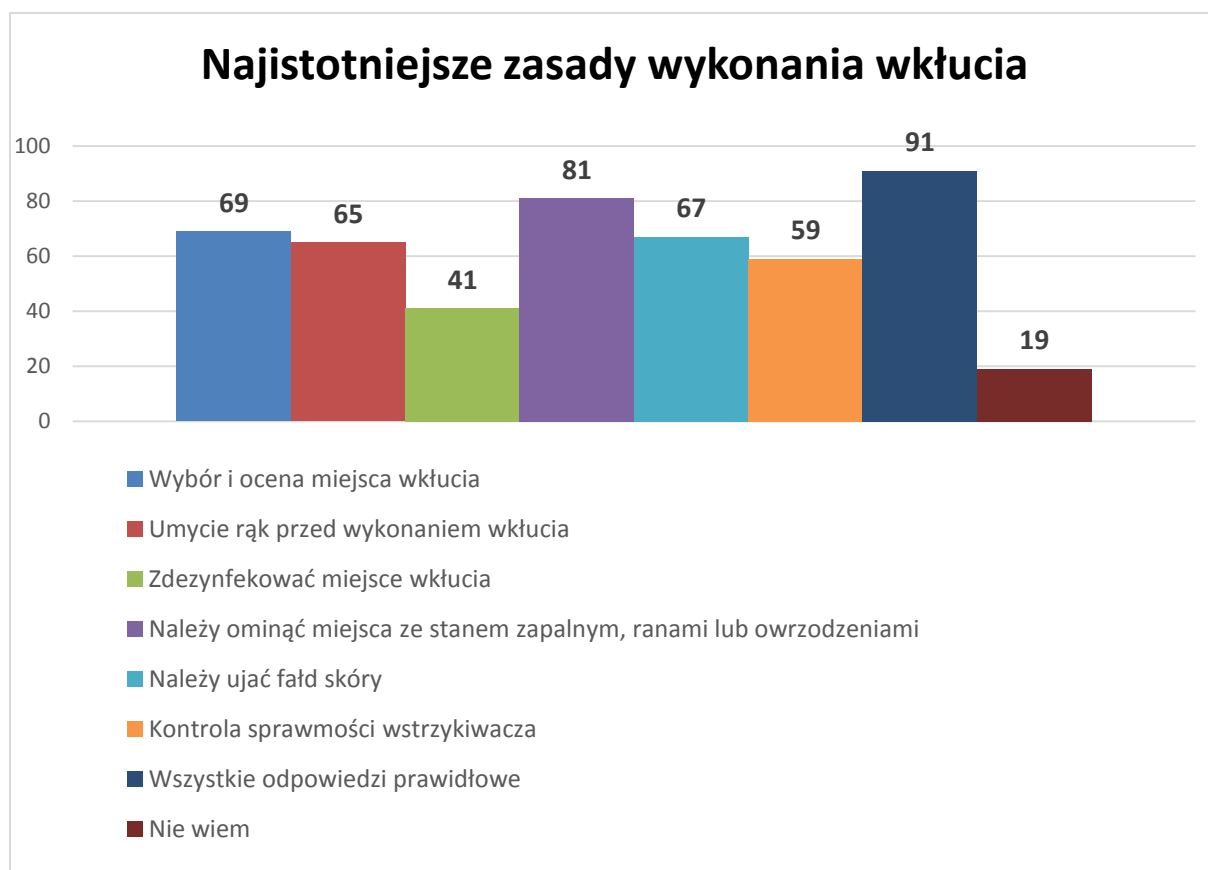


**Wykres 6. Miejsca wkłucia**

Źródło: opracowanie własne.

\* uzyskane wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość podania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Pierwszym pytaniem, które zostało zawarte w części właściwej kwestionariusza ankiety było pytanie dotyczące miejsca wkłuć odpowiednich do podaży insuliny. Jak widać na wykresie najczęściej wskazywanym przez respondentem miejscem wkłucia jest brzuch w odległości około 4 – 5 cm od pępka, które wskazało aż 96% ankietowanych. Kolejnym miejscem, które było często wskazywane przez osoby biorące udział w badaniu było ramię w jego trzecim środkowo-tylnym przedziale (91%). Ponadto warto wspomnieć, że respondenci często wskazywali na zasadność wykonywania iniekcji insuliny w udu w jego górnym trzecim przednio-bocznym przedziale (71%). Najrzadziej wskazywanym przez respondentów (54%) miejscem wykonywania wkłucia były pośladki w części tylny-bocznego górnego przedziału. Istotnym jest zaznaczenie, że 88% ankietowanych twierdziło zgodnie, że wszystkie wymienione w kwestionariuszu ankiety miejsca wkłucia są poprawne. Bardzo znikoma część respondentów (5%) przyznało, że nie wie, które miejsca ciała są najbardziej odpowiednie do wykonywania iniekcji wstrzykiwaczami typu pen.



**Wykres 7. Najistotniejsze zasady wykonania wklucia**

Źródło: opracowanie własne.

\* uzyskane wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość podania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Kolejne pytanie zawarte w ankiecie dotyczyło zagadnienia, jakim były najistotniejsze zasady wykonania wklucia wskazane przez osoby biorące udział w badaniu. Jak widać na wykresie powyżej najliczniejsza grupa badanych (91%) uważa, że wszystkie wskazane przez autora badania zasady wykonania wklucia są istotne. Kolejno respondenci wskazują na zasadność twierdzenia, że ważną zasadą wykonania iniekcji insuliny jest omijanie miejsc ze stanem zapalnym, ranami bądź występowaniem owrzodzeń (81%). Liczny odsetek respondentów uważa również, że istotny jest wybór oraz ocena miejsca wklucia (69%), ujęcie fałdu skórno (67%), umycie rąk przed wykonaniem wklucia (65%) oraz dokonanie oceny sprawności wstrzykiwacza (59%). Ponadto niespełna połowa ankietowanych (41%) udzieliła odpowiedzi wskazującej na fakt, że istotną zasadą wykonania iniekcji insuliny wstrzykiwaczem jest dezynfekcja miejsca wklucia. Niespełna 1/5 badanych osób przyznała, że nie wie, jakie są istotne zasady obowiązujące przy wykonaniu wklucia. Dane te są dość niepokojące zważywszy na fakt, że edukacja dotycząca poprawności podania insuliny jest podstawą skutecznej insulinoterapii.

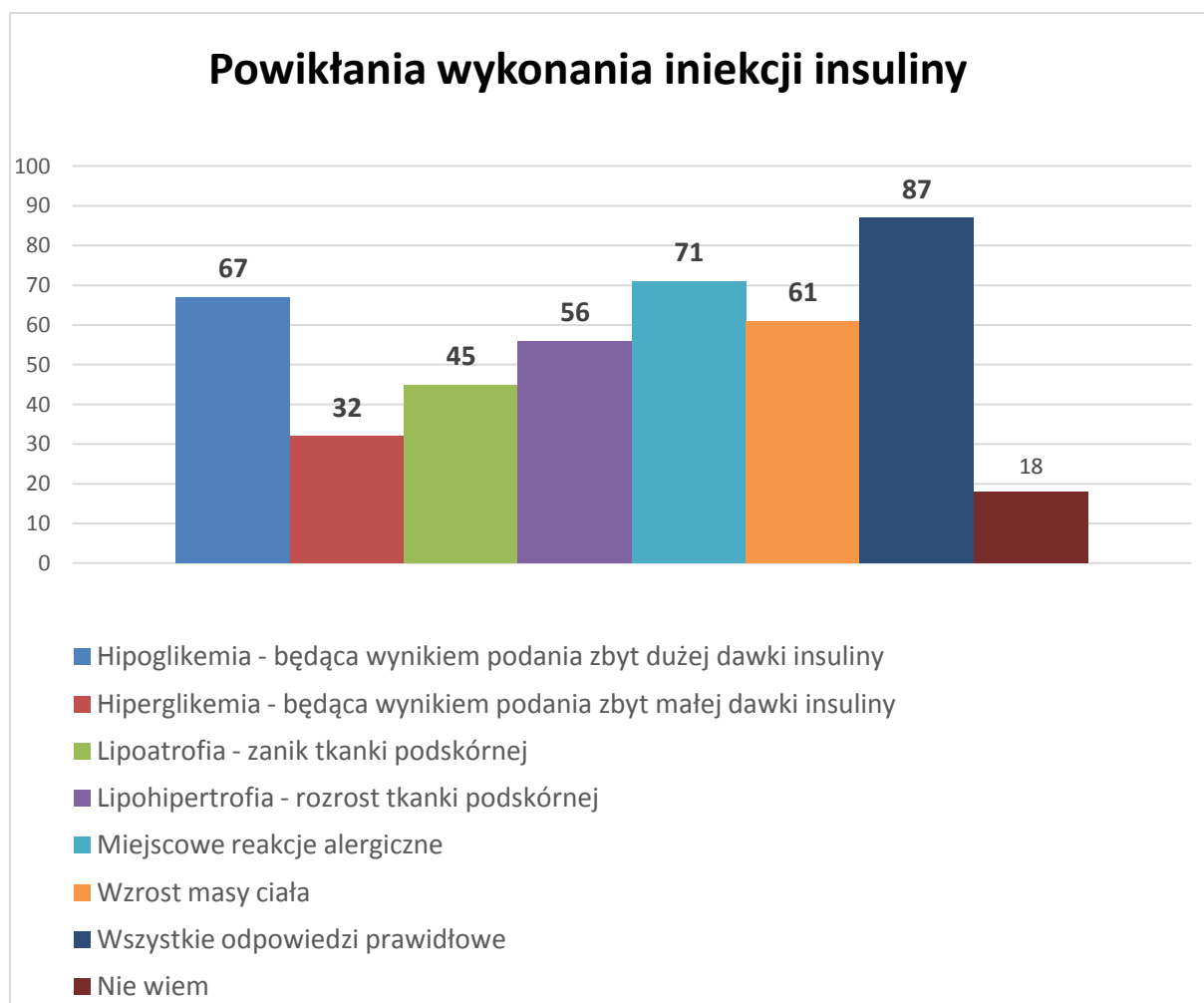


**Wykres 8. Zasady przygotowania wstrzykiwacza do podania insuliny**

Źródło: opracowanie własne.

\* uzyskane wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość podania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Ważnym elementem prawidłowo prowadzonej insulinoterapii przy pomocy wstrzykiwaczy typu pen są zasady przygotowania wstrzykiwacza do podania insuliny. Jak widać na przedstawionym wykresie największa grupa osób biorących udział w badaniu (89%) uważa, że wszystkie odpowiedzi przedstawione w kwestionariuszu są prawidłowe. Kolejną liczną grupą ankietowanych (78%) twierdzi, że istotną zasadą jest fakt, że po całkowitym wciśnięciu przycisku należy powoli policzyć do 10 przez wyjęciem igły. Ponadto 67% osób wskazuje na zasadność przytrzymania przycisku dozującego aż do momentu całkowitego podania zamierzonej dawki insuliny oraz w momencie, kiedy mówimy o mieszanekach insuliny koniecznym jest „wymieszanie” zawartości wkładu. Mniej niż połowa osób, które udzielały odpowiedzi na pytania twierdziły, że istotną zasadą jest kontrola drożności wstrzykiwacza (42%) oraz każdorazowa wymiana igły po wykonaniu wklucia (38%). Ponadto niespełna ¼ osób biorących udział w badaniu (23%) przyznaje, że nie zna zasad przygotowania wstrzykiwacza do podania insuliny.



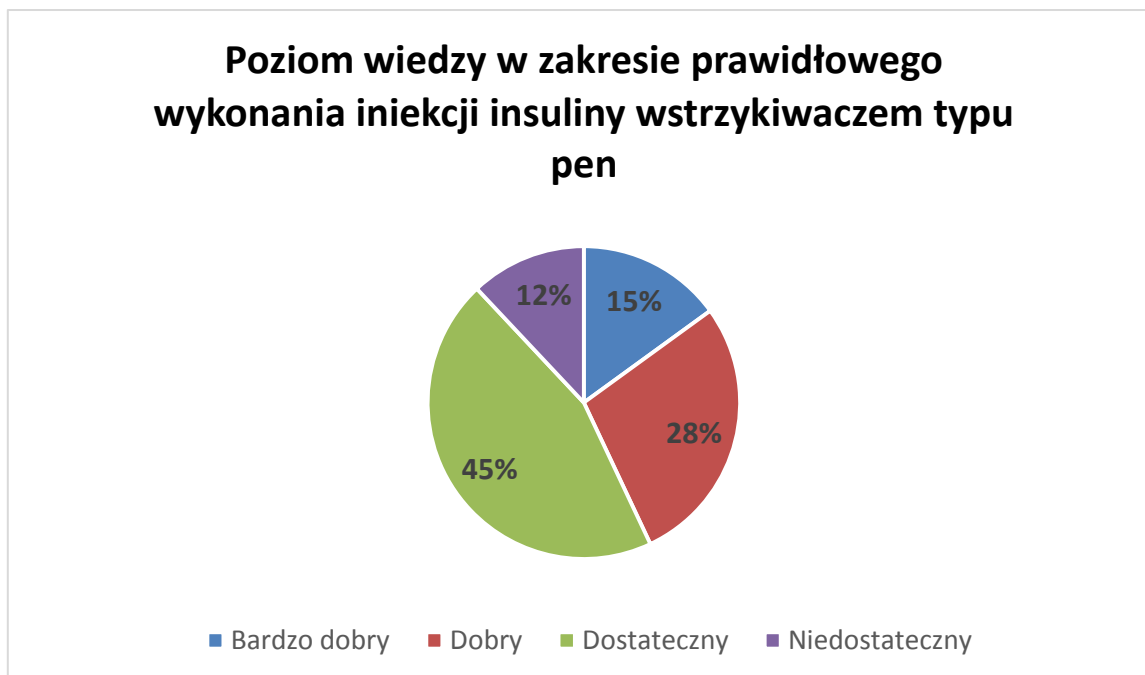
**Wykres 9. Powikłania wykonania iniekcji insuliny**

Źródło: opracowanie własne.

\* uzyskane wyniki nie sumują się do 100% ze względu na możliwość podania przez respondentów więcej niż jednej odpowiedzi

Skutkiem błędnie wykonywanych iniekcji insuliny z wykorzystaniem wstrzykiwaczy typu pen jest występowanie szeroko pojętych powikłań, których zagadnienie zostało poruszone w niniejszym badaniu. Najliczniejszy odsetek osób biorących udział w badaniu wskazała na zasadność wszystkich twierdzeń z zakresu powikłań wykonywania wstrzyknięć insuliny (87%). Kolejno duża liczba respondentów (71%) uważa, że powikłaniem wiążącym się z insulinoterapią na podstawie wstrzyknięć insuliny są miejscowe reakcje alergiczne. Ponadto często wskazywanym w badaniu powikłaniem wykonywania wstrzyknięć insuliny jest hipoglikemia będąca wynikiem podania zbyt dużej dawki insuliny, którą wskazało 67% respondentów. Znaczna część osób biorących udział w badaniu (61%) wskazała na zwiększenie masy ciała będącej skutkiem insulinoterapii. Ponad połowa (56%) ankietowanych uważa, że powikłaniem wiążącym się z tą techniką insulinoterapii jest lipohipertrofia, która rozumiana jest, jako rozrost tkanki podskórnej. Najrzadziej wskazywanymi przez respondentów odpowiedziami były odpowiedzi dotyczące występowania lipoatrofi rozumianej, jako zanik tkanki podskórnej (45%) oraz hiperglikemii, która jest wynikiem podania zbyt dużych dawek insuliny (32%). Niespełna 1/5 osób biorących udział w badaniu (18%) przyznaje, że nie zna powikłań, które mogą wystąpić

w trakcie insulinoterapii opartej o wstrzykiwania insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen.



**Wykres 10. Poziom wiedzy w zakresie prawidłowego wykonania iniekcji insuliny wstrzykiwaczem typu pen**

Źródło: opracowanie własne.

Niniejsze badanie miało na celu określenie poziomu wiedzy pacjentów w zakresie holistycznego podejścia do poprawności wykonywania iniekcji insuliny z pomocą wstrzykiwaczy typu pen. Dlatego też ostatnim pytaniem ujętym w autorskim kwestionariuszu ankiety było pytanie dotyczące subiektywnej oceny wiedzy respondentów z zakres omawianego zagadnienia. Jak widać na wykresie powyżej najliczniejsza grupa pacjentów (45%) stanowiąca niespełna połowę badanej grupy określa poziom swojej wiedzy na badany temat na poziomie dostatecznym. Kolejno grupa 28% osób biorących udział w badaniu przyznaje, że poziom ich wiedzy zawiera się na poziomie dobrym. Kolejno 15% osób przyznaje, że ich poziom wiedzy osiągnął zadowalający poziom określany przez respondentów, jako bardzo dobry. Bardzo istotna zmienna określała, że najmniej liczna grupa osób badanych (12%) określa swoją wiedzę na poziomie niedostatecznym.

### 3. Wnioski

Wraz ze wzrostem zachorowań na cukrzycę na całym świecie systematycznie zwiększa się również liczba pacjentów leczonych za pomocą insulinoterapii, która podyktowana jest głównie wzrostem częstotliwości zachorowań na cukrzycę typu 1 oraz coraz szybszym wprowadzaniem insulinoterapii w cukrzycy typu 2. Jak sama choroba również sposób jej leczenia niesie za sobą szereg powikłań, które są wynikiem niepoprawnego wykonywania iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen. Najczęściej nieścisłości i błędy w stosowaniu wstrzykiwaczy wynikają z deficytu wiedzy pacjentów z tego zakresu. Najczęstszymi typowymi dla insulinoterapii powikłaniami są

wzrost masy ciała, hipoglikemia. Rzadziej występującymi powikłaniami są tzw. powikłania miejscowe takie jak odczyny alergiczne, rozrost podskórnej tkanki tłuszczowej tj. lipohipertrofia oraz zanik podskórnej tkanki tłuszczowej tj. lipoatrofia. Wszystkie wymienione powikłania zostały wskazane również przez osoby biorące udział w badaniu [Pawłowski i wsp., 2012].

Podstawowymi zasadami, którymi powinni kierować się pacjenci prowadzący insulinoterapię za pomocą wstrzykiwaczy typu pen są:

- znajomość obsługi sprzętu do iniekcji insuliny;
- kontrola sprawności wstrzykiwaczy każdorazowo przed wykonaniem wkucia;
- odpowiedni wybór oraz pielęgnacja wkłucia, która opiera się również o samodzielne badanie miejsca wkłucia pod kątem występowania miejscowych powikłań terapii;
- prawidłowa technika wykonania iniekcji w tym również z uwzględnieniem rotacji miejsc iniekcji, wkłucia w fałd skóry pod odpowiednim kątem oraz mieszanie mętnej insuliny;
- bezpieczna każdorazowa wymiana zużytych igieł;
- przystosowanie psychologiczne pacjenta z uwzględnieniem edukacji [Davidson, 2008; Klonoff, 2001].

Wyniki uzyskane na drodze niniejszego badania wskazują na fakt, że duży odsetek osób biorących udział w badaniu posiada niezadowalający poziom wiedzy w zakresie poprawności wykonywania iniekcji insuliny za pomocą wstrzykiwań typu pen. Koniecznym jest, więc dalsze drążenie tematu prowadzące do określenia szczegółowych zakresów deficytu wiedzy pacjentów oraz opracowanie sukcesywnego planu edukacji pozwalającej na zniwelowanie występujących deficytów wiedzy oraz osiągnięcie przez respondentów akceptowalnego poziomu wiedzy w badanym zakresie.

### **Bibliografia:**

1. Davidson M. (2008). No need for the needle (at first). *Diabetes Care*, nr 31, s. 2070-2071.
2. Klonoff DC. (2001). The pen is mightier than the needle (and syringe). *Diab Tech Ther*, nr 3, s. 631 - 633.
3. Pawłowski M., Gilewska M., Czupryniak L. (2012). Lipohipertrofia – skórne powikłanie insulinoterpii. *Diabetologia Kliniczna*, t. 1, nr 2, s. 61 – 65.
4. Wierusz-Wysocka B. (2018). *Cukrzyca typu 2 poradnik dla pacjentów*. Servier Polska, s. 10 – 18.

## 11. OPIEKA NAD PACJENTEM Z CUKRZYCĄ – STUDIUM PRZYPADKU

**Natalia Frodyma – Stefanik**

Grupowa Specjalistyczna Praktyka Lekarska  
„Ban-Med” Marek Banaś Spółka Komandytowa  
Dobrzechów 478A, 38 – 100 Strzyżów  
Email: n.frodyma@wp.pl

### 1. Wstęp

Analizując tematykę powiązaną z jednostką chorobową, jaką jest cukrzyca oraz konstruując plan opieki w oparciu o studium przypadku prawidłowym będzie początkowe odniesienie się do definicji choroby, która opracowana pod koniec XX wieku określa cukrzycę (łac. *diabetes mellitus*), jako grupę chorób metabolicznych, których wspólną charakterystyczną cechą jest hiperglikemia, czyli podwyższony poziom glukozy we krwi, który wynika z defektu wydzielania insuliny przez komórki  $\beta$  trzustki bądź też nieodpowiedniej reakcji organizmu człowieka na działanie insuliny, co nosi odpowiednią nazwę insulinooporności. Należy również wspomnieć, że obie te przypadłości mogą występować jednocześnie. Przewlekła długotrwała hipoglikemia wiąże się niejednokrotnie z zaburzeniem czynności, uszkodzeniem bądź niewydolnością narządową ze szczególnym zwróceniem uwagi na narząd wzroku, nerki, serce oraz naczynia krwionośne [Włodarek, 2014].

Jednym z najważniejszych elementów wczesnego wykrywania cukrzycy jest poprawne rozpoznawanie objawów, które wskazywać mogą na możliwość występowania choroby. Wśród najbardziej powszechnych symptomów wyróżnia się:

- wzmożone pragnienie;
- zwiększoną diurezę – tzw. wielomocz;
- niewytłumaczoną utratę masy ciała niezwiązaną z zamierzonym odchudzaniem;
- pozostałe mniej typowe objawy jak: osłabienie, wzmożona senność, brak koncentracji, stany zapalne narządów moczowo-płciowych, zmiany ropne na skórze, wzmożone pocenie się [PTD, 2019].

Obecnie mówi się o „epidemii cukrzycy”, która związana jest z coraz częstszym występowaniem cukrzycy podyktowanej wpływem czynników środowiskowych. Coraz częściej na cukrzycę typu 2 zapadają nie tylko osoby starsze, ale również osoby młode, co nieprzychylnie rokuje na przyszłość gdyż wczesne ujawnienie się cukrzycy typu 2 predysponuje do jej bardziej agresywnego przebiegu oraz zwiększonego ryzyka występowania powikłań sercowo-naczyniowych pojawiających się już u osób w młodym wieku [Małecka-Tendera, 2005].

Pierwszym etapem niniejszej pracy będzie przedstawienie opisu przypadku w oparciu, o który prowadzone będzie studium przypadku z wyłonieniem diagnoz pielęgniarских stanowiących podwalinę do opracowania indywidualnego planu pielęgnowania pacjenta wraz z prowadzeniem edukacji zdrowotnej w formie interwencji pielęgniarских.

## OPIS PRZYPADKU

Pacjentka X.Y., lat 21, aktywna zawodowo, niezamężna, nieposiadająca potomstwa, diagnozowana przez lekarza Podstawowej Opieki Zdrowotnej (POZ) z powodu utrzymującej się do około 3 tygodni poliurii (wielomocz), niekontrolowanych wahań masy ciała, które charakteryzowały się zwiększeniem masy ciała o około 6 kg w ciągu ostatniego pół roku oraz kolejnym powolnym spadkiem masy ciała bez zamierzonego odchudzenia, zaburzeń miesiączkowania oraz uogólnionego osłabienia i złego samopoczucia. W ramach opieki POZ u pacjentki wykonano badania podstawowe krwi, które wykazały nieprawidłowe wartości przygodnej glikemii w surowicy krwi na czczo – 240 mg/dl. Pacjentkę skierowano na oddział diabetologiczny z podejrzeniem cukrzycy celem dalszej diagnostyki oraz leczenia.

Pacjentka przyjęta na oddział w stanie ogólnym dobrym. W wywiadzie występujące od 3 tygodni ogólne osłabienie, wzmożone pocenie się, polidypsja, poliuria, zaburzenia miesiączkowania oraz spadek masy ciała o około 3 kg. W trakcie przyjęcia na oddział diabetologiczny stężenie glukozy w surowicy krwi wynosiło 260 mg/dl bez towarzyszących zaburzeń gospodarki kwasowo-zasadowej. Wywiad rodzinny pacjentki obciążony w kierunku cukrzycy typu 2, chorób nowotworowych, nadciśnienia tętniczego oraz nadwagi. Pacjentka wykazywała prowadzeniem niepoprawnej higieny życia związanej z wykonywanym zawodem pracownika biurowego oraz studiowaniem w trybie weekendowym, co przekładało się na prowadzenie siedzącego trybu życia, znikomą aktywność fizyczną, duże obciążenie organizmu poprzez długie godziny pracy oraz narażenie na stres jak również złe nawyki żywieniowe. Pacjentka przyznała, że jada nieregularnie, w większości wysoko przetworzone gotowe do spożycia produkty oraz pija duże ilości kawy (powyżej 4 filiżanek dziennie), co przekładało się również na występowanie objawów dyspeptycznych. Pacjentka nie zgłaszała innych niepokojących objawów ze strony pozostałych układów.

W trakcie przyjęcia do oddziału u pacjentki dokonano badania przedmiotowego, które wykazało występowanie u pacjentki nadwagi podpartej wynikiem wskaźnika masy ciała BMI (Body Mass Index) równym 26,45 kg/m<sup>2</sup>, z masą ciała równą 72 kg przy wzroście 165 cm. Ciśnienie tętnicze krwi oznaczono na poziomie 130/80 mmHg, tętno 72 ud/min. Pacjentka wspomniała również o białych rozstępach na skórze brzucha oraz pośladków, które pojawiły się w trakcie ostatniego pół roku, kiedy to w szybkim tempie przybrała na wadze. U pacjentki wykonano badania biochemiczne poprzedzone wyrównaniem dobowego profilu glikemii, których wyniki przedstawiono w tabeli poniżej.



**Tabela 1. Wyniki badań biochemicznych**

| Parametry biochemiczne               | Wynik      |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Glikemia na czczo</b>             | 230 mg/dl  |
| <b>Hemoglobina glikowana – HbA1C</b> | 10,9 %     |
| <b>C-peptyd na czczo</b>             | 1,68 md/dl |
| <b>Cholesterol całkowity</b>         | 130 md/dl  |
| <b>Cholesterol frakcji LDL</b>       | 89 mg/dl   |
| <b>Cholesterol frakcji HDL</b>       | 25 mg/dl   |
| <b>Triglicerydy</b>                  | 81 mg/dl   |
| <b>AspAT</b>                         | 29 j./l    |
| <b>AIAT</b>                          | 89 j./l    |
| <b>Kwas moczowy</b>                  | 5,1 md/dl  |
| <b>TSH – tyreotropina</b>            | 2,7 mU/l   |

Źródło: opracowanie własne na podstawie historii choroby pacjentki.

W przeprowadzonych badaniach nie wykazano obecności przeciwciał odpowiedzialnych za destrukcję komórek  $\beta$  trzustki. W dalszej diagnostyce u pacjentki wykonano badanie ultrasonograficzne jamy brzusznej (USG), które wskazało na typowe zmiany stłuszczenia wątroby tj. powiększony narząd o zwiększonym echu oraz zwiększonej spoistości echostruktury. Badanie elektrokardiograficzne serca (EKG) nie wykazało żadnych nieprawidłowości w przebiegu pobudzeni. Badanie echokardiograficzne pozwoliło na wykluczenie cech wady serca oraz występowania kardiomiopatii. Badanie okulistyczne potwierdzało podaną przez pacjentkę wadę wzroku rzędu – 1,0 dioptrii oraz konieczność noszenia okularów korekcyjnych.

Pierwsze dni hospitalizacji pacjentki opierały się o prowadzenie dobowego profilu glikemii, podaż 45 jednostek insuliny na dobę przez pierwsze trzy doby hospitalizacji. W 3 dobie pobytu na oddziale do leczenia włączono preparat metforminy oraz uzupełniając dietę o niskim indeksie glikemicznym zgodną z zaleceniami dietetycznymi.

W trakcie odbywającej się po 3 miesiącach kontroli w poradni diabetologicznej u pacjentki zaobserwowano poprawę samopoczucia i ogólnego stanu zdrowia podyktowaną obniżeniem wartości stężeń glikemii na czczo rzędu 100 – 120 mg/dl, co warunkowało odstawienie insuliny oraz ustalenie leczenia opartego o podać preparatu metforminy w dawce 850 mg w sekwencji 2 x dobę. U pacjentki odnotowano spadek masy ciała, który w przełożeniu na wskaźnik BMI dawał wynik 26,20 kg/m<sup>2</sup>. Również badania biochemiczne krwi u pacjentki uformowały się, a stężenie hemoglobiny glikowanej wynosiło HbA1c – 6,3%.

Pacjentka w trakcie całej hospitalizacji oraz w ramach kontroli w poradni diabetologicznej pozostała pod stałą opieką pielęgniarską, która opierała się na rozpoznawaniu i identyfikowaniu problemów występujących u pacjentki celem formułowania diagnoz pielęgniarskich stanowiących podstawę do podejmowania interwencji pielęgniarskich mających na celu osiągnięcie zamierzonych efektów w opiece nad pacjentką. Sformułowane diagnozy pielęgniarskie oraz podjęte interwencje zostały przedstawione w tabelach poniżej.

## 2. Materiał i metody

Metoda badawcza jest niczym innym jak sposobem pozwalającym na poznawanie problemu, który nas nurtuje w pewien określony sposób. Metoda badawcza jest niezbędnym sposobem na uzyskanie materiały naukowego koniecznego do prowadzenia badania [Nowak, 2008; Lenartowicz, Kózka, 2010].

W niniejszej pracy wykorzystano dwie metody badawcze, którymi są: metod indywidualnego przypadku nazywana również tożsamo z tytułem pracy studium indywidualnego przypadku oraz metodę analizy dokumentacji medycznej. Celem gromadzenia materiału badawczego posłużono się następującymi technikami badawczymi: obserwacją, wywiadem, analizą dokumentów oraz pomiarem.

Materiał wykorzystany w pracy stanowiła dokumentacja medyczna pacjentki X.Y. przebywającej na oddziale diabetologii na przełomie miesięcy marzec – kwiecień bieżącego 2019 roku z powodu podejrzenia cukrzycy typu 2. Materiał pomocniczy w badaniu stanowiła również karta obserwacji pacjentki z ostatnich sześciu miesięcy przed rozpoczęciem hospitalizacji prowadzona przez lekarza pierwszego kontaktu w poradni Podstawowej Opieki Zdrowotnej.

Pacjentka została poinformowana o celu, przebiegu oraz anonimowości badania, na które wyraziła zgodę.

## 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki niniejszego badania zostaną przedstawione w formie diagnoz i interwencji pielęgniarских z uwzględnieniem wszystkich podjętych działań oraz finalnego efektu pracy z pacjentką. Działania podejmowane w pracy z pacjentką będą miały głównie charakter edukacyjny, co wynika z poziomu wiedzy pacjentki na temat jednostki chorobowej, poprawnego wykonywania pomiarów glikemii we krwi włosniczkowej, podaży insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen oraz zmiany codziennych przyzwyczajeń na rzecz zdrowego stylu życia.

### **W opiece nad pacjentką sformułowano kolejno 6 diagnoz pielęgniarских, które zdefiniowane były następująco:**

1. Ryzyko wystąpienia powikłań chorobowych o charakterze ostrym lub przewlekłym zagrażających zdrowiu i życiu pacjentki, wśród których wyróżnić można: hipoglikemię, hiperglikemię, kwasicę cukrzycową, kwasicę ketonową, choroby układu sercowo – naczyniowego, nefropatie cukrzycowe.
2. Złe samopoczucie związane z występowaniem objawów cukrzycy typu 2 tj. poliuria, polidypsja, wzmożone pocenie się, ogólne osłabienie organizmu.
3. Deficyt wiedzy pacjentki na temat etiologii, przyczyn, objawów oraz istoty jednostki chorobowej, jaką jest cukrzyca typu 2.
4. Deficyt wiedzy pacjentki w zakresie prawidłowej terapii cukrzycy typu 2 tj. prowadzenia skutecznej samokontroli glikemii, zasad stosowania przyrządów leczniczych (wstrzykiwaczy typu pen) oraz podaży insuliny, leczenia objawów niepożądanych.
5. Deficyt wiedzy pacjentki z zakresu zmiany stylu życia tj. stosowania diety dostosowanej do istniejącej jednostki chorobowej oraz wprowadzenia do planu dnia aktywności fizycznej.

6. Deficyt wiedzy pacjentki na temat negatywnego wpływu pobocznych czynników takich jak nieprawidłowa waga oraz negatywny styl życia na postępowanie choroby oraz proces leczenia.

### **Uczestnicy edukacji i warunki wstępne**

Uczestniczką edukacji była 21 – letnia pacjentka X.Y. skierowana do oddziału diabetologii z podejrzeniem cukrzycy typu 2 przez lekarza medycyny rodzinnej. Pacjentka w wywiadzie rodzinnym obciążona genetycznie w kierunku cukrzycy typu 2, chorób nowotworowych, nadciśnienia tętniczego oraz nadwagi. Według informacji przekazanych przez pacjentkę oraz lekarza kierującego od 3 tygodni utrzymywały się następujące objawy: ogólne osłabienie, wzmożone pocenie się, polidypsja, poliuria, zaburzenia miesiączkowania oraz spadek masy ciała o około 3 kg. Podczas przyjęcia na oddział diabetologii stężenie glikemii w surowicy krwi wynosiło 260 mg/dl, masa ciała była równa 72 kg przy wzroście 165 cm, co pozwoliło na obliczenie wskaźnika masy ciała na poziome BMI = 26,45 kg/m<sup>2</sup>. Leczenie pacjentki opierało się o początkowe wdrożenie leczenia insuliną podawaną w formie wstrzykiwań oraz kolejno włączenie preparatu metforminy w 3 dobie hospitalizacji jak również zalecenie stosowania diety o niskim indeksie glikemicznym po konsultacji z dietetykiem.

### **Cele działań pielęgniarских**

W pierwszej kolejności celem podejmowanych działań pielęgniarских w opiece nad pacjentką było zminimalizowanie ryzyka wystąpienia powikłań chorobowych o charakterze ostrym lub przewlekłym jak również poprawę samopoczucia pacjentki poprzez zminimalizowanie bądź całkowite wyeliminowanie towarzyszących objawów cukrzycy typu 2.

Działaniami, które zostały podjęte w opiece nad pacjentką były działania o charakterze edukacyjnym, które miały na celu:

1. Przedstawienie oraz wyjaśnienie pacjentce etiologii, przyczyn powstawania, objawów oraz istoty jednostki chorobowej, jaką jest cukrzyca typu 2 jak również wyartykułowania możliwych następstw oraz powikłań wczesnych i późnych choroby.
2. Przekazanie pacjentce wiedzy na temat genetycznych czynników predysponujących do wystąpienia schorzenia jak również uświadomienie pacjentki w zakresie indywidualnego obciążenia genetycznego.
3. Przedstawienie możliwości modyfikacji czynników predysponujących do powstawania oraz rozwoju choroby.
4. Przedstawienie zasad skutecznej samokontroli glikemii tj. systematycznego dokonywania pomiarów glikemii we krwi włosniczkowej na czczo i w określonych godzinach po posiłku, umiejętności odniesienia uzyskanych wyników do obowiązujących norm, prowadzenie dzienniczka kontroli glikemii.
5. Nauka umiejętności poprawnego posługiwania się jak również zasad działania sprzętów wchodzących w skład insulinoterapii, w tym przypadku wstrzykiwaczy typu pen.
6. Przedstawienie możliwych działań i skutków niepożądanych nieprawidłowego prowadzenia insulinoterapii.

7. Przekazanie pacjentce zasadności wprowadzenia nefarmakologicznych metod pozwalających na utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi tj. dietoterapia, wysiłek fizyczny.
8. Zaprezentowanie metod modyfikacji stylu życia pacjentki, które oddziaływać będą na rozwój choroby oraz możliwość wystąpienia powikłań.
9. Przedstawienie pacjentce zasadności zmiany stylu życia poprzez wprowadzenie do codziennego planu dnia aktywności fizycznej oraz zmiany nawyków żywieniowych.
10. Wyszczególnienie wpływu nieprawidłowej wagi na powikłania leczenia oraz dalszy postęp choroby.
11. Zapoznanie pacjentki z zasadami odpowiedniej, zbilansowanej diety opartej o produkty z niskim indeksem glikemicznym oraz wymienniki węglowodanowe.
12. Przedstawienie wybranych form aktywności fizycznej zalecanych dla pacjentów w przebiegu cukrzycy typu 2.
13. Przedstawienie pozytywnych efektów stosowania zbilansowanej diety oraz aktywności fizycznej na przebieg choroby.
14. Kształtowanie w pacjentce postaw aktywnego uczestnictwa w profilaktyce swojego stanu zdrowia, podejmowania działań prozdrowotnych oraz dbałości o swoje zdrowie.

### **Oczekiwane efekty działań pielęgniarских**

Działania podejmowane w trakcie pracy z pacjentką mają na celu głównie osiągnięcie przez pacjentkę zadowalającego stopnia wiedzy na temat jednostki chorobowej pozwalającego na sukcesywną dbałość o własne zdrowie skutkujące podejmowaniem odpowiednich działań. Oczekiwany efektami pierwszego rzędu w pracy z pacjentką jest odnotowanie zmniejszenia do możliwego minimum ryzyka występowania wczesnych i późnych powikłań choroby oraz odnotowanie poprawy samopoczucia do poziomu akceptowalnego przez pacjentkę jak również wyeliminowanie objawów towarzyszących pacjentce.

