

POSZERZAMY HORYZONTY

TOM XLVI CZ. II

Redakcja naukowa

Dr inż. Renata Matysik-Pejas, prof. URK

Dr inż. Małgorzata Bogusz

Dr Piotr Rachwał

MONOGRAFIA

SŁUPSK, WRZESIEŃ 2025

RECENZENCI:

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

Dr hab. Barbara Zwolińska, prof. nadzw. UG - Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny

Dr hab. Wiesław Dyk, prof. nadzw. US - Uniwersytet Szczeciński, Wydział Teologiczny

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

Dr Piotr Rachwał - Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny

Dr Maciej Jewczak - Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny

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 Katarzyna Wójcik – Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Katedra Systemów Obliczeniowych

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: 978-83-68082-15-9

SPIS TREŚCI

I NAUKI TECHNICZNE, ŚCISŁE ORAZ PRZYRODNICZE

1. SKANING LASEROWY W AUTONOMICZNYCH POJAZDACH KOLEJOWYCH
Krystian Stąpór, Mieczysław Kornaszewski.....7
2. CHARAKTERYSTYKA WSPÓŁCZYNNIKA LUMINACJI I INNOWACYJNE SPOSOBY ZWIĘKSZENIA WSPÓŁCZYNNIKA LUMINACJI POWIERZCHNI
Paulina Bąk - Patyna, Grzegorz Mazurek, Hubert Patyna, Artur Kowalczyk, Piotr Sokołowski.....17
3. CHARAKTERYSTYKA SKOJARZONEGO WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ CIEPŁA W GAZOWYCH ZESPOŁACH CHP - COMBINED HEAT AND POWER
Krzysztof Kleszcz.....28
4. KONCEPCJA BIOMANIPULATORA IMITUJĄCEGO RĘKĘ
Paweł Kordziukiewicz, Piotr Prochor.....49
5. HYBRYDOWE PODEJŚCIE DEEP LEARNING DO DETEKCJI MASEK OCHRONNYCH W CZASIE RZECZYWISTYM Z WYKORZYSTANIEM YOLOV8 I MOBILENETV2
Szymon Majca.....60
6. STATYSTYCZNE STEROWANIE PROCESEM (SPC) I LEAN MANAGEMENT JAKO METODY DOSKONALENIA JAKOŚCI PROCESÓW
Konrad Piętka, Szymon Ziaja.....67
7. ZMIENNOŚĆ ODPLYWÓW JEDNOSTKOWYCH GŁÓWNYCH RZEK WZNIESIEN GÓROWSKICH W LATACH 1999-2023
Joanna Baczyńska.....77
8. ZIMOWA AKTYWNOŚĆ JELENIOWATYCH W DWÓCH PRZYDOMOWYCH LASACH: ANALIZA PORÓWNAWCZA Z WYKORZYSTANIEM FOTOPUŁAPEK
Wojciech Lipa, Karolina Bis, Andrzej Oleksa.....88

II NAUKI MEDYCZNE

1. STOSOWANIE UŻYWEK PRZEZ STUDENTÓW
Eliza Armata, Natalia Papużyńska, Dawid Makowicz, Renata Dziubaszewska.....97
2. CHOROBA ALZHEIMERA- TERAPIE PRZYSZŁOŚCI
Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska, Patrycja Zychowicz.....107
3. JAK SKOLIOZA WPŁYWA NA ZDROWIE PSYCHICZNE PACJENTA
Izabela Turkowska.....113
4. OD DYSFUNKCJI FILMU ŁZOWEGO DO NOWOCZESNYCH TERAPII -
WSPÓŁCZESNE SPOJRZENIE NA ZESPÓŁ SUCHEGO OKA
Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska.....121
5. OBJAW RAYNAUDA - PATOFIZJOLOGIA, DIAGNOSTYKA I POSTĘPOWANIE
KLINICZNE
Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska.....127
6. MEDICINAL PROPERTIES OF MANGIFERA INDICA LEAVES
Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak.....135
7. POSTĘPOWANIE W CIĘŻKIM ARDS WYWOŁANYM COVID-19 – PRZYPADEK
KLINICZNY I PRZEGLĄD TERAPII
Jagoda Józefczyk, Konrad Zieliński, Adam Biesiada-Lewandowski.....140
8. CHIRURGICZNE ZAOPATRZENIE WRZODU PERFOROWANEGO ŻOŁĄDKA –
WYZWANIE W OSTRYM BRZUCHU
Adam Biesiada-Lewandowski, Jagoda Józefczyk, Konrad Zieliński.....148
9. ZAOPATRZENIE ORTOPEDYCZNE JAKO ELEMENT KOMPLEKSOWEJ
REHABILITACJI - NOWE WYZWANIA I MOŻLIWOŚCI
Kamila Maculewicz.....155
10. WPŁYW MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH NA SEN
Aleksandra Stępień, Mateusz Stępień.....166

11. STOMIA, JEJ WPŁYW NA ZDROWIE PSYCHICZNE PACJENTÓW	
Kinga Tchórzewska, Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak.....	174
12. NOWOCZESNA OSTEOSYNTeza ZŁAMANIA ŻUCHWY U PACJENTA PO URAZIE – ZASTOSOWANIE SYSTEMU TYTANOWEGO	
Konrad Zieliński, Jagoda Józefczyk, Adam Biesiada-Lewandowski.....	183
13. FARMAKOTERAPIA W SPEKTRUM AUTYZMU U DZIECI – PRZEGLĄD AKTUALNYCH STRATEGII TERAPEUTYCZNYCH	
Zofia Śledzikowska.....	189
14. LECZENIE ZABURZEŃ DEPRESYJNYCH U DZIECI – FARMAKOTERAPIA I PSYCHOTERAPIA	
Zofia Śledzikowska.....	193
15. WPŁYW MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH NA ZDROWIE PSYCHICZNE NASTOLATKÓW	
Zofia Śledzikowska.....	196
16. PRZYMUSOWE LECZENIE PSYCHIATRYCZNE – ASPEKTY ETYCZNE I PRAWNE	
Zofia Śledzikowska.....	200
17. ZARZĄDZANIE I LECZENIE ZABURZEŃ LĘKOWYCH ZA POMOCĄ APLIKACJI MOBILNYCH	
Zofia Śledzikowska.....	204

I NAUKI TECHNICZNE, ŚCISLE ORAZ PRZYRODNICZE

1. SKANING LASEROWY W AUTONOMICZNYCH POJAZDACH KOLEJOWYCH

inż. Stąpór Krystian, dr hab. inż. Mieczysław Kornaszewski, prof. URad.

Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego

Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

Kierunek: Transport i Logistyka

ul. Jana Malczewskiego 29, Radom

E-mail: 111332@student.uthrad.pl; m.kornaszewski@urad.edu.pl

1. Wstęp

Przełom XX i XXI wieku stanowił istotny etap rozwoju fotogrametrii, nauki zajmującej się rekonstrukcją kształtów, rozmiarów oraz wzajemnego położenia obiektów terenowych na podstawie zdjęć fotogrametrycznych. Kluczowym wydarzeniem w tym okresie był rozwój technologii LiDAR (*Light Detection and Ranging*), umożliwiającej pomiar odległości poprzez emisję impulsów światła laserowego w kierunku celu, a następnie analizę odbitego sygnału za pomocą czujników. Początkowo systemy LiDAR instalowano wyłącznie na platformach powietrznych, głównie w celu realizacji pomiarów fotogrametrycznych. Pod koniec lat 90. XX wieku firma Zoller + Fröhlich zaprezentowała pierwsze naziemne urządzenie do skaningu laserowego, co stanowiło przełom w dziedzinie pozyskiwania danych przestrzennych.

Skaning laserowy (ang. *laser scanning*) polega na precyzyjnym wyznaczeniu trójwymiarowego położenia punktów reprezentujących geometrię badanego obiektu. Dodatkowo, możliwe jest przypisanie tym punktom informacji radiometrycznych, takich jak wartości składowych barw RGB (*Red, Green, Blue*). W wyniku pomiarów powstają tzw. chmury punktów o współrzędnych XYZ lub modele powierzchniowe w postaci nieregularnych siatek trójkątnych (TIN – *Triangular Irregular Network*) [3,4,5,6].

2. Skaning laserowy

Skaning laserowy polega na wyznaczeniu przestrzennego położenia elementów wektorowych opisujących geometrię mierzonego elementu i możliwego przypisania wartości radiometrycznych w postaci składowych RGB. Skanowane powierzchnie tworzą tzw. chmury punktów o określonych współrzędnych XYZ lub trójkątne postacie sieci nieregularnej.

Aktualnie metody skanowania dzielone są na dwa rodzaje. Pierwszym rodzajem skaningu jest naziemny skaning laserowy (Rysunek 1). Skaner jest instalowany na nieruchomym statywie (skaning stacjonarny) lub też na ruchomej platformie kolejowej czy

samochodowej. Drugim typem skaningu jest skanowanie lotnicze. Skaner wykonuje pomiary z samolotu lub drona.

Zasada działania obu rodzajów skaningu jest taka sama. Laserowy dalmierz wykonuje pomiar odległości do badanego elementu i wykonuje jego skan. Skan badanego elementu tworzy tzw. chmurę punktów o znanych współrzędnych, ponieważ każdy skaner działa w oparciu o system nawigacyjny. Skanowanie lotnicze oraz skanowanie statyczne działa w oparciu o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) w połączeniu z INS (*Inertial Navigation System*). GNSS posiada stałe połączenie z satelitami, które nieustannie wysyłają aktualne współrzędne, natomiast INS określa nachylenie katowe i wektor przyspieszenia platformy, na której zamontowana jest optyczna głowica skanująca. Synchroniczne działanie ww. trzech systemów umożliwia określenie współrzędnych skanowanego elementu oraz jego wysokość [1,3,4,5].



Rysunek 1. Skanowanie laserowe [5]

3. Wykorzystanie skaningu laserowego w transporcie kolejowym

Od dłuższego czasu zespoły inżynierów pracują nad pociągami autonomicznymi. Pociąg autonomiczny to pojazd szynowy, który może poruszać się bez maszynisty, a opiera się na rozwiniętych technologicznie systemach czujników i kamer przeznaczonych do analizy przestrzeni otoczenia i podejmowania właściwych decyzji. Ostatnie kilka lat pokazały duże postępy w zakresie pracy wykonanej nad nowymi rozwiązaniami pociągów autonomicznych. Nowoczesne pociągi wyposażone w liczne kamery, czujniki, lidary oraz inne zaawansowane technologie nadzorują bezpieczny przejazd pociągu. Aby pociągi posiadały zdolność do bezpiecznej i autonomicznej podróży po liniach kolejowych muszą być wyposażone w systemy ATO (*Automatic Train Control*), czyli system kontroli pociągu, ATO (*Automatic Train Operation*), czyli system prowadzenia pociągu oraz ATP (*Automatic Train Protection*), tj. system ochrony pociągu. Powyższa technologia oparta na łączności radiowej 5G lub każdej kolejnej generacji łączności umożliwi poruszanie się pociągu po liniach kolejowych w sposób autonomiczny [7].