Po osiągnięciu oczekiwanych efektów pracy we wspomnianych aspektach zwrócono uwagę na pozostałe efekty pracy wyartykułowane przez autora pracy. I tak kolejno po zakończeniu prowadzonego programu edukacji pacjentka:

- potrafi przedstawić oraz wyjaśnić etiologię, przyczyny postępowania, objawy oraz istotę jednostki chorobowej, jaką jest cukrzyca typu 2;
- potrafi wymienić i omówić wczesne i późne powikłania choroby z wyszczególnieniem tych o przebiegu ostrym oraz przewlekłym;
- wymienia genetyczne czynniki predysponujące do wystąpienia choroby oraz charakteryzuje osobiste obciążenie genetyczne;
- zna możliwości modyfikacji czynników predysponujących do powstawania i rozwoju choroby;
- prowadzi skuteczną samokontrolę glikemii w oparciu o systematyczne dokonywanie pomiarów glikemii we krwi włośniczkowej, prawidłowe odnoszenie uzyskanych wyników do obowiązujących norm oraz prowadzenie dzienniczka samokontroli glikemii;

- zna zasady działania sprzętów wchodzących w skład insulinoterapii oraz poprawnie się nimi posługuje;
- wymienia i charakteryzuje możliwe działania i skutki niepożądane nieprawidłowej insulinoterapii;
- zna pozytywne skutki wprowadzenia nefarmakologicznych metod pozwalających na utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi i stosuje je;
- zna metody modyfikacji stylu życia oddziałujące na rozwój choroby i możliwości wystąpienia powikłań i sukcesywnie wprowadza je do swojego życia;
- zmienia dotychczasowy styl życia poprzez wprowadzanie codziennej aktywności fizycznej oraz zmianę nawyków żywieniowych;
- zna wpływ nieprawidłowej wagi na nieskuteczność i powikłania leczenia oraz dalszy postęp choroby i podejmuje działania mające na celu zmniejszenie masy ciała;
- zna i wymienia zasady zbilansowanej diety odpowiedniej dla jednostki chorobowej opartej o produkty z niskim indeksem glikemicznym oraz wymienniki węglowodanowe;
- poprawnie dokonuje obliczenia wymienników węglowodanowych i stosuje je w codziennej diecie;
- zna i podejmuje wybrane formy aktywności fizycznej zalecane dla pacjentów z cukrzycą typu 2;
- wymienia efekty płynące ze stosowania zbilansowanej diety oraz aktywności fizycznej;
- czynnie współpracuje z zespołem terapeutycznym w zakresie prowadzenia oraz modyfikacji terapii;
- wykazuje aktywne uczestnictwo w profilaktyce swojego zdrowia podejmuje działania prozdrowotne oraz wykazuje się większą dbałością o swoje zdrowie.

### **Metody dydaktyczne, forma pracy, materiały dydaktyczne**

W trakcie pracy z pacjentką mającej na celu osiągnięcie zamierzonych efektów przedstawionych powyżej posłużono się określonymi metodami dydaktycznymi pozwalającymi na aktywną pracę z pacjentką. Wśród zastosowanych metod dydaktycznych wyróżnić można:

- **metody podające:**
  - wykład informacyjny;
  - wyjaśnienie;
  - objaśnienie;
  - pogadankę;
  - pracę z tekstem.
- **metody problemowe:**
  - metoda przypadku;
  - dyskusję dydaktyczną;
  - wykład problemowy.
- **metody eksponujące:**
  - ekspozycje;

- **metody praktyczne:**

- ćwiczenia;
- pokaz.

Forma organizacji pracy w przypadku pracy z pacjentką była indywidualną formą organizacji. Podczas pracy posłużono się pomocami edukacyjnymi w formie plansz, plakatów, ulotek, broszur oraz prezentacji multimedialnych o tematyce etiologii choroby, jej przebiegu, objawów, diagnozowania, epidemiologii oraz występowania powikłań.

Metodami edukacyjnymi była pogadanka kontrolno – edukacyjna, ankieta sprawdzająca, jakość życia pacjentów z cukrzycą, analiza efektów pracy indywidualnej, test sprawdzający wiedzę przeprowadzony przed podjęciem edukacji jak również po zakończonej pracy z pacjentką w celu porównania ewaluacji wiedzy pacjentki.

### **Ewaluacja**

W wyniku podjętej z pacjentką pracy w trakcie pobytu na oddziale diabetologii odnotowano zdecydowaną poprawę stanu ogólnego pacjentki, zmniejszenie wartości glikemii w surowicy oraz ustąpienie objawów towarzyszących pacjentce podczas przyjęcia na oddział. Ponadto parametry biochemiczne krwi w badaniu kontrolnym uległy znacznej poprawie. Taki stan rzeczy pozwolił na wysnucie wniosków jakoby działania podejmowane w pracy z pacjentką wpłynęły bezpośrednio na zminimalizowanie ryzyka wystąpienia powikłań chorobowych zarówno w okresie wczesnym jak i późnym z wyszczególnieniem powikłań o charakterze ostrym i przewlekłym. Ponadto wyeliminowanie objawów niepożądanych związanych z wystąpieniem choroby przełożyło się na pozwoliło na zdecydowaną poprawę samopoczucia pacjentki, co skutkowało zwiększeniem chęci do podejmowania działań edukacyjnych.

Zajęcia edukacyjne prowadzone z pacjentką przyniosły oczekiwany przez autora pracy efekt gdyż odnotowano spełnienie wszystkich zamierzonych efektów z zakresu działań edukacyjnych, które pozytywnie wpłynęły na życie pacjentki pozwalając jej „oswoić” się z chorobą oraz sukcesywnie ją kontrolować.

Przechodząc do dyskusji w niniejszej pracy należy uwzględnić fakt, iż zapadalność dzieci, młodzieży oraz tak jak w tym przypadku tzw. młodych dorosłych na cukrzycę typu 2 nieustannie wzrasta w skali roku na całym świecie. Czynniki rozwoju cukrzycy typu 2, które coraz częściej można dostrzec wśród osób młodych są głównie: otyłość, siedzący tryb życia, brak aktywności fizycznej, obciążenie rodzinne, okres dojrzewania, złe nawyki żywieniowe, cukrzyca ciężarnych u matki, niska masa urodzeniowa czy pochodzenie etniczne i sztuczne karmienie niemowląt [Rodbar, 2008]. Większość z tych czynników są czynnikami środowiskowymi, które można poddać modyfikacji. Wśród wymienionych czynników najbardziej istotnym w aspekcie predysponowania do rozwoju cukrzycy jest otyłość, która zagrażała naszej pacjentce, która w chwili przyjęcia do szpitala charakteryzowała się nadwagą o wskaźniku BMI = 26,45 kg/m<sup>2</sup>. Badania epidemiologiczne prowadzone w aspekcie występowania cukrzycy typu 2 jasno pokazują, że u ponad 90% osób cierpiących na to schorzenie występuje otyłość. Występowanie cukrzycy typu 2 u coraz młodszych osób wiąże się z dużym ryzykiem rozwoju tzw. insulinooporności. Dlatego tak istotnym jest, aby wśród jak najmłodszych osób wdrażać profilaktykę otyłości, co wiąże się z profilaktyką cukrzycy

typu 2. Profilaktyka ta powinna opierać się o zasady zdrowego stylu życia tj. stosowanie zdrowej zbilansowanej diety dostosowanej do indywidualnych potrzeb, zwiększanie aktywności fizycznej, minimalizowanie siedzącego trybu życia, wyeliminowanie z codziennej diety produktów wysoko przetworzonych, słodczy, posiłków typu fast-food oraz słodkich gazowanych napoi i wszelkiego rodzaju używek [Miller, Silerstein, 2005]. Niejednokrotnie profilaktyka cukrzycy typu 2 opiera się o działania farmakologiczne, które polegają na włączeniu preparatu metforminy, który jest lekiem o istotnym działaniu w prewencji tegoż schorzenia. Badanie prowadzone przez Diabetes Prevention Program wykazało, że modyfikacja stylu życia w grupie osób borykających się z nieprawidłową tolerancją glukozy zmniejsza ryzyko wystąpienia choroby o około 30% [Diabetes Prevention Program, 2002]. Obserwacje te pozwalają na formułowanie wniosków, które na piedestale stawiają zmianę stylu życia u osób z nadwagą, tak jak w przypadku pacjentki będącej podmiotem niniejszej pracy, oraz osób ze zwiększonym ryzykiem rozwoju cukrzycy typu 2. Ponadto istotnym elementem kontroli skuteczności prowadzonego postępowania jest okresowa, ustalona z lekarzem prowadzącym kontrola sukcesywności niefarmakologicznego oraz farmakologicznego leczenia. Celem podejmowanego leczenia w każdym przypadku jest otrzymanie stężenia hemoglobiny glikowanej HbA1c na poziomie 6,5% bądź niższym, co uzyskano u pacjentki po okresie trzy miesięcznej terapii. Ponadto parametrami wskazującymi na prawidłowy tok leczenia oprócz hemoglobiny glikowanej są parametry gospodarki lipidowej oraz wartości ciśnienia tętniczego krwi [Zalecenia PTD, 2009].

### 3. Wnioski

Rozpoznanie cukrzycy typu 2 u pacjentki X.Y. wiązało się zarówno z leczeniem farmakologicznym opartym na wstrzyknięciach insuliny oraz podaży preparatu metforminy jak również swoistego rodzaju „leczenia” edukacyjnego, które miało na celu znajomienie pacjentki z jednostką chorobową, jaka jest cukrzyca typu 2 poprzez prowadzone działania wyjaśniające etiologię, przebieg, objawy, leczenie oraz powikłania schorzenia. Pacjentka chętnie brała udział w działaniach edukacyjnych oraz wykazywała bardzo duże zainteresowanie zagadnieniami poruszonymi podczas indywidualnej terapii. W wyniku podjętych działań powiązanych z zaangażowaniem pacjentki osiągnięto wszystkie zamierzone cele edukacyjne, a oczekiwane efekty zostały spełnione w całości. Po analizie wykonanego przez pacjentkę testu wiedzy na temat całościowego podejścia do jednostki chorobowej stwierdzono, że jest ona gotowa na samodzielne prowadzenie samokontroli choroby poprzez systematyczne pomiary glikemii we krwi, podaż iniekcji insuliny oraz w późniejszym etapie przyjmowania preparatu metforminu oraz jak również prowadzenia dzienniczka samokontroli. Pacjentka odznaczała się również bardzo dużym zaangażowaniem w sukcesywną zmianę nawyków żywieniowych oraz dotychczasowego siedzącego stylu życia na bardziej aktywny sprzyjający terapii choroby. Po postawieniu ostatecznego rozpoznania cukrzycy typu 2 u pacjentki wdrożono dietę o niskim indeksie glikemicznym, do zasad, której pacjenta sukcesywnie się stosowała. Początkowe leczenie pacjentki opierało się o podaż insuliny za pomocą wstrzykiwaczy typu pen, co miało na celu wyrównanie dobowego profilu glikemii oraz przełamanie insulinooporności, która wytworzyła się w okresie rozwoju choroby. Działania te pozwoliły na redukcję masy ciała pacjentki do poziomu uzyskania wskaźnika

BMI równego 26,20 kg/m<sup>2</sup>. Dalszym postępowaniem zaleconym pacjentce była sukcesywna modyfikacja stylu życia, która była w tym przypadku kluczowym elementem terapii.

**Bibliografia:**

1. Brandt A., Myśliwiec M., Balcerska A.. (2010). Cukrzyca typu 2 u 16-letniego chłopca – opis przypadku. Gdańsk: Forum Medycyny Rodzinnej, t. 4, nr 1, s. 65-69.
2. Diabetes Prevention Program (2002). Research Group Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. NEJM, nr 346, s. 393–403.
3. Lenartowicz H., Kózka M. (2010). Metodologia badań w pielęgniarstwie. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, s. 98 - 102.
4. Małecka-Tendera E., Erhardt E., Molnar D. i wsp. (2005). Type 2 diabetes mellitus in European children and adolescents. Acta Paediatr, nr 94, s. 543–546.
5. Miller J.L., Silverstein J.H. (2005). The management of type 2 diabetes mellitus in children and adolescents. J. Pediatr. Endocrinol. Metab., nr 18, s. 111–123.
6. Nowak S. (2008). Metodologia badań społecznych. Warszawa: Wydawnictwo PWN, s. 46.
7. Rodbar H. (2008). Diabetes screening, diagnosis and therapy in pediatric patients with type 2 diabetes. Medscape J. Med., nr 10, s. 184.
8. Song S.H., Hardisty C.A. (2008). Early onset type 2 diabetes mellitus: an increasing phenomenon of elevated cardiovascular risk. Expert. Rev. Cardiovasc. Ther., nr 6, s. 315–322.
9. Włodarek D., Kozłowska L. (2014). Cukrzyca. W: Dietoterapia. Włodarek D., Lange E., Kozłowska L., Głabska D. (s. 311 – 313). Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
10. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2019. Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. Diabetologia Praktyczna, Via Medica, t. 5, nr 1, s. 1 – 100.
11. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę (2009). Diabetologia Praktyczna, Via Medica, 9: supl. A.



## **12. PRZYCZYNY I POWIKŁANIA OTYŁOŚCI**

### **Mariusz Gawrych**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Wydział Lekarski

Katedra Dermatologii, Chorób Przenoszonych Drogą Płciową i Immunodermatologii

Email: gawrych@doktorant@umk.pl

### **Wojciech Marszałek**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Wydział Lekarski

Studenckie Koło Naukowe

Katedra Dermatologii, Chorób Przenoszonych Drogą Płciową i Immunodermatologii

Email: 265085@stud.umk.pl

### **Alicja Bartoszevska-Kubiak, Karolina Matiakowska**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,

Wydział Lekarski

Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej

Email: a\_bartoszevska@tlen.pl

Email: k\_matiakowska@tlen.pl

### **Szymon Suwała**

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,

Wydział Lekarski

Katedra Endokrynologii i Diabetologii

ul. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz

Email: suwala@doktorant.umk.pl

### **1. Wstęp**

Otyłość jest chorobą przewlekłą, śmiertelną o skomplikowanej etiologii. Podłożem otyłości są interakcje między czynnikami genetycznymi, rozwojowymi, behawioralnymi, hormonalnymi i środowiskowymi. Otyłość spowodowana jest dodatnim bilansem energetycznym, który może wynikać z małej aktywności fizycznej, czynników psychologicznych, złych nawyków żywieniowych, ale również z powodu przyjmowanych leków czy zaburzeń hormonalnych. Najczęściej trudności w leczeniu otyłości, występują gdy mamy inne przyczyny: otyłość o podłożu genetycznym, niedoczynność tarczycy, zespół Cushinga, zespół policystycznych jajników, hypogonadyzm, niedobór hormonu wzrostu, otyłość podwzgórza (np. guz podwzgórza, stan po zabiegach operacyjnych, radioterapii, wady rozwojowe). Sama otyłość skraca życie i powoduje wiele powikłań [Tsigos 2008]. Celem tej publikacji jest przedstawienie przyczyn otyłości oraz jej powikłań w celu lepszego zrozumienia etiologii i konsekwencji tej choroby na organizm.

## 2. Geny a otyłość

Stunkard, amerykański psychiatra w roku 1956 przeprowadził badania na 540 duńskich bliźniąt adoptowanych w latach 1927-1947 aby ocenić wpływ dziedziczenia na zmienność BMI. Były to badania konkordancji pomiędzy bliźniętami jedno- i dwu-jajowymi oraz rodzeństwa adoptowanego. Zaobserwował, że istnieje pozytywna korelacja masy ciała dzieci adoptowanych z ich biologicznymi matkami ( $p < 0,0001$ ) oraz brak korelacji między dziećmi adoptowanymi i ich rodzicami zastępczymi. Udowodnił wówczas, że istnieje silna predyspozycja genetyczna do uzyskania odpowiedniej masy ciała, w tym otyłości [Stunkard 1990].

**Tabela 1. Korelacja BMI pomiędzy bliźniętami a rodzicami biologicznymi i zastępczymi [Stunkard 1990]**

| Typ:                     | Mężczyźni |           | Kobiety  |           |
|--------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                          | BMI       | korelacja | BMI      | korelacja |
| Monozygotyczne bliźnięta |           |           |          |           |
| Wychowani osobno         | 24,8±2,4  | 0,70      | 24,2±3,4 | 0,66      |
| Wychowani łącznie        | 24,2±2,9  | 0,74      | 23,7±3,5 | 0,66      |
| Dwujajowe bliźnięta      |           |           |          |           |
| Wychowania osobno        | 25,1±3,0  | 0,15      | 24,9±4,1 | 0,25      |
| Wychowani łącznie        | 24,6±2,7  | 0,33      | 23,9±3,5 | 0,27      |

Do wrodzonych przyczyn otyłości należą: otyłość zespołowa o podłożu aberracji chromosomowych np. Zespół Prader-Willi, czy zespoły plejotropowe np. zespoły: Bardet-Biedl. Otyłość niezespołowa wynika z mutacji pojedynczych genów (otyłość monogenowa) bądź wielu genów (otyłość poligenowa). [Vidhu V. Thaker 2017]. Dzięki sekwencjonowaniu ludzkiego genomu i analizie ludzkiej zmienności genetycznej, genomika porównawcza pozwoliła na odkrycie nowych loci genowych związanych z BMI np. gen FTO (fat mass and obesity associated – FTO protein). Jest to gen, który znajduje się na chromosomie 16. Może występować w wariancie zmutowanym oraz niezmutowanym. Jest dziedziczony w sposób autosomalnie recesywnie. Jeśli pacjent posiada dwie kopie zmutowanego genu, jego masa jest średnio o 3 kg większa niż od osoby nie posiadającej ani jednej kopii tego wariantu genu. 70% pacjentów z zmutowanym genem FTO choruje na otyłość. Prawdopodobnie 16% Europejczyków posiada obie kopie. [Loos R 2014]. Jednakże w jaki sposób wytłumaczyć pandemię otyłości, jeśli zmiany genetyczne zachodzą bardzo wolno i w ostatnim okresie nie doszło do znaczącej zmiany genomu człowieka? Z pomocą przychodzi epigenetyka.

## 3. Epigenetyczne mechanizmy otyłości

Każda komórka ciała ma taką samą sekwencję DNA, jednakże różne rodzaje komórek wykazują swoisty profil ekspresji genów. Epigenom jest swoisty tkankowo i może ulegać zmianom na przestrzeni czasu. Zmiany epigenetyczne wpływają na fenotyp a nie mają wpływ na genotyp. Mogą być dziedziczne i są modyfikowane przez styl życia i czynniki środowiska. Istnieje wiele mechanizmów, które regulują ekspresję genu. W regulacji funkcji genów odgrywają rolę 3 zasadnicze mechanizmy: modyfikacje histonów, metylacja DNA,

microRNA. Gen może być „włączony” np. poprzez acetylację histonów – wówczas chromatyna jest aktywna (otwarta) cytozyna jest bez grup metylowych i jest możliwa transkrypcja. „Wyłączenie” genu zachodzi poprzez metylację cytozyny, co powoduje wyciszenie (skondensowanie) chromatyny i deacetylację histonów. Wówczas transkrypcja jest utrudniona. Do chorób wynikających z wadliwego procesu metylacji DNA należy otyłość i cukrzyca typu 2. W badaniach wykazano związek pomiędzy BMI a metylacją w leukocytach (83CpG). Dodatkowo związana z BMI odmienna metylacja DNA korelowała z odmienną ekspresją genów związanych z metabolizmem lipidów [Mendelson 2017]. Epigenetyka może przyczyniać się do wyjaśnienia molekularnych mechanizmów prowadzących do rozwoju otyłości i jej metabolicznych powikłań.

#### 4. Nutrogenomika i Nutrigenetyka

Nutrigenetyka zajmuje się badaniem wpływu genów na odpowiedź organizmu na określone składniki diety natomiast nutrogenomika wpływem składników pokarmowych na ekspresję lub strukturę genów. Dzięki rozwojowi tych nauk jest możliwa personalizacja zaleceń dietetycznych w oparciu o genotyp. Ze względu na zdolność do metabolizowania białek, węglowodanów oraz tłuszczów można wyodrębnić następujące profile: tłuszczowo-białkowe, węglowodanowo-białkowe, węglowodanowe, tłuszczowe. Odpowiednie geny mogą również predysponować do odpowiednich zaburzeń np. hiperglikemii, hipercholesterolemii czy predyspozycji do odkładania wisceralnej tkanki tłuszczowej. Geny odpowiadają również za potencjał antyoksydacyjny oraz detoksykacyjny. Rozwój tych nauk pozwoli ujawnić informacje na temat unikanych wymagań żywieniowych aby terapia była bardziej skuteczna. Jednym z przykładów może być zwiększone spożywanie folianów, które uczestniczą w naprawie DNA oraz procesie metylacji [Mead 2007].

#### 5. Obesogeny

Obesogeny są to środki chemiczne które uszkadzają fizjologiczny mechanizm kontroli masy ciała i zaburzają funkcjonowanie układu endokrynnego. Według teorii trujących chemikaliów opracowanych przez dr. Baillie-Hamilton związek między chemikaliami a problemami z utratą masy ciała mogą wynikać w mimikry chemikaliów do żeńskich hormonów - wpływając wówczas na zwiększony wzrost i masę ciała. Badanie przeprowadzone na zwierzętach doprowadziły do odkrycia obesogenów. Między innymi pochodne plastiku (BPA, DEHP, DBP) zakłócają układ endokrynologiczny wpływając na epigenetyczne dziedziczenie otyłości oraz na rozród. Zmiany epigenomu wpływają na rozwój zarodka – dziecko rodzi się cięższe. Obesogeny mają również negatywny wpływ na mikrobiom jelitowy [Baillie-Hamilton P. 2002].

#### 6. Dysbioza

Dysbioza jelitowa oraz uszkodzenie bariery jelitowej wpływają niekorzystnie na otyłość i insulinooporność oraz utrudniają leczenie tych schorzeń. Skład mikrobiomu jelitowego u pacjentów z otyłością różni się od szczupłych pacjentów - mają mniej *Bacteroidetes*, i więcej *Firmicutes*. Przypuszcza się, że różne bakterie w inny sposób wpływają na przyjmowanie energii z pożywienia i mogą przyczyniać się do jego obniżenia. Podawanie probiotyków wpływają korzystnie na procesy metaboliczne i redukcję masy ciała. Między

innymi *Lactobacillus gasei* SBT2055, który obniżył masę ciała, zmniejszył ilość tłuszczu wisceralnego oraz tłuszczu w organizmie [Festi D. 2014]. Pacjenci stosujący probiotyki zawierające *L. rhamnosus* przez 3 miesiące schudli średnio o 4,4 kg w porównaniu z placebo (2,6 kg). Probiotyki redukują aktywność układu endokannabinoidowego w jelicie co może wpłynąć na masę ciała. Dodatkowo zwiększają stężenia GLP-2. Wzrost liczebności bakterii z rodzaju *Lactobacillus* i *Bifidobacterium* poprawiają funkcję i integralność bariery jelitowej, zmniejszają ilość cytokin prozapalnych, redukują stres oksydacyjny [Quingquing Z. 2016]. Konieczne są zatem dalsze badania, które wskażą szczepy, ich dawkowanie i czas stosowania w skutecznym odchudzaniu pacjentów.

## 7. Niedobór witaminy D3

Niedobór witaminy D jest powszechny u chorych z otyłością. Dawki potrzebne do uzupełnienia niedoboru są wyższe niż u osób z prawidłową masą ciała. Spowodowane jest zwiększonym stężeniem PTH, który nasila dokomórkowy transport wapnia oraz lipogenezę wewnątrzkomórkową oraz gromadzenie tkanki tłuszczowej. Istnieją potencjalne korzystne działania witaminy D w leczeniu osób otyłych poprzez promowanie apoptozy adipocytów i zwiększenia masy tkanki beztłuszczowej. Dodatkowo poprzez zmniejszenie stężenia PTH może inicjować zmniejszenie masy ciała poprzez nasilenie termogenezy oraz lipolizy zależnej od działania układu współczulnego. Zwiększenie wchłanianie wapnia hamuje ośrodek głodu. Potrzebne są kolejne badania pokazujące możliwy mechanizm działania witaminy D w zmniejszeniu masy ciała oraz określenie właściwego dawkowania oraz czasu suplementacji [Perna S. 2019].

## 8. Homo Sedentarius – człowiek siedzący

Na przestrzeni ostatnich dekad doszło do zwiększonej konsumpcji cukru na osobę. Badania również potwierdzają pozytywną korelację między zwiększonym spożywaniem węglowodanów prostych a masą ciała u dorosłych. W ciągu ostatnich dekad doszło do zwiększenia standardowych porcji żywności, np. 20 lat temu standardowy burger miała 333 kcal, natomiast obecnie 590 kcal. Do innych czynników sprzyjających dodatniemu bilansowi energetycznemu należy zwiększona produkcja i konsumpcja wysokoenergetycznych produktów, powszechny dostęp do smacznej żywności, zurbanizowane środowisko, mniejsza aktywność fizyczna [Kushner 2017].

Systematyczne wykonywanie aktywności fizycznej poprawia tolerancję węglowodanów: zwiększa wrażliwość mięśni na insulinę, zmniejszenie ogólnych zasobów tkanki tłuszczowej, redukuje ilość tłuszczu zgromadzonego w jamie brzusznej, zwiększa beztłuszczową masę ciała, obniża ciśnienie tętnicze, poprawia profil lipidowy. Poprzez zwiększenie wychwytu glukozy przez mięśnie zmniejsza zapotrzebowanie na insulinę [Kushner 2017].

## 9. Zaburzenia hormonalne

Zaburzenia metaboliczne mogą wpływać na masę ciała. Szczególnie zaburzenia neuropeptydów w ośrodku nagrody i sytości, który znajduje się w podwzgórz. Neuropeptyd Y (NPY), który powoduje nadmierny apetyt na słodkie i inne produkty zawierające cukier. Galanina, która zwiększa apetyt na produkty obfite w tłuszcz. Zaburzenia w układzie

nagrody – metabolizm endokannabinoidów może również wpływać na uczucie apetytu i chęć poboru pokarmu. Badania wskazują na pozytywną korelację pomiędzy deprawacją snu a zwiększeniem masy ciała. W wyniku skróconego czasu snu dochodzi do redukcji ilości leptyny i zwiększenia poziomu greliny co skutkuje przyrostem masy ciała [Kushner 2017].

## 10. Inne przyczyny Otyłości

Otyłość może być powikłaniem działań niepożądanych leków: glikokortykosteroidów (nawet stosowanych miejscowo), leków przeciwdepresyjnych, leków antypsychotycznych (szczególnie atypowych neuroleptyków), leków przeciwpadaczkowych, niektórych leków hipotensyjnych ( $\beta$ -blokerów, klonidyna), insuliny, pochodnych sulfonilomocznika. Otyłość może przebiegać w endokrynopatiach: niedoczynności tarczycy, zespole Cushinga, PCOS, hipogonadyzmie, rzekomej niedoczynności przysadki czy w wyniku chorób autonomicznego układu nerwowego np. w zapaleniu mózgu, urazach [Valk e.s. 2019].

Menopauza również wpływa na wagę. Większość kobiet przybiera na masie ciała po menopauzie, nawet jeśli mają skłonność do gynoidalnego rozłożenia tkanki tłuszczowej. Wynika to z niedoborów estrogenów, które powodują centralną leptynooporność i wzrost podwzgórzowego neuropetydu Y [Kushner 2017].

Wiele pacjentów wskazuje, że pod wpływem stresu spożywa więcej pokarmów. Stres może modyfikować masę ciała. U części pacjentów zaobserwowano kompulsywne objadania się jako sposób reagowania na zwiększony stres. Dodatkowo może dojść do zwiększenia hormonów sterydowych, które regulują hormony leptyny. W badaniach na szczurach leptyna podana w postaci iniekcji u zdrowych szczurów reedukowała masę ciała minimalnie i nie zwiększała częstości przyjmowania pokarmów. Natomiast ta sama dawka leptyny miała bardzo silny i długotrwały efekt w redukcji zarówno masy ciała jak i przyjmowanego posiłku u szczurów z usuniętymi nadnerczami. Jednakże podczas suplementacji glikokortykosteroidami (w zależności od dawki) dochodziło do hamowania efektu leptyny. Interesujące, jest to że część szczurów bez nadnerczy pod wpływem stresu stała się anorektyczna. Oś podwzgórze – przysadka mózgowa – nadnercza powoduje zwiększenie produkcji kortyzolu, pod wpływem stresu. Możliwe, że podczas stresu powstaje u nich zwiększona produkcja  $\alpha$ MSH. Jest to neuroprzekaznik, który hamuje przyjmowanie pokarmu i wówczas może być przyczyną zachowania anorektycznego pod wpływem stresu. Nie jest wiadome dlaczego niektóre szczury pod wpływem stresu odpowiadają poprzez zwiększenie stężenia hormonów sterydowych i ich działania na leptynę zamiast poprzez zwiększenie  $\alpha$ MSH [Patterson Z. 2013].

## 11. Zakażenie wirusowe

Dotychczas powiązano 5 zwierzęcych wirusów i 3 ludzkich wirusów z zwiększeniem masy ciała. Wirusy te mogą stymulować enzymy i transkrypcję czynników, które powodują akumulację trójglicerydów i wzmacniają różnicowanie pre-adipocytów w dojrzałe adipocyty. Adenowirus-36 jest najbardziej znanym i przebadanym wirusem. Ad-36 był u 30% ludzi otyłych a u 11% nieotyłych. Bliźnięta z Ad-36 były cięższe niż ich rodzeństwo bez tego wirusa. Adenowirus-36 sprzyja otyłości poprzez uszkodzenie podwzgórza i przyczynia się do hiperplazji adipocytów [Ponterio E. 2015].

## 12. Powikłania Otyłości

Pacjent z BMI>35 powinien być zdiagnozowany w kierunku obturacyjnego bezdechu sennego (OBS), szczególnie jeśli dodatkowo choruje na zastoinową niewydolność serca, migotanie przedsionków, oporne nadciśnienie tętnicze, cukrzyce typu 2. W badaniu przedmiotowym należy uwzględnić budowę anatomiczną jamy ustnej za pomocą Skali Mallampatiego. Przy podejrzeniu OBS można wykorzystać kwestionariusze screeningowe np. ESS Epworth Sleepiness Scale czy STOP-Bang. W celu postawienia ostatecznego rozpoznania należy wykonać badanie polisomnograficzne [Epstein 2009].

U mężczyzn chorujących na otyłość może dojść do niedoborów testosteronu. Pacjent może zgłosić się z następującymi objawami: obniżenie libido, zaburzenia erekcji, obniżenie częstości porannej erekcji, obniżenie wydajności, depresja, zaburzenia snu. Wówczas należy wykonać odpowiednią diagnostykę [Morales A. 2015].

Otyłość może być maską innych chorób - zespołu metabolicznego oraz zespołu Cushinga. Do typowych objawów zespołu Cushinga należy: centralna otyłość (szybki rozwój), nadciśnienie tętnicze, osłabienie proksymalnych mięśni kończyn, cukrzyca, zaburzenia miesiączkowania, hirsutyzm, ścieńczenie skóry, krwawe wybroczyny, zaczerwieniona twarz jak „księżyc w pełni”, otłuszczony kark („bawoli”). Badania potwierdzające rozpoznanie to podwyższone stężenie kortyzolu w surowicy, stężenie wolnego kortyzolu w ślinie czy wydalonego kortyzolu z moczem. Czasem może być subkliniczny zespół Cushinga – stan nadprodukcji kortyzolu. Natomiast diagnoza zespołu metabolicznego opiera się na występowaniu minimum 3 czynniki z: podwyższony obwód talii, podwyższone stężenie trójglicerydów, zmniejszone stężenie HDL-c, podwyższone ciśnienie tętnicze, podwyższone stężenie glukozy na czczo [Kushner 2017].

Otyłość powoduje pogorszenie filtracji kłębuszkowej, albuminurie, glomerulopatię związaną z otyłością, schyłkowa niewydolność nerek. Pojawienie się białkomoczu obserwowane jest u 92% pacjentów z otyłością i jedynie u 12% pacjentów z BMI <30 kg/m<sup>2</sup>. Zwiększenie masy ciała wiąże się ze zmniejszeniem ACEi na redukcję białkomoczu. Może być to spowodowane nagromadzeniem tkanki tłuszczowej wokół nerek co zwiększa ciśnienie hydrostatyczne wewnątrznerkowego. W wyniku białkomoczu dochodzi do uszkodzenia nefronów, nagromadzenia glikozaminoglikanów i hialuronidów w podścielisku rdzenia nerki co dodatkowo zwiększa napięcie torebki i przyczynia się do zwiększenia ciśnienia wewnątrznerkowego. [D'Agati VD. 2016] Natomiast u chorych przewlekłe dializowanych nadmierna zwiększona masa ciała obniża ryzyko zgonu [Kalantar-Zadeh K. 2006].

Hormony tarczycy pełnią istotną rolę w regulacji termogenezy i metabolizmu. U osób z otyłością częściej występuje niedoczynność tarczycy w porównaniu z osobami o prawidłowej masie ciała [Laurber P. 2012].

Do innych powikłań otyłości zalicza się cukrzycę i stanu przedcukrzycowy. W tym celu należy ocenić krzywą obciążenia glukozą z oznaczeniem insuliny lub już na podstawie wyjściowego stężenia glukozy i insuliny we krwi na czczo (oblicza się tzw. wskaźnik HOMA-IR). Prawidłowo wskaźnik ten wynosi <1, wynik ≥ 2 wskazuje na insulinooporność [Kushner 2017].

U kobiet z otyłością może dojść do zespołu policystycznych jajników (PCOS). 80% kobiet z PCOS choruje na otyłość. Charakterystycznymi objawami PCOS są: dysfunkcja jajników i miesiączki, hiperandrogenemia, hirsutyzm, trądzik, androgeniczne łysienie,

zwiększenie ryzyka zespołu metabolicznego, cukrzycy typu 2, rak endometrium [Kushner 2017].

Pacjenci chorujący na otyłość zgłaszają bardziej uporczywe zespoły bólowo-korzeniowe, które nie ustępują w pozycji leżącej. Może być to spowodowane zmniejszeniem kąta przedopochylenia kości krzyżowej oraz zmniejszenia kąta lordozy lędźwiowej jako wyraz kompensacji biomechanicznej zwiększonej masy ciała [Kushner 2017].

### 13. Podsumowanie

Otyłość jest skomplikowaną przewlekłą chorobą. Podczas gdy wiele czynników mogą wpłynąć na masę ciała, genetyka ma największe znaczenia (zarówno klasyczne mutacje jak i epigenetyczne modyfikacja ekspresji genów) w środowisku ułatwiającym przybieranie na masie ciała. Do otyłości dochodzi w wyniku zaburzenia bilansu energetycznego organizmu. Wpływ na dodatni bilans energetyczny ma stan zdrowia pacjenta oraz również mogą mieć znaczenie: mikrobiom jelitowy, wirusy, leki, deprawacja snu, stres, menopauza, toksyny środowiskowe. Potrzeba większej ilości badań w celu określenia przyczyn otyłości i dobrania odpowiednich zaleceń terapeutycznych. Pomocne może okazać się określenie indywidualnego profilu ryzyka w oparciu o genetyczne, epigenetyczne i kliniczne czynniki otyłości. Wyniki tych badań pozwolą na przewidywanie rozwoju otyłości i jej powikłań, jak również w wyborze spersonalizowanej strategii postępowania prewencyjnego i terapeutycznego.