	Grade of Automation	Type of train operation	Setting the train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of Disruption
GoA 0	Driver	Driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 1	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver	Driver
GoA 2	ATP+ATO with driver	Automatic	Automatic	Driver	Driver	Driver
GoA 3	Driverless	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant	Train attendant
GoA 4	Unattended train operation (UTO)	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

Rysunek 2. Stopnie automatyzacji pociągu [7]

Na rysunku 2 przedstawiono widok panelu maszynisty z możliwymi stopniami automatyzacji pracy pociągu:

GoA 0 – zerowy stopień automatyzacji pociągu, w którym całą pracę wykonuje człowiek bez wsparcia automatyzacji;

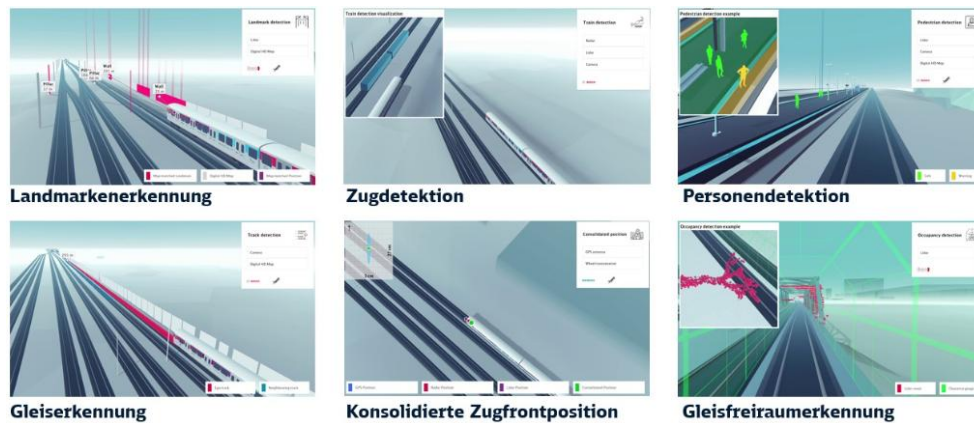
GoA 1 – pierwszy stopień automatyzacji pociągu, w którym na człowieku spoczywa większość pracy, lecz pociąg jest już wspierany przez system ATP;

GoA 2 – drugi stopień automatyzacji pociągu, w którym większość funkcji pociągu działa w sposób samoczynny przy wsparciu systemu ATP oraz ATO, przy obecności maszynisty. Jednakże dalej mechanik wykonuje pracę związaną z zamykaniem drzwi pojazdu oraz ingerencję w sytuacjach, gdy pojawiają się jakieś problemy lub zakłócenia podczas jazdy;

GoA 3 – trzeci poziom automatyzacji pociągu, w którym wszystkie funkcje wykonywane są bez ingerencji człowieka czy mechanika, ale pociąg nie może bezpiecznie poruszać się bez obsługi na pokładzie, która pełni już wyłącznie nadzór;

GoA 4 – czwarty poziom automatyzacji pociągu, gdzie wszystkie funkcje są realizowane automatycznie i pociąg może poruszać się bezpiecznie bez nadzoru personelu. Praca pociągu jest zarządzana przez systemy ATO, ATC.

Przykładem wykorzystania GoA3 stopnia automatyzacji jest projekt „Digitale S-Bahn Hamburg”, w którym przedstawiono prace konsorcjum firm kolejowych z głównym zarządcą niemieckim nad autonomicznym pociągiem.



Rysunek 3. Zastosowane rozwiązania dla pociągu autonomicznego w projekcie „Digitale S-Bahn Hamburg” [8]

Poniżej opisano przeznaczenie istotnych urządzeń, w które wyposażono pociąg autonomiczny:

- wykrywanie punktów orientacyjnych (*Landmarkenerkennung*): wykrywanie punktów orientacyjnych i porównywanie z mapami cyfrowymi w celu dokładnego umiejscowienia czoła pociągu;
- wykrywanie pociągu (*Zugdetektion*): wykrywanie i klasyfikacja pociągów na sąsiednich torach w celu uniknięcia ich klasyfikacji, jako zagrożenia lub przeszkody;
- wykrywanie osób (*Personendetektion*): wykrywanie, klasyfikacja i pozycjonowanie osób na platformie w celu zapewnienia szybkiej reakcji w przypadku zagrożenia;
- wykrywanie śladu (*Gleiserkennung*): wykrywanie własnego toru i sąsiednich torów oraz porównanie z mapami cyfrowymi w celu umiejscowienia obiektów względem toru;
- skonsolidowana pozycja czoła pociągu (*Konsolidierte Zugfrontposition*): połączenie wszystkich informacji o lokalizacji i torach w skonsolidowaną pozycję torów w celu uzyskania bardzo dokładnej lokalizacji w czasie rzeczywistym – bez potrzeby stosowania dodatkowych elementów infrastruktury;
- wykrywanie prześwitu torów (*Gleisfreiraumerkennung*): monitorowanie objętości wewnątrz i na zewnątrz profilu prześwitu toru własnego pociągu i torów sąsiednich, aby umożliwić szybką reakcję na nieznane przeszkody.

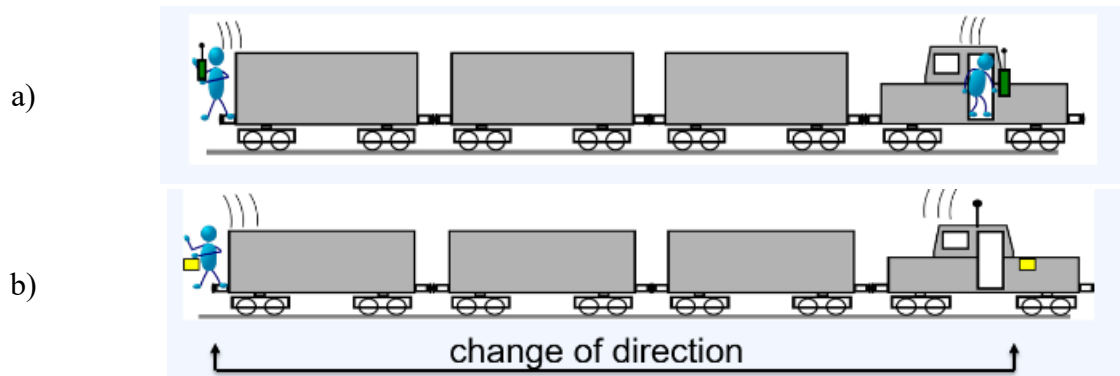
W październiku 2021r. na tory Zarządcy infrastruktury DB wyjechał pierwszy autonomiczny pociąg pasażerski (Rysunek 4). Pociąg aktualnie porusza się po 23 km szlaku kolejowego pod nadzorem maszynisty. Pojazd całkowicie samodzielnie porusza się po torach, jednak w celu zachowania zwiększonego bezpieczeństwa jest pod pełnym nadzorem maszynisty.



Rysunek 4. Czoło pociągu autonomicznego [8]

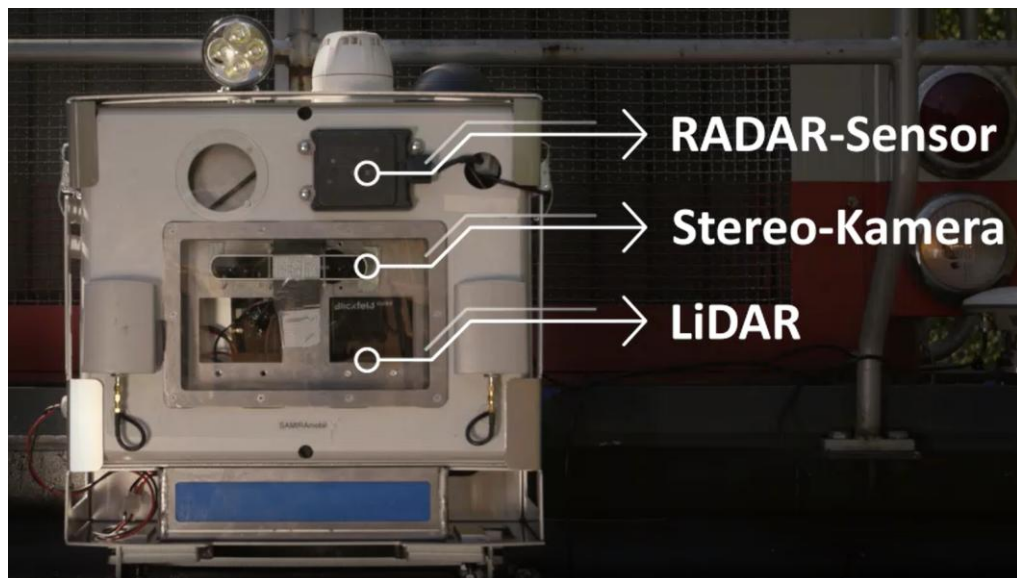
4. Projekt SAMIRA – jazda manewrowa pociągami towarowymi

W celu rozwiązania narastających problemów z realizacją prac manewrowych, została opracowana koncepcja projektu SAMIRA, zakładająca, że oba końce pociągu wyposażone są w odpowiednie kamery, radary oraz LiDAR. Dodatkowo uzyskana transmisja obrazu w czasie rzeczywistym przekazywana jest do kabiny maszynisty, gdzie jest wyświetlana na dedykowanym odbiorniku, np. tablecie. Obecnie manewrowanie pociągami odbywa się z wykorzystaniem komunikacji radiowej pomiędzy mechanikiem oraz pracownikiem znajdującym się w ostatnim wagonie i wspomagającym mechanika we właściwych czynnościach manewrowych (Rysunek 5a). Innym sposobem jest możliwość manewrowania w sposób radiowy, czyli tzw. zdalne sterowanie manewrem, jednak dla bezpieczeństwa w kabinie maszynisty powinien być mechanik, który obserwuje zachowanie pociągu podczas tych prac (Rysunek 5b). Jednak niniejsze rozwiązanie ma pewne ograniczenia, ponieważ może być stosowane do długości pociągu (z całym składem), jednak nie większym niż 550 m ze względu na zakłócenia radiowe [10,11].



Rysunek 5. Stosowane sposoby prowadzenia manewrów pociągów [11]

Ponadto projekt SAMIRA posiada ciekawe rozwiązywania w zakresie pozycjonowania pociągu poprzez użycie stacji RTK (*Real Time Kinematic*) oraz zabudowanie dodatkowych modułów stacjonarnych, tj. SAMIRAfixed. Moduły te przeznaczone są do wykrywania obiektów krytycznych, które mogą mieć wpływ na bezpieczną jazdę manewrową składu pociągu [10,11].



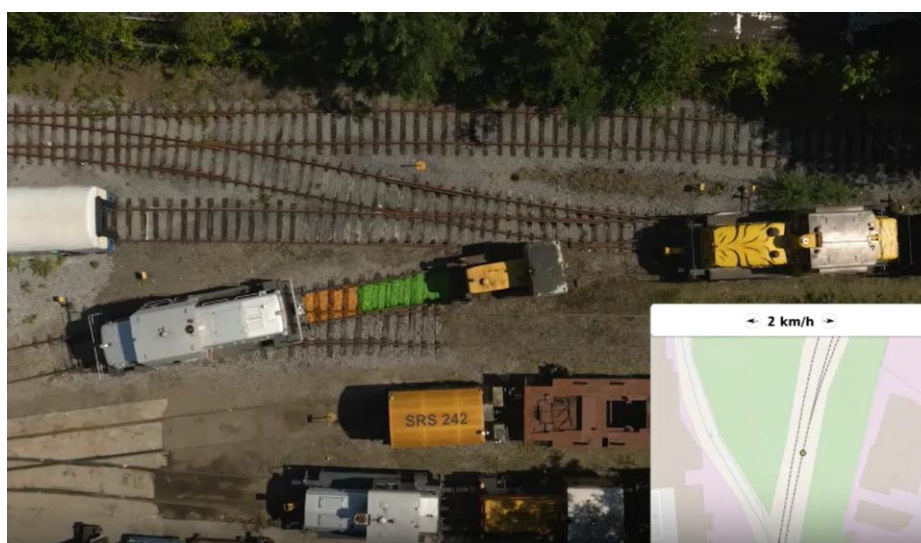
Rysunek 6. Zabudowane czujniki na przodzie lokomotywy [11]

Obraz wyświetlany na tablecie w czasie rzeczywistym, ukazuje potencjalne zagrożenia z równoczesnym wskazaniem dystansu do tego obiektu, dzięki zastosowaniu technologii LiDAR (Rysunek 7). Na tablecie przedstawione są również dodatkowe dane jak: wolna droga czy długość hamowania, przy aktualnej prędkości manewrowej [10,11].



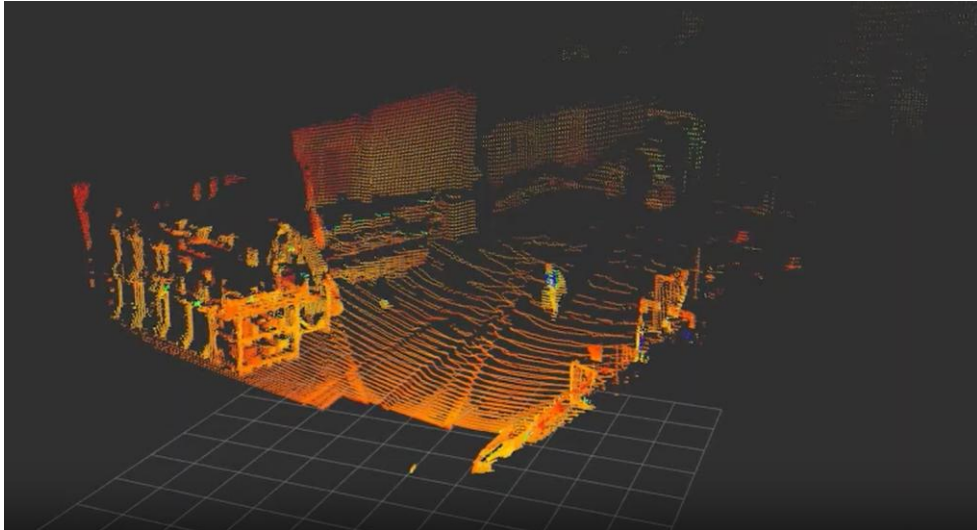
Rysunek 7. Obraz z kamery umieszczonej na lokomotywie wyświetlany w czasie rzeczywistym [11]

Rzut z góry na topologię torów, podczas prowadzonych testów jazdy manewrowej lokomotywy został przedstawiony na rysunku 8.



Rysunek 8. Jazda manewrowa - jazdy testowe [11]

Wynikiem przeprowadzonego skaningu jest chmura punktów, której przykład został przedstawiony na rysunku 9.



Rysunek 9. Przykładowa chmura punktów – wynik skaningu laserowego [11]

5. Europejski projekt SCOTT

W ramach Europejskiego projektu „Secure, Connected Trustable Things” (SCOTT) Echelon JU, zostały przeprowadzone badania w zakresie możliwości wykorzystania skaningu laserowego w połączeniu z architekturą Smart Train Composition Coupling z integracją technologii IoT (Internet Rzeczy).

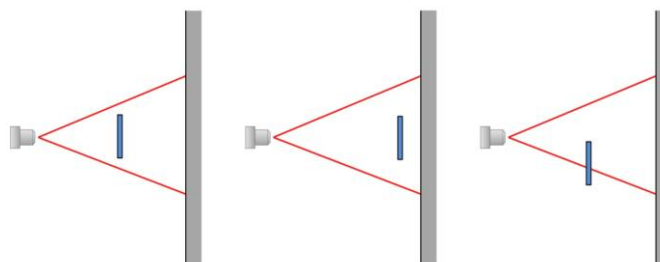


Rysunek 10. Platforma służąca do pomiaru dystansu [12]



Rysunek 11. Platforma LiDAR [12]

Projekt SCOTT skupiał głównie swoje badania nad integracją niezawodnego i precyzyjnego systemu pomiaru odległości z platformą brzegową IoT. W projekcie przeprowadzono analizę, która wskazywała jakie są możliwości unikania kolizji poprzez precyzyjne rozróżnianie obiektów kolizyjnych w polu widzenia wraz z ich klasyfikacją (Rysunek 10). Do klasyfikacji tej zaliczono kształt razem z typem obiektu oraz informację o lokalizacji obiektu znajdującego się przed pojazdem (Rysunek 11). Powyższe badania były wykonane pod kątem zabudowania takiej platformy na pociągach autonomicznych oraz w celu sprawnego i bezpiecznego przeprowadzania jazd manewrowych [12].



Rysunek 12. Testy wykrywania obiektów [12]

Jednym z etapów wykonywanych badań były testy, podczas których dokonywano analizy różnych możliwości widoczności obiektu.

Jednak projekt SCOTT obejmował głównie problematykę dotyczącą zasięgu wykrywania pociągów i bezpiecznej odległości podczas prowadzenia manewrów. Najważniejszym problemem do rozwiązania było jednak spełnienie warunków bezpieczeństwa w wykrywaniu obrazów. W tym celu wykorzystano technologię LiDAR oraz posłużono się sprzętem Leddar Vu8 firmy LedarTech. Jego działanie opierało się na rozwiązaniach półprzewodnikowych i co ciekawe nieruchomym statywie. Dzięki temu na pomiar wykonywany przez system LiDAR nie mają wpływu wibracje i ruchy samego pociągu. Dane zbierane przez taki system są następnie analizowane przez odpowiednie algorytmy w celu właściwej segmentacji uzyskanych obrazów [12].

6. Podsumowanie

W ostatnich latach został poczyniony znaczący postęp w zakresie technologii stosowanej w transporcie kolejowym. Zastosowanie nowoczesnych laserów 3D znacząco podnosi bezpieczeństwo i poprawia jakość wykonywanej pracy, co przekłada się na dokładniejsze wyniki.

Obecnie prowadzone są prace nad pociągami autonomicznymi z zastosowaniem czwartego poziomu automatyzacji pociągu (GoA 4) z wykorzystaniem technologii LiDAR.

Innowacyjne rozwiązania technologiczne wpływają również bezpośrednio na bezpieczeństwo osób poruszających się z wykorzystaniem transportu kolejowego oraz wpływają na komfort podróży. Bez wykorzystania skaningu laserowego i jego wielu zalet nie byłoby możliwe, aby przedstawione w artykule przykłady rozwiązań pociągów autonomicznych miały możliwość realnego funkcjonowania. Sam skaner laserowy posiada szereg ważnych zalet w następujących zastosowaniach:

- możliwość zeskanowania każdego elementu,
- możliwość zeskanowania kilku milionów punktów w ciągu 1 sekundy,
- posiada funkcję automatyzacji skanowania laserowego,
- możliwość skanowania i badania obiektów trudno dostępnych,
- możliwość uszczegółowienia modelu chmury punktów, na podstawie zwiększania dokładności skanowania punktów na sekundę.

Bibliografia

1. Kurczyński Z., Preuss R.: Podstawy Fotogrametrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
2. Dyduch J., Kornaszewski M.: Systemy sterowania ruchem kolejowym. Wyd. Politechniki Radomskiej, Radom 2009.

Wykaz stron internetowych:

3. <https://www.igipz.pan.pl/zsigik-projekty-tls-wprowadzenie.html> [dostęp: 01.08.2025]
4. <https://home.agh.edu.pl/~awrobel/resources/Zarys%20fotogrametrii.pdf> [dostęp: 01.08.2025].
5. <https://leica-geosystems.com/pl-pl/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p50> [dostęp: 25.07.2025].
6. <https://geoprofil.co/chmura-punktow> [dostęp: 23.07.2025].
7. https://www.youtube.com/watch?v=0kKAAMeZTfE&t=141s&ab_channel=RailwaysExplained [dostęp: 05.08.2025].
8. <https://digitale-schiene-deutschland.de/Sensors4Rail> [dostęp: 19.07.2025].
9. <https://www.railway-technology.com/features/lidar-technology-to-enhance-rail-freight-operations/> [dostęp: 03.08.2025].
10. https://rail.nridigital.com/future_rail_sep22/blickfield_lidar_freight_shunting [dostęp: 01.08.2025].
11. <https://samira-rangier-assistent.de/en/the-driver-assistance-system-for-shunting-freight-trains/> [dostęp: 01.08.2025].
12. Gabriel Mujica, B.S Javier Henche, M.Sc Jorge: PortillaInternet of Things in the Railway Domain: Edge Sensing System Based on Solid-State LIDAR and Fuzzy Clustering for Virtual Coupling, 13.05.2021r.: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9423956> [dostęp: 05.08.2025].

2. CHARAKTERYSTYKA WSPÓŁCZYNNIKA LUMINACJI I INNOWACYJNE SPOSOBY ZWIĘKSZENIA WSPÓŁCZYNNIKA LUMINACJI POWIERZCHNI

Paulina Bąk- Patyna, Grzegorz Mazurek, Hubert Patyna, Artur Kowalczyk, Piotr Sokółowski

Politechnika Świętokrzyska Kielce

Wydział Budownictwa i Architektury

Al. 1000- Lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

E-mail: pbak@tu.kielce.pl

Hubert Patyna

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Al. 1000- Lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce

1. Wprowadzenie

Niniejszy Artykuł pozwala na przedstawieniu charakterystyki współczynnika luminancji a także innowacyjnych sposobów zwiększenia współczynnika luminancji powierzchni. Luminancja to wielkość fotometryczna (czyli dotycząca pomiarów wielkości określających światło, a zauważalnych przez ludzkie oko), która mierzy natężenie oświetlenia padającego w określonym kierunku. Dzięki luminancji wiemy, ile światła przechodzi lub zostaje wyemitowane przez daną powierzchnię, mieszcząc się w kącie bryłowym. Luminancja mierzy wrażenia wzrokowe odbierane przez oko z powierzchni emitującej światło. Jeśli więc chcemy poznać natężenie oświetlenia powinniśmy poznać wartość wielkości jaką jest luminancja [19]. Luminancja jest wyrażeniem ilorazu elementarnej światłości, która emituje podstawowe (elementarne) otoczenie określonego punktu w tym kierunku oraz wielkości pozornej wskazanego otoczenia widzianego z danego kierunku. Tak samo, jak światłość, luminancja jest zależna od kierunku i natężenia oświetlenia. Wyliczając wskaźnik i współczynnik luminancji, nie możemy również zapominać, że na ich wielkość wpływają właściwości, które mają powierzchnie obiektu (takie jak barwa czy chropowatość) oraz pole pozornej powierzchni świecącej [19]. Pojęcie luminancji wprowadzono właśnie ze względu na to, że nie punktowe źródła światła czy też świecące powierzchnie (czyli rozpraszające padające na nie światło), da się scharakteryzować pod kątem odbierania wrażenia jaskrawości [19].

2. Zjawisko luminacji

Współczynnik luminancji, oznaczany jako q , jest kluczowym parametrem w ocenie jasności nawierzchni drogowej, który ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz efektywności energetycznej oświetlenia drogowego. Luminancja nawierzchni drogowej definiowana jest jako stosunek luminancji (L) w danym punkcie do

iluminacji (E) w tym samym punkcie dla określonych kątów obserwacji i padania światła (Rys.2.1.). Jednostką pomiarową współczynnika luminancji q jest $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, [1], [2].