**Tabela 2. Podsumowanie powikłań otyłości**

|                             |                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stan psychiczny             | depresja, niska samoocena, niezadowolenie z obrazu własnego ciała, zaburzenia odżywiania, uzależnienie                                                                                                                          |
| Stan ogólny                 | niepokój, pogorszenie kondycji fizycznej,                                                                                                                                                                                       |
| Narządy zmysłów             | zmiany skórne, rozstęp, czyraczność, ropnie mnogich pach, zaćma                                                                                                                                                                 |
| Układ oddechowy             | pogorszenie funkcji płuc, obturacyjny bezdech senny, zespół hipowentylacji typu otyłych - Pickwicka zespół, zatorowość płucna<br>zachłystowe zapalenie płuc, pogorszenie przebiegu astmy, przewlekłej obturacyjnej choroby płuc |
| Układ rozrodczy             | zespół policystycznych jajników, bezpłodność, nieprawidłowe miesiączkowanie, nowotwory: piersi, macicy, szyjki macicy,                                                                                                          |
| Układ moczowy               | pogorszenie filtracji kłębuszkowej, albuminuria, glomerulopatia związana z otyłością, niewydolność nerek, zwiększone ryzyko utraty przeszczepionej nerki, nietrzymanie moczu, kamica nerek, nowotwory: nerki, prostaty          |
| Układ endokrynologiczny     | zespół metaboliczny, cukrzyca typu 2, dyslipidemia, androgeniczny brak miesiączki, niepłodność, objaw Cushinga, stan przedcukrzycowy, hipogonadyzm                                                                              |
| Układ sercowo-naczyniowy    | choroby serca, nadciśnienie tętnicze, zastoinowa niewydolność serca, serce płucne, żylaki, zatorowość płucna, choroby tętnic wieńcowych                                                                                         |
| Układ pokarmowy             | kamica pęcherzyka żółciowego, GERD, NAFLD, przepukliny, nowotwory: trzustki, rak jelita grubego                                                                                                                                 |
| Układ mięśniowo-szkieletowy | choroba zwyrodnieniowa stawów, bóle stawów, dna moczanowa, osteoporoza, przewlekłe bóle pleców, trudność w poruszaniu się                                                                                                       |
| Układ nerwowy               | idiopatyczne wewnątrzczaszkowe nadciśnienie tętnicze, udar, meralgia z parastezjami (Choroba zespół Bernhardta-Rotha), demencja                                                                                                 |

**Bibliografia:**

1. Baillie-Hamilton P. 2002. Chemical toxins: a hypothesis to explain the global obesity epidemic. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* 8(2), 185-192.
2. D'Agati VD. I inni 2016. Obesity-related glomerulopathy: clinical and pathologic characteristics and pathogenesis. *Nat Rev Nephrol.* 2016 Aug;12(8):453-71.
3. Epstein L. Kristo D. i inni. 2009. Clinical guideline for the evaluation, management and long-term care of obstructive sleep apnea in adults. *J Clin Sleep Med.* 2009 Jun 15;5(3):263-76.
4. Festi D i inni. 2014. Gut microbiota and metabolic syndrome. *World J. Gastroenterol.* 20 (43): 16079-94.
5. Kalantar-Zadeh K. Koopke J. 2006. Obesity Paradox in Patients on Maintenance Dialysis. *Obesity and the Kidney. Contrib Nephrol. Basel, Karger, 2006, vol 151, pp 57-69.*
6. Laurber P. i inni. 2012. Thyroid Function and Obesity. *Eur Thyroid J* 2012;1:159–167.
7. Loos R. Yeo G. 2014. The bigger picture of FTO – the first GWAS-identified obesity gene. *Nat Rev Endocrinol.* 2014 Jan; 10(1): 51–61.
8. Mead MN. 2007. Nutrigenomics: The Genome–Food Interface. *Environ Health Perspect.* 2007 Dec; 115(12): A582–A589.
9. Morales A. i inni 2015. Diagnosis and management of testosterone deficiency syndrome in men: clinical practice guideline. *CMAJ.* 2015 Dec 8;187(18):1369-1377.
10. Patterson Z. 2013. Stress induced obesity: lessons from rodent models of stress. *Front Neurosci.* 2013; 7: 130.
11. Perna S. 2019. Is Vitamin D Supplementation Useful for Weight Loss Programs? A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Medicina* Jul 12,55(7):368.
12. Ponterio E. Gnessi L. 2015. Adenovirus 36 and Obesity: An Overview. *Viruses.* 2015 Jul; 7(7): 3719–3740.
13. Quingquing Z. i inni 2016. Effect of probiotics on body weight and body-mass index: a systemic review and meta-analysis of randomized, controlled trials, *Int J Food Sci Nutr.* Aug;67(5):571-580.
14. Stunkard A. Harris J. Pedersen N. i inni. (1990). The Body-Mass Index of Twins Who Have Been Reared Apart. *N Engl J Med*; 322:1483-1487.
15. Tsigos C. Hainer V. Basdevant A. Finer N. Fried M. Mathus-Vliegen E. i inni. (2008). Management of obesity in adults: European clinical practice guidelines. *Obes Facts.* 2008;1(2):106-16.
16. Valk ES. i inni. 2019. A comprehensive diagnostic approach to detect underlying causes of obesity in adults. *Obes Rev.* Jun;20(6):795-804.
17. Vidhu V. Thaker 2017. Genetic and epigenetic causes of obesity. *Adolesc Med State Art Rev.* Fall; 28(2): 379–405.
18. Kushner R. i inni 2017. Otyłość Praktyczny podręcznik kliniczny. Medipage.



## **13. METODY OPERACYJNEGO LECZENIA ZWYRODNIENÍ CHRZĄSTKI STAWOWEJ**

**Paweł Gwiadoń, Kamila Borowiec, Natalia Kędra**

Akademia Wychowania Fizycznego w Katowicach im. J. Kukuczki

Email: pgwiazdon@wp.pl

### **1. Wstęp**

Aktywność fizyczna to jeden z elementów zdrowego stylu życia. Już w starożytności tężyzna fizyczna była wysoko ceniona, a zdrowe i piękne ciało było powszechnym motywem w sztuce [Jastrzębska A. Napierała M. 2013]. Wiele badań potwierdza, że ruch ma pozytywny wpływ na zdrowie. Stymuluje układ nerwowy, układ oddechowy, układ ruchu i układ krążenia. Systematyczna aktywność fizyczna jest kluczowa dla prowadzenia zdrowego stylu życia [Mikołajczak E. i in. 2013]. Postęp w medycynie i przemiany cywilizacyjne korzystnie wpłynęły na poprawę i wydłużenie życia człowieka. Nowe metody leczenia i nowe środki farmaceutyczne przez długi czas potrafią zapewnić prawidłową aktywność układu krążenia, układu nerwowego, układu oddechowego i układu ruchu. Zmiana stylu życia często skłania osoby starsze do podjęcia aktywnego udziału w czynnościach, na które wcześniej nie miały czasu. Taka zmiana stylu życia wymaga szczególnej dbałości o narząd ruchu. Wraz z wiekiem nasilają się procesy starzenia oraz spada zdolność regeneracyjna organizmu. Negatywny wpływ na układ ruchu mają też takie schorzenia, jak osteoporoza i choroba zwyrodnieniowa stawów (ChZS). Przyczyniają się one do powstawania silnych odczuć bólowych i w znaczący sposób ograniczają ruchomość stawów. W celu utrzymania narządu ruchu w jak najlepszej kondycji, poszukuje się nowych metod, które zapewnią jego długotrwałe i bezbolesne funkcjonowanie [Greczner T. 2009].

### **2. Urazy i schorzenia chrząstki**

Najczęstszą chorobą związaną z dysfunkcjami układu ruchu jest choroba zwyrodnieniowa stawów (ChZS). Szacuje się, że w Polsce zмага się z nią około 8 mln ludzi, uznawana jest nawet za chorobę cywilizacyjną. Czynniki zwiększającymi ryzyko wystąpienia choroby są: wiek, otyłość, przewlekłe naprężenia spowodowane zaburzeniem osi kończyny, powtarzane urazy, niestabilność więzadłowa i uszkodzenia łąkotki [Karuga E. i in. 2010; Dyndor P. i in. 2012]. ChZS powstaje w wyniku stanu patologicznego, który może być rezultatem reumatoidalnego zapalenia stawów, zespołu przedwczesnego zużywania się chrząstki stawowej lub chondromalacji. Uraz chrząstki może również nastąpić w wyniku kontuzji i odłamania części chrząstki. Wymienione powyżej przyczyny uszkodzenia chrząstki objawiają się dyskomfortem, dolegliwościami bólowymi i ograniczeniem ruchomości stawów objętych procesem chorobowym [Dziedzic K. i in. 2014]. ChZS jest najczęstszą chorobą reumatyczną, toczący się proces zapalny jest nie tylko skutkiem uszkodzenia chrząstki, ale również kości i tkanek miękkich. Występowanie zmian zwyrodnieniowych jest związane nie tylko z procesem starzenia. Istotną rolę w przebiegu procesu odgrywają uwarunkowania genetyczne, czynniki biochemiczne, mechaniczne i zapalne [Leszczyński P. Buś K. 2008].

W ChZS wyróżnia się dwie postacie: postać pierwotną i postać wtórną. Postać pierwotna występuje częściej a jej przyczyny są nieznane, przypuszcza się, że jest uwarunkowana genetycznie gdyż często występuje u osób spokrewnionych. Postać wtórna rozwija się na skutek działania różnych czynników sprzyjających rozwojowi ChZS. Do czynników sprzyjających powstawaniu postaci wtórnej zaliczamy: urazy ostre i przewlekłe, wady budowy układu kostno-stawowego, zaburzenia metaboliczne, zaburzenia hormonalne lub choroby zapalne [Leszczyński P. Buś K. 2008; Zimmermann-Górska I. 2019].

Mechaniczne urazy chrząstki stawowej można przedstawić w trójstopniowej skali [Moskalewski S. 1995; Marecki B. 1995]:

1. Uszkodzenie powierzchni stawowej nie wpływające na mechanikę stawu
2. Mechaniczne uszkodzenie ograniczające się do części chrzęstnej
3. Mechaniczne uszkodzenie obejmujące zarówno część chrzęstną jak i kostną stawu

Wynikiem uszkodzenia chrząstki jest wydzielanie cytokin i proteaz przez chondrocyty. Zmiany zwyrodnieniowe w początkowym okresie manifestują się obrzękiem chrząstki, który jest wynikiem nasilonej syntezy proteoglikanów i gromadzeniu się wody. Postęp zmian zwyrodnieniowych skutkuje stopniowym zmniejszeniem grubości chrząstki, a dzieje się tak za sprawą działających metaloproteinaz i cytokin prozapalnych. W warstwie podchrzęstnej tkanki kostnej znajdują się ubytki tkanki kostnej zwane torbielami oraz obszary zagęszczenia tkanki kostnej, czyli obszary sklerotyzacji. Zmiany zwyrodnieniowe stawów oprócz chrząstki i tkanki kostnej obejmują również torebki stawowe, więzadła stawowe i błony maziowe [Leszczyński P. Buś K. 2008].

Stopień uszkodzeń urazopochodnych chrząstki oraz ich głębokość możemy podzielić na typy zgodnie z klasyfikacją Bauera-Jacksona. Zgodnie z tą klasyfikacją wyróżniamy sześć typów uszkodzeń. Typ I – pęknięcie, typ II – liczne pęknięcia, typ III - uszypułowany płat, typ IV – krater, typ V – fibrylacja, typ VI – strefa odsłoniętej kości [Karuga E. i in., 2015].

Zaburzenia w funkcjonowaniu chrząstki i związane z nią urazy dotyczą głównie kończyny dolnej. Dzieje się tak za sprawą dużych sił i przeciążeń działających na kończynę. Najbardziej narażonymi na uszkodzenia są stawy kolanowe i biodrowe [Karuga E. i in., 2015].

Jak już wcześniej zaznaczono chrząstka nie posiada unaczynienia ani unerwienia, te uwarunkowania silnie ograniczają a nawet uniemożliwiają chrząstce procesy gojenia. Oprócz braku unaczynienia negatywne działanie w procesie gojenia niesie obecność inhibitorów rewaskularyzacji i migracji makrofagów oraz niezdolność do wytworzenia blizny [Adamczyk G. i in., 2001]. Uszkodzenia głębokie, które sięgają do warstwy podchrzęstnej i powodują naruszenie ciągłości naczyń, wykazują pewną zdolność do regeneracji. Prawdopodobną przyczyną regeneracji uszkodzeń głębokich jest migracja w te miejsca mezenchymalnych komórek macierzystych obecnych w szpiku. Mimo pewnej zdolności do regeneracji, powstała tkanka choć przypomina strukturą tkankę chrzęstną szklistą, to różni się od niej właściwościami fizycznymi i biomechanicznymi. Zdolności spontanicznej naprawy nie wykazują natomiast uszkodzenia powierzchniowe, ponieważ nie powodują przerwania ciągłości naczyń i związanej z tym migracji mezenchymalnych komórek macierzystych [Scotti C. i in., 2010].

### 3. Metody leczenia chorób chrząstki stawowej

Przed wyborem odpowiedniej metody leczenia należy przeprowadzić dokładne rozpoznanie stopnia i rodzaju uszkodzenia tkanki. Metodami wykorzystywanymi do diagnostyki są: zdjęcia rentgenowskie, rezonans magnetyczny i badanie ultrasonograficzne. Zdjęcia rentgenowskie są powszechnie stosowane i uważane za metodę podstawową w rozpoznawaniu ChZS. W obrazie RTG ChZS widoczna jest jako zwężenie szpar stawowych lub przestrzeni międzykręgowych. W obrazowaniu przy pomocy rezonansu magnetycznego, oprócz dokładnie zobrazowanej chrząstki stawowej, można ocenić struktury wewnątrzstawowe i kości. To badanie umożliwia również bezpośredni pomiar grubości chrząstki. Badanie ultrasonograficzne pozwala na ocenę powierzchni stawowych, jamy stawowej i błony maziowej. Przydatne jest w czasie wykonywania punkcji stawu lub iniekcji dostawowych [Jędrzejczyk M. i in., 2011]. Dodatkową metodą, stosowaną głównie w diagnostyce stawu kolanowego jest artroskopia diagnostyczna. Metoda polega na wykonaniu niewielkiego nacięcia i wprowadzeniu do wnętrza stawu artroskopu. Umożliwia ona obejrzenie stawu i większości jego struktur od wewnątrz. Pozwala na dokładną obserwację charakteru uszkodzenia chrząstki [Witoński D. 2016].

W leczeniu urazów chrząstki stawowej farmakoterapia nie przynosi oczekiwanych efektów, jest raczej wykorzystywana jako forma terapii przeciwbólowej. Właściwymi obecnie formami leczenia ubytków chrząstki stawowej są techniki chirurgiczne [Deszczyński J. i in. 2007].

#### 3.1. Mikroślamania

Metoda mikroślamań została opracowana przez Steadmana do leczenia ubytków chrząstki. Ubytek chrząstki pełnej grubości musi zostać oczyszczony, uszkodzenie oczyszcza się do warstwy podchrzęstnej. Należy usunąć luźne fragmenty chrząstki znajdującej się na brzegach ubytku tak, aby odsłonić zdrową tkankę otaczającą ten ubytek. Po usunięciu luźnych fragmentów w miejscu ubytku powstaje zagłębienie, które może zostać wypełnione skrzepem. Kolejną czynnością jest wykonanie mikroślamań. Mikroślamania to liczne otwory wykonane w odsłoniętej płytce warstwy podchrzęstnej kości. Wykonuje się je przy pomocy szydła artroskopowego. Otwory powinny być oddalone od siebie o ok 3-4 milimetry. Optymalna głębokość otworów to ok 4 mm, wskaźnikiem optymalnej głębokości mikroślamań są wydobywające się krople tłuszczu. Przez otwory do ubytku dostają się mezenchymalne komórki macierzyste (MSC) migrujące ze szpiku kostnego oraz krew. Powstałe w wyniku zabiegu fragmenty kostne należy usunąć aby nie drażniły stawu. Po wykonaniu mikroślamań i oczyszczeniu stawu obserwuje się czy wydzielanie krwi i kropel tłuszczu jest wystarczające. Jeżeli zabieg przebiegł pomyślnie należy opróżnić staw z płynu i „zamknąć” staw przez zaszywanie [Mioduszeowski A. 2001].

Celem tej techniki jest wytworzenie chropowatej powierzchni w strefie uszkodzenia, co sprawia, że skrzep mocniej i łatwiej się przykleja. Powstanie dobrego skrzepu i zapewnienie korzystnego środowiska multipotencjalnym komórkom szpiku tak, aby różnicowały się i wytwarzały stabilną tkankę w miejscu urazu stanowi istotę metody mikroślamań. Leczenie ubytków chrząstki za pomocą metody artroskopowych mikroślamań przynosi dobre rezultaty, ale zregenerowana tkanka ma obniżone własności mechaniczne i wytrzymałość [Mioduszeowski A. 2001]. Wynika to z faktu, iż zazwyczaj, w wyniku tego

zabiegu, powstaje tkanka o znacznym stopniu zwłóknienia (o dużej zawartości kolagenu I), w literaturze anglojęzycznej określana terminem *fibrocartilage*. Metoda ta może więc nie zapewniać pełnego odzyskania sprawności przez uszkodzony staw [Erggelet C. Mandelbaum B. 2008].

### 3.2. AMIC

AMIC (autologous matrix induced chondrogenesis) – to zmodyfikowana metoda mikroślamań. Podobnie jak w metodzie mikroślamań wykorzystuje się zdolność organizmu do samoregeneracji uszkodzonej chrząstki. Identycznie jak w poprzedniej metodzie w uszkodzonej chrząstce wykonuje się mikroślamania, modyfikacja polega na pokryciu ubytku z wykonanymi mikroślamaniami specjalną membraną wykonaną z kolagenu. Błona Chondro-Gide®, używana w tej metodzie, ma strukturę dwuwarstwowej macierzy i zbudowana jest z wieprzowego kolagenu typu I i III. Mikroślamania doprowadzają do migracji mezenchymalnych komórek macierzystych do miejsca ubytku. Membrana kolagenowa stanowi rusztowanie dla migrujących komórek. Multipotencjalne komórki penetrują wewnątrz membrany i różnicują się w kierunku chondrocytów. Efektem leczenia jest podobnie jak w metodzie mikroślamań odtworzenie pokrycia ubytku tkanką zbliżoną właściwościami do naturalnej chrząstki stawowej [Stephen P. Abelow i in. 2010].

### 3.3. Mega OAST - masywne przeszczepy chrzęstno-kostne

Technika ta stosowana jest głównie w leczeniu poważnych zwyrodnień stawu biodrowego. Umożliwia ona jednoczesną odbudowę ubytku kostnego, powierzchni stawowej i podporowej warstwy podchrzęstnej. Miejsce ubytku jest zastępowane jednolitym przeszczepem chrzęstno-kostnym. Przeszczep może być autologiczny, wówczas materiał zostaje pobrany z tylnej części kłykcia kości udowej lub wykorzystuje się przeszczep allogeniczny. Wskazaniami do tego typu zabiegu są: odwarstwiająca martwica chrzęstno-kostna, ubytek pourazowy w okolicy kłykcia przyśrodkowego kości udowej lub kłykcia bocznego kości udowej. Metoda Mega OAST wykorzystywana jest w leczeniu ubytków, których średnica przekracza 2 cm, występuje ubytek chrząstki i warstwy podchrzęstnej, odwarstwiająca martwica chrzęstno-kostna w stopniu III i IV oraz niepowodzenia po leczeniu innymi metodami.

Procedura zabiegu metodą mega OAST przebiega według następujących etapów. Na początku dochodzi do pobrania od dawcy fragmentu chrzęstno-kostnego. Pobrany fragment może być przechowywany w roztworze soli fizjologicznej z dodatkiem antybiotyków w temperaturze 4C ale czas od pobrania do wszczepienia nie może przekraczać 48 godzin. Jest to tzw. świeży przeszczep chrzęstno-kostny, nie jest on sterylizowany. Implantację pobranego fragmentu przeprowadza się za pomocą techniki „press-fit”. Polega ona na usunięciu zwyrodniałego fragmentu za pomocą wiertła. Do ubytku przykładą się przymiar, który musi pokrywać jego powierzchnię, kolejno wycina się zwyrodniały fragment chrząstki i frezuje kość, tworząc łożę o głębokości 10-15 mm. Uprzednio pobrany fragment należy obrobić tak, aby pasował do wydrążonej łoży w miejscu ubytku. Obrobiony fragment umieszcza się w miejscu ubytku i dobija sferycznym dobijakiem. Fragment należy tak dopasować, aby po wszczepieniu powierzchnia stawu była jednolita i gładka [Dec J. Gaździk T. S. 2008].

Oprócz oczywistej korzyści, jaką jest naprawa zwyrodniałego fragmentu, metoda ta ma wiele wad. Ze względu, że spora część przeszczepów to przeszczepy allogeniczne, a materiał nie jest sterylizowany istnieje możliwość infekcji chorobami wirusowymi. Istnieje także ryzyko wystąpienia reakcji immunologicznej i odrzucenia przeszczepu oraz brak zrostu przeszczepu z tkanką pacjenta. Problem stanowi również prawidłowe dopasowanie przeszczepu, zachowanie prawidłowej krzywizny pomiędzy powierzchnią przeszczepu i stawu [Dec J. Gaździk T. S. 2008].

### **3.4. Alloplastyka**

Alloplastyka jest najskuteczniejszą i najbardziej efektywną metodą leczenia dolegliwości związanych ze zwyrodnieniami stawów. Łagodzi dolegliwości bólowe i poprawia funkcje protezowanego stawu i całej kończyny. Zabieg implantacji pozwala na poprawę jakości życia i powrót do aktywności fizycznej i zawodowej [Kołodziej Ł. i in. 2012].

Zabieg endoprotezowania polega na wymianie uszkodzonego stawu i zastąpieniu go implantem. Gdy do czynienia mamy z endoprotezowaniem całkowitym stawu biodrowego, wymianie podlega głowa kości udowej i panewka. W przypadku częściowej endoprotezoplastyki wymianie ulega jedynie głowa kości udowej. Wstawienie implantu poprzedzone jest odcięciem szyjki kości udowej i frezowaniem miednicy tak, aby stworzyć przestrzeń dla nowej panewki. Panewka jest mocowana przy pomocy cementu kostnego lub wkręcana do kości. Po wstawieniu panewki mocowany jest trzpień. Mocowanie trzpienia odbywa się metodą wklinowania. W podobny sposób postępuje się w przypadku endoprotezowania stawów kolanowych. Wymianie podlega bliższa część kości piszczelowej oraz dalsza część kości udowej.

Mimo, że jest to najefektywniejsza metoda niesie ze sobą różne powikłania. Są to powikłania na skutek zabiegu operacyjnego i wyróżnić wśród nich można infekcje operowanego stawu, powikłania anestezyjologiczne, nadmierne krwawienie i związane z nim powikłania potransfuzyjne. Nie mniejsze znaczenie mają powikłania późne, które mogą wynikać z reakcji immunologicznej na obcy materiał, obłuzowywania i zużywania się implantu, zwłknięcie endoprotez, pęknięcie lub złamanie kości, do której implant jest przytwierdzony [Li Y.T. 2019].

### **3.5. Implantacja autologicznych chondrocytów- ACI (Autologous Chondrocyte Implantation)**

Po raz pierwszy wyniki leczenia metodą implantacji autologicznych chondrocytów (ACI) przedstawiono w 1994 roku przez Mats'a Brittberg'a. Zabieg wykonano na 11 mężczyznach i 12 kobietach, u których rozpoznano ubytek chrząstki szklistej [Brittberg M. i in. 1994]. Pierwszym etapem było pobranie i izolacja chondrocytów. Pobranie materiału nastąpiło z użyciem artroskopu. Pobranym materiałem były płyty chrząstki o wadze od 300 do 500 mg. Chrząstka została umieszczona w sterylnym i schłodzonym roztworze 0,9 % chlorku sodu. Płyty chrząstki zostały rozdrobnione i przemyle, a następnie zostały poddane trawieniu przez klostridiopeptydazę A i deoksyrybonukleazę. Wyizolowane komórki przesączone przez sito nylonowe o średnicy porów 25 mikrometrów. Wyizolowane i przesączone komórki umieszczono w pożywce hodowlanej, do której dodano surowicę pacjenta. Implantacje

rozchodowanych komórek odbywały się pomiędzy czternastą a dwudziestą pierwszą dobą od pobrania chrząstki. Przed wprowadzeniem autologicznych chondrocytów, z chrząstki wycięto uszkodzony fragment wraz z otaczającą chrząstką, nie naruszając jednak płytki podchrzęstnej. Powstały ubytek pokryto płatem okostnej pobranej z kości piszczelowej i przyszyto do otaczającej chrząstki. Autologiczne chondrocyty zostały wprowadzone za pomocą wstrzyknięć pod płat okostnej. Następnie zespolono wszystkie uszkodzenia powstałe na skutek zabiegu [Brittberg M. i in. 1994; Roelofs A.J. i in. 2013]. Zaletami tej techniki jest możliwość leczenia dużych uszkodzeń i naprawy ubytków chrząstki szklistej. Metoda ta stosowana jest u pacjentów z przewlekłymi i traumatycznymi zmianami pełnej grubości chrząstki, których wiek nie przekroczył 50 lat lub pacjentów, u których inne techniki nie przyniosły poprawy. Efektem leczenia jest odtworzenie w miejscu ubytku w pełni funkcjonalnej tkanki chrząstki szklistej. Utrudnieniem w stosowaniu tej metody są problemy z wszyciem płatów okostnej oraz wyciekaniem wprowadzanych komórek i ich niejednorodnym rozmieszczeniem [Montoya F. i in. 2013].

W celu pokonania niedogodności, które wynikają ze stosowania ACI, dokonano modyfikacji tej metody. W metodzie ACI drugiej generacji do pokrycia miejsca uszkodzenia chrząstki zamiast płata okostnej wykorzystuje się błony kolagenowe. Takie rozwiązanie wyeliminowało potrzebę pobrania płata okostnej i zmniejszyło rozległość zabiegu. Stosowane błony zapewniają lepszą ochronę dla implantowanych chondrocytów oraz posiadają lepsze właściwości mechaniczne w porównaniu z płatami kolagenowymi. Błony kolagenowe ułatwiają implantację komórek do uszkodzonego miejsca i stymulują wytwarzanie kolagenu typu II, co przyspiesza proces gojenia [Ossendorf C. i in. 2007]. Badanie prowadzone przez Gooding'a i wsp. [Bartlett W. i in. 2005] wykazało lepszy efekt leczniczy techniką ACI drugiej generacji (z użyciem błony kolagenowej) w porównaniu do ACI pierwszej generacji (z użyciem płata okostnej). Badanie polegało na ocenie czynnościowej i klinicznej pacjentów poddanych leczeniu wad kolan, z wykorzystaniem technik ACI pierwszej lub drugiej generacji, po okresie 24 miesięcy od zabiegu. W grupie leczonych metoda ACI pierwszej generacji dobry lub bardzo dobry wynik zanotowało 67% pacjentów a w leczeniu metodą ACI drugiej generacji pozytywny efekt uzyskano u 74% leczonych. Niestety u 36,4 % pacjentów leczonych techniką ACI pierwszej generacji obserwowano przerost implantowanej tkanki, co wymagało wykonania kolejnego zabiegu. Efektu przerostu tkanki nie obserwowano w przypadku zabiegów techniką ACI drugiej generacji, stąd jej wyższość nad metodą ACI z użyciem płata okostnej [Gooding CR. i in. 2006].

Obecnie popularnością cieszy się trzecia modyfikacja metody ACI - implantacja autologicznych chondrocytów indukowanych w macierzy (MACI: matrix-induced chondrocyte implantation). W obu poprzednich odmianach tej techniki implantowany materiał (płat okostnej lub błona kolagenowa) stanowił jedynie pokrycie ubytku i odgraniczał implantowane chondrocyty od jamy stawu. W technice ACI trzeciej generacji chondrocyty przed implantacją zatapiane są w skafoldach lub podłożach hydrożelowych. Przestrzenna i porowata struktura rusztowania umożliwia migrację chondrocytów wewnątrz całego implantowanego materiału [Zheng M.H. i in. 2006]. Możliwość prowadzenia hodowli w żelach zapobiega odróżnicowywaniu się chondrocytów, w przeciwieństwie do hodowli płaskich, w których do takiego odróżnicowania dochodzi [Awad H.A. i in. 2004]. Skafoldy umożliwiają bardziej dogodną implantację i zapewniają równomierny rozkład komórek

w obrębie całego uszkodzenia, co sprzyja lepszym efektom leczniczym [Sittinger M. i in. 2004].

Wykorzystywane rusztowania można podzielić na trzy grupy, ze względu na materiał z jakiego są wykonane. Wyróżnia się materiały syntetyczne, do których należą kwas polimlekowy, kwas poliglikolowy i ich kopolimery. Drugą grupę stanowią hydrożele z roślinnych polisacharydów, z których najważniejszymi są alginian i agaroz. Trzecią i zarazem najbardziej obiecującą grupę tworzą naturalne polimery pobierane z organizmów zwierzęcych (lub od człowieka): kolagen, kwas hialuronowy i fibrynogen [Kuźma T. i in. 2015]. Dobre wyniki leczenia ubytków chrząstki notuje się po zastosowaniu produktu Hyalograft-C [Pavesio A. i in. 2003]. Hyalograft-C to produkt powstały z połączenia autologicznych chondrocytów pobranych od pacjenta i resorbowalnej matrycy kwasu hialuronowego – HYAFF 11 [Kulczycka A i in. 2010]. Matryca HYAFF 11 jest biokompatybilnym polimerem kwasu hialuronowego, który może posłużyć jako nośnik leków, czynników wzrostu lub komórek [Deszczyński J. i in. 2007].

Obecnie coraz większą popularność zdobywa Cartipatch. Jest to skafold zbudowany z agarozy i alginianu oraz (identycznie jak w przypadku Hyalograftu C) zawieszonych w nim chondrocytów. Do implantacji stosuje się walcowate rusztowania o standardowych średnicach 10, 14 lub 18 mm [Kuźma T. i in. 2015]. Procedura implantacji opiera się na wykonaniu odwiertu w miejscu uszkodzonej tkanki, a następnie wprowadzenie do powstałego zagłębienia krążka hydrożelu o odpowiednim rozmiarze. Mocowanie hydrożelu odbywa się metodą „na wcisk” (ang. press-fit”) [Selmi T.A.S. i in., 2008].

#### 4. Podsumowanie

Nadmierna eksploatacja układu ruchu, powstałe zwyrodnienia i wydłużający się okres życia stanowią negatywne czynniki wpływające na powierzchnie stawowe. Efektem degradacyjnych procesów toczących się w obrębie tkanki chrzęstnej są dokuczliwe objawy bólowe, które znacząco obniżają komfort życia pacjenta. Zaawansowana postać niejednokrotnie wymaga zastosowania zaopatrzenia ortopedycznego w postaci kul ortopedycznych czy chodzika. Sprzęt ten stosuje się przede wszystkim, by nie dopuścić do tworzenia kompensacji związanych z utykaniem, a w konsekwencji kolejnych przeciążeń. Wystąpieniu części objawów można zapobiec lub istotnie je opóźnić stosując odpowiednią profilaktykę. Właściwie dobrana ilość i intensywność ruchu, a w szczególności poprawne wykonywanie czynności ruchowych – zgodnie ze wzorcami, są kluczowymi elementami prewencyjnymi dla zachowania układu ruchu we właściwej kondycji. Niestety nie są one w stanie zapobiegać wszystkim niepożądanym objawom zwyrodnienia chrząstki, w szczególności tym wywołanym przez ChZS, zapalenia i choroby immunologiczne. W leczeniu poważniejszych uszkodzeń chrząstki stosuje się powyżej opisane metody chirurgiczne, które dobiera się zależnie od rodzaju i stopnia uszkodzenia. Metodę leczenia wybiera lekarz, zgodnie z jego wiedzą oraz adekwatnie do stanu degradacji chrząstki stawowej. Zabieg nie zwalnia jednak z konieczności poprawy biomechanicznego wzorca poruszania się, by nie doprowadzić do ponownego pojawienia się objawów.

**Bibliografia:**

1. Adamczyk G, Antolak Ł, Skrok T, Śmigielski R, Wczesne wyniki leczenia ubytków chrząstki stawowej stawu kolanowego za pomocą autogennych przeszczepów chrzęstnokostnych sposobem OATS. *Acta Clinica* 2001; 1: 54-68.
2. Awad H A, Wickham MQ, Leddy HA, Gimble JM, Guilak F, Chondrogenic differentiation of adipose-derived adult stem cells In agarose, alginate, and gelatin scaffolds. *Biomaterials* 2004; 25: 3211-3222.
3. Bartlett W, Skinner JA, Gooding CR, Carrington RW, Flanagan AM, Briggs TW, Bentley G, Autologous chondrocyte implantation versus matrix-induced autologous chondrocyte implantation for osteochondral defects of the knee. *Journal of Bone & Joint Surgery* 2005; 640-645.
4. Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A, Ohlsson C, Isaksson O, Peterson L, Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med*. 1994; 331: 889-895.
5. Dec J, Gaździk T Sz. Application of allogenic massive osteo-cartilaginous grafts in the therapy of deep defects of articular surfaces. *J Orthop Trauma Surg Rel Res* 2008; 3 (11): 61-66.
6. Deszczyński J i wsp. Autologous chondrocyte transplantation vs. transplantation of chondrocytes seeded on Hyaluronian (Hyalograft®C) in the treatment of the defects at the joint surface. *Arthroscopy and Joint Surgery* 2007; 3(1): 5-12.
7. Dyndor P i wsp. Współczesne poglądy na temat roli i patogenezę choroby zwyrodnieniowej stawu kolanowego. *Zdr Publ* 2012; 122(2): 206-210.
8. Dziedzic K, Zalewski M, Gądek A, Dukała J, Zastosowanie chondrocytów w medycynie regeneracyjnej. *Przegląd Lekarski* 2014; 71(6): 334-339.
9. Erggelet C, Mandelbaum B R. Operative Treatment of Articular Cartilage Defects. [W:] *Principles of Cartilage Repair*. Steinkopff Verlag 2008; 39-70.
10. Gooding CR, Bartlett W, Bentley G, Skinner JA, Carrington R, Flanagan A, A prospective randomized study comparing two techniques of autologous chondrocyte implantation for osteochondral defects in the knee: Periosteum covered versus type I/III collagen covered. *Knee* 2006; 13(3): 203-210.
11. Greczner T. Jak dbać o kondycję? Biblioteka Nestora Wrocław 2009.
12. Jastrzębska A, Napierała M. Aktywność fizyczna w zdrowym stylu życia nauczycieli szkół ponadgimnazjalnych miasta Koronowa w: *Zdrowie i rekreacja ludzi w różnym wieku*. Polskie Towarzystwo Naukowe Kultury Fizycznej 2013; 2: 43-67.
13. Jędrzejczyk M, Ciebiada M, Stefańczyk L, Współczesna diagnostyka obrazowa choroby zwyrodnieniowej stawów. *Geriatrics* 2011; 5: 155-161.
14. Karuga E, Żywicka B, Pielka S, Uszkodzenia chrząstki stawowej – problem do rozwiązania <http://chps.fsid.cvut.cz/pt2010/pdf/KarugaEwa.pdf> (dostęp, 04.06.2019 r.).
15. Kołodziej Ł, Fiodor Ł, Syroczyński A, The Impact of Total Hip Arthroplasty on resuming employment, in patients with Hip Osteoarthritis. *J ORTHOP TRAUMA SURG REL RES* 2012; 4 (30): 13-18.
16. Kulczycka A i wsp. The umbilical cord stem cells as a promising cell source in regenerative medicine. *Farm Przegl Nauk* 2010; 10: 15-21.
17. Kuźma T i wsp. Biomaterials in autologous chondrocytes transplantation. <http://old->



- croma.avrio.pl/Articles/view/1266/ (dostęp, 26.07.2019).
18. Leszczyński P, Buś K. Choroba zwyrodnieniowa stawów – epidemia XXI wieku. *Farmacja Współczesna* 2008; 1: 79-87.
  19. Li YT, Hung CC, Chou YC, Chen JE, Wu CC, Shen HC, Yeh TT. Surgical Treatment for Posterior Dislocation of Hip Combined with Acetabular Fractures Using Preoperative Virtual Simulation and Three-Dimensional Printing Model-Assisted Precontoured Plate Fixation Techniques. *Biomed Res Int.* 2019; 3971571.
  20. Linke RD, Ulmer M, Imhoff AB. Replacement of the meniscus with a collagen implant (CMI). *Oper Orthop Traumatol.* 2006;18(5-6):453-62.
  21. Marecki B. Anatomia Funkcjonalna. AWF w Poznaniu 1995; 3: 30-31.
  22. Mikołajczak E, Napierała M i wsp. Aktywność fizyczna dzieci z klas 4-6 szkoły podstawowej nr 11 w Inowrocławiu w: *Uwarunkowania zdrowia fizycznego, psychicznego i społecznego człowieka. Polskie Towarzystwo Naukowe Kultury Fizycznej* 2013; 1: 5-17.
  23. Mioduszeński A. Wczesne wyniki leczenia ubytków chrząstki stawowej metodą mikrozłamań. *Acta Clinica* 2001; 1: 45-51.
  24. Montoya F, Martinez F, Garcia-Robles M, Balmaceda-Aguilera C, Koch X, Rodriguez F, Silva-Alvarez C, Salazar K, Ulloa V, Nualart F, Clinical and experimental approaches to knee cartilage lesion repair and mesenchymal stem cell chondrocyte differentiation. *Biological research* 2013; 46(4): 441-451.
  25. Moskalewski S. Tkanka chrzęstna. W: *Histologia*. Ostrowski K (red.). Wydawnictwo Lekarskie PZWL 1995; 7: 228-241.
  26. Ossendorf C, Kaps C, Kreuz PC, Burmester GR, Sittinger M, Erggelet C, Treatment of posttraumatic and focal osteoarthritic cartilage defects of the knee with autologous polymer-based three-dimensional chondrocyte grafts: 2-year clinical results. *Arthritis Res Ther* 2007; 9(2): R41
  27. Paradowski J. Postępowanie w przypadku miejscowych uszkodzeń stawu kolanowego. <http://www.sport-med.pl/leczenie/postepowanie-w-przypadku-miejscowych-uszkodzen-chrzastki-stawu-kolanowego> (dostęp, 20.06.2019).
  28. Pavesio A, Abatangelo G, Borriero A, Brocchetta D, Hollander AP, Kon E, Torasso F, Zanasi S, Marcacci M, Hyaluronan-based scaffolds (Hyalograft C) in the treatment of knee cartilage defects: preliminary clinical findings. *Novartis Found Symp* 2003; 249: 203–241.
  29. Roelofs AJ, Rocke JP, De Bari C, Cell-based approaches to joint surface repair: a research perspective. *Osteoarthritis and Cartilage* 2013; 21(7): 892-900.
  30. Scotti C, Mangiavini L, Boschetti F, Vitari F, Domenechini C, Frascini G, Peretti GM, Effect of in vitro culture on a chondrocyte-fibrin glue hydrogel for cartilage repair. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 1400-1406.
  31. Selmi T A, Verdonk P, Chambat P, Dubrana F, Potel JF, Barnouin L, Neyret P, Autologous chondrocyte implantation in a novel alginate-agarose hydrogel. *J Bone Joint Surg* 2008; 90-B: 597-604.
  32. Sittinger M, Hutmacher DW, Risbud MV. Current strategies for cell delivery in cartilage and bone regeneration. *Current Opinion in Biotechnology* 2004; 15: 411-18.
  33. Stephen P. Abelow, Pedro Guillen, Marta Guillen, Isabel Guillen Osteochondral Lesions

- of the Talar Dome: New Horizons in Cartilage Replacement. [W:] Amendola N, Stone JW. AANA Advanced Arthroscopy: The Foot and Ankle. Philadelphia: Elsevier Inc 2010; 135-145.
34. Witoński D. Arthroscopy in the Management of Osteoarthritis. J Healt Stud Med 2016; 3: 21-28.
35. Zheng MH, Willers C, Kirilak L, Yates P, Xu J, Wood D, Shimmin A, Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation (MACI®): Biological and Histological Assessment. Tissue Engineering 2006; 4: 737-746.
36. Zimmermann-Górska I. Choroba zwyrodnieniowa stawów – nowe spojrzenie. [http://www.pamw.pl/sites/default/files/zimmermann\\_choroba\\_zwyrod.pdf](http://www.pamw.pl/sites/default/files/zimmermann_choroba_zwyrod.pdf) (dostęp, 04.06.2019 r.).