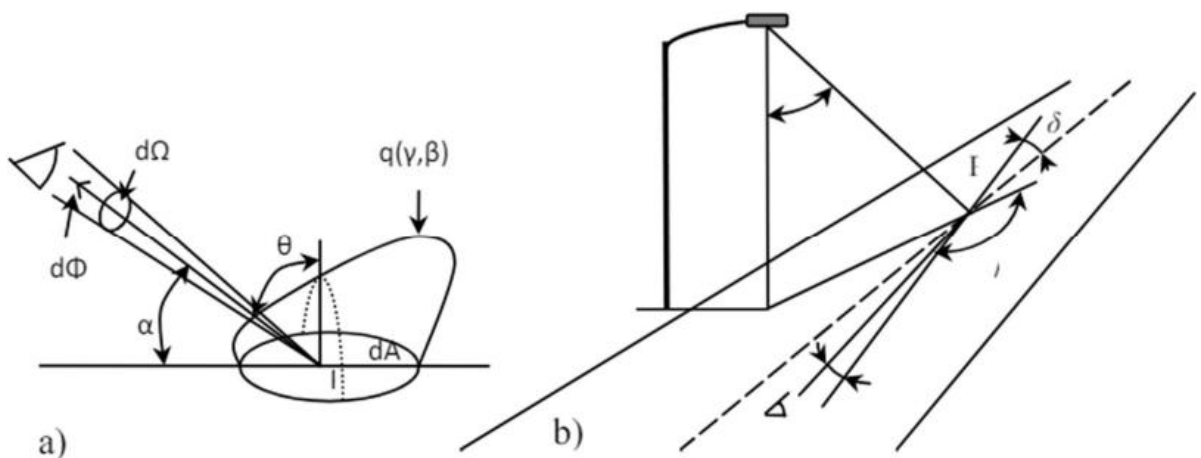
$$q = \frac{L}{E} \quad (2.1)$$

Luminancja (L) jest miarą fotometryczną i opisuje jasność powierzchni. Luminancja dowolnego punktu na nawierzchni drogi jest funkcją natężenia oświetlenia na drodze oraz charakterystyki odbicia nawierzchni drogi. Luminancja jest definiowana jako strumień świetlny na jednostkę powierzchni rzutu, gdzie Φ to strumień świetlny, A to powierzchnia, Ω jest kątem bryłowym, a θ oznacza kąt między kierunkiem kąta bryłowego a normalną do emitującej lub odbijającej powierzchni A . Można ją też rozumieć jako intensywność świetlną powierzchni emitowanej w określonym kierunku, podzielonej przez powierzchnię rzutu w tym kierunku. Jednostką SI dla L jest cd/m^2 [3], [4].

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta} \quad (2.2)$$

Natężenie oświetlenia (E) to ilość światła (strumienia świetlnego Φ) padającego na jednostkę powierzchni (A). Miarą natężenia oświetlenia jest luks (lx) [3]

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.3)$$

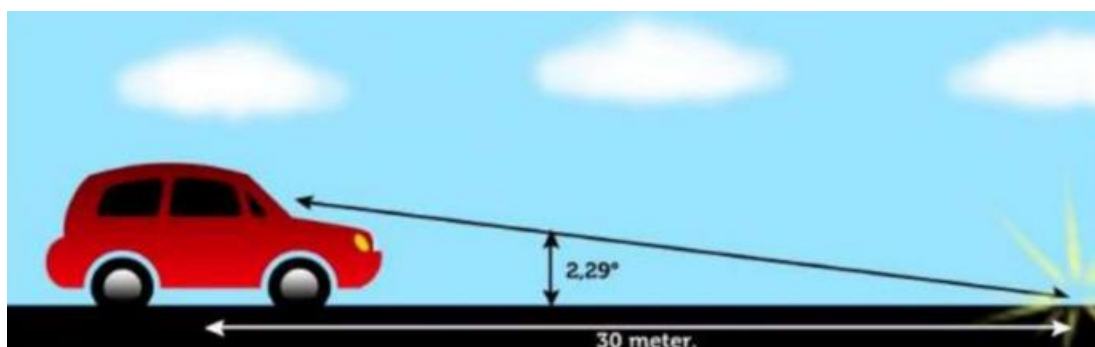


Rysunek 2.1. Oznaczenia graficzne: a) Luminancji, b) Iluminacji [2]

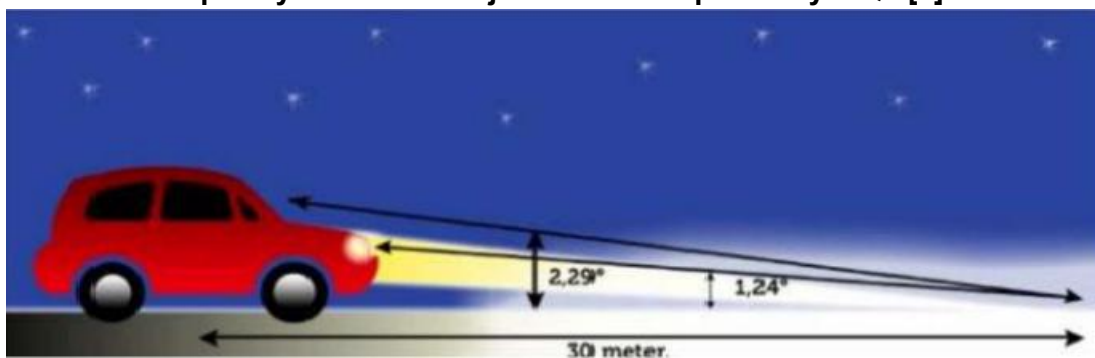
Celem rozjaśniania nawierzchni drogowych jest zapewnienie widoczności struktur i uczestników ruchu, minimalizując dyskomfort kierowców. Badania wskazują, że rozjaśnianie nawierzchni może prowadzić do około 30% redukcji wypadków drogowych. Ponadto, zmniejsza się ilość energii potrzebnej do zapewnienia odpowiedniej widoczności w nocy, co ma istotne znaczenie, gdyż około 1,3% energii w Unii Europejskiej jest zużywane na oświetlenie dróg [1].

Zgodnie z polskimi wymaganiami zawartymi w WT-2/2014 oraz PN-EN 1436, pomiar współczynnika luminancji (Q_d) powinien być przeprowadzony pod kątem $2,29^\circ$ (co

odpowiada obserwacji drogi z odległości 30 metrów z pozycji kierowcy pojazdu osobowego) za pomocą spektrometru (Rys.2.1). Próbkę powinna być oświetlona wzorcowym źródłem światła D65 o stałej luminancji, określonym w normie ISO/CIE 10526. Pole pomiarowe powinno mieć kształt prostokąta o wymiarach 185 mm x 50 mm, a rozpiętość kątowa obserwacji wynosić $\pm 0,17^\circ$ [5],[6]. Taki pomiar wykonuje się na tych samych zasadach również nocą, mierząc powierzchniowy współczynnik odbłasku RL (Rys. 2.3).



Rysunek 2.2. Współczynnik luminancji w świetle rozproszonym Qd [6]



Rysunek 2.3. Powierzchniowy współczynnik odbłasku RL [6]

W poniższych tabelach (od Tab. 1. do Tab. 3.) przedstawiono wymagania dotyczące mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstwy ścieralnej. Tabele te zawierają szczegółowe parametry techniczne, które muszą spełniać mieszanki, aby zapewnić odpowiednią trwałość, wytrzymałość oraz bezpieczeństwo nawierzchni drogowych. Jednym z kluczowych parametrów uwzględnionych w tabelach jest współczynnik luminancji. Warto zauważyć, że współczynnik luminancji dla nawierzchni otwartych i nawierzchni w tunelach różni się ze względu na specyficzne warunki oświetleniowe panujące w tych środowiskach. W tunelach, gdzie naturalne światło jest ograniczone, wymagany jest wyższy współczynnik luminancji, aby zapewnić odpowiednie warunki widoczności i bezpieczeństwa. Z kolei na otwartych nawierzchniach drogowych współczynnik ten może być niższy, ponieważ dostęp do naturalnego światła jest większy, co wpływa na ogólną widoczność drogi [5], [7].

Jednolity współczynnik luminancji w tabelach dla różnych typów mieszanek do warstwy ścieralnej wynika z dążenia do uzyskania spójności i jednolitych standardów widoczności nawierzchni drogowych. Takie podejście ma na celu zapewnienie, że wszystkie rodzaje MMA stosowane w warstwie ścieralnej będą spełniały minimalne wymagania

dotyczące widoczności i bezpieczeństwa, niezależnie od specyficznych właściwości mieszanki. Znajomość i przestrzeganie wymagań przedstawionych w tabelach jest kluczowe dla projektowania i realizacji nawierzchni drogowych, które są nie tylko trwałe i wytrzymałe, ale także bezpieczne dla użytkowników. Współczynnik luminancji, jako jeden z ważnych parametrów, odgrywa istotną rolę w zapewnieniu optymalnych warunków widoczności na drodze [8], [9].

Tabela 1. Wymagane właściwości betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej, KR5-KR 7 [5]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki	
			AC 8S	AC 11S
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie, 2x75 uderzeń	PN-EN 12697-8, pkt 4	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4,0}$	$V_{\min 2,0}$ $V_{\max 4,0}$
Odporność na deformacje trwałe ^{a,c)}	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR 0,10}$ $PRD_{AIR 7,0}$	$WTS_{AIR 0,10}$ $PRD_{AIR 7,0}$
Wrażliwość na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2x35 uderzeń	PN-EN 12697-12, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania ^{b)} , badanie w 25°C	$ITSR_{90}$	$ITSR_{90}$
<u>Współczynnik luminancji</u>	-	<u>Zgodnie z załącznikiem 4.</u>	<u>$Q_d > 70^d$</u> <u>$Q_d > 90^e$</u>	<u>$Q_d > 70^d$</u> <u>$Q_d > 90^e$</u>
^{a)} Grubość płyty: AC8 – 40mm, AC11 – 40mm ^{b)} Ujednoliconą procedurę badania wrażliwości na działanie wody z jednym cyklem zamrażania podano w zał.1 ^{c)} Procedurę kondycjonowania krótkoterminowego MMA przed zagęszczeniem próbek do badań podano w zał.2 ^{d)} Wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w terenie otwartym ^{e)} wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w tunelach				

Tabela 2. Wymagane właściwości mieszanki SMA do warstwy ścieralnej, KR5-7 [5]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	SMA8	SMA11
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2x50 uderzeń	PN-EN 12697-8, pkt4	$V_{\min} 2,0$ $V_{\max} 3,5$	$V_{\min} 2,0$ $V_{\max} 3,5$
Odporność na deformacje trwałe ^{a,c)}	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C, 10 000 cykli	WTS_{AIR} $0,15/WTS_{AIR0,10}^{d)}$ PRD_{AIR} Deklarowana nie więcej niż 7,0	WTS_{AIR} $0,15/WTS_{AIR0,10}^{d)}$ PRD_{AIR} Deklarowana nie więcej niż 7,0
Wrażliwość na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2x35 uderzeń	PN-EN 12697-12, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania ^{b)} , badanie w 25°C	ITSR ₉₀	ITSR ₉₀
Spływność lepiszcza	-	PN-EN 12697-18, pkt 5	$D_{0,3}$	$D_{0,3}$
<u>Współczynnik luminancji</u>	-	<u>Zgodnie z załącznikiem 4.</u>	<u>$Q_d \geq 70^e$</u> <u>$Q_d \geq 90^f$</u>	<u>$Q_d \geq 70^e$</u> <u>$Q_d \geq 90^f$</u>
^{a)} Grubość płyty: SMA8 – 40mm, SMA11 – 40mm ^{b)} Ujednoliconą procedurę badania wrażliwości na działanie wody z jednym cyklem zamrażania podano w zał.1 ^{c)} Procedurę kondycjonowania krótkoterminowego MMA przed zagęszczeniem próbek do badań podano w zał.2 ^{d)} Dotyczy kategorii ruchu KR7 ^{e)} Wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w terenie otwartym ^{f)} wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w tunelach				

Tabela 3. Wymagane właściwości mieszanki BBTM do warstwy ścieralnej, KR3-7 [5]

Właściwość	Warunki zagęszczenia wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Rodzaj mieszanki	
			BBTM 8	BBTM 11
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.5, żyrator, 25 obrotów	PN-EN 12697-31	$V_g 12-19$ lub $V_g 20-25$	$V_g 10-17$ lub $V_g 18-25$
Odporność na deformacje trwałe a,c)	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, aparat duży, 60°C, 3 000 cykli	P_{20}	P_{20}
Wrażliwość na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2x35 uderzeń	PN-EN 12697-12, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania b), badanie w 25°C	ITSR ₉₀	ITSR ₉₀
<u>Współczynnik luminancji</u>	-	<u>Zgodnie z załącznikiem 4.</u>	<u>$Q_d > 70^d$</u> <u>$Q_d > 90^e$</u>	<u>$Q_d > 70^d$</u> <u>$Q_d > 90^e$</u>
a) Grubość płyty: BBTM8 – 40mm, BBTM11 – 40mm b) Ujednoliconą procedurę badania wrażliwości na działanie wody z jednym cyklem zamrażania podano w zał.1 c) Procedurę kondycjonowania krótkoterminowego MMA przed zagęszczeniem próbek do badań podano w zał.2 d) Wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w terenie otwartym (dla $KR \geq 5$) e) Wymaganie dotyczy nawierzchni wykonywanych w tunelach (dla $KR \geq 5$)				

2.1.Oświetlenie a luminacja

Nowa norma PN-EN 13201:2016 dotycząca oświetlenia dróg składa się z pięciu części, wszystkie opublikowane są w wersji angielskiej, i stanowi podstawę projektowania i oceny parametrów oświetlenia drogowego. Ogólne założenia tej normy, dotyczące zarówno procedur doboru, jak i ilościowych wymagań oświetleniowych, oparte są na publikacji Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej z 2010 roku pt. "Oświetlenie dróg przeznaczonych dla ruchu motorowego i dla pieszych" [10]. Podstawowe wymagania oświetleniowe dotyczące dróg przeznaczonych głównie dla ruchu motorowego z wysokimi i średnimi prędkościami oparte są na kryteriach związanych z poziomem i równomiernością luminancji samej drogi, oświetleniem jej bezpośredniego otoczenia oraz ograniczeniem oślnienia. Sprawne oświetlenie drogi przyczynia się do podniesienia bezpieczeństwa kierowców i pieszych uczestniczących w ruchu drogowym. Metodę iluminacyjną, stosowaną przy ocenie jakości oświetlenia drogowego, wykorzystuje się w przypadku klas

oświetlenia oznaczonych jako M. Klasy M są przeznaczone do zastosowania na drogach o ruchu motorowym, gdzie dopuszczone są średnie i wysokie prędkości [10], [11]. W Tab. 4. przedstawiono minimalne wymagania minimalne luminacji dla klas oświetleniowych M z podziałem na suchą i mokrą nawierzchnię, zjawisko olśnienia oraz oświetlenie otoczenia.

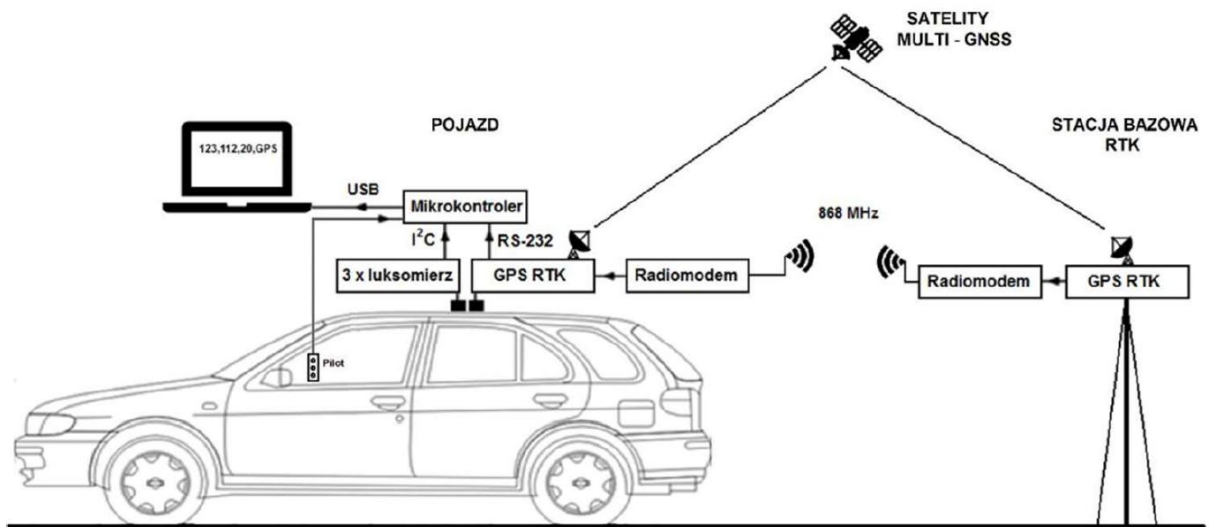
Tabela 4. Klasy oświetleniowe z określonymi minimalnymi poziomami luminancji oraz równomierność ogólna U_0 i równomierność wzdłużna U_l [12]

Klasa	Luminancja suchej i mokrej jezdni drogi			Olśnienie	Oświetlenie otoczenia	
	Sucha nawierzchnia			Mokra nawierzchnia	Sucha nawierzchnia	
	Lav [ekspl. Min] (cd/m²)	U ₀ [min]	U _I [min]	U _{0w}	F _{TI} [max.] %	R _{EI} [min.]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70			
M3	1,00	0,40	0,60		15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60			
M5	0,50	0,35	0,40			
M6	0,30	0,35	0,40		20	

2.2. Pomiar Luminancji

Celem badania współczynnika luminancji nawierzchni asfaltowej jest ocena jej zdolności do odbijania światła. Badanie można wykonać ręcznie, jak i mechanicznie. Aby prawidłowo ustalić poziom luminancji nawierzchni pomiary wykonuje się po wykonaniu warstwy ścieralnej, przed oddaniem jej do ruchu. Badaną nawierzchnię należy przygotować za pomocą szkiełkowania, tzn. wierzchnią warstwę badanego odcinka należy pozbawić filmu asfaltowego, aż do odsłonięcia ziaren kruszywa, ale bez naruszania ich struktury. Stosuje się szkiełkowanie powierzchni za pomocą szklanych kulek frakcji 0,2÷0,8 mm pod ciśnieniem 8 barów do osiągnięcia tekstury głębokości max. 1,2 mm, określanej piaskiem kalibrowany, wg PN-EN 13036-1:2010 [5]. „Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych. Metody badań”. Pomiar luminancji należy wykonać w co najmniej 2 punktach pomiarowych na warstwie ścieralnej, na odcinku 1 km [5]. Jeżeli nie można wykonać badania bezpośrednio w miejscu wbudowania mieszanki mineralno-asfaltowej, dopuszczalne jest pobranie odwiertów warstwy ścieralnej. Pod warunkiem, że pole pomiarowe urządzenia będzie mieścić się na próbce i poza nią nie wykraczać. Wykonuje się wtedy 2 odwierty na kilometrowym odcinku [5]. Pomiar współczynnika luminancji można wykonać reflektometrem, czyli urządzeniem, dzięki któremu osobiście mierzymy parametry

Qd i Rl na jezdni. Działanie reflektometru opiera się na zasadzie pomiaru ilości światła odbitego od badanej powierzchni w porównaniu do ilości światła padającego. Wyposażony jest w stabilne źródło światła, które emituje wiązkę o określonej intensywności u długości fal [13]. Możliwe jest również wykonanie takiego pomiaru w sposób dynamiczny, dzięki tej metodzie można ocenić parametry oświetleniowe dróg i ulic w sposób ciągły, podczas jazdy. Umożliwia to szybkie i efektywne zebranie danych na dużych obszarach. Dane są zbierane przez luminacjometr, kamerę fotometryczną i system GPS, które następnie przesłane zostają do komputera z oprogramowaniem analitycznym (Rys.4.). Oprogramowanie to przetwarza dane, analizując poziom oświetlenia, równomierność oraz inne istotne parametry [14].



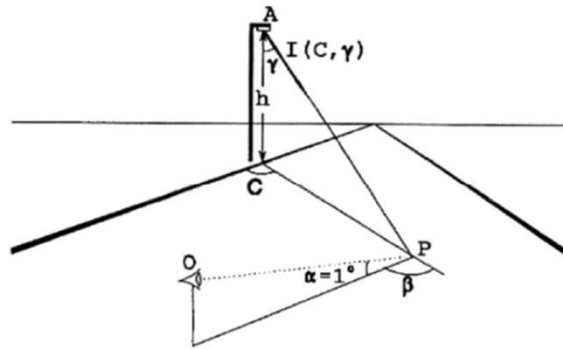
Rysunek 2.4 Schemat dynamicznego pomiaru oświetlenia [14]

2.3.Geometria wyznaczenie współczynnika

Wartość q obliczana jest z kilku powodów [15], [16], [17]:

- ✓ Bezpieczeństwo ruchu drogowego – poprzez zapewnienie odpowiedniej widoczności drogi zarówno w dzień, jak i w nocy, można zwiększyć bezpieczeństwo użytkowników dróg. Współczynnik luminancji pomaga w projektowaniu oświetlenia drogowego, które zapewnia wystarczający poziom jasności nawierzchni.
- ✓ Optymalizacja Oświetlenia – znajomość właściwości odbiciowych powierzchni drogowych pozwala na efektywne projektowanie systemów oświetleniowych, co może prowadzić do oszczędności energii i redukcji kosztów eksploatacyjnych [15].
- ✓ Ochrona środowiska – efektywne oświetlenie drogi zmniejsza zużycie energii elektrycznej, co przekłada się na mniejszą emisję gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń związanych z produkcją energii

Aby go obliczyć korzysta się z pomiarów luminancji i iluminacji dla określonych kątów padania. Zastosowane kąty to (Rys.2.5.) [6]: – B – kąt między pionową płaszczyzną padania światła a pionową płaszczyzną obserwacji, – γ – kąt padania światła od pionowej płaszczyzny, – α – kąt obserwacji od poziomej płaszczyzny, – δ – kąt między pionową płaszczyzną obserwacji a drogą.



Rysunek 2.5. Geometria stosowana w ocenie współczynnika q dla nawierzchni drogowej [6]

Współczynnik oblicza się dwiema metodami. Jedną z nich polega na obliczeniu średniego współczynnika Q_0 , drugą na obliczeniu współczynników sekularności S_1 i S_2 [11]. Aby obliczyć średni współczynnik luminancji Q_0 , całkuje się współczynniki luminancji dla różnych kątów padania światła. Wyraża się go jako [3]

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega_0} \int \Omega_0 q d\Omega \quad (2.4)$$

Gdzie:

Q_0 – średni współczynnik luminancji,

Ω_0 – całkowity kąt bryłowy dla danego obszaru obserwacji,

q – współczynnik luminancji w danym kierunku.

Współczynniki S_1 i S_2 określają, jak bardzo powierzchnia odbija światło w sposób lustrzany. Współczynnik S_1 jest stosunkiem zredukowanego współczynnika dla konkretnego kąta padania do współczynnika dla padania prostopadłego. Współczynnik S_2 to stosunek średniego współczynnika luminancji do zredukowanego współczynnika dla padania prostopadłego [6].