## 14. POWIKŁANIA INFEKCYJNE PO TRANSPLANTACJI PŁUC U BIORCÓW CHORYCH NA MUKOWISCYTOZĘ. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ PACJENTÓW WOJEWÓDZTWA PODKARPACKIEGO Z DANYMI Z LITERATURY

**Aleksandra Kubera**

Uniwersytet Rzeszowski

Wydział Medyczny, kierunek lekarski

Studenckie Koło Naukowe Genetyki Klinicznej

Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej

Email: aleksandra.kubera7@gmail.com

**Anna Maria Wróblewska**

Uniwersytet Rzeszowski

Wydział Medyczny, kierunek lekarski

Studenckie Koło Naukowe Genetyki Klinicznej

Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej

Email: annamariawroblewska\_ise@yahoo.com

### 1. Wstęp

Mukowiscydoza (zwłóknienie torbielowate, łac. *mucoviscidosis*, ang. *cystic fibrosis*, *CF*, *mucoviscoidosis*, *mucoviscidosis*), jest to wrodzona choroba wieloukładowa, uwarunkowana genetycznie, o przebiegu przewlekłym i postępującym. Charakteryzuje się polimorfizmem ze strony wielu narządów i układów, zwłaszcza układu oddechowego i pokarmowego [Mazurczak T. Praca zbiorowa (2006)]. Przyczyną choroby jest defekt genu kodującego białko CFTR (ang. *cystic fibrosis transmembrane conductance regulator*). Znajduje się ono na szczytowej powierzchni komórek nabłonka wydzielniczego. Pełni rolę kanału chlorkowego i jest odpowiedzialny za transport glutationu, jonów węglowodanowych oraz innych elektrolitów. Znanych jest ponad 1900 różnych mutacji genu *CFTR*. U chorych pochodzenia europejskiego najczęściej występuje delecja trzech nukleotydów kodujących fenyloalaninę w pozycji 508 (delF508). Drugą co do częstości mutacją, wykrywaną u pacjentów populacji polskiej jest 3849+10kbC->T. Wyróżnia się 6 klas mutacji genu *CFTR* wiążących się z odmiennymi następstwami klinicznymi. Przejawem zmienności na poziomie molekularnym genu *CFTR* jest plejotropowość objawów chorobowych [Mazurek H. (2012)].

Charakterystyczne dla mukowiscydozy zmiany morfologiczne w płucach („zamięć śnieżna”), związane są z nadmierną lepkością i gęstością wydzieliny oskrzelowej. Jej nagromadzenie w oskrzelach i oskrzelikach prowadzi do zaburzeń klirensu śluzówkowo-rzęskowego oraz zmniejszenia żółtej warstwy płynu rzęskowego [Mazurczak T. Praca zbiorowa (2006)]. Permanentne obniżenie odporności miejscowej dolnych dróg oddechowych sprzyja kolonizacji bakterii i tworzeniu biofilmu, co utrudnia dostęp komórek fagocytyzujących i leków do miejsca zakażenia. Mukowiscydoza cechuje się nawrotowym występowaniem zaostrzeń oskrzelowo-płucnych. Liczne infekcje w układzie oddechowym o różnej etiologii skutkują ciągłym odoskrzelowym niszczeniem tkanki płucnej oraz nieuniknioną progresją

zmian [Balke B. i in. (2008); Smyth A.R. i in. (2014); Walkowiak J. i in. (2009)].

Wielonarządowa ekspresja mukowiscydozy wymaga kompleksowego leczenia. Polega ono na stosowaniu odpowiedniej diety, terapii zewnątrzwydzielniczej niewydolności trzustki, profilaktyce i leczeniu zaostrzeń oskrzelowo-płucnych, systematycznej fizjoterapii klatki piersiowej oraz leczeniu chorób (Tabela 1) [Walkowiak J. i in. (2009)].

Najczęstszą przyczyną umieralności pacjentów z mukowiscydozą są powikłania ze strony układu oddechowego [Goldberg H.J., Deykin A. (2007)]. W związku z tym, istotnym przełomem w leczeniu zwłóknienia torbielowatego było wykonanie transplantacji obu płuc. W Polsce pierwsza taka operacja została przeprowadzona w Śląskim Centrum Chorób Serca w Zabrzu przez dr Jacka Wojarskiego w kwietniu 2011 roku. Szacuje się, że w Polsce około 2 000 osób cierpi na mukowiscydozę. Wśród nich 10-15 chorych rocznie wymaga przeszczepu płuc. Kryteria kwalifikacji do przeszczepu chorych na CF obejmują: tlenozależną niewydolność oddechową ( $PaO_2 < 55$  mmHg), hiperkapnie ( $PaCO_2 > 50$  mmHg) i nadciśnienie płucne (średnie PAP  $> 25$  mmHg, syst PAP  $> 35$  mmHg, PAT [pulmonary acceleration time]  $< 101$  msec). Natomiast wytycznymi kierowania pacjentów do ośrodków transplantacyjnych są: pogarszająca się funkcja płuc, oceniana na podstawie wskaźników spirometrycznych ( $FEV_1 < 30\%$  wn) lub nagłe obniżenie  $FEV_1$ , wzrost częstości ciężkich zaostrzeń zmian oskrzelowo-płucnych, wymagających hospitalizacji [Walicka-Serzysko K., Milczewska J., Sands D. (2014)]. Stały kontakt płuc ze środowiskiem zewnętrznym oraz ich narażenie na infekcje sprawia, że transplantacja tego narządu wiąże się z wysokim ryzykiem komplikacji pooperacyjnych. Wobec dużego zapotrzebowania na przeszczepy płuc, liczba wykonywanych zabiegów wciąż jest zbyt mała.

**Tabela 1. Podstawowe zasady leczenia mukowiscydozy**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1) Leczenie choroby oskrzelowo-płucnej:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• codzienna fizjoterapia - odpowiednio dobrana metoda drenażowa w połączeniu z aktywnością fizyczną,</li> <li>• antybiotykoterapia - w zależności od flory bakteryjnej układu oddechowego; leczenie empiryczne: aminoglikozyd+ceftazydym</li> <li>• leki mukolityczne - dornaza alfa, hipertoniczne roztwory NaCl, N-acetylocysteina, ambroksol,</li> <li>• leki rozszerzające oskrzela - betamimetyki,</li> <li>• glikokortykosteroidy wziewne,</li> <li>• leczenie przeciwzapalne - makrolidy, glikokortykosteroidy systemowe, niesteroidowe leki przeciwzapalne</li> <li>• przeszczep płuc.</li> </ul> <p>2) Leczenie żywieniowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stosowanie indywidualnie dobranej diety wysokoenergetycznej, wysokotłuszczowej i wysokobiałkowej,</li> <li>• żywienie dojelitowe (PEG) i pozajelitowe - jeżeli jest konieczne,</li> <li>• suplementacja NaCl,</li> <li>• suplementacja witamin ,</li> <li>• suplementacja enzymów trzustkowych,</li> </ul> <p>3) Leczenie chorób współistniejących.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2. Materiały i Metody

Analiza retrospektywna jest w oparciu o historie chorób 3 pacjentów cierpiących na mukowiscydozę, leczonych w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie. Dane zostały zebrane na przestrzeni dwudziestu lat. Powyższe wyniki porównano z danymi z literatury oraz publikacji naukowych.

## 3. Prezentacja przypadków

### Pacjentka 1

27 letnia pacjentka chora na CF z genotypem *CFTR*del2,3(21kb)/3849+10kbC->T/M. Przebieg choroby powikłany przez: zewnątrzwydzielniczą niewydolność trzustki, nawracające zapalenie zatok, polipowatość błony śluzowej żołądka, rozstrzenie oskrzeli, przewlekłą niewydolność nerek. W badaniu fizykalnym widoczna szewska klatka piersiowa oraz skolioza dwułukowa. Z powodu znacznego stopnia niedożywienia (BMI 16) założono PEG (przezskórną gastrostomię endoskopową). Ze względu na nawracające zaostrzenia oskrzelowo-płucne konieczne były liczne hospitalizacje. Pogorszenie stanu zdrowia było związane z infekcjami wywołanymi przez: *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida dubliniensis*, *Enterococcus faecalis*. Z powodu niewydolności oddechowej w przebiegu mukowiscydozy, w wieku 16 lat u pacjentki wykonano LT (lung transplant) w Śląskim Centrum Chorób Płuc w Zabrze (ŚCCP). 7 miesięcy po przeszczepie chora leczona była acyklowirem z uwagi na zakażenie *Herpes simplex*. 14 miesięcy po transplantacji w badaniu bronchoskopowym wykryto *Aspergillus* skutecznie leczonego amfoterycyną B. 19 miesięcy po operacji pacjentka hospitalizowana z powodu obustronnego zapalenia płuc oraz zapalenia zatok obocznych nosa. Badanie mikrobiologiczne wykazało obecność w płwocinie: *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Candida dubliniensis*, *Penicilium species*. Zastosowano antybiotykoterapię skojarzoną celowaną. Uzyskano remisję zmian zarówno kliniczną jak i radiologiczną. W 20 miesiącu pacjentka przyjęta do szpitala w stanie zagrożenia życia z powodu objawów ciężkiej infekcji dróg oddechowych. Objawy wystąpiły w niedługim okresie po sinusostomii zatok szczękowych. W mechanizmie aspiracji doszło do obustronnego zapalenia płuc, pogorszenia czynności nerek oraz zaostrzenia przewlekłego zapalenia trzustki. Z płwociny wyhodowano: *Candida glabrata*, *Enterococcus species*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Sacharomyces cerevisiae*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis*. Dodatkowo wyniki badań immunologicznych wykazały obecność przeciwciał anty EBNA (IgG), co sugeruje przebytą infekcję wirusem EBV. 23 miesiące po przeszczepie chorą hospitalizowano z powodu infekcji *Pneumocystis jiroveci*. Przez kolejne lata pacjentka pozostawała pod opieką kliniki w Wiedniu.

### Pacjent 2

37 letni pacjent chory na CF z genotypem *delF508*/-. Choroby współtowarzyszące: refluks żołądkowo-przełykowy z zapaleniem przełyku, żylaki przełyku I stopnia, zewnątrzwydzielnicza niewydolność trzustki, rozstrzenie oskrzeli, przewlekłe zapalenie zatok. Od 2016 roku pacjent był leczony w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Szpitalu nr 2 w Rzeszowie. W tym okresie wystąpiły u niego nawracające infekcje

*Staphylococcus aureus* oraz *Candida albicans*. W wieku 36 lat wykonano ortotopowy przeszczep płuc w Śląskim Centrum Chorób Płuc w Zabrze. W trakcie hospitalizacji po zabiegu doszło do zakażenia oskrzeli wywołanego szczepami: *Enterococcus faecium* oraz *Burkholderia multivorans*. Dodatkowo, posiew wymazu z odbytu wykazał obecność *Escherichia coli* ESBL. 4 miesiące po przeszczepie pacjent został przyjęty do oddziału ŚCCP z powodu zapalenia oskrzeli wywołanego przez *Mycobacterium abscessus*. U pacjenta rozpoznano także BOS (zespół zarostowego zapalenia oskrzelików). 5 miesięcy po transplantacji wyhodowano z płwociny *Burkholderia cepacia*. 7 miesięcy po operacji u pacjenta rozwinęła się aspergiloza oskrzeli. 8 miesięcy po zabiegu rozpoznano cukrzycę CFRD (cystic fibrosis- related diabetes) insulinozależną. Pacjent pozostaje pod stałą kontrolą w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie.

### Pacjentka 3

36 letnia pacjentka chora na CF z genotypem *delF508/delF508*. U chorej wystąpiły choroby współistniejące takie jak: zewnątrzwydzielnicza niewydolność trzustki, rozstrzenie oskrzeli. W wieku 33 lat wykonano zabieg opaskowania żyłaków przełyku. Pacjentce założono PEG z powodu skrajnego niedożywienia. U chorej stwierdzono w drogach oddechowych nawracające zakażenia wywołane przez *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* oraz *Aeromonas veronii*. W wieku 35 lat wykonano ortotopowy sekwencyjny przeszczep obu płuc. 7 dni po transplantacji w posiewie fragmentu oskrzela biorcy wykryto *Pseudomonas aeruginosa* oraz *Achromobacter xylosoxidans*. 1 miesiąc po przeszczepie u pacjentki rozwinęła się cukrzyca potransplantacyjna, wymagająca insulinoterapii. Obecnie pacjentka w stanie ogólnym dobrym, pozostaje pod stałą kontrolą w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie.

**Tabela 2. Informacje dotyczące opisywanych pacjentów leczonych w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie**

|                               | Pacjent 1                         | Pacjent 2 | Pacjent 3       |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------|
| Wiek                          | 27                                | 37        | 36              |
| Płeć                          | Kobieta                           | Mężczyzna | Kobieta         |
| Mutacja                       | CFTRdel2,3(21kb)/3849+10kbC->T/M. | delF508/- | delF508/delF508 |
| Infekcje przed LT             |                                   |           |                 |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | +                                 |           | +               |
| <i>Staphylococcus aureus</i>  |                                   | +         | +               |
| <i>Enterococcus faecalis</i>  | +                                 |           |                 |
| <i>Candida dubliniensis</i>   | +                                 |           |                 |
| <i>Candida albicans</i>       |                                   | +         | +               |
| <i>Aeromonas veronii</i>      |                                   |           | +               |

**Tabela 3. Infekcje występujące po przeszczepie płuc u opisywanych pacjentów leczonych w Poradni i Klinice Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie.**

|                                   | Pacjent 1 | Pacjent 2 | Pacjent 3 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Infekcje po LT                    |           |           |           |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i>     | +         |           | +         |
| <i>Staphylococcus aureus</i>      |           |           | +         |
| <i>Enterococcus faecalis</i>      | +         |           |           |
| <i>Enterococcus faecium</i>       | +         | +         |           |
| <i>Candida dubliniensis</i>       | +         |           |           |
| <i>Candida albicans</i>           | +         |           |           |
| <i>Candida glabrata</i>           | +         |           |           |
| <i>Herpes simplex</i>             | +         |           |           |
| <i>Penicillium species</i>        | +         |           |           |
| <i>Sacharomyces cerevisiae</i>    | +         |           |           |
| <i>Pneumocystis jiroveci</i>      | +         |           |           |
| <i>Burkholderia multivorans</i>   |           | +         |           |
| <i>Burkholderia cepacia</i>       |           | +         |           |
| <i>Escherichia coli</i> ESBL      |           | +         |           |
| <i>Aspergillus</i>                | +         |           |           |
| <i>Achromobacter xylosoxidans</i> |           |           | +         |
| <i>Mycobacterium abscessus</i>    |           | +         |           |



**Rycina 1. Zdjęcie klatki piersiowej PA pacjentki 14 miesięcy przed LT**

W dolnym polu płuca prawego pojedyncze pasma włóknisto-błiznowate oraz zrosty osierdziowo-opłucnowe. Pola płucne bez zmian ogniskowych. Wysokie ustawienie kopuły przepony po stronie lewej. Lewoboczna skolioza kręgosłupa piersiowego.



**Rycina 2. Zdjęcie klatki piersiowej PA pacjenta 2 miesiące przed LT**

W obu płucach liczne, rozsiane zacielenia plamiste i pasmowate z widocznymi na ich tle drobnymi torbielowatymi przejaśnieniami - obraz przewlekłych zmian zapalnych ze zwłóknieniami śródmiąższowymi i rozstrzeniami oskrzeli w przebiegu CF.



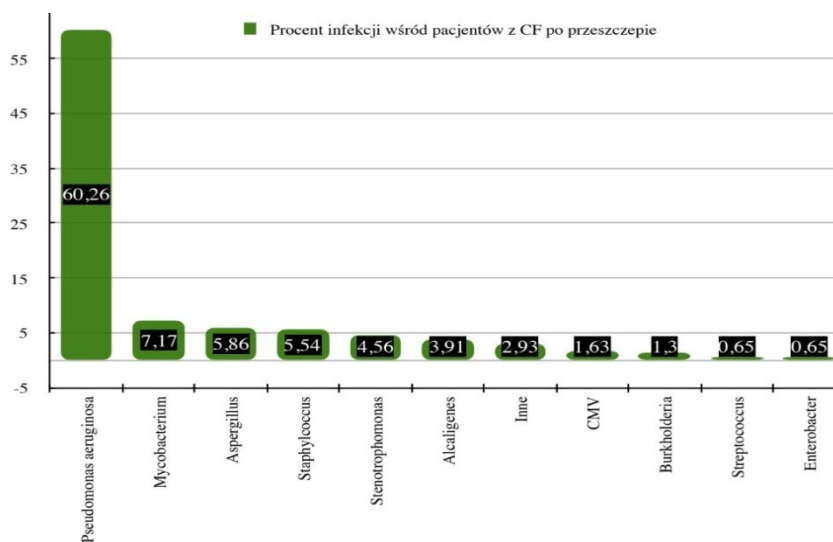
**Rycina 3. Zdjęcie klatki piersiowej PA pacjentki 3 miesiące przed LT**

W obu płucach widoczne pasmowate i obrączkowate cienie odpowiadające zmianom o charakterze rozstrzeni oskrzeli (niektóre prawdopodobnie z wypełniającą je wydzieliną). Wnęki płucne nieposzerzone.

#### **4. Wyniki i dyskusja**

Przeszczep płuc stał się istotnym środkiem terapeutycznym wśród pacjentów chorych na mukowiscydozę ze schyłkową niewydolnością oddechową.





**Wykres 1. Częstość infekcji wśród pacjentów z CF po przeszczepie płuc na podstawie „Post-operative Infections in Cystic Fibrosis and Non-Cystic Fibrosis Patients After Lung Transplantation” Bonvillain R. W., Valentine V. G., Lombard G., LaPlace S., Dhillon G., Wang G. (2007)**

W badaniu „Post-operative Infections in Cystic Fibrosis and Non-Cystic Fibrosis Patients After Lung Transplantation” przeanalizowano częstość występowania infekcji wśród 60 pacjentów z CF po transplantacji płuc. Zaobserwowano obecność 278 infekcji wywołanych przez 307 patogenów. Najczęściej izolowanymi drobnoustrojami były: *Pseudomonas aeruginosa* 60.3%, *Mycobacteria* spp (7.2%), *Aspergillus* spp (5.9%) and *Staphylococcus* spp (5.5%) (Wykres 1) [Bonvillain R. W. i in. (2007)].

U pacjentów z CF z Kliniki Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie po przeszczepie płuc wyizolowano 17 patogenów. Dominowały zakażenia *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* oraz *Enterococcus faecum*.

U dwóch z trzech opisywanych pacjentów obserwujemy kolonizację dróg oddechowych przez *Pseudomonas aeruginosa* zarówno przed jak i po transplantacji. W badaniu „Epidemiology of chronic *Pseudomonas aeruginosa* infections in the airways of lung transplant recipients with cystic fibrosis” wzięło udział 11 pacjentów z CF, u których stwierdzono tą samą zależność. Analiza genotypu drobnoustroju w powyższym badaniu wykazała, że drogi oddechowe pacjentów były skolonizowane bakterią dokładnie o tym samym genotypie zarówno przed jak i po transplantacji. Na podstawie tych wyników ustalono, że *Pseudomonas aeruginosa* zasiedla zatoki przynosowe oraz tchawice pacjentów. Skutkiem tego jest potransplantacyjna rekolonizacja dolny dróg oddechowych tym drobnoustrojem [Walter S. i in. (1997)].

Kolejnym patogenem wyizolowanym u 1 z 3 opisywanych pacjentów jest *Staphylococcus aureus*. Drobnoustrój ten uznawany jest za najczęściej występujący u dzieci chorych na mukowiscydozę, natomiast wśród dorosłych zajmuje drugie miejsce po *Pseudomonas aeruginosa*. Wyniki pracy „Impact of Pre-Transplant *Staphylococcus Aureus* Colonization on Post-Transplant *S. aureus* Infection Among Cystic Fibrosis Lung Transplant Recipients” wskazują na zwiększenie ryzyka ponownego zakażenia po

przeszczepie w przypadku gdy przed operacją wykryto kolonizację tym drobnoustrojem. Opisano również brak wpływu infekcji o etiologii *Staphylococcus aureus* po transplantacji na jednoroczną przeżywalność pacjentów [St-Pierre J. i in. (2014)].

U jednego z opisywanych przez nas pacjentów po przeszczepie płuc rozwinęła się infekcja *Mycobacterium abscessus complex* (MAbsC). Drobnoustrój ten jest najbardziej opornym i szybko rosnącym gatunkiem *Mycobacterium*. Należy on do bakterii trudnych w leczeniu, zwiększających współczynnik zachorowalności oraz śmiertelności wśród pacjentów zarówno immunokompetentnych jak i przyjmujących leki immunosupresyjne. Z tego powodu konieczna jest dokładna analiza potencjalnych biorców przeszczepów [Chandrashekar S., Escalant P., Kennedy C. C. (2017)]. Przewlekłe zakażenie drobnoustrojami o wysokiej złośliwości oraz/lub oporności uważa się za bezwzględne przeciwwskazanie do wykonania przeszczepu płuc, podczas gdy kolonizacja tymi patogenami stanowi przeciwwskazanie względne [Weill D. i in. (2005)]. Ponadto, pacjenci chorzy na mukowiscydozę z przedtransplantacyjnym zakażeniem MAbsC wykazują zwiększone ryzyko trudnych do leczenia zakażeń tkanek miękkich [Chandrashekarani S. i in. (2017)]. Obecnie nie istnieją dokładne wytyczne określające sposób postępowania z pacjentami cierpiącymi na zwłóknienie torbielowate, zakażonymi *Mycobacterium abscessus complex* [Tissot A., Thomas M. F., Corris P. A., Brodlie M. (2018)].

*Aspergillus* często kolonizuje drogi oddechowe pacjentów z przewlekłymi chorobami płuc. Należą do nich chorzy na mukowiscydozę. Szacuje się, że u 50% dorosłych z CF izoluje się *Aspergillus* z płwociny. U większości pacjentów grzyb jest niepatogenny. Rzadko powoduje ABPA (allergic bronchopulmonary aspergillosis). U pacjentów przyjmujących leki immunosupresyjne może wywołać poważną infekcję płuc. W porównaniu z biorcami innych narządów litych, u biorców płuc wykazano największą częstość zakażenia *Aspergillus*. Zbliżony odsetek chorych zakażonych tym patogenem występuje w przypadku przeszczepu komórek macierzystych układu krwiotwórczego [Iversen M. i in. (2007)]. Dodatkowo, pacjenci z przedoperacyjną infekcją *Aspergillus* wykazują zwiększone ryzyko ponownego zakażenia po transplantacji płuc [Nunley D. R. i in. (1998)].

U jednego z pacjentów Kliniki Alergologii i Mukowiscydozy w Klinicznym Wojewódzkim Szpitalu nr 2 im. Św. Jadwigi Królowej w Rzeszowie, po transplantacji rozwinęło się zakażenie *Burkholderia cepacia complex*. Według literatury *B. cepacia* wywołuje od 3-5% zakażeń płucnych u chorych na mukowiscydozę. Obecnie w większości ośrodków transplantologicznych uznaje się, że chorzy zakażeni *Burkholderia cepacia complex* nie mogą być kwalifikowani do transplantacji płuc z powodu zwiększonego ryzyka odrzucenia przeszczepu i wystąpienia śmiertelnej infekcji. Jednakże istnieją placówki, w których wykonuje się transplantacje płuc mimo zagrożenia niepowodzeniem. W pracy „*Burkholderia cepacia complex* genomovars and pulmonary transplantation outcomes in patients with cystic fibrosis” dokonano analizy genomów *Burkholderia cepacia complex*. Znanych jest I-VII genomów, wśród których najbardziej patogenny jest genom III, w mniejszym stopniu genom II (*Burkholderia multivorans*). W powyższym badaniu wzięło udział 84 pacjentów z CF, wśród których było 11 zakażonych *Burkholderia cepacia complex*. U 9 z nich udało się wyizolować konkretne genomy: u dwojga wyhodowano *Burkholderia vietnamiensis* (genom V), u trojga *Burkholderia multivorans* (genom II), u czworga genom III. Pięcioro z jedenaścioru pacjentów zmarło po transplantacji

płuc z powodu sepsy wywołanej postępującym zakażeniem *Burkholderia cepacia complex*. U czworga z nich stwierdzono genomar III, u jednej osoby nie zidentyfikowano genomowaru. Należy więc podkreślić, że wśród pacjentów zakażonych *Burkholderia cepacia* z genomowarem III wszyscy zmarli. Zauważono zatem, iż tylko zakażenie genomowarem III spowodowało niepowodzenie terapii [De Soyza A. i in. (2001)]. Możliwe jest polepszenie rokowania tych pacjentów poprzez użycie trójjantybiotykowej terapii, która wydaje się przynosić pożądane skutki [Aaron SD., Ferris W., Henry DA., Speert DP., MacDonald NE. (2000); Chaparro C., Maurer J., Gutierrez C., i in. (2001)].

## 5. Wnioski

Najczęściej izolowanym patogenem zarówno wśród opisywanych pacjentów z Kliniki Mukowiscydozy (Tabela 2, Tabela 3) jak i według danych literaturowych jest *Pseudomonas aeruginosa*.

Warto zwrócić uwagę na zakażenie *Burkholderia cepacia complex*, którego obecność w wielu przypadkach skutkuje skreśleniem osoby chorej na mukowiscydozę z listy oczekujących na przeszczep płuc. Zgodnie z przedstawionymi w powyższej pracy danymi z literatury, u takich pacjentów należy zbadać genomar bakterii i dopiero na jego podstawie dokonać decyzji, czy infekcja powinna stanowić wykluczenie z możliwości przeprowadzenia operacji. Występują dowody na to, że pacjenci z infekcją *Burkholderia cepacia complex* przed przeszczepem rokują gorzej, szczególnie z bakterią o genomowarze III. Przekazanie płuc tym osobom powoduje odmowę transplantacji pacjentom lepiej rokującym.

Obecność patogenów dróg oddechowych przed przeszczepem płuc u pacjentów z mukowiscydozą może zwiększać ryzyko powikłań infekcyjnych po transplantacji. Oprócz infekcji bakteryjnych, poważny problem stanowi także zakażenie *Aspergillus*, który kolonizuje drogi oddechowe 50% pacjentów chorych na mukowiscydozę i może spowodować wystąpienie ABPA oraz wzrost śmiertelności wśród osób przyjmujących leki immunosupresyjne.

Przeszczep płuc jest ostateczną, a zarazem najskuteczniejszą metodą leczenia schyłkowej niewydolności oddechowej u pacjentów z mukowiscydozą. Transplantacja płuc wpływa zarówno na długość jak i jakość życia chorych w związku z czym, należy dążyć do optymalizacji wykorzystania takiego leczenia [Flume P. A. i in. (1994)].

## Bibliografia:

1. Aaron SD., Ferris W., Henry DA., Speert DP., MacDonald NE. (2000). Multiple combination bactericidal antibiotic testing for patients with cystic fibrosis infected with *Burkholderia cepacia*. Am J Respir Crit Care Med; 161: 1206–12.
2. Balke B., Schmoltdt S., Häussler S., Suerbaum S., Heesemann J, Hogardt M. (2008). A German external quality survey of diagnostic microbiology of respiratory tract infections in patients with cystic fibrosis. J. Cyst. Fibros.; 7: 7–14.
3. Bonvillain R. W., Valentine V. G., Lombard G., LaPlace S., Dhillon G., Wang G. (2007). Post-operative Infections in Cystic Fibrosis and Non-Cystic Fibrosis Patients After Lung Transplantation The Journal of Heart and Lung Transplantation 890-897.

4. Chandrashekar S., Escalante P., Kennedy C.C. (2017). Mycobacterium abscessus disease in lung transplant recipients: Diagnosis and management J Clin Tuberc Other Mycobact Dis. Dec; 9: 10–18.
5. Chaparro C., Maurer J., Gutierrez C., i in. (2001). Infection with Burkholderia cepacia in cystic fibrosis: outcome following lung transplantation. Am J Respir Crit Care Med; 163: 43–48.
6. De Soyza A., McDowell A., Archer L., Dark J.H., Elborn S.J., Mahenthiralingam E., Gould K., Corris P.A. (2001). Burkholderia cepacia complex genomovars and pulmonary transplantation outcomes in patients with cystic fibrosis Lancet; 358: 1780–81.
7. Flume P. A., Egan T. M., Paradowski L. J., Detterbeck F. C., Thompson J. T., Yankaskas J. R. (1994). Infectious Complications of Lung Transplantation Impact of Cystic Fibrosis American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 1601-1607.
8. Goldberg H.J., Deykin A. (2007). Advances in Lung transplantation for patients who have cystic fibrosis. Chest Med;28: 445–457.
9. Iversen M., Burton C. M., Vand S., Skovfoged L., Carlsen J., Milman N., Andersen C.B., Rasmussen M., Tvede M. (2007). Aspergillus infection in lung transplant patients: incidence and prognosis Eur J Clin Microbiol Infect Dis 26:879–886.
10. Mazurczak T. Praca zbiorowa (2006). Mukowiscydoza Warszawa 2006r.
11. Mazurek H. (2012). Mukowiscydoza Warszawa; 7-11.
12. Nunley D. R., Ohori N.P., Grgurich W.F., Iacono A.T., Williams P.A., Keenan R., Dauber J.H. (1998). Pulmonary Aspergillosis in Cystic Fibrosis Lung Transplant Recipients CHEST; 114:1321-1329.
13. Smyth A.R., Bell S.C., Bojan S. i wsp. (2014). European Cystic Fibrosis Society standards of care: best practice guidelines. J. Cystic Fibros.; 13 (supl. 1): s23–s42.
14. St-Pierre J., Poirier C., Chalaoui J., Ferraro P., Martel-Laferrriere V., Koh G.C., Luong M.(2014). Impact of Pre-Transplant Staphylococcus Aureus Colonization on Post-Transplant S. aureus Infection Among Cystic Fibrosis Lung Transplant Recipients The Journal of Heart and Lung Transplantation, Voln32, No4S, 366
15. Tissot A., Thomas M.F., Corris P.A., Brodlie M. (2018). NonTuberculous Mycobacteria infection and lung transplantation in cystic fibrosis: a worldwide survey of clinical practice BMC Pulm Med.; 18: 86.
16. Walicka-Serzysko K., Milczewska J., Sands D. (2014) Qualification for lung transplantation of cystic fibrosis patients – Own experience Pediatria Polska 89 92–99
17. Walkowiak J., Pogorzelski A., Sands D., Skorupa W., Milanowski A., Nowakowska A., Orlik T., Korzeniewska-Eksterowicz A., Lisowska A., Cofta S., Minarowska A., Piotrowski R., Popiel A., Rachel M., Sobczyńska-Tomaszewska A., Staszak-Kowalska R., Teisseyre M., Trawińska-Bartnicka M., Walicka-Serzysko K., Witt M., Woś H. (2009) Zasady rozpoznawania i leczenia mukowiscydozy Zalecenia Polskiego Towarzystwa Mukowiscydozy Poznań – Warszawa – Rzeszów . Pediatria; 6: 352–378.
18. Walter S., Gudowius P., Boßhammer J., Roßnig U., Weißbrodt H., Schürmann W., Von der Hardt W., Tümmler B. (1997). Epidemiology of chronic Pseudomonas aeruginosa infections in the airways of lung transplant recipients with cystic fibrosis Thorax; 52:318-321.

19. Weill D., Benden C., Corris P.A., Dark J.H., Davis R.D., Keshavjee S., Lederer D.J., Mulligan M.J., Patterson G.A., Singer L.G., Snell G.I., Verleden G.M., Zamora M.R., Glanville A.R. (2005). A consensus document for the selection of lung transplant candidates: 2014--an update from the Pulmonary Transplantation Council of the International Society for Heart and Lung Transplantation. J Heart Lung Transplant. Jan; 34(1):1-15.

## **15. IDENTYFIKACJA SOMATYCZNYCH MUTACJI GENU *CALR* W NADPŁYTKOWOŚCI SAMOISTNEJ I MIELOFIBROZIE U PACJENTÓW *JAK2V617F(-)* I *MPLW515K/L(-)***

### **Alicja Bartoszevska-Kubiak**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Lekarski  
Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej  
ul. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: a\_bartoszevska@tlen.pl

### **Karolina Matiakowska**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Lekarski  
Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej  
ul. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: k\_matiakowska@tlen.pl

### **Szymon Suwała**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Lekarski  
Katedra Endokrynologii i Diabetologii  
ul. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: suwala@doktorant.umk.pl

### **Mariusz Gawrych**

Collegium Medicum im. L. Rydygiera w Bydgoszczy  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Lekarski  
Katedra Dermatologii, Chorób Przenoszonych drogą Płciową i Immunodermatologii  
ul. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz  
Email: gawrych@doktorant.umk.pl

## **1. Wstęp**

Nowotwory mieloproliferacyjne to bardzo zróżnicowana grupa chorób, które różnią się między sobą etiologią oraz obrazem klinicznym. Nowotwory mieloproliferacyjne można podzielić na dwie grupy uwzględniając występowanie lub brak genu fuzyjnego *BCR/ABL*, są to:

- a) Nowotwory mieloproliferacyjne Filadelfia dodatnie z genem fuzyjnym *BCR/ABL*.
- b) Nowotwory mieloproliferacyjne Filadelfia ujemne bez występowania genu fuzyjnego *BCR/ABL*.

Nowotwory mieloproliferacyjne Filadelfia ujemne (ang. Philadelphia-negative myeloproliferative neoplasms, MPN Ph-) to choroby wywodzące się z komórek progenitorowych szpiku kostnego, u podłoża których leżą defekty szlaków przekazywania

sygnałów komórkowych. Według światowej Organizacji Zdrowia z 2016 roku do nowotworów mieloproliferacyjnych Ph- należą (Arber i in., 2016):

- Czerwieńca prawdziwa (PV).
- Pierwotne zwłóknienie szpiku (PMF):
  - faza wczesna, prefibrotyczna,
  - faza jawnego zwłóknienia szpiku.
- Nadpłytkowość samoistna (ET).
- Przewlekła białaczka neutrofilowa (CNL).
- Przewlekła białaczka eozynofilowa, inaczej nie sklasyfikowana (CEL, NOS).
- Nowotwór mieloproliferacyjny, niesklasyfikowany (MPN, U).

### **Pierwotne włóknienie szpiku (PMF)**

W pierwotnym włóknieniu szpiku nowotworowe megakariocyty produkują cytokiny stymulujące namnażanie fibroblastów i angiogenezę. W efekcie w szpiku kostnym miejsce tkanki krwiotwórczej zaczynają zajmować włókna retikulinowe i kolagenowe, a proces tworzenia komórek krwi przenosi się głównie do wątroby i śledziony, które ulegają znacznemu powiększeniu.

Pierwszy opis pierwotnej mielofibrozy przedstawił w roku 1879 niemiecki chirurg Gustav Heuck. Roczna zapadalność na PMF wynosi 0,5-1,5/100 000. Choroba występuje u ludzi w każdym wieku, ale częściej u starszych, mających powyżej 50 lat (średnia 65 lat). Występuje również u dzieci ale bardzo rzadko. Może występować rodzinie. Kobiety i mężczyźni zapadają na pierwotne zwłóknienie szpiku z jednakową częstością (Dmoszyńska, 2008). Choroba początkowo przebiega bezobjawowo a pierwszym objawem klinicznym jest metaplasja szpikowa w śledzionie i wątrobie związane z krwiotworzeniem pozaszpikowym. Dodatkowo narasta niedokrwistość i małopłytkowość. PMF przebiega w dwóch fazach prefibrotycznej (prolifracja atypowych megakariocytów przy nieobecnych włóknieniu szpiku) oraz fazę jawnej mieofibrozy (stymulacja proliferacji fibroblastów i angiogeneza powodują wytwarzanie włókien kolagenowych i retikulinowych odkładających się w podścielisku szpiku).

Kryteria rozpoznania PMF zaproponowane przez WHO w roku 2016 (Swerdlow S., Campo E., Harris N. L, 2016):

- I. Kryteria większe:
  - a. W prefibrotycznym PMF - proliferacja i atypia megakariocytów bez włóknienia (1<sup>o</sup>). W jawnym PMF - proliferacja i atypia megakariocytów z towarzyszącym włóknieniem retikulium i kolagenowym (2<sup>o</sup>).
  - b. Niespełnienie kryteriów WHO dla czerwienicy prawdziwej, przewlekłej białaczki szpikowej, nadpłytkowości samoistnej, zespołu mielodysplastycznego i innych nowotworów układu krwiotwórczego.
  - c. Wykazanie mutacji genu *JAK2* lub *CALR*, lub *MPL*, a w przypadku ich braku obecność innego markera klonalnego lub brak włóknienia odczynowego szpiku.
- II. Kryteria mniejsze:
  - a. Obecność więcej jednej lub więcej nieprawidłowości potwierdzonych w kolejnych badaniach (niedokrwistość, leukocytoza  $\geq 11000/\mu\text{l}$ , powiększenie śledziony, leukoerytroblastozą dla jawnego PMF).

Rozpoznanie PMF wymaga spełnienia wszystkich trzech kryteriów większych i przynajmniej jednego kryterium mniejszego (Gajewski, 2018).