3. Innowacyjne sposoby zwiększenia współczynnika luminancji powierzchni

Aby zwiększyć wyniki współczynnika luminancji na drogach można wykorzystać kilka innowacyjnych sposobów. W miejscach, gdzie jest to utrudnione bądź koszty są zbyt wysokie, wymyślono, jak sobie z tym poradzić [18]:

- ✓ Stosowanie kolorowych asfaltów – ich zadaniem jest zapewnienie lepszego bezpieczeństwa na drogach, nie podnoszą właściwości warstwy ścieralnej. Takie podzielenie kolorami dróg na pas dla samochodów i dla rowerów, znacząco poprawia kwestię bezpieczeństwa [52]. Dodatkowo stosowanie jasnych kolorów poprawia widoczność w nocy, co w strefach przejść lub miejscach nieoświetlonych jest bardzo pomocne.
- ✓ Użycie szkła w asfalcie – „asfalt refleksyjny”, czyli dodanie kawałków szkła bądź innych materiałów odbijających światło do mieszanki mineralno-asfaltowej. Używany by zapewnić lepszą widoczność w nocy [52]. Dzięki lepszemu odbijaniu światła, poprawia to pomiar współczynnika q .
- ✓ Zacieranie szklanymi kulkami - Podczas budowy lub naprawy nawierzchni drogowej można stosować technikę zacierania szklanymi kulkami. Kule te są

wbijane w powierzchnię asfaltu podczas wygładzania, co powoduje, że powierzchnia staje się bardziej refleksyjna i zwiększa jej widoczność w warunkach słabego oświetlenia [52].

- ✓ Inne innowacje Istnieją również inne technologie i innowacje, które mogą poprawić widoczność i bezpieczeństwo na drogach. Na przykład, dodawanie pigmentów odbijających światło do asfaltu lub stosowanie specjalnych powłok nawierzchniowych może zwiększyć jego refleksyjność [52]. Ponadto, rozwój inteligentnych systemów oświetlenia drogowego, które automatycznie dostosowują natężenie światła w zależności od warunków atmosferycznych i natężenia ruchu, może również przyczynić się do poprawy widoczności na drogach.

4. Podsumowanie

Aby znacząco poprawić bezpieczeństwo i komfort podróży, szczególnie w nocy i podczas deszczowych dni lub po zmroku, należy skupić się na uzyskaniu odpowiedniego współczynnika luminacji nawierzchni asfaltowej. Ważne jest by rozwijać się w tym kierunku i przeprowadzać jeszcze więcej badań oraz wymyślać coraz to nowsze i odpowiedniejsze rozwiązania. Bezpieczeństwo na drodze dla każdego użytkownika powinno być priorytetem branży drogowej.

Bibliografia

1. A.-M. Ylinen, T. Pellinen, J. Valtonen, M. Puolakka, i L. Halonen, „Investigation of Pavement Light Reflection Characteristics”, *Road Mater. Pavement Des.*, t. 12, nr 3, s.587–614, sty. 2011, doi: 10.1080/14680629.2011.9695262.
2. M. Karayel, M. Navvab, E. Ne’eman, i S. Selkowitz, „Zenith luminance and sky luminance distributions for daylighting calculations”, *Energy Build.*, t. 6, nr 3, s. 283–291, sty. 1984, doi: 10.1016/0378-7788(84)90060-4.
3. S. Fotios, P. Boyce, i C. Ellis, „The Effect of Pavement Material on Road Lighting Performance”.
4. G. H. . Galabada, M. Rajapaksha, i R. Halwatura, „Paving Materials for Urban Heat Island Mitigation in Tropics; A Comparative Study on Mud Concrete Paving”, *Int. J. Struct. Civ.Eng. Res.*, s. 250–258, 2020, doi: 10.18178/ijscer.9.3.250-258.
5. Department for Transport, *THE DESIGN OF PEDESTRIAN CROSSINGS*. London, 2009.
6. D. Lunkevičiūtė, V. Vorobjovas, P. Vitta, i D. Čygas, „Research of the Luminance of Asphalt Pavements in Trafficked Areas”, *Sustainability*, t. 15, nr 3, Art. nr 3, sty. 2023, doi:
7. Projektowanie oświetlenia przejść dla pieszych WR-D-41-4.pdf”. Dostęp: 15 maj 2024.[Online].Dostępna:<https://www.malopolska.uw.gov.pl/doc/Projektowanie%20o%C5%9Bwietlenia%20przej%C5%9Bc%20dla%20pieszych%20WR-D-414.pdf10.3390/su15032826>
8. N. Strbac-Hadzibegovic, S. Strbac-Savic, i M. Kostic, „A new procedure for determining the road surface reduced luminance coefficient table by on-site measurements”, *Light. Res.Technol.*, t. 51, nr 1, s. 65–81, sty. 2019, doi: 10.1177/1477153517736804.

9. M. T. Do, M. Kane, i V. Cerezo, „Laboratory test methods for polishing asphalt surfaces and predicting their skid resistance”, w TRB 92nd Annual Meeting (Transportation Research Board), France, sty. 2013, s. 16p, ill. schémas, bibliogr. Dostęp: 20 maj 2024. [Online]. Dostępne na: <https://hal.science/hal-00851150>
10. D. Lunkevičiūtė, V. Vorobjovas, P. Vitta, i D. Čygas, „Research of the Luminance of Asphalt Pavements in Trafficked Areas”, Sustainability, t. 15, s. 2826, luty 2023, doi: 10.3390/su15032826.
11. P. Jaskowski_Szybka_metoda_pomiarow_oswietleniowych.pdf”. Dostęp: 14 czerwiec 2024. [Online]. Dostępne na: https://mediaprof.pl/web/files/33968/P.Jaskowski_Szybka_metoda_pomiarow_oswietleniowych.pdf
12. „Figure 5. Watering of the pavement in the test sections and sweeping to...”, ResearchGate. Dostęp: 14 czerwiec 2024. [Online]. Dostępne na: https://www.researchgate.net/figure/Watering-of-the-pavement-in-the-test-sections-and-sweeping-to-remove-any-remaining-water_fig1_368324294
13. A.-M. Ylinen, T. Pellinen, J. Valtonen, M. Puolakka, i L. Halonen, „Investigation of Pavement Light Reflection Characteristics”, Road Mater. Pavement Des., t. 12, nr 3, s. 587–614, sty. 2011, doi: 10.1080/14680629.2011.9695262.
14. Robert L. Hutchinson, Road Aggregates: Characterization and Performance. McGraw-Hill.
15. „Innowacje w oświetleniu drogowym”. Dostęp: 14 czerwiec 2024. [Online]. Dostępne na: <http://www.elektro.info.pl/artukul/oswietlenie/58527,innowacje-w-oswietleniudrogowym>
16. B. Kochański, Rozdział 11 Przedział ufności dla średniej | Statystyka 2. Skrypt. Dostęp: 9 czerwiec 2024. [Online]. Dostępne na: https://bookdown.org/blazej_kochanski/statystyka2/przedzialufnoscidlasredniej.html
17. Grzegorz Mazurek, Paulina Bąk- Patyna Application of Data Mining Techniques to Predict Luminance of Pavement Aggregate, Applied Science Tom: 13, Zeszyt: 7, Strony: 1-24, Marzec 2024 r,
18. Grzegorz Mazurek, Paulina Bąk- Patyna, Małgorzata Ludwikowska- Kędzia, Modelling of the Luminance Coefficient in the Light Scattered by a Mineral Mixture Using Machine Learning Techniques, Applied Science Tom: 14, Zeszyt: 13, Czerwiec 2024 r

Wykaz stron internetowych:

19. <https://www.google.com/search=luminacja> 2

3. CHARAKTERYSTYKA SKOJARZONEGO WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ CIEPŁA W GAZOWYCH ZESPOŁACH CHP - COMBINED HEAT AND POWER

Krzysztof Kleszcz

Politechnika Częstochowska (w trakcie zapisywania się do Szkoły Doktorskiej PCz)
ul. Podlaska 5/7, 42-202 Częstochowa

Streszczenie:

W obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię oraz globalnych wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, zagadnienie efektywnego wykorzystania zasobów energetycznych nabiera szczególnego znaczenia. Jednym z najbardziej perspektywicznych rozwiązań jest technologia skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła (CHP – Combined Heat and Power), która pozwala na jednoczesne pozyskiwanie obu form energii z jednego źródła paliwa, przy znacznie wyższej sprawności niż konwencjonalne systemy oddzielnej produkcji energii [1,2]. Gazowe zespoły CHP odgrywają kluczową rolę w transformacji energetycznej, łącząc wysoki poziom sprawności z ograniczonym wpływem na środowisko. Dzięki wykorzystaniu paliw takich jak gaz ziemny, biogaz czy wodór, możliwe jest osiągnięcie sprawności całkowitej rzędu 65–85%, przy jednoczesnym znaczącym ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych oraz strat przesyłowych [3,4]. Charakterystyka tych systemów obejmuje nie tylko aspekty technologiczne – jak konfiguracja urządzeń (np. turbiny gazowe z generatorami pary, silniki tłokowe z wymiennikami ciepła) – lecz również ich zdolność do adaptacji w różnych sektorach gospodarki, od przemysłu po sektor komunalny [5,6]. Rozwijające się technologie CHP są postrzegane jako jeden z filarów nowoczesnej, zrównoważonej polityki energetycznej. Ich rola wzrasta szczególnie w kontekście integracji z odnawialnymi źródłami energii oraz koncepcją gospodarki niskoemisyjnej. Perspektywy rozwoju gazowych zespołów CHP związane są m.in. z wdrażaniem systemów wodorowych, rozwiązań z zakresu wychwytu dwutlenku węgla (CCS) oraz zastosowaniem sztucznej inteligencji w procesach sterowania i diagnostyki [7,8,9].

1. Wprowadzenie

Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej oraz ciepła (CHP) w gazowych zespołach jest technologią energetyczną umożliwiającą równoczesną produkcję dwóch form energii z jednego źródła paliwa, najczęściej gazu ziemnego, biogazu lub paliw syntetycznych [1,3]. Systemy CHP oparte na gazie są projektowane w celu maksymalizacji efektywności energetycznej poprzez odzysk ciepła ze spalin, co pozwala uzyskiwać sprawności całkowite sięgające nawet 85%, znacznie przewyższające tradycyjne, rozdzielne technologie produkcji energii [2,4].

W strukturze technologicznej gazowych układów CHP dominują turbiny gazowe sprzężone z odzyskiem ciepła w postaci generatorów pary (HRSG), silniki tłokowe z wymiennikami ciepła oraz mikroturbiny i ogniwa paliwowe, przeznaczone do zastosowań małoskalowych [5, 6]. Wybór technologii zależy od wielu czynników, takich jak zapotrzebowanie cieplne odbiorcy, dostępność paliw oraz profil obciążeniowy. Znaczącym atutem tych systemów jest ich elastyczność paliwowa – umożliwiająca funkcjonowanie na

gazie ziemnym, biogazie, a coraz częściej również na wodorze, co czyni je kompatybilnymi z założeniami transformacji energetycznej [7,8].

Korzyści środowiskowe wynikające ze stosowania CHP obejmują znaczną redukcję emisji CO₂ oraz innych zanieczyszczeń, efektywniejsze wykorzystanie zasobów paliwowych, jak również zmniejszenie strat związanych z przesyłem energii [3,10]. Aspekty ekonomiczne związane są z niższymi kosztami operacyjnymi, poprawą niezależności energetycznej i możliwością sprzedaży nadwyżek elektryczności do sieci. Systemy te znajdują zastosowanie m.in. w zakładach przemysłowych, instytucjach publicznych, szpitalach i sieciach ciepłowniczych, wykazując dużą skalowalność – od mikrosystemów (<50 kW) po instalacje o mocy przekraczającej 10 MW [2,9].

Pomimo wymiernych korzyści, rozwój gazowych CHP napotyka bariery w postaci wysokich kosztów inwestycyjnych, skomplikowanego otoczenia regulacyjnego oraz ograniczeń infrastruktury paliwowej. Przyszłość tej technologii związana jest z rozwojem rozwiązań wodorowych, integracją systemów z technologiami wychwytu i magazynowania CO₂ oraz wdrażaniem algorytmów diagnostycznych opartych na sztucznej inteligencji [7,9].