Badania molekularne są jednym z najistotniejszych badań pozwalających na definitywne rozpoznanie. U 90-95% pacjentów występuje jedna z wiodących mutacji genów *JAK2*, *MPL* i *CALR* prowadzących do konstytutywnej aktywacji JAK-STAT. Badanie ilościowe (RQ-PCR) *JAK2* może być wykorzystane do oceny odpowiedzi na leczenie. Dodatkowo w PMF u części pacjentów występują również mutacje kooperujące (*TET2*, *IDH1*, *IDH2*, *ASXL1*, *EZH2*, *IKZF1*, *DNMT3A*, *SF3B1*, *SRSF2*), wpływające niekorzystnie na rokowanie. Należy również wspomnieć, że ujemny wynik *BCR-ABL* wyklucza przewlekłą białaczkę szpikową (CML).

Czas przeżycia ocenia się za pomocą skal prognostycznych (IPSS, DIPSS) zarówno w stosunku do rozpoznania choroby jak i jej przebiegu. Duże znaczenie prognostyczne ma również określenie profilu mutacyjnego choroby. Zarówno mutacje kierujące jak i kooperujące istotnie wpływają na kwalifikację do grup ryzyka.

### **Nadpłytkowość samoistna (ET)**

Nadpłytkowość samoistna jest chorobą rozrostową szpiku charakteryzującą się znacznie zwiększonym wytwarzaniem płytek krwi i wzmożoną proliferacją megakariocytów w szpiku.

W 1920 roku hematolog Giovanni Di Guglielmo jako pierwszy opisał chorego na nadpłytkowość samoistną. W roku 1960 uznano ET za odrębną jednostkę chorobową.

Roczna zapadalność na nadpłytkowość samoistną wynosi 1,-2,4/100 000. Zachorowanie występuje głównie między 50 a 60 rokiem życia oraz ok. 30 roku życia. W starszych grupach wiekowych częstość zachorowania jest podobna u oby płci, a wśród młodszych chorych przeważają kobiety (Gajewski i in, 2018). Opisano również przypadki rodzinnego występowania ET, dziedzicznej jako autosomalna cecha dominująca. Etiologia jest nieznana. Uważa się, że choroba rozwija się w wyniku nowotworowej proliferacji zmutowanego klonu wywodzącego się z wielopotencjalnej krwiotwórczej komórki macierzystej szpiku. Należy zaznaczyć, że nie wszystkie przypadki ET wykazują klonalność. Badania molekularne ostatnich lat pozwoliły na rozróżnienie klonalnej (ok. 70-75%) i poliklonalnej (ok. 25-30%) postaci nadpłytkowości samoistnej. W obu postaciach ET nie zaobserwowano różnic zarówno w przebiegu choroby jak i rokowaniu. Należy zaznaczyć, że choroba może przebiegać bezobjawowo lecz w większości przypadków występują powikłania zakrzepowe (zakrzepica żylna i tętnicza). Zakrzepy mogą dotyczyć drobnych, jak też dużych naczyń co w konsekwencji daje bogaty, zróżnicowany obraz kliniczny (Dmoszyńska, 2008). Do objawów nadpłytkowości samoistnej należą zaburzenia widzenia, niedowłady i porażenia, objawy choroby niedokrwiennej serca, napady padaczkowe niedokrwienie kończyn, samoistne krwawienia z przewodu pokarmowego i błon śluzowych, umiarkowane powiększenie śledziony, uogólniony świąd skóry.

Nadpłytkowość samoistną różnicuje się z innymi typami nadpłytkowości, do których należą nadpłytkowość towarzysząca, nadpłytkowość odczynowa, nadpłytkowość rodzinna (mutacje genu *TPO*), nadpłytkowość rzekoma.

Kryteria rozpoznania ET zaproponowane przez WHO w roku 2016 (Swerdlow S., Campo E., Harris N. L, 2016):



- I. Kryteria większe:
  - a. Liczba płytek krwi  $\geq 450000/\mu\text{l}$ .
  - b. W biopsji szpiku obecna proliferacja, przede wszystkim linii megakariocytowej z obecnością zwiększonej liczby dużych, dojrzałych megakariocytów.
  - c. Brak kryteriów WHO dla rozpoznania czerwienicy prawdziwej, osteomielfibrozy, przewlekłej białaczki szpikowej, zespołu mielodysplastycznego i innych nowotworów układu krwiotwórczego.
  - d. Wykazanie mutacji genu *JAK2* lub *CALR*, lub *MPL*.
- II. Kryteria mniejsze:
  - a. Obecność markera klonalnego lub brak dowodów na nadpłytkowość odczynową.

Diagnostyka molekularna przy podejrzeniu nadpłytkowości samoistnej obejmuje wykonanie badania na obecność mutacji V617F genu *JAK2* (obecna u ok. 50-56% pacjentów). W przypadkach *JAK2*-ujemnych przeprowadza się także analizę mutacji genu *CALR* (obecne u ok. 20- 25%) oraz mutacji genu *MPL* (wykrywane u 3-5% pacjentów) (Klampfl T. i in., 2013). Wynik dodatni potwierdza występowanie MPN Ph-. W przypadkach „potrójnie ujemnych” ujemny wynik badania w kierunku genu fuzyjnego *BCR-ABL1* wyklucza występowanie przewlekłej białaczki szpikowej (CML).

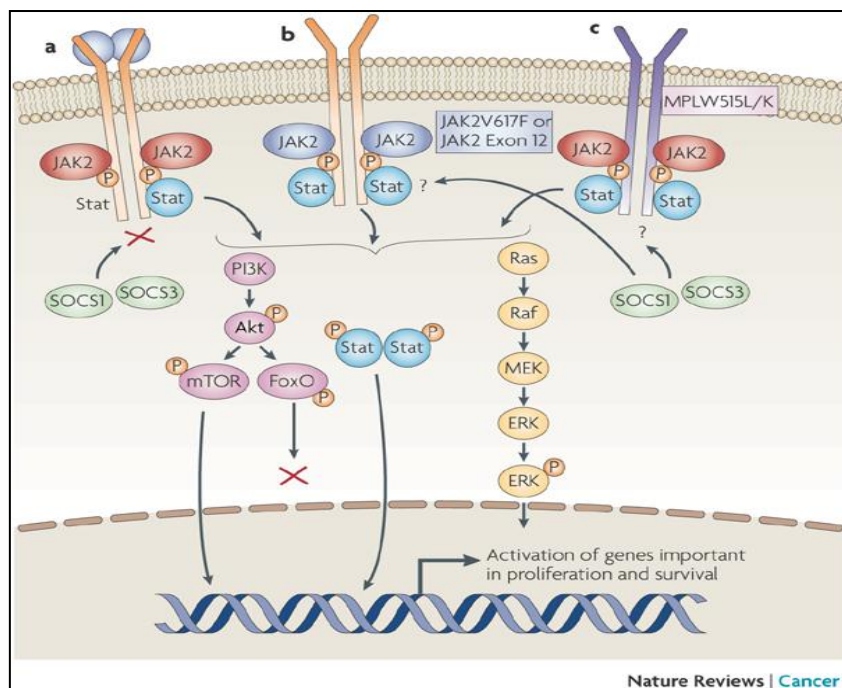
Do oceny rokowania służy międzynarodowy wskaźnik Rokowniczy (IPSET), czas przeżycia pacjentów z nadpłytkowością samoistną jest porównywalny do czasu przeżycia w grupie kontrolnej dobranej pod względem wieku i płci (Gajewski i in, 2018).

Według Światowej Organizacji Zdrowia klasyfikacja nowotworów mieloproliferacyjnych Filadelfia ujemnych powinna uwzględniać kryteria kliniczne, morfologiczne oraz molekularne.

W MPN występują zmiany genetyczne wpływające w różnym stopniu na ich rozwój:

- a) Mutacje w genach, które mają bezpośredni wpływ na ich rozwój tzw. kierujące (*JAK2*, *MPL*, *CALR*, *cKIT*, *SH2B3*, *CBL*).
- b) Mutacje, które wpływają na zmiany w regulacji genów tzw. kooperujące (*TET2*, *IDH1*, *IDH2*, *ASXL1*, *EZH2*, *IKZF1*, *DNMT3A*).
- c) Rearanżacje genów (*PDGFRA*, *PDGFRB*, *FGFR1*).
- d) Zmiany w ekspresji microRNA.

Z punktu widzenia patogenezy MPN Ph- najważniejszym szlakiem biorącym udział w krwiotworzeniu jest kaskada sygnałowa JAK-STAT (Signal Transducer and Activator of Transcription). Jej prawidłowe funkcjonowanie warunkuje właściwą proliferację komórek mieloidalnych a także proces ich dojrzewania, różnicowania i apoptozy. Sieć sygnałowa JAK/STAT przewodzi sygnały zewnątrzkomórkowe pochodzące od cytokin, interferonów oraz czynników wzrostu. Natomiast w nowotworach mieloproliferacyjnych obserwowana jest aktywacja szlaku JAK/STAT niezależna od sygnałów zewnątrzkomórkowych.



**Rycina 1. Aktywacja ligandozależna i ligandoniezależna ścieżki sygnałowej JAK STAT**

Źródło: Levine R.L., Pardananani A., Tefferi A., Gilliland D.G., 2007.

Największym odkryciem w ostatnich latach w patogenezie nowotworów mieloproliferacyjnych *BCR-ABL*-ujemnych (MPN) są mutacje genu *CALR*, który znajduje się na krótkim ramieniu chromosomu 19. W roku 2013 Klampf i wsp. oraz Nangalia i wsp. niezależnie potwierdzili występowanie u pacjentów z ET i PMF mutacji w obrębie genu kalretikuliny (*CALR*). Występują one u ok. 70% pacjentów z nadpłytkowością samoistną (ET) i mielofibrozą (MF), u których nie występują mutacje V617F genu *JAK2* i W515K/L genu *MPL*. (Nangalia, 2013; Klampf, 2013). Gen *CALR* koduje białko kalretikulinę, które reguluje stężenie wapnia w siateczce śródplazmatycznej. Zarówno insercje jak i delecję eksonu 9 (Tab. 1, Tab. 2) powodują zmianę ramki odczytu genu *CALR*. Konsekwencją tej zmiany jest skrócenie końcowego odcinka C domeny wiążącej wapń w białku kalretikuliny i w rezultacie utratę miejsca wiązania wapnia (Ryc. 2). Prawdopodobnie mutacje te prowadzą do niezależnej od liganda aktywacji ścieżki JAK/STAT przez wzmożoną fosforylację białek STAT.

**Tabela 1. Mutacje typu delecyjnego genu *CALR***

| Lp. | typ | Rodzaj zmiany  |
|-----|-----|----------------|
| 1.  | 1   | c.1092_1143del |
| 2.  | 3   | c.1095_1140del |
| 3.  | 4   | c.1102_1135del |
| 4.  | 5   | c.1091_1142del |
| 5.  | 6   | c.1094_1139del |
| 6.  | 7   | c.1102_1153del |
| 7.  | 8   | c.1104_1137del |
| 8.  | 9   | c.1140del      |

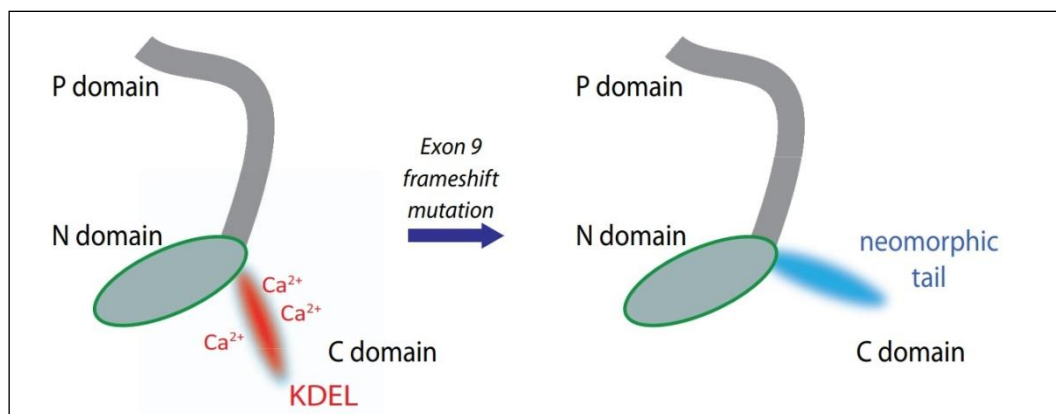
|     |    |                |
|-----|----|----------------|
| 9.  | 12 | c.1098_1131del |
| 10. | 14 | c.1101_1134del |
| 11. | 18 | c.1104_1155del |
| 12. | 19 | c.1110_1140del |
| 13. | 20 | c.1118_1136del |
| 14. | 22 | c.1120_1123del |
| 15. | 24 | c.1120_1138del |
| 16. | 26 | c.1122del      |
| 17. | 28 | c.1131_1152del |

Źródło: Nangalia J., i in. 2013.

**Tabela 2. Mutacje typu delins genu *CALR***

| Lp. | typ | Rodzaj zmiany                   |
|-----|-----|---------------------------------|
| 1.  | 2   | c.1154_1155insTTGTC             |
| 2.  | 33  | c.1154_1155insATGTC             |
| 3.  | 36  | c.1155_1156insTGTCG             |
| 4.  | 10  | c.1154delinsTGTGTC              |
| 5.  | 13  | c.1100_1134delinsA              |
| 6.  | 16  | c.1102_1137delinsCA             |
| 7.  | 21  | c.1118_1145delinsCGTTTA         |
| 8.  | 23  | c.1120_1131delinsTGCGT          |
| 9.  | 25  | c.1122_1141delinsA              |
| 10. | 27  | c.1123_1125delinsTGTTT          |
| 11. | 29  | c.1135_1152delinsCCTCCTCTTTGTCT |
| 12. | 30  | c.1137_1154delinsCCATCCTTGTC    |
| 13. | 32  | c.1153_1154delinsTGTC           |
| 14. | 34  | c.1154_delinsCTTGTC             |
| 15. | 35  | c.1154delinsTTTGTC              |
| 16. | 11  | [c.1092G>C;1095_1140del]        |
| 17. | 15  | [c.1102_1135del;1145C>G]        |
| 18. | 17  | [c.1104_1137del;1148A>T]        |
| 19. | 31  | [c.1151A>G;1154_1155insTTGTC]   |

Źródło: Nangalia J., i in. 2013.



**Rycina 2. Wpływ mutacji występującej w eksonie 9 genu *CALR* na strukturę białka kalretikuliny. Miejsce wiązania jonów wapnia i motyw KDEL zostaje utracony**

Źródło: Nangalia J., Green T.R., 2014.

Pierwszym genem, którego mutacje somatyczne bezpośrednio powiązano z wystąpieniem nowotworów mieloproliferacyjnych była kinaza *JAK2*. Opisana w 2005 roku mutacja w eksonie 14, w obrębie pojedynczego nukleotydu g.1849 G>T w genie kinazy Janusowej 2 pozwoliło wyjaśnić molekularny mechanizm, prowadzący do nieprawidłowej mielopoehy. Gen *JAK2* zlokalizowany jest na chromosomie 9, należy do cytoplazmatycznych kinaz tyrozynowych i jest elementem szlaku sygnałowego zależnego od receptorów cytokinowych prowadzącego do aktywacji czynników transkrypcyjnych STAT. W strukturze *JAK2* można wyodrębnić domeny JH1 (wykazuje aktywność enzymatyczną kinazy) oraz JH2 (pełni funkcję „autoinhibitora” hamującego aktywność kinazy *JAK2*) (Levine i in., 2015). Po związaniu liganda, podjednostki receptora dimeryzują. Indukuje to odsłonięcie domen katalitycznych, wzajemną fosforylację obu podjednostek kinazy i ich aktywację. Aktywna kinaza Janusowa fosforyluje szereg cytoplazmatycznych białek efektorowych głównie czynników transkrypcyjnych z rodziny STAT. Punktowa mutacja *JAK2* V617F dotyczy domeny JH2 i jest związana z zamianą waliny na fenyloalaninę w pozycji 617 co prowadzi do zmniejszenia hamującego wpływu domeny JH2 i zwiększenia aktywności kinazy tyrozynowej *JAK2* (Dziatczuk i in. 2009). Mutację *JAK2* V617F stwierdza się u 95% pacjentów z czerwienicą prawdziwą (PV), u 35–70% chorych z ET oraz w około 50% przypadków z PMF (Lewandowski. 2011).

U około 5% chorych z ET i PMF *JAK2* V617F-ujemnych, wykryto somatyczne mutacje (W515L i W515K) w obrębie genu receptora dla trombopoetyny (*MPL*-myeloproliferative leukemia virus oncogene) (Ma, 2011). Gen *MPL* zlokalizowany jest na krótkim ramieniu chromosomu 1. Składa się z 12 eksonów, zawierających ponad 17kbp DNA. Mutacja W515K/L zlokalizowana jest w eksonie 10 genu *MPL*. W mutacji *MPL* W515L zamianie ulega guanina na tyminę, natomiast w W515K transwersji ulegają dwa nukleotydy, tymina i guanina na dwie adeniny. Prowadzą do niezależnej od trombopoetyny fosforylacji kinazy *JAK2* i wzmożonej proliferacji komórek szpikowych.

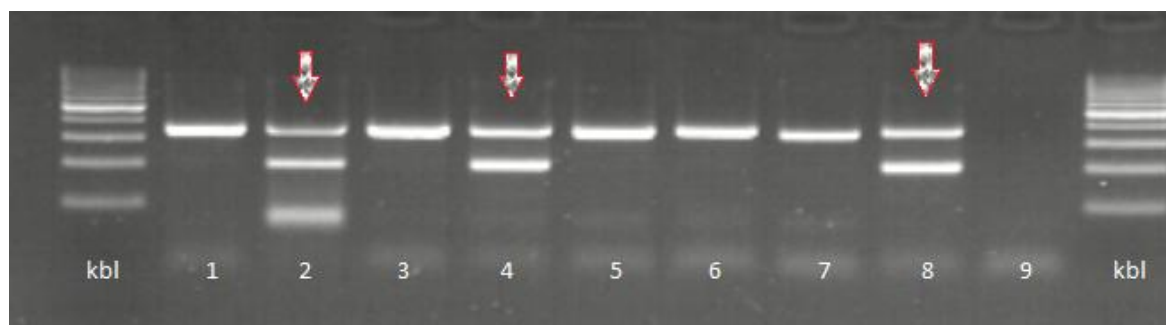
Mutacje genów *JAK2*, *MPL* oraz *CALR* należą do tzw. mutacji wiodących („drivers mutation”) w MPN. Mutacje te wzajemnie się wykluczają a ich obecność jest jednym z kryteriów rozpoznania choroby. Pacjenci bez mutacji w żadnym z tych genów określa się

jako grupę potrójnie negatywną („triple negative”). Ocena obecności mutacji ma strategiczne znaczenie w doborze odpowiedniej terapii oraz stratyfikacji do określonych grup ryzyka.

Nowotworami mieloproliferacyjnymi, w których może występować jedna z mutacji wiodących genów *CALR*, *JAK2*, *MPL* są nadpłytkowość samoistna (ang. essential thrombocythemia, ET) oraz pierwotne zwłóknienie szpiku (ang. primary myelofibrosis, PMF). Należą one do tzw. klasycznych nowotworów mieloproliferacyjnych.

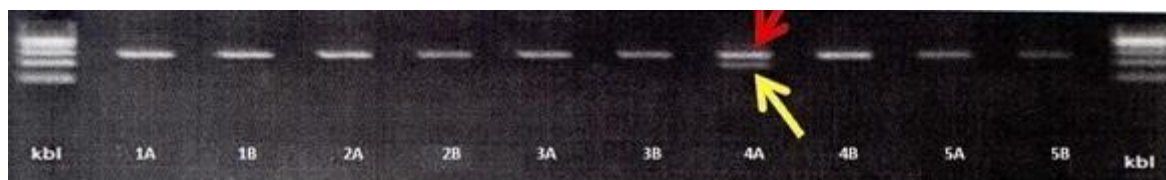
## 2. Materiały i Metody

Analizą objęto grupę 306 chorych z nowotworem mieloproliferacyjnym filadelfia ujemnym (nadpłytkowością samoistną i pierwotną mielofibrozą) leczonych na oddziałach hematologicznych szpitali z województwa kujawsko-pomorskiego. Materiał do izolacji DNA stanowiły leukocyty otrzymywane poprzez lizę krwi obwodowej lub szpiku kostnego pobieranych od pacjentów z MPN Ph- do probówek z dodatkiem antykoagulantu (2% EDTA). DNA izolowano przy użyciu zestawu QIAamp DNA Mini Kit firmy Qiagen. Analiza obejmowała najpierw badanie mutacji *JAK2* V617F, następnie u pacjentów *JAK2*-ujemnych wykonano badanie mutacji *MPL* W515K/L. Wszystkie badane mutacje analizowano przy użyciu metody AS-PCR (Allele-Specific PCR). Amplifikacja specyficzna względem allelu polegała na zastosowaniu 3 różnych starterów, jednego komplementarnego (forward) do sekwencji prawidłowego allelu, drugiego (forward) komplementarnego do sekwencji zmutowanej allelu i trzeciego startera uniwersalnego (reverse). Rozdział i wizualizację produktów reakcji AS-PCR przeprowadzono w żelu agarozowym (Ryc. 3, Ryc. 4). Następnie zsekwencjonowano ekson 9 genu *CALR* u pacjentów, u których nie wykryto żadnej z wyżej wymienionych mutacji (bez mutacji w genie *JAK2* i *MPL*).



**Rycina 3. Obraz żelu agarozowego po przeprowadzonej elektroforezie produktów reakcji PCR z zastosowaniem starterów specyficznych dla genu *JAK2*. Czerwona strzałka wskazuje pacjentów z dodatkowym prążkiem (produktem PCR) odpowiadającym allelowi zmutowanemu**

Legenda: kbl – marker wielkości; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – pacjenci; 9 – kontrola ujemna (NTC – no template control).

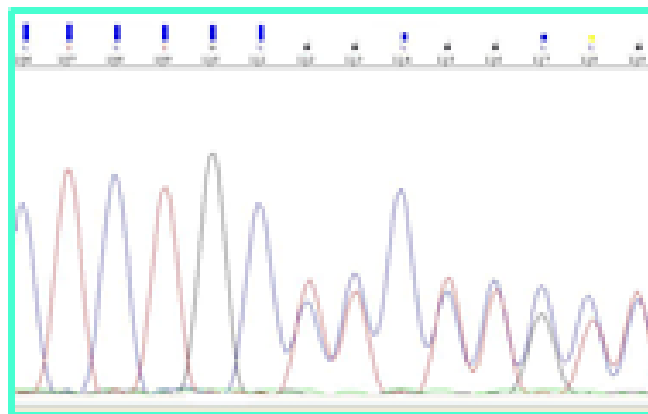


**Rycina 4. Obraz żelu agarozowego po przeprowadzonej elektroforezie produktów reakcji PCR z zastosowaniem starterów specyficznych dla genu *MPL*. Czerwona strzałka wskazuje prążek odpowiadający allelowi dzikiemu, żółta allelowi zmutowanemu**

Legenda: kbl – marker wielkości; 1, 2, 3, 4, 5 – pacjenci; A - próbka, w której zastosowano startery amplifikujące allel z mutacją *MPL* W515KL; B - próbka, w której zastosowano startery amplifikujące allel z mutacją *MPL* W515K.

### 3. Wyniki

W grupie 306 chorych z nowotworem mieloproliferacyjnym filadelfia ujemnym, u 216 chorych wykryto mutację *JAK2* V617F (70%). W pozostałej grupie 90 pacjentów *JAK2*-ujemnych wykonano badanie w kierunku mutacji *MPL* W515K/L, mutację *MPL* W515L wykazano u 8 pacjentów *JAK2*-ujemnych (9%). Wykryto 7 różnych mutacji genu *CALR* u 36 pacjentów *JAK2* i *MPL* ujemnych. Mutacje dotyczyły insercji oraz delekcji eksonu 9. Zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez Klampfl i in. Mutację typu 1 (Ryc. 5) stwierdzono u 20 osób, typu 2 u 10 osób, typu 3 u 1 osoby, typu 4 u 2 osób, typu 14 u 1 osoby, typu 36 u 1 osoby. U jednego pacjenta wykryto mutację nie opisaną wcześniej w literaturze.



**Rycina 5. Elektroforegram przedstawiający mutację typu 1 (c.1092\_1143del)**

Źródło: Badania własne.

### 4. Podsumowanie

Nowotwory mieloproliferacyjne to heterogenna grupa schorzeń. Do tej pory nie poznano dokładnej przyczyny występowania tych samych mutacji w tak różnych fenotypowo chorobach. Uzyskane wyniki potwierdzają, iż algorytm postępowania diagnostycznego w nowotworach mieloproliferacyjnych takich jak nadpłytkowość samoistna i mielofibroza powinien obejmować analizę, kolejno, mutacji genów *JAK2*, *MPL* i *CALR*. Pozwoli to w przyszłości na opracowanie odpowiednich testów diagnostycznych, a w także na lepszy dobór terapii celowanej.

**Bibliografia:**

1. Arber D. A., Orazi A., Hasserjian R., Thiele J., Borowitz J.M., Le Beau M.M., Bloomfield C., Cazzola M., Vardiman J. W. (2016) The 2016 revision to the World Health Organization classification of myeloid neoplasms and acute leukemia. *Blood Journal*, Tom 127, nr 20, s. 2391-2405.
2. Dmoszyńska A. (red.), Robak T. (red.) (2008). *Podstawy Hematologii*. Praca zbiorowa. Rozdział 16: Dmoszyńska A. Inne przewlekłe choroby mieloproliferacyjne, Wydawnictwo Czelej, Lublin, s. 363–376.
3. Dziętczenia J., Wróbel T., Mazur G., Biedroń M., Jaźwiec B., Bednorz R., Zywar K., Dobrzyńska O., Poręba R., Kulickowski K. (2009) Mutacja JAK2 V617F w odniesieniu do klinicznych i laboratoryjnych parametrów u pacjentów z przewlekłymi zespołami mieloproliferacyjnymi. *Acta Haematologica Polonica*, Tom 40, nr. 4, s. 899–906.
4. Gajewski P. (2018). *Interna Szczeklika*. Praca zbiorowa. Rozdział VI: A. Hellmann (red.), Choroby układu krwiotwórczego, Medycyna praktyczna, Kraków, s. 1770-1805.
5. Hołowiecki J. (red.) (2008). *Hematologia Kliniczna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, s. 273-283.
6. Klampfl T., Gisslinger H., Harutyunyan A.S., Nivarthi H., Rumi E., Milosevic J.D., Them N.C., Berg T., Gisslinger B., Pietra D., Chen D., Vladimer G.I., Bagienski K., Milanesi C., Casetti I.C., Sant'Antonio E., Ferretti V., Elena C., Schischlik F., Cleary C., Six M., Schalling M., Schönegger A., Bock C., Malcovati L., Pascutto C., Superti-Furga G., Cazzola M., Kralovics R., (2013) Somatic mutations of calreticulin in myeloproliferative neoplasms. *New England Journal Medicine*, Tom 369, nr 25, s. 2379-2390.
7. Lewandowski K. (2011) Rola kinaz JAK w patogenezie nowotworów mieloproliferacyjnych Philadelphia-ujemnych. *Możliwości terapii celowanej*. *Onco Review*, tom 1, nr. 3, s. 171–182.
8. Levine R.L., Pardanani A., Tefferi A., Gilliland D.G., (2007) Role of JAK2 in the pathogenesis and therapy of myeloproliferative disorders. *Nature Reviews Cancer*, Tom 7, nr. 9, s. 673-683.
9. Levine, R., Wadleigh M., Cools J., Ebert B., Wernig G., Huntly B., Boggan T., Wlodarska I., Clark J., Moore S., Adelsberger J., Koo S., Lee J., Gabriel S., Mercher T., Andrea A., Frohling S., Dohn K., Gilliland G. (2005) Activating mutation in the tyrosine kinase JAK2 in polycythemia vera, essential thrombocythemia, and myeloid metaplasia with myelofibrosis. *Cancer Cell*, Tom 7, nr. 4, s. 387-397.
10. Ma W., Zhang X., Wang X., Zhang Z., Yeh CH., Uyeji J., Albitar M. (2011) *MPL* mutation profile in JAK2 mutation-negative patients with myeloproliferative disorders. *Diagnostic molecular pathology*, Tom 20, nr. 1, s. 34–39.
11. Nangalia J., Massie C.E., Baxter E.J., Nice F.L., Gundem G., Wedge D.C., Avezov E., Li J., Kollmann K., Kent D.G., Aziz A., Godfrey A.L., Hinton J., Martincorena I., Van Loo P., Jones A.V., Guglielmelli P., Tarpey P., Harding H.P., Fitzpatrick J.D., Goudie C.T., Ortmann C.A., Loughran S.J., Raine K., Jones D.R., Butler A.P., Teague J.W., O'Meara S., McLaren S., Bianchi M., Silber Y., Dimitropoulou D., Bloxham D., Mudie L., Maddison M., Robinson B., Keohane C., Maclean C., Hill K., Orchard K., Tauro S., Du M.Q., Greaves M., Bowen D., Huntly B.J.P., Harrison C.N., Cross

- N.C.P., Ron D., Vannucchi A.M., Papaemmanuil E., Campbell P.J., Green A.R. (2013) Somatic CALR mutations in myeloproliferative neoplasms with nonmutated JAK2, The New England journal of medicine, Tom 369, nr.25, s. 2391-2405.
12. Nangalia J., Green T.R. The evolving genomic landscape of myeloproliferative neoplasms. American Society of Hematology, 2014.
13. Swerdlow S., Campo E., Harris N. L. (2016) WHO classification of tumours of haematopoietic and lymphoid tissues. Wydawnictwo IARC, Tom 2, s. 335-362.



## 16. WPLYW NANOZŁOTA NA PRZEŻYwalNOŚĆ OSOBNIKÓW *DAPHNIA PULEX*

**Małgorzata Garncarek**

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt

Instytut Biologii

Email: garncarek.gosia@gmail.com

### 1. Wstęp

Nanocząstka jest materią o wymiarach nieprzekraczających stu nanometrów, przynajmniej w jednym wymiarze. Obecność nanocząsteczek (ang. *nanoparticles*) – NPs – jest stwierdzona w naturze od bardzo dawna. Tworzą się one podczas procesów spalania, takich jak pożary czy wybuchy wulkanów [Oberdörster, Oberdörster i Oberdörster, 2005]. Ich śladowe ilości zawarte są w mgłach i dymach. Stosunkowo od niedawna NPs są świadomie wytwarzane na masową skalę. Wynika to z unikalnych właściwości fizykochemicznych: magnetycznych, optycznych i katalitycznych nanomateriałów, które różnią się od postaci występujących w formie dużych cząsteczek [Bohnsack, Assemi, Miller i Furgeson, 2012; Lacave i in., 2016]. Różnica właściwości może wynikać z możliwości syntezy nanocząstek o precyzyjnie kontrolowanej wielkości, znanym kształcie oraz dużej czystości [T. Kim, Lee, Gong i Joo, 2005; Shipway, Lahav, Gabai i Willner, 2000]. Bardzo dynamicznie rozwijająca się dzisiaj nanotechnologia jest dyscypliną relatywnie młodą, początki tej dziedziny datuje się na lata 50. XX wieku. W związku z tym, że liczba wprowadzanych na rynek produktów powstających z wykorzystaniem nanotechnologii rośnie, nieuniknione jest narażenie środowiska na oddziaływanie nanocząsteczek [Baker, Tyler i Galloway, 2014]. Rozwiązania umożliwiające wykorzystanie NPs w przemyśle pojawiły się stosunkowo niedawno, zatem nie istnieją jeszcze wyczerpujące, długofalowe badania dowodzące jaki mogą mieć one wpływ na zdrowie i życie organizmów, w tym również ludzi.

Rosnącą popularność na rynku zdobywają powszechnie dostępne roztwory nanokoloidów. Można je nabyć bez wychodzenia z domu, np. przez Internet. Do zakupu nie jest wymagana recepta, nie ma również zaleceń konsultacji z lekarzem lub innym specjalistą przed rozpoczęciem ich używania. Producenci nanokoloidów zapewniają o wielu potencjalnych, pozytywnych dla ludzi możliwościach używania takich roztworów i nie informują o jakichkolwiek przeciwwskazaniach do ich stosowania lub zagrożeniach dla środowiska. Według zapewnień producenta koloidalnych roztworów nanopierwiastków drobinki nanozłota w roztworach mają średnicę nieprzekraczającą trzech nanometrów. Ponadto ich płaska budowa sprawia, że powierzchnia przylegania jest wielokrotnie większa niż preparatów nanozłota z cząsteczkami o kulistej budowie. Roztwory dostępne w Internecie występują w wysokich stężeniach: nanoplatyna w stężeniu  $10 \text{ mg/dm}^3$ , nanomiedź i nanozłoto w stężeniu  $25 \text{ mg/dm}^3$  oraz nanosrebro w stężeniu  $50 \text{ mg/dm}^3$ .

Nanozłoto koloidalne posiada właściwości antybakteryjne [Dykman i Khlebtsov, 2011; Libralato i in., 2017] oraz przeciwstarzeniowe. Stymuluje syntezę kolagenu oraz hamuje utratę elastyny opóźniając pojawianie się zmarszczek. Au NPs hamuje starzenie się

skóry oraz wspomaga zwalczanie oznak tego procesu, tj. plamy starcze. Stosowane jest również w oczyszczaniu skóry oraz jej regeneracji poprzez wzmacnianie uszkodzonych komórek tej tkanki. Złoto nie jest pierwiastkiem, który naturalnie występuje w organizmach, ale jest ksenobiotykiem. Z tego powodu nie ma podstaw, by przypuszczać, że istnieją fizjologiczne objawy niedoboru złota, nie ma również potrzeby określania dziennego zapotrzebowania na ten pierwiastek. Według dostępnego wykazu *The Nanodatabase* Au NPs są stosowane w produktach codziennego użytku, takich jak: odzież (rękawiczki i maski na oczy o właściwościach przeciwstarzeniowych oraz spodnie i stroje kąpielowe), kosmetyki (balsamy do ciała, serum oraz eliksiry przeciwzmarszczkowe i kremy nawilżające pod oczy), prostownice do włosów, szczoteczki do zębów, kolczyki, płyny używane przy fotografice, środki do usuwania plam z oleju oraz klimatyzatory. W Polsce produkowane są kremy przeciwzmarszczkowe i spowalniające starzenie się skóry zawierające Au NPs [<http://nanodb.dk/en/>].

Cząsteczki nanozłota są stosowane w medycynie oraz przemyśle farmaceutycznym. Nanozłoto jest wykorzystywane w terapiach nowotworowych [Farooq i in., 2018; Huff i in., 2007] – przy terapii fototermicznej [Hwang i in., 2014; Riley i Day, 2017] oraz przy terapii fotodynamicznej [H. Kim, D. Lee, H.S. Kim i D.Y. Lee, 2018; Singh i in., 2018]. Au NPs jest stosowane również do obrazowania biomedycznego [Kong i in., 2017; Nune i in., 2009] oraz jako nośnik leków [Han, Ghosh i Rotello, 2007; Hussain i Hussain, 2015], w tym również leków przeciwnowotworowych [Brown i in., 2010; Dreaden, Austin, Mackey i El-Sayed, 2012] i szczepionek [Comber i Bamezai, 2015]. Podawanie leków przy użyciu Au NPs wykazuje duży potencjał, jednak budzi istotne obawy dotyczące toksyczności miejscowej i ogólnej dla organizmów [Nowack i Bucheli, 2007]. Nanozłoto po wnikięciu do organizmu podlega metabolizmowi w wątrobie, gdzie jego cząsteczki mogą się gromadzić lub dotrzeć do innych narządów (np. do mózgu) za pomocą naczyń krwionośnych [Dayal, Singh i Patil, 2017]. Ponadto, podczas terapii fotodynamicznej cząsteczki nanozłota wywołują stres oksydacyjny przyczyniając się do produkcji reaktywnych form tlenu [Dedeh, Ciutat, Treguer-Delapierre i Bourdineaud, 2015; Pan i in., 2009]. Zaobserwowano również, że toksyczność nanocząsteczek modeli *in vitro* różni się od toksyczności nanocząsteczek modeli *in vivo*. Au NPs uważane są za nietoksyczne *in vitro* [Bakri, Pulido, Mukherjee, Marler i Mukhopadhyay, 2008], jednak iniekcja cząsteczek nanozłota do myszy spowodowała uszkodzenie tkanek oraz indukcję apoptozy w wątrobie [Cho i in., 2009], a iniekcja nanozłota do królików zaindukowała apoptozę komórek tkanki chrzęstnej [Huang, Quan, Wang i Chen, 2016].

Wzrost zainteresowania wykorzystaniem nanotechnologii w różnych dziedzinach przemysłu, kosmetyce, medycynie i w życiu codziennym jest powodem stałego wzrostu ich produkcji, a co za tym idzie, również i emisji do środowiska naturalnego, w tym do środowiska wodnego [Moore, 2006]. Ponadto, środowisko wodne jest ostatecznym miejscem gromadzenia się zanieczyszczeń, w tym również NPs, niezależnie od tego czy były one uwolnione bezpośrednio do wody czy pośrednio, na przykład przez oczyszczalnie ścieków lub składowiska odpadów [Nowack i Bucheli, 2007]. Czystość wód jest szczególnie ważna ze względu na ilość i bogactwo wodnych ekosystemów. Nanocząsteczki mogą wchodzić w interakcje z innymi zanieczyszczeniami dostającymi się do wody, tworząc związki jeszcze bardziej toksyczne dla organizmów [Handy i in., 2008]. Najbardziej narażone

na zanieczyszczenia wód są organizmy planktonowe, które są kluczowym składnikiem wodnych ekosystemów, tworzącym podstawę większości sieci pokarmowych. Akumulacja ksenobiotyku (Au NPs) w rozwieltkach prowadzi do dalszej, wyższej akumulacji w narybku (małe ryby do ukończenia pierwszego roku życia odżywiające się zooplanktonem). Ryby, jako kolejny element łańcucha pokarmowego, akumulują w sobie jeszcze większą ilość szkodliwej substancji. Ostatni z organizmów każdej sieci troficznej przyjmuje największą ilość ksenobiotyku. W przypadku sieci wodnych, ostatnim organizmem może być człowiek zjadający rybę drapieżną ze zakumulowanymi nanocząsteczkami złota. Au NPs gromadzą się w różnych narządach, powodując uszkodzenia tkanek [van Pomeran, Peijnenburg, Vlieg, van Noort i Vijver, 2019]. Toksyczność nanocząstek dla zooplanktonu może zmniejszyć jego przeżywalność i spowodować modyfikację wielu sieci troficznych ekosystemu wodnego.

Wykazano zróżnicowaną toksyczność NPs w zależności od organizmu żywego. Z tego powodu istnieje potrzeba prowadzenia badań w celu wyznaczenia wartości medialnego stężenia śmiertelnego  $LC_{50}$  dla wielu gatunków. Dzięki tego rodzaju badaniom możliwe będzie określenie wartości progowych dla danego ksenobiotyku, których nie można przekraczać. Pomoże to stworzyć normy stężeń stosowanych nanopierwiastków, tym samym ograniczając i spowalniając tempo kumulacji NPs w organizmach żywych.

Obecna wiedza na temat nanocząstek złota jest ograniczona, nie ukazuje pełnego toksycznego wpływu na organizmy żyjące w ekosystemach wodnych. Wpływ nanozłota (w formie koloidalnej dostępnej na rynku) na zooplankton nie został jeszcze dobrze rozpoznany, w związku z czym celem niniejszej pracy jest zbadanie, jaki wpływ mają cząsteczki nanozłota zawarte w koloidalnych roztworach na przeżywalność organizmów zooplanktonowych gatunku *Daphnia pulex*.

## 2. Materiał i metody

Badania zostały przeprowadzone na organizmach *Daphnia pulex*, gatunku należącym do rodzaju *Daphnia* z rodziny *Daphniidae* zaliczanych do wioślarek. *Daphnia pulex* to rozwielotka pchłowata o kulistym lub owalnym kształcie. Ma prześwitującą, lekko żółtawą skorupkę. Dorosłe rozwielitki osiągają wielkość od 1 do 5 mm, przy czym samce są mniejsze od samic [Ebert, 2005]. Rozwielitki żyją zazwyczaj w wodach słodkich, w trwałych i tymczasowych stawach oraz w małych jeziorach [Ban, Tenma, Mori i Nishimura, 2009].

Roztwory do badań przygotowywane były z roztworu wyjściowego - niejonowego nanozłota koloidalnego o stężeniu 25 ppm (ang. *parts per milion*) – co jest równe  $25 \text{ mg/dm}^3$ . Szereg rozcieńczeń roztworów został przygotowany w pojemnikach o pojemności 100 ml. Przygotowano roztwory o stężeniach:  $1 \text{ mg/dm}^3$ ,  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ ,  $0,25 \text{ mg/dm}^3$ ,  $0,125 \text{ mg/dm}^3$  i  $0,0625 \text{ mg/dm}^3$ . Roztwór kontrolny stanowiła sama woda bieżąca użyta do przygotowania szeregu rozcieńczeń.

Przeprowadzono zmodyfikowane 48-godzinne testy toksyczności ostrej oraz wyznaczono wskaźniki medialnego stężenia śmiertelnego  $LC_{50}$  Au NPs dla rozwielitek pchłowatych. Modyfikacja testu polegała na badaniu dojrzałych rozwielitek, dzięki czemu możliwa była obserwacja wpływu nanozłota na ich rozmnażanie. Badania prowadzone były na płytkach 6-dołkowych, każdy dołek o pojemności około 17 ml. Do każdego dołka nalano 10 ml roztworu. Dołek numer 1 stanowiła kontrola, w dołku numer 2 znajdował się roztwór o stężeniu  $0,0625 \text{ mg/dm}^3$ , następnie w dołku numer 3 –  $0,125 \text{ mg/dm}^3$ , 4 –  $0,25 \text{ mg/dm}^3$ , 5 –

0,5 mg/dm<sup>3</sup> i 6 z roztworem o stężeniu 1 mg/dm<sup>3</sup>.

Do każdego dołka przeniesiono po pięć dojrzałych rozwielitek. Płytki były otwierane tylko podczas liczenia rozwielitek po upływie 24 i 48 godzin inkubacji w roztworach. Doświadczenie zostało wykonane w pięciu powtórzeniach.

Wyniki zostały opracowane w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel. Procent śmiertelności został obliczony za pomocą równania:

$$\text{Procent śmiertelności} = \frac{\text{Ilość osobników martwych}}{\text{Ilość osobników ogółem}} \cdot 100\%.$$

Średnia oraz odchylenie standardowe prób zostało obliczone za pomocą programu R. Współczynnik odchylenia K został policzony ze wzoru

$$K = \frac{50 - P_1}{P_2 - P_1};$$

przy czym P1 to procent śmiertelności mniejszy niż 50% (najbliższy 50%), a P2 to procent śmiertelności większy niż 50% (najbliższy 50%). Wartość LC<sub>50</sub> (ang. *lethal concentration*), czyli wartość stężenia, przy którym umiera 50% badanej populacji została wyliczona ze wzoru:

$$\log LC_{50} = \log x + K \cdot \log i$$

w którym  $x$  to stężenie niższe i najbliższe 50% śmiertelności, a  $i$  to iloraz postępu geometrycznego ( $i = 2$ ).

### 3. Wyniki i dyskusja

Wpływ cząsteczek nanosrebro na zmianę liczebność rozwielitek po 24- i 48-godzinnej inkubacji przedstawiono w tabeli 1. Po ekspozycji rozwielitek na roztwory z Au NPs zaobserwowano, że toksyczność Au NPS rośnie wraz z czasem inkubacji. Najbardziej toksycznym stężeniem powodującym śmierć 72% osobników po 24 h inkubacji i 76% osobników po 48 h okazało się stężenie 0,25 mg/dm<sup>3</sup>.

Po 24-godzinnej inkubacji dojrzałych osobników *Daphnia pulex* na roztwory nanosrebro wyznaczono wskaźnik LC<sub>50</sub> wynoszący 0,530 mg/dm<sup>3</sup>. Po 48 godzinach ekspozycji na cząsteczki Au NPs LC<sub>50</sub> wyniosło 0,210 mg/dm<sup>3</sup>.

**Tabela 1 Zmiana liczebności rozwielitek po 24- i 48-godzinnej inkubacji w wodzie z dodatkiem nanoszlota w różnych stężeniach**

| Czas<br>(h) | Stężenie<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Osobniki martwe |                  |         |       | Procent<br>śmiertelności<br>(%) |
|-------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|---------|-------|---------------------------------|
|             |                                   | Liczba          | Zakres<br>liczby | Średnia | SD    |                                 |
| 24          | 0                                 | 5               | (0-3)            | 1       | 1,414 | 20                              |
|             | 0,0625                            | 12              | (0-5)            | 2,4     | 2,408 | 48                              |
|             | 0,125                             | 8               | (0-5)            | 1,6     | 2,074 | 32                              |
|             | 0,25                              | 18              | (0-5)            | 3,6     | 2,074 | 72                              |
|             | 0,5                               | 12              | (0-5)            | 2,4     | 2,51  | 48                              |
|             | 1                                 | 11              | (0-5)            | 2,2     | 2,588 | 44                              |
| 48          | 0                                 | 9               | (0-5)            | 1,8     | 2,049 | 36                              |
|             | 0,0625                            | 15              | (0-5)            | 3       | 2,121 | 60                              |
|             | 0,125                             | 11              | (0-5)            | 2,2     | 2,168 | 44                              |
|             | 0,25                              | 19              | (0-5)            | 3,8     | 2,168 | 76                              |
|             | 0,5                               | 13              | (0-5)            | 2,6     | 2,302 | 52                              |
|             | 1                                 | 17              | (1-5)            | 3,4     | 2,191 | 68                              |

Do tej pory przeprowadzono nieliczne badania dotyczące toksyczności nanoszlota dla osobników z rodzaju *Daphnia*. Według Botha, James i Wepener [2015] LC<sub>50</sub> Au NPs dla *Daphnia pulex* wynosi 7,31 mg/dm<sup>3</sup>. Uzyskano wskaźnik znacznie wyższy niż w tej pracy, jednak był czynnik, który różnił te badania od siebie – rozmiar nanocząsteczek. W tym badaniu zastosowano cząsteczki nanoszlota o średnicy 3 nm, natomiast Botha i in. [2015] zastosowali cząsteczki o średnicy 566 nm. Wskazuje to na mniejszą toksyczność cząsteczek o większej średnicy. Udowodniono to również w badaniach opisanych w literaturze – cząsteczki Au NPs o średnicy 10-12 nm przejawiają większą toksyczność niż te o średnicy 50 nm [Bar-Ilan, Albrecht, Fako i Furgeson, 2009; Geffroy i in., 2012].

Więcej eksperymentów z wykorzystaniem nanoszlota jest przeprowadzanych na osobnikach *Daphnia magna* (rozwielitka wielka). Dla *D. magna* 48 h LC<sub>50</sub> wyniosło 0,32 mg/dm<sup>3</sup> [Liu i in., 2014] i 0,5 mg/dm<sup>3</sup> [Skjolding i in., 2014]. Badanie Li i in. [2010] wykazało znacznie wyższą wartość LC<sub>50</sub> niż w pozostałych pracach dla *Daphnia magna*, a jego wartość określono na około 70 mg/dm<sup>3</sup>. Nanoszloto jest mniej toksyczne dla *D. magna* niż dla *D. pulex* prawdopodobnie ze względu na różnice wielkości między tymi gatunkami – rozwielitka wielka jest prawie dwa razy większa niż rozwielitka pchłowata.

W trakcie badania dojrzałe rozwielitki rozmnażały się. Wyniki obserwacji ich rozmnażania przedstawiono w tabeli 2. Po 24-godzinnej inkubacji w każdym stężeniu pojawiło się 5 młodych rozwielitek, tak jak w kontroli. Wyjątek stanowiło stężenie 1 mg/dm<sup>3</sup>, w którym nie zaobserwowano żadnego młodego osobnika. Po 48 godzinach najwięcej młodych osobników *Daphnia pulex* pojawiło się w stężeniu 0,25 mg/dm<sup>3</sup>. Tak samo jak po 24 godzinach inkubacji, po 48-godzinnej ekspozycji rozwielitek na działanie nanoszlota w stężeniu 1 mg/dm<sup>3</sup> nie zaobserwowano młodych. Świadczy to o tym, że jest to dawka hamująca namnażanie rozwielitek. Najmniej toksycznym stężeniem nanoszlota, zarówno po 24 jak i 48 godzinach inkubacji, okazało się stężenie 0,25 mg/dm<sup>3</sup>.

**Tabela 2 Ilość namnożonych (młodych) rozwielitek oraz procent ich śmiertelności pod wpływem inkubacji w roztworach z różnym stężeniem nanoszlota**

| Czas<br>(h) | Stężenie<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Liczba sztuk<br>namnożonych | Osobniki martwe |         |       | Procent<br>śmiertelności (%) |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------|-------|------------------------------|
|             |                                   |                             | Liczba          | Średnia | SD    |                              |
| 24          | 0                                 | 5                           | 0               | 0       | 0     | 0                            |
|             | 0,0625                            | 5                           | 2               | 0,4     | 0,894 | 40                           |
|             | 0,125                             | 5                           | 1               | 0,2     | 0,447 | 20                           |
|             | 0,25                              | 5                           | 0               | 0       | 0     | 0                            |
|             | 0,5                               | 5                           | 1               | 0,2     | 0,447 | 20                           |
|             | 1                                 | 0                           | 0               | 0       | 0     | -                            |
| 48          | 0                                 | 21                          | 0               | 0       | 0     | 0                            |
|             | 0,0625                            | 7                           | 4               | 0,8     | 1,095 | 57,14                        |
|             | 0,125                             | 12                          | 2               | 0,4     | 0,548 | 16,67                        |
|             | 0,25                              | 13                          | 0               | 0       | 0     | 0                            |
|             | 0,5                               | 8                           | 2               | 0,4     | 0,548 | 25                           |
|             | 1                                 | 0                           | 0               | 0       | 0     | 0                            |

Badania wykonane na innych organizmach żyjących w wodzie – *Danio rerio* – wskazują szkodliwy wpływ nanoszlota na wylęg i na wzrost młodocianych osobników. Au NPs w stężeniu 2,5 mg/dm<sup>3</sup> redukuje wylęg młodych *D. rerio* do zaledwie 20%, ponadto młode inkubowane w roztworze Au NPs są widocznie mniejsze od osobników z grupy kontrolnej [Liu i in., 2014]. Toksyczność nanoszlota potwierdzają również badania K.-T. Kim, Zaikova, Hutchison i Tanguay [2013], w których LC<sub>50</sub> po pięciu dniach inkubacji *D. rerio* wynosi 30 mg/dm<sup>3</sup>. W tym stężeniu zaobserwowano nieprawidłową pigmentację i anomalie w rozwoju oczu podczas rozwoju embrionalnego *D. rerio* – defekt rozwojowy zaobserwowano dla 80% młodych osobników.

Istnieją jednak badania sprzeczne z wcześniej wymienionymi. Badania te nie wskazują jakiegokolwiek toksyczności Au NPs na *D. rerio* oraz brak negatywnego wpływu na rozwój oczu, mózgu i ogona młodych osobników [AshaRani, Lianwu, Gong i Valiyaveettil, 2011], jednak może się to wiązać z tym, że został przebadany jedynie bardzo niski zakres stężeń (0-100 µg/dm<sup>3</sup>) nanoszlota. Badania, w których sprawdzono szerszy zakres stężeń Au NPs również wykazały brak toksyczności nanoszlota na dorosłe oraz młode osobniki *D. rerio*. Po 48-godzinnej inkubacji w roztworach nanoszlota stwierdzono, że LC<sub>50</sub> przyjmuje wartość z pewnością wyższą niż 200 mg/dm<sup>3</sup> [Haque i Ward, 2018].

Badania literaturowe dowodzą większej toksyczności jonów złota w stosunku do nanoszlota [Dayal i in., 2017; Nam i in., 2014]. Zależność ta jest potwierdzona w badaniach, w których wartość LC<sub>50</sub> po 48-godzinnej inkubacji *Daphnia magna* w roztworach z dodatkiem jonów złota (pochodzących z HAuCl<sub>4</sub>) wyniosła 2 mg/dm<sup>3</sup>, podczas gdy LC<sub>50</sub> dla nanoszlota określono na około 70 mg/dm<sup>3</sup> [Li i in., 2010]. Dla *Daphnia pulex* 48 h LC<sub>50</sub> dla nanoszlota wynosi 7,31 mg/dm<sup>3</sup>, a dla jonów złota LC<sub>50</sub> = 0,01 mg/dm<sup>3</sup> [Botha i in., 2015].

Ze względu na ekotoksyczność przejawianą przez Au NPs prowadzone są badania z wykorzystaniem substancji opłaszczających nanoszloto, dzięki którym ich toksyczność

zostaje ograniczona [Haque i Ward, 2018; K.-T. Kim i in., 2013; Truong, Sali, Miller, Hutchison i Tanguay, 2012]. Badania na *D. rerio* z zastosowaniem czynnika opłaszczającego nanozłoto – dodatnio naładowanego TMAT (ang. *N,N,N-triethylammoniumethanol*) w stężeniu  $10 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  wywołały znaczną śmiertelność, ale nie wywołały wad rozwojowych w grupie badawczej [Haque i Ward, 2018]. Zastosowanie nanozłota opłasnzonego dodatnio naładowanym TMAT w wyższym stężeniu –  $30 \text{ mg}/\text{dm}^3$  – wywołało znaczną śmiertelność i liczne wady rozwojowe organizmów. Inny czynnik opłaszczający – ujemnie naładowany MES (2-merkaptioetanosulfonian), w dawce  $50 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , wpłynął na zmniejszenie odsetka śmiertelności jednocześnie zwiększając ilość wad rozwojowych [Haque i Ward, 2018; Truong i in., 2012]. Badania Haque i Ward [2018] dowiodły brak działań niepożądanych w wyższych stężeniach (do  $250 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ) dla nanozłota opłasnzonego MEE (ang. *2,2-mercaptoethoxyethanol*) i MEEE (ang. *2,2-mercaptoethoxyethoxyethanol*).

Podsumowując, na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że cząsteczki nanozłota są toksyczne dla osobników *Daphnia pulex*. Przeprowadzone badania porównane z danymi literaturowymi dowodzą, że toksyczność Au NPs różni się w zależności od gatunku. W celu zmniejszenia ekotoksyczności nanozłota należy stosować bardzo niskie stężenia (nie przekraczające wartości  $\text{LC}_{50}$ ) roztworów lub zgodnie z danymi literaturowymi prowadzić badania mające na celu opłasnzenie nanocząstek takimi substancjami chemicznymi, dzięki którym roztwory nanopierwiastków staną się bezpieczniejsze dla środowiska.

#### 4. Wnioski

- I. Uzyskane wartości  $\text{LC}_{50}$  dla rozwielitek inkubowanych w roztworach nanozłota wyniosły:  
 $24 \text{ h } \text{LC}_{50} = 0,530 \text{ mg}/\text{dm}^3$ ,  $48 \text{ h } \text{LC}_{50} = 0,210 \text{ mg}/\text{dm}^3$ .
- 1) Toksyczność nanozłota wzrasta wraz z czasem ekspozycji.
- 2) Dodatek nanozłota w stężeniu  $1 \text{ mg}/\text{dm}^3$  jest inhibitorem rozmnażania osobników *Daphnia pulex*.
- 3) Na toksyczność nanocząstek złota mają wpływ takie czynniki jak: wielkość (średnica) cząsteczek, stężenie substancji oraz obecność czynników opłaszczających. Dalsze badania ekotoksyczności Au NPs powinny być skierowane na prace nad zmniejszeniem toksyczności substancji poprzez zastosowanie odpowiedniej średnicy cząsteczek oraz czynników opłaszczających.

#### Bibliografia:

1. AshaRani, P. V., Lianwu, Y., Gong, Z. i Valiyaveetil, S. (2011). Comparison of the toxicity of silver, gold and platinum nanoparticles in developing zebrafish embryos. *Nanotoxicology*, 5(1), 43–54.
2. Baker, T. J., Tyler, C. R. i Galloway, T. S. (2014). Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on marine organisms. *Environmental Pollution*, 186, 257–271.
3. Bakri, S. J., Pulido, J. S., Mukherjee, P., Marler, R. J. i Mukhopadhyay, D. (2008). Absence of histologic retinal toxicity of intravitreal nanogold in a rabbit model. *Retina*, 28(1), 147–149.
4. Ban, S., Tenma, H., Mori, T. i Nishimura, K. (2009). Effects of physical interference on life history shifts in *Daphnia pulex*. *Journal of Experimental Biology*, 212(19),

- 3174–3183.
5. Bar-Ilan, O., Albrecht, R. M., Fako, V. E. i Furgeson, D. Y. (2009). Toxicity Assessments of Multisized Gold and Silver Nanoparticles in Zebrafish Embryos. *Small*, 5(16), 1897–1910.
  6. Bohnsack, J. P., Assemi, S., Miller, J. D. i Furgeson, D. Y. (2012). The Primacy of Physicochemical Characterization of Nanomaterials for Reliable Toxicity Assessment: A Review of the Zebrafish Nanotoxicology Model. *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), T. 926, 261–316.
  7. Botha, T. L., James, T. E. i Wepener, V. (2015). Comparative Aquatic Toxicity of Gold Nanoparticles and Ionic Gold Using a Species Sensitivity Distribution Approach. *Journal of Nanomaterials*, 2015, 1–16.
  8. Brown, S. D., Nativo, P., Smith, J.-A., Stirling, D., Edwards, P. R., Venugopal, B., Flint, D. J., (2010). Gold Nanoparticles for the Improved Anticancer Drug Delivery of the Active Component of Oxaliplatin. *Journal of the American Chemical Society*, 132(13), 4678–4684.
  9. Cho, W.-S., Cho, M., Jeong, J., Choi, M., Cho, H.-Y., Han, B. S., Kim, S. H. (2009). Acute toxicity and pharmacokinetics of 13 nm-sized PEG-coated gold nanoparticles. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 236(1), 16–24.
  10. Comber, D. J. i Bamezai, A. (2015). Gold Nanoparticles (AuNPs): A New Frontier in Vaccine Delivery. *Journal of Nanomedicine & Biotherapeutic Discovery*, 5(4), 1-12.
  11. Dayal, N., Singh, D. i Patil, P. (2017). Effect of bioaccumulation of gold nanoparticles on ovarian morphology of female zebrafish (*Danio rerio*). *World Journal of Pathology*, 6, 1–12.
  12. Dedeh, A., Ciutat, A., Treguer-Delapierre, M. i Bourdineaud, J.-P. (2015). Impact of gold nanoparticles on zebrafish exposed to a spiked sediment. *Nanotoxicology*, 9(1), 71–80.
  13. Dreaden, E. C., Austin, L. A., Mackey, M. A. i El-Sayed, M. A. (2012). Size matters: gold nanoparticles in targeted cancer drug delivery. *Therapeutic delivery*, 3(4), 457–78.
  14. Dykman, L. A. i Khlebtsov, N. G. (2011). Gold nanoparticles in biology and medicine: recent advances and prospects. *Acta naturae*, 3(2), 34–55.
  15. Ebert, D. (2005). Ecology, epidemiology, and evolution of parasitism in *Daphnia*. National Library of Medicine (US), National Center for Biotechnology Information.
  16. Farooq, M. U., Novosad, V., Rozhkova, E. A., Wali, H., Ali, A., Fateh, A. A., Neogi, P. B. (2018). Gold Nanoparticles-enabled Efficient Dual Delivery of Anticancer Therapeutics to HeLa Cells. *Scientific Reports*, 8(2907), 1-12.
  17. Geffroy, B., Ladhar, C., Cambier, S., Treguer-Delapierre, M., Brèthes, D. i Bourdineaud, J.-P. (2012). Impact of dietary gold nanoparticles in zebrafish at very low contamination pressure: The role of size, concentration and exposure time. *Nanotoxicology*, 6(2), 144–160.
  18. Han, G., Ghosh, P. i Rotello, V. M. (2007). Functionalized gold nanoparticles for drug delivery. *Nanomedicine* (London, England), 2(1), 113–123.
  19. Handy, R. D., von der Kammer, F., Lead, J. R., Hassellöv, M., Owen, R. i Crane, M. (2008). The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles. *Ecotoxicology*, 17(4), 287–314.
  20. Haque, E. i Ward, A. C. (2018). Zebrafish as a Model to Evaluate Nanoparticle Toxicity.



- Nanomaterials (Basel, Switzerland), 8(7), 1-18.
21. Huang, H., Quan, Y., Wang, X. i Chen, T. (2016). Gold Nanoparticles of Diameter 13 nm Induce Apoptosis in Rabbit Articular Chondrocytes. *Nanoscale Research Letters*, 11(249), 1-10.
  22. Huff, T. B., Tong, L., Zhao, Y., Hansen, M. N., Cheng, J.-X. i Wei, A. (2007). Hyperthermic effects of gold nanorods on tumor cells. *Nanomedicine*, 2(1), 125–132.
  23. Hussain, K. i Hussain, T. (2015). Gold Nanoparticles: A Boon to Drug Delivery System. *South Indian Journal of Biological Sciences*, 1(3), 127-133.
  24. Hwang, S., Nam, J., Jung, S., Song, J., Doh, H. i Kim, S. (2014). Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy: current status and future perspective. *Nanomedicine*, 9(13), 2003–2022.
  25. Kim, H., Lee, D., Kim, H. S. i Lee, D. Y. (2018). Near-Infrared-Responsive Cancer Photothermal and Photodynamic Therapy Using Gold Nanoparticles. *Polymers*, 10(9), 961-975.
  26. Kim, K.-T., Zaikova, T., Hutchison, J. E. i Tanguay, R. L. (2013). Gold nanoparticles disrupt zebrafish eye development and pigmentation. *Toxicological sciences : an official journal of the Society of Toxicology*, 133(2), 275–88.
  27. Kim, T., Lee, K., Gong, M. i Joo, S.-W. (2005). Control of Gold Nanoparticle Aggregates by Manipulation of Interparticle Interaction. *Langmuir*, 21(21), 9524–9528.
  28. Kong, F.-Y., Zhang, J.-W., Li, R.-F., Wang, Z.-X., Wang, W.-J. i Wang, W. (2017). Unique Roles of Gold Nanoparticles in Drug Delivery, Targeting and Imaging Applications. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 22(9), 1445-1458.
  29. Lacave, J. M., Retuerto, A., Vicario-Parés, U., Gilliland, D., Oron, M., Cajaraville, M. P. i Orbea, A. (2016). Effects of metal-bearing nanoparticles (Ag, Au, CdS, ZnO, SiO<sub>2</sub>) on developing zebrafish embryos. *Nanotechnology*, 27(32), 325102.
  30. Li, T., Albee, B., Alemayehu, M., Diaz, R., Ingham, L., Kamal, S., Rodriguez, M. (2010). Comparative toxicity study of Ag, Au, and Ag–Au bimetallic nanoparticles on *Daphnia magna*. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 398(2), 689–700.
  31. Libralato, G., Galdiero, E., Falanga, A., Carotenuto, R., de Alteriis, E. i Guida, M. (2017). Toxicity Effects of Functionalized Quantum Dots, Gold and Polystyrene Nanoparticles on Target Aquatic Biological Models: A Review. *Molecules*, 22(9), 1439.
  32. Liu, J., Fan, D., Wang, L., Shi, L., Ding, J., Chen, Y. i Shen, S. (2014). Effects of ZnO, CuO, Au, and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on *Daphnia magna* and early life stages of zebrafish *Danio rerio*. *Environment Protection Engineering*, 40(1), 139-149.
  33. Moore, M. N. (2006). Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? *Environment International*, 32(8), 967–976.
  34. Nam, S.-H., Lee, W.-M., Shin, Y.-J., Yoon, S.-J., Kim, S. W., Kwak, J. Il i An, Y.-J. (2014). Derivation of guideline values for gold (III) ion toxicity limits to protect aquatic ecosystems. *Water Research*, 48, 126–136.
  35. Nowack, B. i Bucheli, T. D. (2007). Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environmental Pollution*, 150(1), 5–22.
  36. Nune, S. K., Gunda, P., Thallapally, P. K., Lin, Y.-Y., Forrest, M. L. i Berkland, C. J. (2009). Nanoparticles for biomedical imaging. *Expert opinion on drug delivery*, 6(11), 1175–1194.

37. Oberdörster, G., Oberdörster, E. i Oberdörster, J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental health perspectives*, 113(7), 823–839.
38. Pan, Y., Leifert, A., Ruau, D., Neuss, S., Bornemann, J., Schmid, G., Brandau, W. (2009). Gold nanoparticles of diameter 1.4 nm trigger necrosis by oxidative stress and mitochondrial damage. *Small (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, 5(18), 2067–2076.
39. van Pomeroy, M., Peijnenburg, W. J. G. M., Vlieg, R. C., van Noort, S. J. T. i Vijver, M. G. (2019). The biodistribution and immuno-responses of differently shaped non-modified gold particles in zebrafish embryos. *Nanotoxicology*, 1–14.
40. Riley, R. S. i Day, E. S. (2017). Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy: applications and opportunities for multimodal cancer treatment. *Wiley interdisciplinary reviews. Nanomedicine and nanobiotechnology*, 9(4), 1-25.
41. Shipway, A. N., Lahav, M., Gabai, R. i Willner, I. (2000). Investigations into the Electrostatically Induced Aggregation of Au Nanoparticles. *Langmuir*, 16(23), 8789–8795.
42. Singh, P., Pandit, S., Mokkaipati, V. R. S. S., Garg, A., Ravikumar, V. i Mijakovic, I. (2018). Gold Nanoparticles in Diagnostics and Therapeutics for Human Cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1979.
43. Skjolding, L. M., Kern, K., Hjorth, R., Hartmann, N., Overgaard, S., Ma, G., Veinot, J. G. C. (2014). Uptake and depuration of gold nanoparticles in *Daphnia magna*. *Ecotoxicology*, 23(7), 1172–1183.
44. The Nanodatabase, <http://nanodb.dk/en/> (05.09.2019).
45. Truong, L., Saili, K. S., Miller, J. M., Hutchison, J. E. i Tanguay, R. L. (2012). Persistent adult zebrafish behavioral deficits results from acute embryonic exposure to gold nanoparticles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 155(2), 269–274.

## **17. PAMIĘĆ IMMUNOLOGICZNA – SWOISTE MECHANIZMY OBRONY ORGANIZMU PRZED ZAKAŻENIEM**

**Malwina Sosnowska**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Katedra Żywnienia i Biotechnologii Zwierząt

**Ada Schollenberger**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Katedra Nauk Przedklinicznych

### **1. Wstęp**

Pierwszą linią obrony podczas zakażenia jest odporność wrodzona. Konsekwencją dalszego rozwijania się zakażenia jest uruchomienie mechanizmów odporności nabytej (swoistej). Rozwija się ona znacznie wolniej, w ciągu 4-6 dni. Jej receptory nie są dziedziczne, ale rozpoznają antygeny w sposób wysoce swoisty. Odporność wrodzona i nabyta współdziałają ze sobą, tworząc złożony system obrony integralności organizmu gospodarza [Sochocka i Błach-Olszewska, 2005].

### **2. Odporność nabyta, swoista**

Pobudzenie mechanizmów odporności swoistej rozpoczyna się od prezentacji antygenów czynników zakaźnych z udziałem komórek dendrytycznych lub innych komórek JJprezentujących antygen (limfocyty B i makrofagi), limfocytom T pomocniczym (Th CD4). Prowadzi to do rozwoju odpowiedzi humoralnej i komórkowej na dany patogen oraz do powstania pamięci immunologicznej [Sochocka i Błach-Olszewska, 2005].

W odporności nabytej komórkami efektorowymi są limfocyty B, odpowiadające za odporność humoralną i limfocyty Tc, od których zależy odporność komórkowa [Sochocka i Błach-Olszewska, 2005].

#### **2.1. Odporność swoista komórkowa**

Odporność nabyta wiąże się z działalnością limfocytów T, zarówno pomocniczych (Th) jak i cytotoksycznych (Tc), supresorowych (Ts) i regulatorowych (Treg). Limfocyty T pod wpływem pobudzenia syntezują liczne cytokiny, które mają różną aktywność biologiczną. Odpowiadają za aktywację limfocytów B (IL-4), wzmagają ich rozwój (IL-5), czy też wpływają na proliferację limfocytów T (IL-17) [Male, Brostoff, Roth, Roitt, 2008; Buczek, Deptuła, Gliński, Jarosz, Stosik, Wernicki, 2000].

Limfocyty Th rozpoznają antygen za pośrednictwem receptorów dla antygeny (TCR). TCR, umieszczony wraz z CD3 w błonie cytoplazmatycznej rozpoznaje antygen prezentowany w połączeniu z własnymi białkami zgodności tkankowej klasy II przez komórki prezentujące antygen, APC. Do komórek profesjonalnie prezentujących antygen zalicza się komórki dendrytyczne, limfocyty B i makrofagi. W komórkach tych zachodzi stała ekspresja białek MHC II, w kontekście których patogeny egzogenne są prezentowane limfocytom pomocniczym [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000]. Antygen egzogeny jest

pochłonięty przez komórkę żerną. Internalizowane białko jest przekształcane przez proteazy i staje się ligandem dla MHC II. Następnie kompleks antygen-MHC II jest dostępny do rozpoznania przez TCR komórek Th CD4 [Mantegazza, Magalhaes, Amigorena, Marks, 2013]. Jeśli limfocyty Th CD4 rozpoznają antygen i ulegną pobudzeniu, zaczynają wytwarzać cytokiny aktywujące limfocyty B lub cytokiny pobudzające inne limfocyty T i wówczas rozwinię się odpowiedź zależna od limfocytów Tc [Male i in., 2008].

Do komórek efektorowych odporności komórkowej należą limfocyty Tc CD8. Komórki te, przy udziale TCR, rozpoznają antygeny endogenne prezentowane w kontekście MHC I klasy, występujące w cytoplazmie, jądrze oraz mitochondriach większości komórek. W ten sposób identyfikują komórki zmienione nowotworowo oraz zakażone wirusami [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000; Mantegazza i in., 2013].

Białka wytwarzane w każdej komórce stale ulegają rozkładowi w wyniku naznaczania ich przez ubiquitynę. Następnie są kierowane do proteasomu gdzie są cięte na oligopeptydy. W tej postaci włączane są do rowka w cząsteczce MHC klasy I i umieszczane w błonie komórkowej. Peptydy pochodzące z proteolizy w cytoplazmie jako antygeny są przemieszczane do siateczki śródplazmatycznej. Tam są składane do nowo syntetyzowanych MHC klasy I. Po zmontowaniu kompleksu MHC-antygen opuszczają siateczkę drogą sekrecji i są eksponowane na błonie komórkowej. Cząsteczki MHC klasy I poprzez ich rolę w prezentacji endogennych antygenów limfocytom Tc CD8, spełniają ważną rolę w zabijaniu komórek zakażonych wirusem, komórek nowotworowych i komórek przeszczepionych allogenicznie. Wirusy jako patogeny wewnątrzkomórkowe korzystają ze szlaków metabolicznych w tym z rybosomów komórki zwierzęcej [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000; Mantegazza i in., 2013].

Białka MHC kodowane przez geny głównego kompleksu zgodności tkankowej są unikatowe dla każdego osobnika. Budowa MHC obu klas jest różna, co mówi o różnicy pełnionych przez nie funkcji [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000].

W przypadku cząsteczki MHC I wiąże ona krótsze peptydy (8-10 aminokwasów). Jest to spowodowane rowkiem zamkniętym z obu stron w przeciwieństwie do rowka cząsteczki MHC II klasy. MHC I posiada dwa łańcuchy: wysoce polimorficzny (ciężki) i mało polimorficzny łańcuch lekki  $\beta 2$  mikroglobuliny. W skład łańcucha ciężkiego wchodzi trzy obszary pozakomórkowe ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ), ogon cytoplazmatyczny i rejon przezbłonowy. Rowek, z którym wiąże się antygen leży między domeną  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000; Mantegazza i in., 2013].

W siateczce śródplazmatycznej tworzy się pełny zespół, gdy do rowka cząsteczki MHC I przyłączy się odpowiedni peptyd [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000; Mantegazza i in., 2013].

Cząsteczka MHC klasy II jest heterodimerem, zbudowanym z łańcucha alfa i beta. Rowek MHC II jest otwarty z obu końców, co oznacza, że związane peptydy mogą wystawać z obu stron. Dlatego też peptydy wiązane przez MHC II mogą zawierać większą liczbę aminokwasów (około 12) [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000; Mantegazza i in., 2013].

Skutkiem dołączenia się liganda do receptora na powierzchni limfocytów T, jest uruchomienie szlaków przenoszenia sygnału do wnętrza komórki. Powoduje to aktywację kinaz tyrozynowych, fosforylację reszt tyrozynowych receptora i przede wszystkim zmianę ekspresji genu kodującego IL-2, która odpowiada za aktywację limfocytów T. Interakcja IL-2

z IL-2R (receptor na powierzchni limfocytów T) wywołuje podziały komórkowe [Male i in., 2008].

### **2.1.1. Limfocyty T pomocnicze**

Do subpopulacji limfocytów Th zaliczają się limfocyty pomocnicze tj. Th0, Th1, Th2, Th9, Th17, Th22, T<sub>FH</sub> i nTh2 o markerze CD4. Immunokompetentne limfocyty Th1 i Th2 mają na powierzchni kompleks TCR/CD3. Komórki każdej subpopulacji mają określony profil cytokinowy. Receptor TCR swoście rozpoznaje antygeny prezentowane wraz z białkami MHC II klasy. Proces rozpoznania zapoczątkowuje każdą odpowiedź immunologiczną, której profil określają cytokiny wytworzone przez pobudzony limfocyt T [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej, Tokarz-Deptuła, Deptuła, 2013].

Limfocyty Th1 wytwarzają INF $\gamma$ , IL-2 i biorą udział w tworzeniu odporności komórkowej i w zwalczaniu patogenów wewnątrzkomórkowych. Ich cytokiny aktywują komórki żerne, wzmagają nadwrażliwość typu komórkowego i cytotoksyczność komórkową zależną od przeciwciał [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Limfocyty Th2 wytwarzają interleukiny: IL-4, IL-5, IL-10 i IL-13 i za ich pośrednictwem biorą udział w powstawaniu odporności humoralnej poprzez pobudzenie limfocytów B do podziałów i produkcji przeciwciał (szczególnie IgE i IgG1). Ich aktywność zwiększa się podczas infekcji pasożytniczej i w stanach nadwrażliwości zależnej od przeciwciał [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Kolejną subpopulacją Th są limfocyty Th0. Są to limfocyty wykazujące pośrednie działanie pomiędzy Th1 i Th2. Produkują interferon gamma (tak jak Th1) i IL-4 (tak jak Th2) [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Inne subpopulacje limfocytów T takie jak Th9 mają udział w odporności przeciw pasożytniczej przeciwko robakom obłym, a Th17 o działaniu regulatorowym mają znaczenie w odporności przeciwbakteryjnej i przeciwgrzybiczej. Limfocyty Th17 działają również przeciwzapalnie [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Cytokiny wytwarzane przez omawiane subpopulacje komórek pomocniczych oddziałują na siebie addycyjnie, synergistycznie lub antagonistycznie i tworzą złożony system regulacyjny w procesach odporności swoistej [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

### **2.1.2. Komórki o aktywności cytotoksycznej**

Do tej grupy komórek należą limfocyty T cytotoksyczne (CTL), komórki NK i komórki NKT. Działalność CTL jest swoista w stosunku do patogenu. Rozpoznają one wszystkie zakażone komórki jądrowe, prezentujące antygeny czynnika zakaźnego wraz z MHC I [Male i in., 2008; Stępień, Izdebska, Grzanka, 2007].