2. Aspekt historyczny

Kogeneracja (Combined Heat and Power, CHP) była stosowana już na początku okresu industrializacji, zaczęto ją wykorzystywać w USA oraz w Europie w latach osiemdziesiątych XIX wieku. Wkrótce zakłady przemysłowe już powszechnie wyposażano w opalane węglem kotły, z których para zasilala turbiny parowe oraz zapewniała możliwość przeprowadzania różnych procesów przemysłowych. Z czasem jednak, w miarę jak rozwijała się sieć energetyczna, koszty energii zaczęły spadać i coraz więcej zakładów przemysłowych zaopatrywało się w energię z sieci publicznej, rezygnując z produkcji własnej energii elektrycznej i ciepłej. Z tego powodu udział energii uzyskiwanej w procesie kogeneracji w jej całkowitej produkcji energii stopniowo malał, osiągając minimum w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wówczas jednak sytuacja kolejny raz uległa wyraźnej zmianie ciepła do atmosfery [11]. Sytuacja lubi się powtarzać i znowu w grę wchodzi ekonomia i pieniądze jako najistotniejszy motor napędowy rozwoju. W chwili obecnej oprócz ekonomii dużą rolę odgrywa polityka i ochrona środowiska. Stworzono wiele instrumentów i zachęt do racjonalnego wykorzystania energii zawartej w paliwach, takich jak dopłaty do nowych inwestycji oraz świadectwa uzyskania energii. Poza tym istotną rolę odgrywają również bodźce ekonomiczne, jakimi są kary za emisję gazów cieplarnianych.

3. Dotychczasowy stan wiedzy dotyczący emisji gazów cieplarnianych oraz środków zmierzających do ich ograniczenia

Postępujący wzrost emisji gazów cieplarnianych oraz związane z tym podniesienie średniej globalnej temperatury Ziemi – która w 2024 roku po raz pierwszy przekroczyła średnio 1,5°C względem epoki przedindustrialnej – skłoniły społeczność międzynarodową do intensyfikacji działań na rzecz ograniczenia antropogenicznego wpływu na klimat. W odpowiedzi na te wyzwania, państwa członkowskie ONZ przyjęły szereg porozumień, w tym Protokół z Kioto [12,13] oraz Porozumienie Paryskie [14,15], które zobowiązują kraje do redukcji emisji gazów cieplarnianych i wdrażania polityki zrównoważonego rozwoju.

Protokół z Kioto koncentruje się na emisjach sześciu głównych gazów cieplarnianych [12,13]:

- dwutlenku węgla (CO₂),
- metanu (CH₄),
- podtlenku azotu (N₂O),
- fluorowęglowodorów (HFCs),
- perfluorowęglowodorów (PFCs),
- sześćciofluorku siarki (SF₆).

W ramach drugiego okresu zobowiązań (2013–2020), państwa rozwinięte osiągnęły średnią redukcję emisji o 22% względem poziomu z 1990 roku, przy czym Unia Europejska zredukowała emisje o 23%, a niektóre państwa – jak Szwecja czy Wielka Brytania – przekroczyły próg 30%.

W kontekście Porozumienia Paryskiego, Unia Europejska przyjęła Europejskie Prawo Klimatyczne, które zakłada osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku oraz redukcję emisji netto o 55% do 2030 roku względem 1990. W lipcu 2025 roku Komisja Europejska zaproponowała nowy cel na rok 2040 – redukcję emisji o 90% [15].

Przykładowe poziomy emisji CO₂ w tonach równoważnika dla wybranych państw w pierwszym okresie zobowiązań (2008–2012) wynosiły [16]:

- Polska: 2.648.181.038 t CO₂e,
- Niemcy: 4.868.096.694 t CO₂e,
- Włochy: 2.416.277.898 t CO₂e,
- Wielka Brytania: 3.396.475.254 t CO₂e,
- Szwecja: 375.188.561 t CO₂e.

Obecnie, według danych Climate TRACE [16], globalne emisje gazów cieplarnianych w kwietniu 2025 roku wyniosły 5,16 mld ton CO₂e, co oznacza wzrost o 0,71% względem analogicznego okresu w 2024 roku. W Unii Europejskiej emisje wzrosły o 0,41%, głównie w sektorach energetyki, transportu i gospodarki odpadami [16].

W odpowiedzi na te wyzwania, Międzynarodowy Trybunał Sprawiedliwości w lipcu 2025 roku wydał przełomową opinię doradczą, zgodnie z którą państwa mają obowiązek prawny ograniczania emisji gazów cieplarnianych, w tym emisji pochodzących z sektora prywatnego, oraz ponoszenia odpowiedzialności za szkody klimatyczne [17, 18, 19].

W ramach polityki klimatycznej UE, mniej zamożne państwa członkowskie – w tym Polska – mają być mniej obciążone kosztami transformacji energetycznej, co ma zapewnić sprawiedliwą i zrównoważoną realizację celów klimatycznych. Według Polskiego Komitetu Energii Elektrycznej, ustalenia z Brukseli pozwalają Polsce na zachowanie konkurencyjności gospodarki oraz racjonalizację kosztów przejścia na gospodarkę niskoemisyjną [20].

Niezależnie od poglądów politycznych, ograniczenie emisji gazów cieplarnianych jest konieczne i nieodwracalne w świetle zawartych porozumień międzynarodowych oraz rosnących kosztów społecznych i środowiskowych wynikających ze zmian klimatycznych.

4. Skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w gazowych zespołach CHP

Kogeneracja to równoczesna produkcja energii elektrycznej i ciepła w miejscu jej zużycia. Mikrokogeneracja oznacza produkcję energii elektrycznej w skali mikro – o mocy urządzenia do 50 kW_{el} w niektórych źródłach do 40 kW_{el}. Urządzenia mogą być zasilane praktycznie każdym paliwem, najkorzystniejsze jest jednak zasilanie gazem ziemnym lub gazem płynnym. Idealnym rozwiązaniem jest jednak zasilanie gazem pochodzącym z odmetanowywania kopalń lub biogazem uzyskanym z fermentacji beztlenowej pochodzenia rolniczego lub z oczyszczalni ścieków [21]. Energia elektryczna wytwarzana jest przez prądnicę agregatową, napędzaną silnikiem spalinowym, ciepło zaś jest produktem ubocznym odzyskiwanym w wymiennikach ciepła z układu chłodzenia silnika i ze spalin. Poprzez system wymienników ciepła jest ono przekazywane gorącej wodzie, która staje się jego nośnikiem. Woda ta nominalnie o temperaturach: 70°C na wlocie do układu i 90°C na wylocie z układu odbioru ciepła może być dalej wykorzystana w procesach technologicznych. Może być również źródłem ciepła w układzie centralnego ogrzewania oraz w różnego rodzaju innych procesach technologicznych. Największą zaletą układów kogeneracyjnych w porównaniu z agregatami prądotwórczymi bez odzysku ciepła jest uzyskanie dodatkowego produktu w postaci dużej ilości ciepła przy identycznym zużyciu paliwa.

W innych rozwiązaniach ciepło oddawane jest po prostu do otoczenia CO₂ niż ze spalania paliw konwencjonalnych oraz utylizujemy szkodliwy dla atmosfery gaz jakim jest metan. Przykładowo: dostarczając 100 MJ energii pierwotnej w paliwie gazowym otrzymujemy 37 MJ energii elektrycznej oraz około 52 MJ ciepła. Aby uzyskać tę samą ilość energii w układzie rozdzielonym należy zużyć znacznie więcej paliwa. Do otrzymania 37 MJ energii elektrycznej trzeba dostarczyć do elektrowni 115 MJ energii w paliwie natomiast aby uzyskać 52 MJ ciepła należy dostarczyć do ciepłowni około 61 MJ energii w paliwie. Suma energii dostarczonej to 115 MJ + 61 MJ = 176 MJ [22].

Poza tym układy kogeneracyjne, zwłaszcza z silnikami spalinowymi, zapewniają dużą elastyczność pracy, tzn. układy takie mogą pracować przy zmiennym obciążeniu w granicach od 60–100%, przy spadku sprawności elektrycznej tylko rzędu 2–3% [23]. Innymi słowy, tradycyjne rozwiązania wykorzystują tylko część energii zawartej w paliwie. Reszta ciepła jest poprzez chłodnicę i spaliny oddawana do otoczenia. Układy kogeneracyjne pozwalają odzyskać wytworzone ciepło oraz wykorzystać je, nie powodując zwiększenia zużycia paliwa. W takim układzie ciepło prawie nic nie kosztuje.

W celu realizacji postanowień dyrektywy 2004/8/WE w Polsce wprowadzono świadectwa pochodzenia z kogeneracji. Są to dokumenty poświadczające, że energia elektryczna została wyprodukowana w wysokosprawnej kogeneracji, czyli takiej, która pozwoli zaoszczędzić minimum 10% energii pierwotnej w porównaniu z gospodarką rozdzieloną.

Warunek oszczędności energii na poziomie minimum 10% nie musi być spełniony w układach kogeneracyjnych o mocy elektrycznej poniżej 1 MW [24].

5. Krajowi i zagraniczni producenci gazowych zespołów kogeneracyjnych

Na rynku krajowym oraz międzynarodowym pojawiło się wielu producentów systemów kogeneracyjnych. Urządzenia kogeneracyjne są bardzo zróżnicowane. Począwszy

od urządzeń mikro, którymi się tutaj zajmujemy do prawdziwych gigantów zasilających w energię elektryczną i ciepło całe miasta. Również jednostki napędowe mogą być zasilane różnego rodzaju paliwem. Same jednostki napędowe to cała gama silników spalinowych tłokowych, silniki Sterlinga, turbiny gazowe oraz tradycyjne ciepłownie produkujące ciepło i prąd elektryczny. W prezentowanej pracy zajmujemy się jednak stosunkowo wąską grupą producentów. Producenci małych układów kogeneracyjnych to najczęściej dotychczasowi wytwórcy agregatów prądotwórczych które po adaptacji (w wymienniki ciepła) oferują minikogeneracje. Na rynku polskim pojawiło się też kilku producentów systemów kogeneracyjnych, niemniej większość z nich zainteresowana jest wytwarzaniem większych jednostek kogeneracyjnych. Firmy które budują małe systemy kogeneracyjne to:

- **Elmeko**, Do niedawna znaczący producent systemów kogeneracyjnych. Obecnie zajmuje się głównie sprzedażą agregatów prądotwórczych, z uwagi na niewielkie zainteresowanie zarzuciła pomysł tak produkcji jak i handlu agregatami kogeneracyjnymi [25].

- **Horus Energia**, oferuje zespoły kogeneracyjne o mocy od 30 kW_{el} i 50 kW_{th} do $2,5 \text{ MW}_{el}$ i $2,5 \text{ MW}_{th}$. Firma zajmuje się nie tylko sprzedażą systemów kogeneracyjnych ale także ich wynajmem. Systemy kogeneracyjne budowane przez tą firmę mogą się składać z wielu segmentów. Kompletne systemy mogą liczyć nawet 32 jednostki kogeneracyjne które zasilac mogą jedną sieć elektryczną oraz jeden kolektor wodny. Urządzenie kogeneracyjne budowane przez tą firmę charakteryzują się wysoką sprawnością i elastycznością w szerokim zakresie obciążenia. Dzięki zastosowaniu wysokosprawnych silników spalinowych osiągnięto dużą niezawodność i czas eksploatacji wynosi 120.000 godzin [26].