Naturalnie cytotoksyczne komórki NK są limfocytami, które nie mają ani TCR ani BCR. Rozpoznają komórki, z niewłaściwą ekspresją MHC I klasy oraz komórki, na których ekspresja ta jest znacząco obniżona. Te zmiany są najczęściej następstwem zakażenia wirusowego lub bakteriami wewnątrzkomórkowymi [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Te dwie populacje komórek cytotoksycznych wzajemnie się uzupełniają. Komórki NK mogą rozpoznawać także komórki z antygenem wirusowym, opłaszczone przez przeciwciała, łączące się z antygenami wirusa eksponowanymi na powierzchni komórki - jest to cytotoksyczność komórkowa zależna od przeciwciał (ADCC). Komórki NK wiążą się swoim receptorem FcR z takim kompleksem za pomocą fragmentu Fc przeciwciała (głównie IgG) i ulegają aktywacji [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Istnieją dwa główne sposoby zabijania na drodze cytotoksyczności. Pierwszy opiera się na uwalnianiu z komórek CTL i NK zawartości ziarnistości cytoplazmatycznych w postaci perforyn i granzymów. Mechanizm zabijania jest w tych komórkach bardzo zbliżony, różni je natomiast sposób rozpoznania antygeny. Perforyna przy niewielkim stężeniu jonów wapnia występuje w nieaktywnej postaci zymogenu. Wapń zmienia jej strukturę w formę aktywną i umożliwia połączenie z błoną cytoplazmatyczną komórki eukariotycznej. Główną jej funkcją jest tworzenie porów i kanałów w tej błonie co prowadzi do lizy komórki [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Granzym A dostaje się do cytoplazmy komórki docelowej drogą endocytozy lub poprzez przenośniki. Tam aktywuje kompleks SET (kompleks białkowy połączony z siateczką śródplazmatyczną). Aktywny kompleks wpływa na fragmentację chromatyny jądrowej pobudzając do działania DNAzy (enzymy tnące DNA) [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Granzym B wnika poprzez pory w błonie cytoplazmatycznej wytworzone przez perforyny, uwolnione z ziarnistości komórek CTL i NK. W cytoplazmie aktywuje kaspazy lub prowadzi do uwalniania cytochromu c z mitochondrium, co zapoczątkowuje szlak programowanej śmierci komórki - apoptozę [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Komórka może również umrzeć poprzez aktywację receptorów dla Fas i dla TNF. W wyniku aktywacji receptorów Fas zawsze dochodzi do apoptozy komórki, podczas gdy pobudzenie receptora TNF może uruchamiać szlak przeżycia komórki [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

Mechanizm działania przedstawiony zostanie na receptorze Fas. Posiada on specyficznie określony obszar nazwany domeną śmierci DD. Domena ta wiąże białka adaptorowe, które uczestniczą w przekazaniu sygnału i uruchomieniu kaskady sygnalizacyjnej prowadzącej do apoptozy. Białka adaptorowe oprócz domeny DD posiadają domenę DED za pomocą której łączą się z kluczowymi dla apoptozy kaspazami. Sygnałem dla apoptozy jest połączenie receptora Fas z jego ligandem - Fas-L oraz białkiem adaptorowym FADD. Białko adaptorowe aktywuje białko efektorowe (kaspazę 8) i doprowadza do śmierci komórki [Male i in., 2008; Stępień i in., 2007].

### **2.1.3. Limfocyty T regulatorowe**

W organizmie mogą występować limfocyty reagujące nie tylko na obce antygeny, ale również na swoje własne. Na ogół te limfocyty giną w procesie selekcji negatywnej, a więc nie uzyskują kompetencji i nie opuszczają grasicy i szpiku. Jednak jeśli przeżyją i wydostaną się na obwód ulegają anergii i tracą swoją aktywność. Oprócz naturalnych barier chroniących przed autoreaktywnymi limfocytami, istnieje populacja czynnie przed tym zabezpieczająca - limfocyty T supresorowe [Male i in., 2008; Gołąb, Jakóbisiak, Lasek, Stokłosa, 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Komórki regulatorowe posiadają na swojej powierzchni receptory CD4, CD3, CD25. Modulują odpowiedź immunologiczną poprzez wydzielanie IL-10, IL-35 i transformującego czynnika wzrostu beta (TGF- $\beta$ ) [Male i in., 2008; Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Limfocyty regulatorowe zabezpieczają przed zbyt długim okresem aktywności limfocytów T, zapobiegając szkodliwym skutkom tej aktywności. Wykazują również hamujące działanie na limfocyty B (wywołują ich śmierć lub modulują syntezę przeciwciał). Odpowiadają za stan tolerancji np. transplantacyjnej, pokarmowej na antygeny zawarte w pokarmach oraz na antygeny związane z nowotworami. Ich działalność może być jednocześnie negatywna, gdy dotyczy hamowania eliminacji patogenu skutkującego zakażeniem przetrwałym i pozytywna, gdy utrzymuje limfocyty pamięci w gotowości do odpowiedzi w czasie infekcji [Male i in., 2008; Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

#### **2.1.4. Limfocyty T pamięci**

Limfocyty T pamięci ze względu na obecne na nich receptory, jak również wydzielane przez nie czynniki, dzielą się na dwie główne grupy: centralne (T<sub>cm</sub>) i efektorowe (T<sub>em</sub>) komórki pamięci. Centralne komórki pamięci biorą udział w odpowiedzi na patogeny w śledzionie, węzłach chłonnych i tkance limfoidalnej związanej z błonami śluzowymi (w obwodowych narządach limfatycznych). Efektorowe komórki pamięci natomiast podążają do miejsca zapalenia. Tam aktywują odpowiedź na antygen za pomocą wytwarzanych cytokin prozapalnych i mechanizmów cytotoksycznych [Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Powstawanie limfocytów T pamięci rozpoczyna się od kontaktu limfocyta dziewiczego, który wcześniej nie miał kontaktu z antygenem, z odpowiednio zaprezentowanymi antygenami patogenu, w przebiegu odpowiedzi immunologicznej pierwotnej [Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Limfocyty T pamięci mają zwiększoną zdolność adhezyjną do komórek APC. To skutkuje wzrostem ich aktywności w wyniku stałego pobudzenia antygenem (kontakt z komórkami APC), zwiększoną proliferacją i sekrecją cytokin. Limfocyty T pamięci są pobudzane tylko jednym sygnałem, płynącym z receptora TCR w przeciwieństwie do limfocytów dziewiczych, których aktywacja jest następstwem trzech rodzajów sygnałów [Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Długość życia limfocytów T pamięci, wiąże się z obecnością na ich powierzchni receptorów dla MHC klasy I oraz białek kostymulujących. To właśnie sygnał docierający do tych receptorów hamuje aktywność i wpływa na ich długie życie w organizmie [Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

Zjawisko pamięci immunologicznej wykorzystano sporządzając szczepionki, które zawierają antygeny atenuowane lub inaktywowane (zabite). Odpowiedź pierwotna służy wytworzeniu komórek pamięci, które będą źródłem ochronnej odpowiedzi immunologicznej i ochronią przed chorobą przy ponownym kontakcie z tym samym patogenem [Gołąb i in., 2007; Niedźwiedziecka-Rystwej i in., 2013].

### 3. Odporność swoista humoralna

Za rozwój humoralnej odpowiedzi immunologicznej odpowiadają limfocyty B. Pod wpływem swoistego pobudzenia antygenowego i dzięki współpracy z pomocniczymi limfocytami T proliferują i różnicują się w komórki plazmatyczne wytwarzające przeciwciała swoiste względem antygeny, który wywołał odpowiedź. Przeciwciała należą do immunoglobulin i uwalniane są do krwi i płynów ustrojowych oraz do wydzielin organizmu. Przeciwciała łącząc się z patogenem znakują go, unieruchamiają i przyczyniają się do jego zniszczenia [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979].

Serologia zajmuje się badaniem reakcji antygen-przeciwciało in vitro. W badaniu serologicznym oznacza się ilość przeciwciał przeciwko określonemu antygenowi. Takie badanie ma wartość diagnostyczną i prognostyczną [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979].

Immunoglobuliny, Ig są produkowane przez komórki plazmatyczne, które są ostatecznym stadium różnicowania pobudzonych limfocytów B. W zależności od typu łańcucha ciężkiego Ig wyróżniono 5 klas immunoglobulin: Ig A, IgG, IgE, IgM, i IgD [Gołąb i in., 2007; Salyers i Whitt, 2003].

Przeciwciało posiada dwa paratopy - fragmenty wiążące antygen (Fab) i jeden fragment krystalizujący (Fc). Fragment krystalizujący wiąże dopełniacz i łączy się z receptorem dla Fc na komórkach żernych [Gołąb i in., 2007; Salyers i Whitt, 2003].

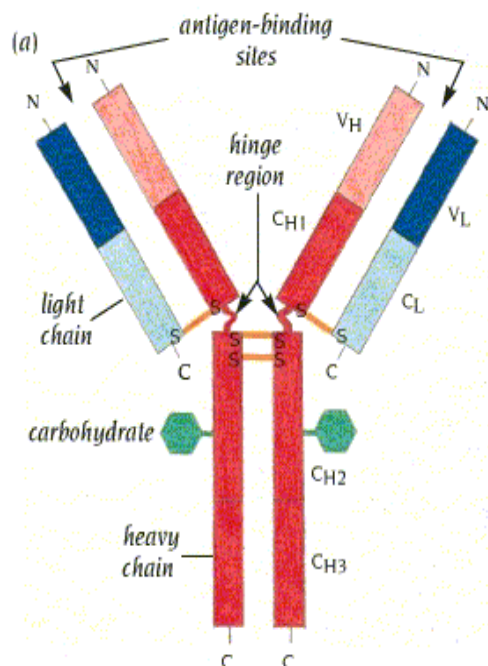
Immunoglobuliny nie zawsze występują w postaci monomerów tak jak IgG. U człowieka i u zwierząt niektóre przeciwciała tworzą kompleksy. Tak jest w przypadku wydzielniczych IgA (dimer) czy IgM, które są pentamerami [Gołąb i in., 2007; Salyers i Whitt, 2003].

Przeciwciała wiążąc bakterie powodują aktywację dopełniacza drogą klasyczną, zwiększają fagocytozę, wzmagają cytotoksyczność komórek NK, blokują wnikanie bakterii i działanie ich toksyn. Wszystkie te procesy powstają na skutek wiązania antygeny bakteryjnego z fragmentem Fab przeciwciała. Mogą również wiązać się z rzęskami bakterii i hamować ich ruch [Gołąb i in., 2007; Salyers i Whitt, 2003].

Przeciwciała biorą udział w opsonizacji antygeny. Fragment Fc przeciwciała łączy się z receptorami na komórce żernej i wspomaga proces fagocytozy patogenu. Organizm człowieka potrzebuje do opsonizacji zarówno C3b dopełniacza jak i przeciwciał. Taka konieczność zachodzi w przypadku bakterii posiadających otoczkę. Neutrofile nie są w stanie zabić czynnika zakaźnego, gdyż nie zachodzi kontakt między białkiem dopełniacza a antygenem. Przeciwciała łączą się z otoczką, a swoim fragmentem krystalizującym z FcR komórki żernej umożliwiając fagocytozę bakterii [Salyers i Whitt, 2003].

Są jednak drobnoustroje, które są w stanie ominąć ochronne działanie przeciwciał. Przykładem takim jest *Neisseria gonorrhoeae*. Hamuje ona działanie przeciwciał, przede wszystkim tych uszkadzających bakterie. Wytwarza również proteazy, które niszczą IgA. Jest w stanie adsorbować w wydzielanych pęcherzykach błonowych immunoglobuliny [Male i in., 2008]. Pęcherzyki błonowe składają się z błony i wydzielanych lub transportowanych substancji. Biorą udział w rozwoju zakażenia poprzez substancje, które transportują (np. własne DNA). Zawartość pęcherzyków umożliwia również komunikację między komórkami i niszczenie ścian innych bakterii (internaliny) [Włodarczyk i Matlakowska, 2010].





**Rycina 1. Budowa przeciwciała**

<http://www.automation-drive.com/EX/05-15-08/IgG.gif>

### 3.1. Limfocyty B pamięci

Populacja limfocytów B pamięci zwiększa się na skutek pierwotnej odpowiedzi immunologicznej. Kontakt z antygenem pobudza swoje względem niego limfocyty B, czego następstwem może być wytworzenie komórek efektorowych produkujących przeciwciała i limfocytów B pamięci. Limfocyty B pamięci mają zwiększoną liczbę BCR i duże powinowactwo do antygeny i dlatego wygrywają konkurencję o kontakt z nim w odpowiedzi pierwotnej. Reagują nie tylko na określone antygeny, ale na każdą substancję wytwarzaną przez patogen. Dzieje się tak przy udziale receptorów TLR i uwalnianych przez komórki pomocnicze cytokin. Receptory BCR limfocytów B pamięci należą do innej klasy immunoglobulin w porównaniu z limfocytami dziewiczymi [Gołąb i in., 2007].

## 4. Podsumowanie

Odporność swoista rozpoczyna się od prezentacji antygenów za pomocą wyspecjalizowanych komórek, np. komórek dendrytycznych. Prezentacja antygeny powoduje wytworzenie przeciwciał (odpowiedź humoralna) lub cytotoksyczność (odpowiedź komórkowa). W odporności nabytej, komórkami efektorowymi są limfocyty B oraz Tc. Pierwszy kontakt z patogenem skutkuje rozwojem pamięci immunologicznej. Zatem, odpowiedź wtórna wytwarzana dzięki komórkom pamięci zachodzi znacznie szybciej, a odpowiedź trwa dłużej, jest mniej zależna od limfocytów pomocniczych i intensywniejsza (np. większa ilość wydzielanych przeciwciał o lepszym dopasowaniu do antygeny).

**Bibliografia:**

1. Buczek J., Deptuła W., Gliński Z., Jarosz J., Stosik M., Wernicki A. (2000). Immunologia porównawcza i rozwojowa zwierząt, PWN, Poznań.
2. Gołąb J., Jakóbisiak M., Lasek W. Stokłosa T. (2007). Immunologia, PWN, Warszawa.
3. Male D., Brostoff J., Roth D. B., Roitt I. (2008). Immunologia, Elsevier Urban & Partner, Wrocław.
4. Mantegazza A., R., Magalhaes J., G., Amigorena S., Marks M., S. (2013). Presentation of phagocytosed antigens by MHC class I and II. *Traffic*, 14, s. 135-152.
5. Niedźwiedziecka-Rystwej P., Tokarz-Deptuła B., Deptuła W. (2013). Charakterystyka subpopulacji limfocytów T. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 67, s. 371-379.
6. Podstawy Mikrobiologii Lekarskiej, pod red. Leona Jabłońskiego, Wyd. 3 poprawione i uzupełnione, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1979.
7. Salyers A., A., Whitt D., D. (2003). Mikrobiologia: różnorodność, chorobotwórczość i środowisko, PWN, Warszawa.
8. Sochocka M., Błach-Olszewska Z. (2005). Mechanizmy wrodzonej odporności. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 59, s. 250-258.
9. Stępień A., Izdebska M., Grzanka A. (2007). Rodzaje śmierci komórki. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 61, s. 420-428.
10. Włodarczyk A., Matlakowska R. (2010). Pęcherzyki błonowe – system sekrecji i transportu u bakterii Gram-ujemnych. *Postępy Mikrobiologii*, 49, s. 305-315.

## **18. WRODZONE MECHANIZMY OBRONY GOSPODARZA - PIERWSZA LINIA OBRONY**

**Malwina Sosnowska**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Żywienia i Biotechnologii Zwierząt  
ul. Ciszewskiego 8, blok 23  
02-786 Warszawa

**Ada Schollenberger**

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Nauk Przedklinicznych  
ul. Ciszewskiego 8, blok 23  
02-786 Warszawa

### **1. Wstęp**

Drobnoustrój, aby przetrwać wewnątrz komórki zwierzęcej, musi wykształcić specyficzne strategie unikania zniszczenia. Z reguły dysponuje też mechanizmem ucieczki przed układem odpornościowym. Wirusowymi mechanizmami ucieczki może być latencja czy duża zmienność antygenowa. Bakterie z kolei potrafią unikać zniszczenia podczas fagocytozy poprzez hamowanie fuzji lizosomów z fagosomem, a nawet się w nim namnażać. Tych strategii jest wiele, a jeden drobnoustrój może stosować jednocześnie kilka sposobów unikania odpowiedzi immunologicznej. Gospodarz nie jest bierną ofiarą w obliczu zakażenia, dysponuje bowiem naturalnymi, wrodzonymi i nabytymi, doskonalonymi przez całe życie, mechanizmami obrony [Male, Brostoff, Roth, Roitt, 2008].

### **2. Wrodzone i nabyte mechanizmy obrony gospodarza**

Obrona organizmu zwierzęcego przed patogenem opiera się na dwóch rodzajach odporności: wrodzonej, nieswoistej oraz nabytej, swoistej. Mechanizmy odporności nieswoistej są niezmiennie w ciągu życia i są filogenetycznie starsze [Buczek i in., 2000].

Odpowiedź wrodzona organizmu obejmuje zapalenie, fagocytozę patogenów, usunięcie czynnika uszkodzającego i odnowę tkanek do stanu przed jego zadziałaniem. Gdy te mechanizmy nie opamięją zagrożenia rozwija się odpowiedź nabyta [Male i in., 2008].

**Tabela 1 Porównanie mechanizmów odporności wrodzonej i nabytej**

| Różnice                                  | Odporność wrodzona nieswoista                                                                                                                                                                                     | Odporność nabyta swoista                                                                                                                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kinetyka rozwoju reakcji immunologicznej | rozwija się bardzo szybko (minuty); nie wymaga wstępnej aktywacji                                                                                                                                                 | rozwija się powoli, nawet do 6 dni                                                                                                              |
| Pochodzenie receptorów                   | nabyte w rozwoju ewolucyjnym, niezmiennie, dziedziczone z pokolenia na pokolenie, rozpoznają struktury wspólne i obecne na dużej liczbie patogenów                                                                | powstają de novo poprzez rearanżację genów na skutek kontaktu z nowym antygenem, nie dziedziczą się                                             |
| Typy receptorów                          | toll-like (TLRs)<br>lektynowe<br>scavenger<br>receptory komórek NK                                                                                                                                                | swoiste dla poszczególnych struktur patogenu                                                                                                    |
| Rozpoznawane struktury patogenu          | niezmienne, obecne na dużej grupie patogenów np. LPS Gram-ujemne, sekwencje CpG DNA, wirusowe, dwuniciowe replikacyjne postaci dsRNA, struktury osłonki wirusów                                                   | poszczególne domeny struktur patogenu                                                                                                           |
| Komórki                                  | NK, DC, limfocyty $\gamma\delta$ T, makrofagi, granulocyty, limfocyty B-1a                                                                                                                                        | APC, limfocyty T (CD4+, CD8+) i B                                                                                                               |
| Ekspansja                                | nieklonalna                                                                                                                                                                                                       | klonalna                                                                                                                                        |
| Pamięć immunologiczna                    | brak                                                                                                                                                                                                              | trwała                                                                                                                                          |
| Aktywacja                                | rozwija się niezależnie od swoistej, może być wspomagana przez swoistą                                                                                                                                            | do rozwoju wymaga odpowiedzi nieswoistej                                                                                                        |
| Mechanizmy efektorowe                    | cytotoksyczność (niezależna od MHC) zależna od NK, makrofagów, DC, komplementu, wytwarzanie cytokin: IFN ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ ), rodziny TNF, interleukin, chemokin, cytokinozależna odporność komórek | cytotoksyczność limfocytów TCD8+ zależna od MHC, przeciwciała, cytotoksyczność oparta na komplemente, zależna od przeciwciał, aktywność cytokin |

Źródło: <http://www.phmd.pl/images/ryciny/20050705164110.jpg>

### Odporność wrodzona

Szczelność powłok zewnętrznych chroni organizm przed wniknięciem większości patogenów - są to bariery mechaniczne i fizykochemiczne. Bariery te tworzy skóra i złuszczaący się naskórek, zawierający działającą bakteriobójczo keratynę i jego wytwory jak włosy, rogi, pazury. Dostępu do wnętrza organizmu bronią błony śluzowe pokryte stale odnawiającym się nabłonkiem: nabłonek migawkowy (wyścielający drogi oddechowe), nabłonek błon śluzowych przewodu pokarmowego i nabłonek błon śluzowych układu moczowo-płciowego o dużej zdolności regeneracyjnej [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Szczelność barier mechanicznych uzupełnia wytwarzanie licznych czynników chemicznych. Przykładami związków o działaniu bakteriobójczym jest lizozym i fosfolipaza C, których najwięcej jest w ślinie i łzach, ale które znajdują się we wszystkich płynach ustrojowych. Niskie pH żołądka i pochwy, wydzieliny gruczołów łojowych i potowych oraz śluz pokrywający błony śluzowe również utrudniają rozwój niekorzystnych bakterii [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Odporność wrodzona organizmu zapewnia też perystaltyka i właściwy skład flory bakteryjnej przewodu pokarmowego. Bakterie komensaliczne konkurują z patogennymi o miejsce, pokarm i hamują ich wzrost. Komórki nabłonkowe błony śluzowej jelit ściśle do siebie przylegają. Warstwa nabłonka jest selektywnie przepuszczalna (wynik aktywności czynników przeciwbakteryjnych), zapobiega wnikaniu patogenów i zawiera komórki

kubkowe (sekrecja śluzu), komórki Panetha (produkcja czynników przeciwbakteryjnych) oraz enteroendokrynowe (miejscowe wydzielanie hormonów). W stanie równowagi biota przewodu pokarmowego jest źródłem konstytutywnych sygnałów do systemu odporności wrodzonej, co pomaga utrzymać gotowość do odpowiedzi immunologicznej i zwiększa odporność na infekcje patogenami jelitowymi. Patogeny dysponują licznymi czynnikami umożliwiającymi kolonizację i pokonywanie bariery nabłonka jelitowego jak to się dzieje u pałeczek Gram-ujemnych min. z rodzaju *Yersinia*. Ścisłej regulacji podlegają bakterie, które chcą przedostać się przez jelitową barierę nabłonkową. Patogeny konkurują z komensalami i muszą pokonać barierę, uszczelnioną przez prawidłową florę jelit. We krwi są rozpoznawane przez czynniki humoralne i komórkowe odporności wrodzonej gospodarza [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Oprócz perystaltyki przewodu pokarmowego do naturalnych mechanizmów eliminacji patogenów należy również stały przepływ moczu w drogach moczowych. Zabezpiecza przed zapaleniem pęcherza i dróg moczowych wywołanym przez bakterie [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Drogi oddechowe pozbywają się drobnoustrojów poprzez odruchy obronne jak kaszel, kichanie i odkrztuszanie. Nabłonek migawkowy błony śluzowej wyścielającej drogi oddechowe zatrzymuje cząsteczki i drobnoustroje zawarte we wdychanym powietrzu [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Przewód pokarmowy broni się przed patogenami używając wielu związków chemicznych. Lizozym śliny, niskie pH soku żołądkowego i żółć przyczyniają się do utrudnienia kolonizacji błon śluzowych przez patogeny [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Na odporność nieswoistą składają się więc bariery fizyczne, chemiczne i biologiczne jak również czynniki humoralne zawarte we krwi i płynach ustrojowych oraz komórki mające zdolność fagocytozy, pinocytozy, cytotoksyczności lub cytolizy [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

Odporność swoista natomiast obejmuje mechanizmy odporności komórkowej, w której komórkami efektorowymi są limfocyty T i mechanizmy odporności humoralnej, uwarunkowane wytwarzaniem przeciwciał przez limfocyty B [Buczek i in., 2000; Kinnebrew i Pamer, 2012].

### **Mechanizmy komórkowe odporności nieswoistej**

Najważniejszymi komórkami odporności wrodzonej są komórki żerne. Należą do nich granulocyty obojętnochłonne - komórki żerne krążące oraz makrofagi - komórki żerne osiadłe. Mają one zdolność fagocytowania i zabijania pochłoniętych czynników i substancji. Komórkami odporności nieswoistej są także komórki zdolne do przekształcania i prezentacji antygenów (APC) oraz komórki naturalnie cytotoksyczne. Nie posiadają one swoistych receptorów dla antygenów, co jest cechą limfocytów T i B ale zawierają receptory, przeznaczone do rozpoznawania molekularnych wzorców patogenów (PRR). Te receptory pełnią najważniejszą funkcję we wczesnej identyfikacji struktur związanych z patogenami i bezpośrednio zagrażających gospodarzowi. Komórki odporności wrodzonej uczestniczą w fazie komórkowej zapalenia [Buczek i in., 2000; Sawicki, 2008].

## Zapalenie

Zapalenie jest miejscową reakcją obronną na każde uszkodzenie i związane z nim zakażenie, w której uczestniczą liczne czynniki humoralne i komórki odporności nieswoistej. Komórki gromadzące się w miejscu uszkodzenia nie tylko chcą wyeliminować czynniki wywołujące stan zapalny ale również wytwarzają własne mediatory. Zapalenie jest to miejscowa reakcja obronna na czynnik uszkodzający oraz na patogeny [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000].

Wyróżnia się następujące kliniczne postacie zapalenia:

- Zapalenie ostre - patogen zostaje wyeliminowany całkowicie, a tkanki ulegają pełnej regeneracji. W ostrym zapaleniu bierze udział duża liczba neutrofilów, makrofagów oraz limfocyty Th. Rozwija się w ciągu kilkudziesięciu sekund od zadziałania czynnika uszkodzającego.
- Zapalenie przewlekłe - patogen wykorzystuje mechanizmy pozwalające na jego przeżycie. Organizm gospodarza chce zminimalizować niekorzystne zmiany wywołane przez zakażenie. Jednak sygnały z ogniska zapalenia i stymulacja antygenowa wywołują długotrwałe zapalenie z dużą liczbą makrofagów, limfocytów Tc i limfocytów B. Może ono trwać wiele tygodni, a nawet miesiące [Male i in., 2008; Buczek i in., 2000].

Zapalenie mogą wywołać egzogenne czynniki fizyczne, jak uraz mechaniczny, temperatura czy promieniowanie, chemiczne, jak nieorganiczne zasady i kwasy oraz biologiczne, jak wirusy, bakterie, pierwotniaki czy grzyby. Przyczyną zapalenia mogą być też czynniki endogenne, jak to ma miejsce w przebiegu reakcji uczuleniowych czy chorób autoimmunizacyjnych [Sawicki, 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

Zapalenie przyczynia się do usunięcia uszkodzenia, likwidacji czynników zakaźnych i przywrócenia homeostazy. Podczas naczyniowej fazy zapalenia następuje zwolnienie przepływu krwi przez uszkodzone miejsce, ucieczka płynów bogatych w białko do tkanek i tworzenie się obrzęku, miejscowe niedotlenienie, naruszenie ciągłości śródbłonna naczyniowego, pojawiają się zmiany w lepkości krwi, a leukocyty układają się na obwodzie strumienia, co zapoczątkowuje proces ich transmigracji czyli diapedezy do obszaru objętego zapaleniem [Sawicki, 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

W ognisku zapalenia znajdują się również komórki tuczne. W swoich ziarnistościach zawierają mediatory zapalenia. Ich główną funkcją jest udział w fazie naczyniowej, podczas której produkują czynniki naczynioruchowe takie jak histamina i serotonina. Zawierają ponadto heparinę, która bierze udział w angiogenezie. Angiogeneza wiąże się z powstawaniem nowych naczyń krwionośnych. Zachodzi podczas procesów fizjologicznych lub patologicznych. Różni się jednak od waskulogenezy tym, że zachodzi po urodzeniu. Komórki tuczne mają znikomy udział w procesie fagocytozy [Sawicki, 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

Na powierzchni komórek tucznych znajdują się receptory TLR (Toll-podobne) i receptory dla składników dopełniacza. Po dołączeniu odpowiedniego liganda ma miejsce uwalnianie zawartości ziaren mastocytów, co oddziałuje na inne komórki i włącza je w proces zapalny [Sawicki, 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

Receptory TLR należą do receptorów rozpoznawania molekularnych wzorców patogenów (PRR). Występują na wielu komórkach zapalenia, takich jak makrofagi, limfocyty

B, komórki dendrytyczne, eozynofile, neutrofile i na komórkach nie należących bezpośrednio do układu immunologicznego jak komórki nabłonkowe. Receptory TLR, pośrednio poprzez aktywację komórek prezentujących antygen (APC) przyczyniają się do syntezy cytokin, tlenku azotu i aktywacji białek adhezyjnych APC. Można powiedzieć, że w ten sposób receptory TLR pośrednio indukują odpowiedź swoistą, poprzez aktywację APC, przede wszystkim aktywację komórek dendrytycznych. Pobudzone komórki prezentujące przekształcają pochłonięte substancje i ostatecznie prezentują antygeny limfocytom Th [Sawicki, 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

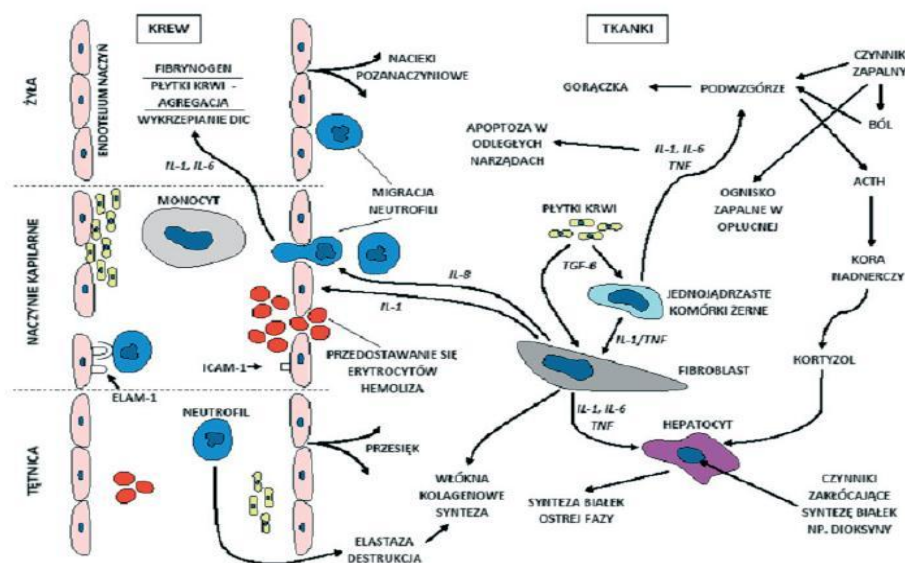
Drobnoustroje cechuje duża plastyczność fenotypowa i często ulegają zmienności genetycznej, mają jednak elementy stałe, którymi są molekularne wzorce związane z patogenami - PAMP. Za ich pomocą możliwa jest identyfikacja bakterii, wirusów i grzybów, jako zdecydowanie obcych pośród własnych cząsteczek. Podczas choroby PRR mogą wiązać również białka gospodarza. To właśnie niezmiennie struktury PAMP są rozpoznawane przez PRR. Receptory PRR mogą być białkami transbłonowymi (TLR) lub cytoplazmatycznymi (NLR i RLH). Związanie jakiegokolwiek PAMP z receptorami PRR jest źródłem wielu zmian w komórce m.in. prowadzi do czynników transkrypcyjnych, ekspresji określonych genów, syntezy białek (cytokin zapalnych) lub zapoczątkowuje proces śmierci komórki [Sawicki, 2008; Majewska i Szczepanik, 2006].

Podczas zwolnionego przepływu krwi przez uszkodzony obszar wzrasta ekspresja cząsteczek adhezyjnych na leukocytach, co dodatkowo spowalnia przemieszczanie się komórek. Chemokiny powstające w odpowiedzi na czynnik uszkodzający aktywują leukocyty, co zwiększa ekspresję cząsteczek adhezyjnych i stymuluje ich ekspresję także na komórkach śródbłonna naczyniowego. Skutkiem uszkodzenia jest masowy napływ neutrofilów do miejsca objętego procesem zapalnym [Male i in., 2008].

Migracja neutrofilów do ogniska zapalenia jest zależna od cząsteczek sygnałowych i adhezyjnych. Selektyny biorą udział w modelowaniu krążenia leukocytów. Są one śródbłonkowymi cząsteczkami mającymi zdolność do wiązania się z receptorami na krążących leukocytach, co spowalnia ruch komórek wewnątrz żyłek pozawłosowatych i ułatwia dostarczanie sygnałów migracyjnych do leukocytów [Male i in., 2008].

Podczas komórkowej fazy zapalenia na skutek powstania gradientu czynników chemotaktycznych komórki żerne masowo opuszczają krążenie i zgodnie z tym gradientem wędrują do ogniska zapalenia. Chemotaksja jest zależna od licznych czynników pochodzących od intruza i gospodarza, między innymi od chemokin, które będą wpływać na proces migracji zarówno granulocytów obojętnochłonnych jak i monocytów do źródła zapalenia. Dzięki temu, komórki żerne będą podążać w kierunku wzrastającego stężenia czynników chemotaktycznych [Buczek i in., 2000; Gołąb, Jakóbisiak, Lasek, Stokłosa, 2007].

Czynniki chemotaktyczne to m.in. składniki C5a i C3a dopełniacza, formylowane peptydy bakteryjne, cytokiny takie jak IL-1, IL-8, TNF- $\alpha$ , TGF- $\beta$  (produkty monocytów i makrofagów), PAF czy limfotoksyny (produkty limfocytów T) [Gołąb i in., 2007].



**Rycina 1 Schemat fazy komórkowej zapalenia z uwzględnieniem wątroby, będącej źródłem czynników humoralnych uczestniczących w odczynie zapalnym**

Źródło: <http://www.phmd.pl/images/ryciny/20100113115524.jpg>

Komórki z różną szybkością docierają do miejsca zapalenia. W ciągu pierwszych czterech godzin od zadziałania czynnika uszkodzającego w ogniku zapalenia pojawiają się neutrofile. Sekrecja czynnika martwicy nowotworu alfa (TNF  $\alpha$ ), interleukiny 1 (IL-1) oraz reaktywnych form tlenu (ROI) odbywa się z udziałem neutrofilów [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009].

TNF- $\alpha$  ma udział w chemotaksji, aktywuje bowiem chemokiny i cząsteczki adhezyjne oraz pobudza przeciwbakteryjne działanie komórek żernych [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009].

IL-1 podobnie jak TNF- $\alpha$  ułatwia podążanie leukocytów do źródła zakażenia. Działa również na ośrodek termoregulacji w podwzgórzu co prowadzi do powstania gorączki. Gorączka jest przejawem ogólnej wrodzonej reakcji obronnej podczas walki organizmu z patogenami. Podwyższona temperatura ciała, jaka towarzyszy gorączce skutecznie hamuje namnażanie większości czynników zakaźnych, zwiększa proliferację limfocytów i obniża aktywność gospodarza, a tym samym wydatek energetyczny [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009].

Najważniejszym mechanizmem obrony wrodzonej, nieswoistej, jest fagocytoza. Pod wpływem obecności sfagocytowanego materiału, w komórkach żernych takich jak granulocyty i makrofagi, dochodzi do wybuchu tlenowego co skutkuje pojawieniem się wolnych rodników tlenowych (ROI): nadtlenu wodoru, anionu hydroksylowego, tlenu singletowego oraz tlenku azotu, halogenków, kwasu podchlorawego i innych związków o działaniu bójkowym [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009].

Neutrofile są również źródłem elastazy i kolagenazy. Wpływają na proces krzepnięcia i degradację substancji międzykomórkowej [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009].

Do ogniska zapalenia migrują także eozynofile, monocyty i wreszcie limfocyty. Napływają również komórki dendrytyczne, komórki tuczne, komórki NK, trombocyty i bazofile. W następstwie gromadzenia się komórek żernych fagocytoza przebiega



intensywnie i jest połączona z zabijaniem czynników zakaźnych, głównie na drodze tlenowej, z udziałem wolnych rodników, których obecność potęguje stan zapalny [Male i in., 2008; Lewandowicz, Kowalski, Pawliczak, 2004].

Podczas komórkowej fazy zapalenia na szczególną uwagę zasługują makrofagi tkankowe. Są to osiadłe, długo żyjące komórki niezdolne do proliferacji. W wyniku uszkodzenia szybko gromadzą się w miejscu infekcji. Migracja makrofagów do ogniska zapalenia odbywa się przede wszystkim z udziałem ich receptorów związanych z białkiem G (GPCR). Receptory GPCR występują nie tylko na makrofagach i monocytach, ale również w neutrofilach, eozynofilach i limfocytach [Male i in., 2008; Lewandowicz i in., 2004].

Podczas pobudzenia komórki do receptora dołącza się ligand - mediator zapalenia. Wywołuje to przyłączenie GTP a odłączenie GDP od białka G, co prowadzi do oddysocjowania podjednostki  $\alpha$  od  $\beta$  i  $\gamma$ , tworzących GPCR. Podjednostka  $\alpha$  przemieszcza się wzdłuż błony komórkowej i aktywuje fosfolipazę C. To prowadzi do rozpadu fosfatydoloinozytolu do trifosforanu inozytolu i diacyloglicerolu. Trifosforan inozytolu przemieszcza się do siateczki śródplazmatycznej i otwiera kanały wapniowe. Wapń wraz z diacyloglicerolem aktywuje kinazę białkową C. Kinaza ta fosforyluje białka wewnątrzkomórkowe co wpływa na sygnalizację międzykomórkową, a w przypadku monocytów aktywację integrzyn i przygotowanie monocytu do migracji. W wyniku przejścia monocytów przez śródbłonek naczyńniowy do uszkodzonej tkanki, różnicują się one w ruchliwe komórki dendrytyczne lub mało ruchliwe makrofagi. Mogą jako makrofagi wrócić do krążenia i opuścić je ponownie w razie potrzeby [Male i in., 2008; Lewandowicz i in., 2004].

W ognisku zapalenia aktywowane makrofagi wytwarzają IL-5, IL-1, prostagladyny, PAF, chemokiny, TNF- $\alpha$  jak również liczne enzymy proteolityczne [Male i in., 2008; Lewandowicz i in., 2004].

Białka ostrej fazy (białko-C reaktywne,  $\alpha_2$ -makroglobulina,  $\alpha_1$ -kwaśna glikoproteina, fibrynogen, haptoglobina, ceruloplazmina,  $\alpha_1$ -inhibitor proteinaz, składnik C3 i C4 dopełniacza i wiele innych) mają istotne znaczenie w procesie opsonizacji antygeny, w chemotaksji i ogólnie rzecz biorąc hamują dalsze rozprzestrzenianie się zapalenia. Inaktywują wolne rodniki i aktywują dopełniacz, który odpowiada za niszczenie błon biologicznych i zwiększa przepuszczalność naczyń [Całkosiński i in., 2009].

Zjawisko opsonizacji ułatwia fagocytozę. Polega ono na opłaszczeniu czynnika zakaźnego przez opsoninę. Do opsonin zalicza się przede wszystkim przeciwciała, ale także inne białka, jak składowe C3B i C3d dopełniacza. Komórka żerna posiada na swojej powierzchni receptory dla Fc Ig i dla składników dopełniacza, które rozpoznają ligand, a więc czynnik opsonizujący [Buczek i in., 2000; Całkosiński i in., 2009].

Dzięki obecności receptorów TLR, rozpoznających różne PAMPs, których ekspresja jest stała, niezależnie od zmienności genetycznej u bakterii, komórki żerne i komórki prezentujące antygen mogą jako pierwsze identyfikować niebezpieczeństwo [Male i in., 2008; Sochocka, 2008].

Najważniejszym etapem zapalenia jest fagocytoza i wewnątrzkomórkowe zabijanie pochłoniętych czynników zakaźnych i innych substancji. Zabijaniu towarzyszy wybuch tlenowy. Pochłonięte przez komórkę żerną materiały zamykane są w fagosomie, który w cytoplazmie łączy się z lizosomem tworząc fagolizosom. Degradacja bakterii może

odbywać się z udziałem tlenu oraz na drodze pozatlenowej. Mieloperoksydaza, anion hydroksylowy, nadtlenek wodoru, anion ponadtlenkowy należą do układu zależnego od tlenu. Wymienione czynniki wraz z niektórymi kwasami (np. kwas podchlorawy) działają bakteriobójczo [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

Liczne enzymy biorą udział w niszczeniu bakterii na drodze pozatlenowej. Lizozym, czyli muramidaza zabija bakterie Gram dodatnie, laktoferyna pozbawia bakterie żelaza przez co hamuje ich wzrost [Male i in., 2008; Całkosiński i in., 2009; Majewska i Szczepanik, 2006].

Defensyny są to peptydy kationowe występujące m.in. w ziarnistościach cytoplazmatycznych neutrofilów. Powodują tworzenie kanałów jonowych, niszczą błonę co prowadzi do lizy bakterii. Regulują także chemotaksję, fagocytozę jak również wytwarzanie cytokin prozapalnych. Wiele tych czynników występuje także w płynach ustrojowych i należy do mechanizmów humoralnych odporności wrodzonej [Male i in., 2008].

### **Czynniki humoralne odporności nieswoistej**

Do najważniejszych czynników humoralnych odporności wrodzonej należy układ dopełniacza. Składa się on z około 35 białek stale obecnych we krwi i płynach ustrojowych w postaci proenzymów (zymogenów). Są one aktywowane w reakcji kaskadowej, w której jedno białko aktywuje kolejne [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

Istnieją trzy drogi aktywacji dopełniacza - klasyczna, alternatywna i lektynowa (mannozo-zależna). Klasyczna aktywacja dopełniacza odbywa się pod wpływem tworzących się kompleksów immunologicznych. Z fragmentem Fc przeciwciała tworzącego kompleks immunologiczny łączy się składnik C1q dopełniacza. Skutkuje to dysocjacją tej cząsteczki do kilku innych. Końcowym etapem tej drogi aktywacji jest powstanie kompleksu atakującego błony (MAC, membrane attack complex), co wywołuje lizę bakterii [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

Oprócz klasycznej drogi aktywacji występuje droga alternatywna (properdynowa). W tym przypadku aktywatorem układu dopełniacza jest LPS ścian bakterii Gram-ujemnych. Jej zdecydowaną zaletą jest oszczędność czasu. Cząsteczka C3b dopełniacza w wyniku aktywacji przez endotoksyny bakteryjne działa jako opsonina, co ułatwia fagocytozę. W przeciwieństwie do klasycznej, w drodze alternatywnej składnik C3b dopełniacza rozpada się w sposób spontaniczny [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

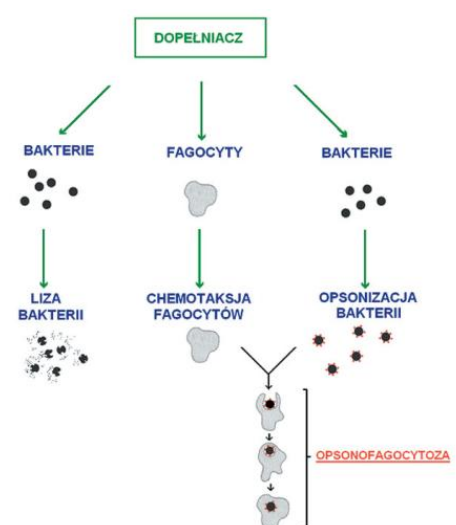
Trzecią drogą aktywacji dopełniacza jest droga lektynowa. Na powierzchni wielu białek bakteryjnych obecne są cząsteczki mannozy, które nie występują na białkach zwierzęcych. Z tymi cząsteczkami wiążą się białka MBL. W wyniku kaskadowej aktywacji, powstają kluczowe składniki dopełniacza: C3a, C4a, C5a. Fragmenty te odpowiadają za migrację komórek i degranulację mastocytów [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek, i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

Niekorzystnym skutkiem długotrwałej aktywacji dopełniacza w ognisku zapalenia jest możliwe uszkodzanie własnych tkanek, a nie tylko niszczenie drobnoustrojów. Biologiczne znaczenie dopełniacza polega na opsonizacji, bakteriolizie, cytolizie, chemotaksji (wobec neutrofilów i monocytów), wyzwalając także histaminę z komórek tucznych i granulocytów

podczas zapalenia. Wzmaga on również odpowiedź humoralną, usuwa kompleksy immunologiczne i komórki apoptotyczne [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

Układ dopełniacza podlega złożonej regulacji przez wiele czynników określonych mianem RCA. Niedobór któregoś ze składników dopełniacza, prowadzi do zaburzeń w drogach jego aktywacji (np. brak składnika C3 i C4 - w drodze klasycznej) [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].

Kolejnym składnikiem odporności nieswoistej humoralnej jest interferon typu I. Działa on głównie przeciwwirusowo, hamując replikację wirusów, poprzez aktywację białek blokujących transkrypcję i/lub translację wirusową. Jest swoisty gatunkowo [pod red. Leona Jabłońskiego, 1979; Buczek i in., 2000; Gołąb i in., 2007; Klaska i Nowak, 2007].



**Rycina 2. Funkcje układu dopełniacza w zwalczaniu patogenów**

Źródło: <http://www.phmd.pl/images/ryciny/20070416115100.jpg>

Prócz dopełniacza i interferonu I w zapaleniu uczestniczy wiele innych czynników humoralnych. Należą do nich białka ostrej fazy, lizozym obecny w płynach ustrojowych, transferyna, defensyny i katelicyny. Większość białek enzymatycznych uczestniczących w zapaleniu wytwarzana jest przez komórki wątroby.

### 3. Podsumowanie

Pierwszą linią obrony przed zakażeniem jest odporność nieswoista. Jej działanie zależne od wieku, uwarunkowań genetycznych, hormonalnych, ciągłości fizykochemicznych barier ochronnych, jest zróżnicowane. Jeśli bariery ochronne zawodzą, patogen dociera do tkanki łącznej i wywołuje zapalenie. Zapalenie jest miejscową reakcją obronną na każde uszkodzenie. Może mieć też charakter ogólny. Celem zapalenia jest usunięcie uszkodzenia, zabicie czynników zakaźnych na drodze fagocytozy przez komórki żerne i odbudowa uszkodzonych tkanek. W odporności naturalnej nie tworzy się pamięć immunologiczna i po powtórnej kontakcie z tym samym patogenem reakcja obronna zachodzi z tą samą intensywnością. Odporność wrodzona jest natychmiastowa i jej mechanizmy są wysoce aktywne podczas pierwszych godzin od zadziałania bodźca wywołującego zapalenie.

**Bibliografia:**

1. Buczek J., Deptuła W., Gliński Z., Jarosz J., Stosik M., Wernicki A. (2000). Immunologia porównawcza i rozwojowa zwierząt, PWN, Poznań
2. Całkosiński I., Dobrzyński M., Całkosińska M., Seweryn E., Bronowicka-Szydełko A., Dzierzba K., Ceremuga I., Gamian A. (2009). Charakterystyka odczynu zapalnego. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 63, s. 395-408.
3. Gołąb J., Jakóbisiak M., Lasek W., Stokłosa T. (2007). Immunologia, PWN, Warszawa.
4. Kinnebrew M. A., Pamer E. G. (2012). Innate immune signaling in defense against intestinal microbes. Immunological Reviews, 245, s. 113-131.
5. Klaska I., Nowak J., Z. (2007). Rola układu dopełniacza w fizjologii i patologii. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 61, s. 167-177.
6. Lewandowicz A., M., Kowalski M., L., Pawliczak R. (2004). Białka regulujące przekazywanie sygnału przez białka G (białka RGS) i ich znaczenie w regulacji odpowiedzi immunologicznej. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 58, s. 312-320.
7. Majewska M., Szczepanik M. (2006). Rola receptorów toll-podobnych (TLR) w odporności wrodzonej i nabytej oraz ich funkcja w regulacji odpowiedzi immunologicznej. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 60, s. 52-63.
8. Male D., Brostoff J., Roth D. B., Roitt I. (2008). Immunologia, Elsevier Urban & Partner, Wrocław.
9. Podstawy Mikrobiologii Lekarskiej, pod red. Leona Jabłońskiego, Wyd. 3 poprawione i uzupełnione, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1979.
10. Sawicki W. (2008). Histologia, wyd. 5, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
11. Sochocka M. (2008). Rozpoznawanie patogenów przez wrodzony system odporności. Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej, 62, s. 676-687.

## 19. OSTRA BIAŁACZKA SZPIKOWA - MUTACJE *NPM1* I *FLT3* A DŁUGOŚĆ CZASU PRZEŻYCIA U CHORYCH

**Karolina Matiakowska<sup>1</sup>, Alicja Bartoszevska-Kubiak<sup>1</sup>, Mariusz Gawrych<sup>2</sup>, Szymon Suwała<sup>3</sup>**

1 - Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Katedra i Zakład Genetyki Klinicznej,

2 – Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Katedra Dermatologii, Chorób Przenoszonych Drogą Płciową i Immunodermatologii,

3 – Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Katedra Endokrynologii i Diabetologii,

Email: k.matiakowska@cm.umk.pl

### 1. Wstęp

#### Występowanie

Ostra białaczka szpikowa (AML) najczęściej występuje u dorosłych (3:100 000 rocznie) a średnia wieku zachorowania to 64 lata. Zachorowalność wzrasta z wiekiem i jest wyższa u chorych powyżej 60. roku życia. Według raportu Polskiej Grupy ds. Leczenia Białaczek u Dorosłych (PALG) w latach 2004-2010 najmniej zachorowań było w grupie 18-29 lat (5,9%). W grupie chorych w wieku 30-39 lat chorowało 7,7% wszystkich pacjentów i odpowiednio w wieku 40-49 9%, 50-59 lat to 20%, 60-69 lat to 23,3% zachorowań i najwięcej pacjentów (34%) było w wieku powyżej 70 lat (Seferyńska i Warzocha, 2014).

#### Objawy i rozpoznanie

Objawy ostrej białaczki szpikowej są skutkiem zaburzonej funkcji szpiku. Najbardziej charakterystyczne to:

1. Zakażenia: owrzodzenia w jamie ustnej, angina, zapalenie płuc. Często towarzyszy gorączka i silne osłabienie.
2. Plamica krwotoczna skóry i śluzówek, krwawienia z nosa, przewodu pokarmowego itp. Dodatkowo zaburzony może być proces krzepnięcia krwi.
3. Bóle stawów i kości spowodowane rozrostem komórek w szpiku.
4. Bładość skóry i śluzówek, zawroty głowy, duszność mogą być wynikiem niedokrwistości (Hołowiecki, 2008).

U chorych stwierdza się powiększenie wątroby i śledziony a rzadziej węzłów chłonnych. W niektórych podtypach białaczek może być przerost dziąseł. Najczęściej stwierdza się leukocytozę a w rozmazie krwi widoczne są liczne komórki blastyczne a brak jest pośrednich postaci rozwojowych granulocytów. Komórki białaczkowe mają duże jądro o luźnej strukturze, z widocznymi jąderkami. Ponadto ze szpiku prowadzi się badania cytogenetyczne i molekularne w celu określenia zmian na poziomie genetycznym. Mają one ogromne znaczenie w stratyfikacji pacjentów do odpowiednich grup ryzyka. Analiza kariotypu pozwala na stwierdzenie zmiany liczby chromosomów. Najczęściej liczba chromosomów jest prawidłowa, ale u 10-15% pacjentów z AML stwierdza się hipodiploidię (<46 chromosomów), a u ok. 2-3% hiperdiploidię. Zmiany strukturalne wykrywane przy

pomocy cytogenetyki to głównie translokacje (np. t(15;17) w białaczce promielocytowej) czy delecje (np. 7q-, 5q-). Natomiast metody biologii molekularnej pozwalają wykryć niewielkie insercje (np. mutacje w eksonie 12 genu *NPM1*), duplikację w genie *FLT3* czy też mutacje w innych genach, prowadzące do rozwoju AML (Hołowiecki, 2008).

### Klasyfikacja

Najnowsza, obowiązująca klasyfikacja ostrej białaczki szpikowej jest z 2016r. opracowana przez Światową Organizację Zdrowia (WHO), we współpracy z Towarzystwami Hematologicznymi z całej Europy. Podział ostrych białaczek szpikowych opiera się głównie na biologii, klinice, morfologii i immunofenotypie komórek ale też przede wszystkim na zmianach genetycznych (Swerdlow i in., 2016).

**Tabela 1. Klasyfikacja ostrych białaczek szpikowych wg WHO (Swerdlow i in., 2016)**

|                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>I. Ostre białaczki szpikowe z powtarzającymi się zmianami genetycznymi</b>                     |
| Ostra białaczka szpikowa z t(8;21)(q22;q22); <i>RUNX1-RUNX1T1</i>                                 |
| Ostra białaczka szpikowa z inv(16)(p13;q22) lub t(16;16)(p13;q22); <i>CBFB-MYH11</i>              |
| Ostra białaczka promielocytowa z t(15;17)(q22;q21); <i>PML-RARA</i> i warianty                    |
| Ostra białaczka szpikowa z t(9;11)(p21.3;q23.3); <i>MLLT3-KMT2A</i>                               |
| Ostra białaczka szpikowa z t(6;9)(p23;q34.1); <i>DEK-NUP214</i>                                   |
| Ostra białaczka szpikowa z inv(3)(q21.3q26.2) lub t(3;3)(q21.3;q26.2); <i>GATA2, MECOM</i>        |
| Ostra białaczka szpikowa (megakarioblastyczna) z t(1;22)(p13.3;q13.3); <i>RBM15-MKL1</i>          |
| Ostra białaczka szpikowa z mutacjami <i>NPM1</i>                                                  |
| Ostra białaczka szpikowa z biallelicznymi mutacjami <i>CEBPA</i>                                  |
| <b>II. Ostra białaczka szpikowa z poprzedzającym zespołem mielodysplastycznym</b>                 |
| <b>III. Ostre białaczki szpikowe i zespoły mielodysplastyczne spowodowane uprzednim leczeniem</b> |
| <b>IV. Ostre białaczki szpikowe, gdzie indziej niesklasyfikowane</b>                              |
| Ostra białaczka szpikowa minimalnie zróżnicowana                                                  |
| Ostra białaczka szpikowa bez dojrzewania                                                          |
| Ostra białaczka szpikowa z dojrzewaniem                                                           |
| Ostra białaczka szpikowa mielomonocytowa                                                          |
| Ostra białaczka monoblastyczna i monocytowa                                                       |
| Ostra białaczka erytroblastyczna                                                                  |
| Ostra białaczka megakarioblastyczna                                                               |
| Ostra białaczka bazofilowa                                                                        |
| Ostra panmieloza ze zwłóknieniem                                                                  |
| <b>V. Mięsak szpikowy</b>                                                                         |
| <b>VI. Ostra białaczka szpikowa związana z zespołem Downa</b>                                     |

### Etiologia

Dokładna przyczyna rozwoju ostrej białaczki szpikowej jest nieznana. Istnieją jednak czynniki, które mogą zwiększać ryzyko zachorowania:

- narażenie na promieniowanie jonizujące,
- narażenie zawodowe na benzen,
- wcześniejsza chemioterapia (np. leki alkilujące, inhibitory topoizomerazy),

- choroby wrodzone – zespół Fanconiego, zespół Downa, zespół Schwachmana i Diamonda,
- inne klonalne choroby układu krwiotwórczego (przewlekła białaczka szpikowa, zespół mielodysplastyczny, pierwotna mielofibroza czy też czerwienica prawdziwa (Hołowiecki, 2008)).

## Leczenie

Celem prowadzonej terapii jest redukcja komórek białaczkowych i uzyskanie całkowitej remisji. Można to osiągnąć stosując połączenie odpowiednich leków, które działają na różne fazy cyklu komórkowego oraz różne punkty metabolizmu komórek, tak aby były one jak najbardziej wrażliwe na stosowane leki. Terapia składa się z trzech etapów:

- **Indukcja remisji**
- **Konsolidacja remisji**, która polega na usunięciu pozostałych komórek białaczkowych MRD (wykrywanych bardzo czułymi metodami – cytometrią lub metodami molekularnymi).
- **Leczenie pokonsolidacyjne** zależy od stanu pacjenta oraz od grupy ryzyka. U chorych z czynnikami złego rokowania przeprowadza się przeszczep szpiku a u chorych z grupy korzystnego rokowania monitoruje się chorobę i w razie nawrotu stosuje odpowiednią terapię (Hołowiecki i Hołowiecka, 2013).

Poza standardową terapią wprowadzane jest też leczenie celowane. Ostra białaczka jest bardzo heterogenną grupą, gdzie etiologia choroby może się znacznie u poszczególnych pacjentów różnić, więc trudno jest opracować jednorodne leczenie. Ze względu na znaczenie rokownicze wykrywanych zmian na poziomie molekularnym trwają poszukiwania jak najodpowiedniejszej formy leczenia. Mutacje w genie *FLT3* (wewnętrzna tandemowa duplikacja lub mutacje pojedynczych nukleotydów) związane są u pacjentów m.in. ze skróceniem czasu przeżycia. Dlatego też stosowane są leki, które blokują działanie kinazy FLT3, np. sorafenib czy midostaurin (Hołowiecki i Hołowiecka, 2013). Jednak najlepiej opracowaną metodą leczenia celowanego w AML jest terapia ostrej białaczki promielocytowej, w której obecny jest gen fuzyjny *PML-RARA*. Powstające białko związane jest z zaburzonym różnicowaniem promielocytów. Natomiast stosowana u tych pacjentów terapia z zastosowaniem ATRA i antracykliny prowadzi do „odblokowania” różnicowania i prawidłowej funkcji komórek. Leki te działają tylko na komórki białaczkowe (Filip, Libura, Giebel i Haus, 2012).

## Prawidłowa hematopoeza

Prawidłowa hematopoeza u dorosłego człowieka zachodzi w szpiku, głównie w kościach biodrowych, kręgach, żebrach i mostku. Powstające komórki krwi uwalniane są do krwiobiegu tylko w postaci dojrzałej. Powstają one z macierzystych komórek krwiotwórczych. Komórki macierzyste mają zdolność do samoodnawiania, czyli wytwarzania po każdym podziale identycznych, nieodróżnionych komórek. Mają one też zdolność do różnicowania, czyli część z nich jest prekursorami do powstania aż 11 głównych linii komórkowych. Pierwszym etapem różnicowania jest powstanie komórek macierzystych dla mielopoety i limfopoety. Z komórek mielopoetycznych ostatecznie powstają dojrzałe

erytrocyty, megakariocyty (które finalnie produkują płytki krwi), granulocyty (obojętno-, zasado- i kwaso-chłonne), monocyty (makrofagi i komórki dendrytyczne I) oraz komórki tuczne. Natomiast z komórek limfopoetycznych powstają limfocyty B oraz T, limfocyty naturalnie cytotoksyczne (NK – natural killers) i komórki dendrytyczne II (Jędrzejczak, 2008).

### ***FLT3* w hematopoezie i leukemogenezie**

Ważną rolę w hematopoezie odgrywa gen *FLT3*, kodujący receptorową kinazę tyrozynową. Ekspresji ulega w niedojrzałych komórkach hematopoetycznych linii mielo i limfoidalnej, regulując m.in. rozwój multipotencjalnych komórek. Receptor *FLT3* aktywacji ulega po przyłączeniu liganda FL. Ligand FL jest aktywny tylko w komórkach związanych z hematopoezą. Przyłączenie FL prowadzi do proliferacji komórek. U około 30% pacjentów gen *FLT3* jest zmutowany. Zmiany *FLT3* to częściej występująca tandemowa duplikacja wewnątrz genu (*FLT3*-ITD.) lub mutacje prowadzące do zamiany aminokwasu, głównie w pozycji 835 (*FLT3* D835) (Gilliland i Griffin, 2002). *FLT3*-ITD pierwszy raz opisana przez Nakao i wsp jest wynikiem zwielokrotnienia liczby powtórzeń sekwencji o długości 3 do 400 pz w eksonie 14 lub 15 domeny przez błonowej (Nakao i in., 1996). Mutacja *FLT3* D835 jest w domenie kinazowej. Domena ta jako nieaktywna (czyli bez FL i niezmutowana) blokuje przyłączenie ATP i pobudzenie ścieżki sygnałowej. Jednak obie mutacje prowadzą do aktywacji receptora *FLT3* bez liganda FL, zwiększają proliferację komórek i uznane są jako jedna z przyczyn leukemogenezy. Ponadto Sallmyr i wsp. wykazali, że *FLT3*-ITD może być początkiem kolejnych zmian prowadzących do niestabilności genomu. Jest to związane, między innymi, ze zwiększeniem ilości reaktywnych form tlenu, co prowadzi do uszkodzeń DNA i jego nieprawidłowej naprawy. Jednak według Gilliland, mutacje *FLT3* jako pojedyncze nie są „wystarczające” do transformacji białaczkowej komórek hematopoetycznych (Gilliland i Griffin, 2002).

### **Model „dwóch uderzeń” w rozwoju AML**

Rozwój ostrej białaczki szpikowej opisany jest przez Gilliland jako „model dwóch uderzeń”. Mutacje *FLT3* mają podobną aktywność jak inne zmutowane kinazy tyrozynowe (np. *BCR-ABL*, *ETV6-PDGFRB*). Ale zmiany te związane są głównie z zaburzeniami mieloproliferacji a AML to też zaburzone różnicowanie komórek. Dlatego hipoteza Gilliland mówi o mutacjach, które muszą współistnieć. Ponadto wyodrębniono dwie klasy mutacji: związane z proliferacją (*FLT3*-ITD, mutacje *N-RAS*, *cKIT*) i związane z różnicowaniem komórek (np. *RUNX1-RUNX1T1*, *PML-RARA*, rearanżacje *CBF*, mutacje *CEBPA*) (Gilliland i Griffin, 2002).

Czynniki prognostyczne w ostrej białaczce szpikowej (wg European Leukemia Net 2017) (Döhner i in., 2017).

#### **1. Markery korzystnego rokowania:**

- a. Cytogenetyczne czynniki:
  - t(8;21)(q22;q22.1) *RUNX1-RUNX1T1*,
  - inv(16)(p13.1;q22) lub t(16;16)(p13.1;q22) *CBFB-MYH11*,
- b. Molekularne czynniki:
  - mutacje *NPM1* (bez *FLT3*-ITD lub z niskim allelic ratio *FLT3*-ITD),



- dwualleliczna mutacja *CEBPA*,

## 2. Markery związane z pośrednim rokowaniem:

### a. Cytogenetyczne czynniki:

- t(9;11)(p21.3;q23.3) *MLLT3-KMT2A*,
- aberracje chromosomowe nie sklasyfikowane w grupie korzystnego lub niekorzystnego ryzyka,

### b. Molekularne czynniki:

- zmutowany *NPM1* i *FLT3*-ITD z wysokim allelic ratio,
- niezmutowany *NPM1* bez *FLT3*-ITD lub *FLT3*-ITD z niskim allelic ratio,

## 3. Markery niekorzystnego rokowania:

### a. Cytogenetyczne czynniki:

- t(6;9)(p23;q34.1) *DEK-NUP214*,
- rearanżacje *KMT2A* t(v;11q23.3)
- t(9;22)(q34.1;q11.2) *BCR-ABL1*,
- inv(3)(q21.3q26.2) lub t(3;3)(q21.3;q26.2) *GATA2*, *MECOM (EVI1)*,
- -5 lub del(5q); -7; -17 lub del(17p),
- kariotyp złożony, kariotyp monosomalny,

### b. Molekularne czynniki:

- niezmutowany *NPM1* i *FLT3*-ITD z wysokim allelic ratio,
- mutacje *RUNX1*,
- mutacje *ASXL1*,
- mutacje *TP53*.

## ***NPM1***

Nukleofosmina, kodowana przez gen *NPM1*, należy do grupy białek opiekuńczych. Białko *NPM1* odgrywa kluczową rolę w kontroli cyklu komórkowego i apoptozy, oddziałuje bowiem z białkiem supresorowym p53 oraz białkiem ARF. Przemieszczając się między jądrem a cytoplazmą transportuje między innymi składniki rybosomów. Mutacje w genie *NPM1* należą do najczęściej występujących zaburzeń molekularnych u pacjentów z AML z prawidłowym kariotypem (ok. 60%). Mają one korzystne znaczenie rokownicze. Dotychczas opisano 56 mutacji w obrębie eksonu 12 genu *NPM1*, są to głównie insercje, które zmieniają ramkę odczytu. Mutacje te mogą współwystępować z innymi zmianami, np. źle rokującą mutacją *FLT3*-ITD (Fallini i in., 2005).

## 2. Materiały i metody

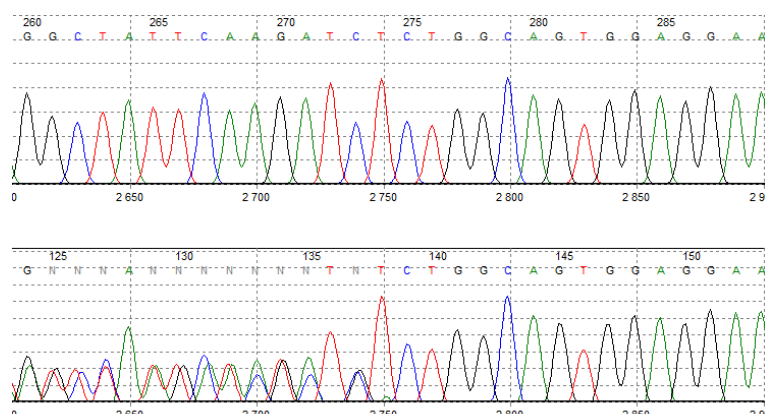
Grupę badaną stanowiło 81 dorosłych chorych z rozpoznaniem AML (37 kobiet i 44 mężczyzn), w wieku od 24 do 85 lat. Liczba białych krwinek u pacjentów (WBC) wahała się od 0,45 do 378,0 G/L. Czas przeżycia chorych był bardzo zróżnicowany i wynosił od kilku dni do 61 miesięcy od rozpoznania. Materiałem do badań był DNA wyizolowany ze szpiku lub krwi metodą kolumnkową (zestaw QIAamp DNA Blood Mini Kit firmy Qiagen). W celu wykrycia wewnętrznej tandemowej duplikacji w genie *FLT3* (*FLT3*-ITD) przeprowadzono reakcję PCR (warunki reakcji wg Kottaridis i in., 2001). Produkty

Dodatkowo przeprowadzone u wszystkich chorych sekwencjonowanie metodą Sangera umożliwiło wykrycie zmian w eksonie 11 genu *NPM1*. Do PCR sekwencyjnego użyto startera *rewers*.

Mutację *FLT3*-ITD wykryto u 15 pacjentów (18%). Tandemowa duplikacja różniła się u poszczególnych chorych długością, co jest widoczne na rycinie 1.

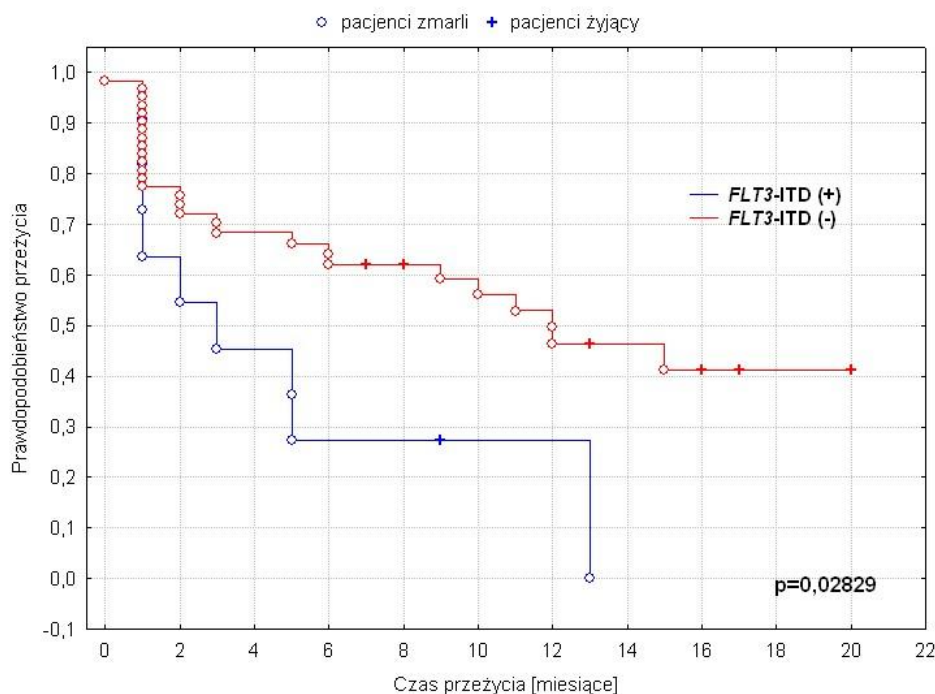


Wykryte podczas sekwencjonowania zmiany w eksonie 11 genu *NPM1* to krótkie insercje bądź delecje. Obecne były u 30 chorych (37%). Najczęściej występowała mutacja typu A, czyli insercja 4 nukleotydów



### Rycina 2. Mutacja typu A –insercja TCTG (c.860\_863dupTCTG)

Czas przeżycia pacjentów różnił się w zależności od obecności mutacji *FLT3-ITD*. Chorzy z tą mutacją średnio żyli 5 miesięcy, zaś bez mutacji 9 miesięcy. Krzywe Kaplana Meiera wskazują na istotnie dłuższy czas życia chorych bez zmian w *FLT3* (ryc. 3). Mutacje w genie *NPM1* nie miały istotnego wpływu na czas przeżycia. Mediana czasu przeżycia u pacjentów ze zmianami w tym genie to 7,5 miesiąca a bez mutacji 8 miesięcy.



**Rycina 3. Krzywe Kaplana Meiera**

Wybrane parametry hematologiczne (leukocytoza i blastoza) nie miały związku z występowaniem badanych mutacji. Ponadto wiek chorych również nie był czynnikiem związanym z obecnością mutacji.

#### 4. Wnioski

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują na zasadność, wręcz konieczność określenia statusu mutacyjnego *FLT3*. Jest on bardzo ważnym czynnikiem rokowniczym pacjentów z ostrą białaczką szpikową. Jak pokazują przeprowadzone badania, ale też inne opublikowane dane, mutacje te znacznie skracają czas przeżycia chorych. W ostatnich latach wprowadzono terapię celowaną dla chorych z mutacjami *FLT3*. Tym bardziej istotne jest badanie tego genu, aby można ten niekorzystny czynnik rokowniczy „wykorzystać” jako cel terapeutyczny dla chorych i tym samym wydłużyć długość ich czasu przeżycia.

Mutacje w eksonie 11 genu *NPM1* zostały wykryte zaledwie u 37% badanych pacjentów. Natomiast w publikowanych badaniach grupa ta jest znacznie większa (ok. 60%). *NPM1* jest też uznawany za czynnik korzystnego rokowania, między innymi związany z dłuższym czasem przeżycia chorych. W badaniach własnych analiza statystyczna nie wykazała takich zależności. Prawdopodobnie powodem tych rozbieżności może być zbyt mała grupa badana pacjentów (tylko 30 pacjentów z mutacjami *NPM1*). Jednak wciąż trzeba pamiętać, że jest jeden z najważniejszych czynników rokowniczych. Wszakże dopiero analiza

statusu mutacyjnego *NPM1/FLT3-ITD* pozwoli na odpowiednią stratyfikację pacjentów i dobór optymalnego leczenia.

### **Bibliografia:**

1. Döhner H., Estey E., Grimwade D. i in. (2017). Diagnosis and management of AML in adults: 2017 ELN recommendations from an international expert panel. *Blood*, 4, s. 424-447.
2. Falini B., Mecucci C., Tiacci E. i in. (2005). Cytoplasmic nucleophosmin in acute myelogenous leukemia with normal karyotype. *N Engl J Med*, 3, s. 254-266.
3. Filip A., Libura M., Giebel S., Haus O. (2012) Genetic mechanisms and molecular markers of neoplastic transformation in acute myeloid leukemia. W: Witt M., Dawidowska M., Szczepański T. (red.), *Molecular aspects of hematologic malignancies*.
4. Gilliland G., Griffin J. (2002). The role of FLT3 in hematopoiesis and leukemia. *Blood*, 5, s. 1532-1542.
5. Hołowiecki J. (2008). Białaczki ostre. W: Dmoszyńska A, Robak T. (red.), *Podstawy hematologii*.
6. Hołowiecki J., Hołowiecka A. (2013). Leczenie celowane w białaczkach. W: Wojtukiewicz M., Sierko E. (red.), *Leczenie ukierunkowane na cele molekularne w onkologii i hematatoonkologii*.
7. Jędrzejczak W. (2008). Hematopoeza - struktura, funkcja, zaburzenia, metody badań. W: Dmoszyńska A, Robak T. (red.), *Podstawy hematologii*.
8. Kottaridis P., Gale R., Frew M., Harrison G., Langabeer S., Belton A., Walker H., Wheatley K., Bowen D., Burnett A., Goldstone A., Linch D. (2001). The presence of a FLT3 internal tandem duplication in patients with acute myeloid leukemia (AML) adds important prognostic information to cytogenetic risk group and response to the first cycle of chemotherapy: analysis of 854 patients from the United Kingdom Medical Research Council AML 10 and 12 trials. *Blood*, 98, s. 1752-1759.
9. Montagner S., Deho L., Monticelli S. (2014). MicroRNAs in hemtopoietic development. *BMC Immunol*, 15 .
10. Nakao M., Yokota S., Iwai T. i in. (1996) Internal tandem duplication of the *flt3* gene found in acute myeloid leukemia. *Leukemia*, 10, s. 1911-1918.
11. Nalls M., Couper D., Tanaka T. (2011). Multiple loci are associated with white blood cell phenotypes. *PLOS Genetics*, 6.
12. Papaemmanuil E., Grstung M., Bullinger L. i in. (2016). Genomic classification and prognosis in acute myeloid leukemia. *N Engl J Med*, 23, s. 2209-2221.
13. Sashida G., Iwama A. (2012) Epigenetic regulation of hematopoiesis. *Int J Hematol*, 4, s. 405-412.
14. Seferyńska I, Warzocha K. (2014). Raport z rejestru zachorowań na ostre białaczki u osób dorosłych w Polsce w latach 2004-2010 prowadzonego przez Instytut Hematologii i Transfuzjologii w imieniu Polskiej Grupy ds. Leczenia Białaczek u Dorosłych (PALG). *Hematologia*, 2, s. 162-172.
15. Swerdlow S. H., Campo E., Harris N.L., Jaffe E.S., Pileri S.A., Stein H., Thiele J. (2016). Acute myeloid leukaemia and related precursor neoplasms. W: WHO Classification of Tumours of Haematopoietic and Lymphoid Tissues. IARC.



Jesteś studentem, doktorantem, młodym naukowcem? Chcesz publikować w profesjonalnym piśmie naukowym, brać udział w konferencjach? Firma Konferencje Naukowe Piotr Rachwał umożliwi Ci start w świecie nauki za przystępną cenę. Organizujemy konferencje interdyscyplinarne, jak i specjalistyczne. Wydajemy monografie pokonferencyjne oraz współpracujemy z czasopismami z listy ministerialnej. Pomagamy w publikacji artykułów.

**Piotr Rachwał**

**Konferencje Naukowe**

ul. Gen Leopolda Okulickiego 51D/20

31-637 Kraków

NIP: 573-272-51-36

REGON: 365643034

E-mail: [rachwal.konferencjenaukowe@gmail.com](mailto:rachwal.konferencjenaukowe@gmail.com)

[www.konferencjenaukowe.com.pl](http://www.konferencjenaukowe.com.pl)