- **Mielec DieselGaz**, budowane przez Mielec Diesel Gaz agregaty gazowe osiągają moc od 44_{el} do 660 kW_{el} . Urządzenia te są przeznaczone do pracy ciągłej. Istnieje możliwość zwiększenia mocy we wszystkich wersjach: Z udostępnianych przez firmę informacji wynika że najmniejszym gazowym agregatem kogeneracyjnym jest YGM-43 G/MA/P/H jest to wersja obudowana oparta na silniku firmy MAN z prądnicą synchroniczną. Zakład świadczy pełen zakres usług serwisowych, produkcja oraz próby i testy odbywają się na terenie zakładu [27]. W tabeli 1 przedstawiono dane techniczne agregatu kogeneracyjnego produkcji MielecDieselGaz ZGM-43 D/MA/P/H zasilanego gazem ziemnym w wersji zabudowanej. Podane osiągi oferowanego urządzenia dotyczą eksploatacji przy $\lambda = 1,0$ [28].

Tab. 1. Dane techniczne agregatu kogeneracyjnego ZGM-43 D/MA/P/H produkcji Mielec DieselGaz, zasilanego gazem ziemnym w wersji zabudowanej

Paliwo: Gaz ziemny wysokometanowy typ E (dawny GZ50). Warunki odniesienia: – Ciśnienie atmosferyczne: 100 kPa – Temperatura otoczenia: 25 °C – Tolerancja parametrów: według normy PN-ISO 3046-1 – Odzysk ciepła z korpusu i spalin przy wychłodzeniu spalin do 120 °C		
Obciążenie	%	100
Moc elektryczna (przy $\cos\varphi = 1$)	kW _{el}	43,0
Sprawność elektryczna(przy $\cos\varphi = 1$)	%	34,3
Moc cieplownicza całkowita	kW _{th}	63,0
Ciepło z chłodzenia korpusu	kW _{th}	39
Ciepło w spalinach (–120°C)	kW _{th}	24
Sprawność cieplownicza	%	48,8
Sprawność całkowita	%	83,1
Zużycie gazu przy mocy nominalnej	kg/h	9
Zalecany przedział obciążeń	kW _{el}	22 – 43
Emisja związków szkodliwych (obciążenie nominalne, 5% O ₂ w spalinach):		
NO _x	mg/ Nm ³	<5000
CO	mg/ Nm ³	b.d.

* zgodnie z danymi i założeniami producenta silnika (karta katalogowa silnika MANSpecial Gas

- Autogas Projekt, producent gazowych agregatów kogeneracyjnych. Firma działa od 20 lat na rynku. Początkowo modyfikowano silniki wysokoprężne wózków widłowych na paliwo gazowe. Obecnie w asortymencie firmy znajdują się urządzenia kogeneracyjne budowane na zamówienia. Firma samodzielnie buduje jednostki napędowe posługując się podzespołami znanych i sprawdzonych firm. Elementy jednostek napędowych pochodzą z firm MWM, Deutz, MAN, JENBACHER. Wykonane zostały w celach doświadczalnych dwie jednostki o mocy 16 kW_{el} niestety według opinii producenta, produkcja tak małych zespołów kogeneracyjnych jest opłacalna jedynie gdy paliwo jest produktem ubocznym np: w biogazowi [29].



Rysunek 1. Agregat firmy Autogas Projekt [30]

Od 1995 roku firma Autogas Projekt działa nieprzerwanie w branży silników stacjonarnych i trakcyjnych zasilanych gazem. Bazując na wieloletnim doświadczeniu,

Autogas Projekt konstruuje silniki gazowe z wykorzystaniem elementów pochodzących z silników "diesla" oraz elementów własnej produkcji [31].



Rysunek 2. Zespół kogeneracyjny Autogas Projekt na bazie silnika SW680, silnik diesla przystosowany do pracy na gazie [32]

W gazowym zespole kogeneracyjnym produkowanym przez Autogas Projekt Jednostka napędowa - silnik SW680 został przystosowany do spalania gazu. Agregaty tego typu pracują z powodzeniem w kilkunastu oczyszczalniach ścieków od lat dziewięćdziesiątych do dnia dzisiejszego [33].

- Tedom, czeska firma produkująca instalacje mikrokogeneracyjne dla domów rodzinnych. Polski oddział firmy - Tedom Poland Sp.z.o.o. przedstawiła w swojej ofercie dwa agregaty w interesującym nas przedziale 0,3 kW do 20 kW mocy elektrycznej [34] a są to: TEDOM T30 AP oraz TEDOM T7 AP.

Agregat Micro T30 AP zasilany gazem ziemnym z uwagi na swoje parametry techniczne doskonale nadaje się do porównania z urządzeniem kogeneracyjnym omawianym w tej pracy jakim jest zespół kogeneracyjny skonstruowany na bazie silnika HL493CNG-K. W tabeli 2 porównano parametry agregatu TEDOM T30-AP oraz układu kogeneracyjnego zbudowanego na bazie silnika HL493CNG-K [37, 38].



Micro T30 AP

Rysunek 3. Agregat Micro T30-AP [35]



HL493CNG-K

Rysunek 4. Agregat prądotwórczy na bazie silnika HL493CNG-K [36]

Tabela 1. Porównanie agregatów TEDOM T30–AP oraz układu kogeneracyjnego poddanego badaniom na bazie silnika HL493CNG–K [37, 38]

	TEDOM T30 AP	HL493CNG–K
Nominalna moc elektryczna	30 kW	15,1 kW
Maksymalna moc cieplna	61,6 kW	25,0 kW+9,6 kW = 34,6 kW
Pobór mocy w paliwie	96,2 kW	59,5 kW
Sprawność elektryczna	31,2 %	25,4%
Sprawność cieplna	64,1 %	58,2%
Sprawność całkowita	98,3%	83,6%
– //– z kondensatorem	105,2 %	brak kondensatora
Zużycie gazu przy 100%	10,2 m ³ /h	brak pomiarów
Zużycie gazu przy 75%	8,2 m ³ /h	brak pomiarów
Zużycie gazu przy 50%	6,2 m ³ /h	6,3 m ³ /h

Agregaty kogeneracyjne serii Micro to instalacje produkujące w skojarzeniu ciepło oraz energię elektryczną wykorzystując do tego gaz ziemny. Głównymi właściwościami tych agregatów są wysoka sprawność, zwarta budowa, długie okresy między wymianami oleju oraz serwisami. Agregaty tego typu są używane jako nowoczesne źródło energii dla niewielkich budynków. Dzięki wyposażeniu w kondensator pary wodnej agregat osiąga sprawność porównywalną z piecem gazowym wewnętrznego spalania wraz z układem kondensacyjnym [39].

Tabela 2. Dane techniczne najmniejszego agregatu firmy TEDOM T7–AP przeznaczonego dla małych firm oraz większych budynków mieszkalnych budynków [40]

	TEDOM T7 AP
Nominalna moc elektryczna	7,0 kW
Maksymalna moc cieplna	17,2 kW
Pobór mocy w paliwie	25,9 kW
Sprawność elektryczna	27,0 %
Sprawność cieplna	66,3 %
Sprawność całkowita	93,3 %
Zużycie gazu przy 100%	2,70 m ³ /h
Zużycie gazu przy 75%	2,15 m ³ /h
Zużycie gazu przy 50%	1,65 m ³ /h

Cena urządzenia TEDOM T7 AP wynosi 92.000 zł + 23% VAT. W pakiecie znajduje się moduł silnika, moduł cieplny (wymienник ciepła), tłumik spalin, szafa rozdzielcza, system Plug and Play, katalizator, rozruch próbny (bez podania paliwa na agregat), pierwsze napełnienie, (olej, glikol, woda), szkolenie obsługi.

Liczba producentów instalacji kogeneracyjnych ulega ciągłym zmianom. Już w trakcie pisania tej pracy okazało się że konkurencja w tym obszarze jest bardzo silna, niejednokrotnie okazało się że po niektórych firmach pozostały jedynie informacje o upadłości lub o zmianie właściciela i adresu. Jedynie największe firmy są w stanie sprostać konkurencji.

Podane w pracy ceny agregatów są najczęściej cenami netto, często nie zawierającymi ceny osprzętu i montażu.

Jednym z największych rynków urządzeń kogeneracyjnych są Niemcy. Większość poniżej przedstawionych instalacji jest dostępna na rynku niemieckim, gdzie inaczej niż na rynku polskim inwestor może otrzymać dotacje do zakupionego urządzenia kogeneracyjnego. Dotacja ta jest uzależniona od zastosowania dodatkowego osprzętu oraz zbiornika na gorącą wodę tzw. (bufor) ponieważ zbiornik wody traktuje się jako magazyn ciepła. Dla najmniejszych instalacji od 1 kW_{th} do 4 kW_{th} wymagany jest zbiornik o pojemności 300 l, dla większych mocy odpowiednio większe zbiorniki na ciepłą wodę. Warunek ten dotyczy instalacji o mocy do 20 kW_{el}. Powyżej tej mocy dotacji do tych urządzeń nie stosuje się. W dalszym ciągu opracowania przytoczone są przykłady kompleksowych rozwiązań. Jedną z rzeczy charakterystycznych na tym rynku jest trwałość urządzeń kogeneracyjnych oraz długie okresy między przeglądami. Jest to jednak okupione wysokimi cenami jednostkowymi tych produktów.

Ilość producentów i produktów w każdym przedziale mocy elektrycznej i cieplnej jest tak duża że trudno ten rynek pominąć milczeniem.

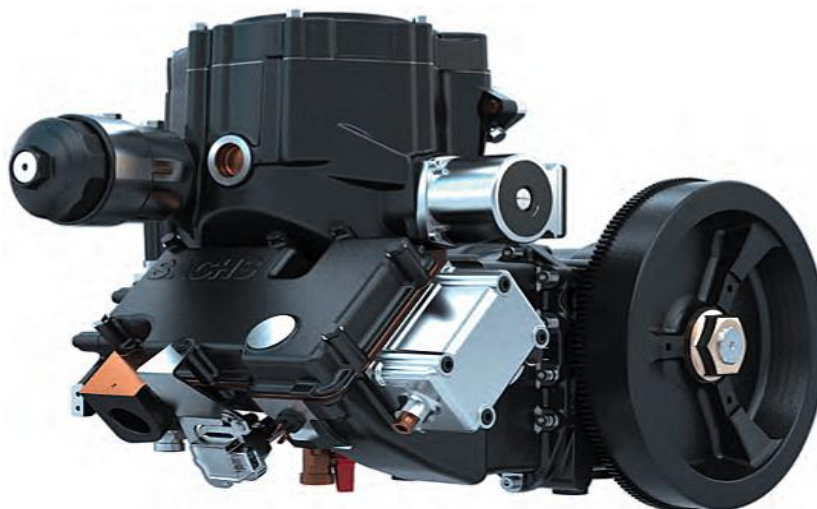
Począwszy od firmy SenerTec: Dachs Mini – BHKW poprzez wielu innych wytwórców imponujące są przebiegi produkowanych przez nie urządzeń oraz wysoka ich trwałość przy spełnieniu norm emisyjnych. Firma SenerTec jest jednym z czołowych producentów na rynku niemieckim, która produktem Dachs podbiła rynek minikogeneracji. Dachs to pierwsza seryjnie produkowana instalacja mikrokogeneracyjna. Historia tego produktu rozpoczęła się w roku 1970. Początkowo urządzenie miało być zasilane olejem napędowym ale z uwagi na eksplozję cenową nośnika energii zmieniono koncepcję. W roku 1979 po przystosowaniu silnika do spalania gazu zastosowano silnik do napędu pompy ciepła. W roku 1986 zastosowano ten silnik, który okazał się bardzo żywotny, do napędu generatora o małej mocy w prototypie mini CHP. Próby trwały do 1989 roku. Na przełomie lat 1989–1990 wyprodukowano pierwsze prototypy, które poddano próbie na terenie ich przyszłych zastosowań. Wraz z rozpoczęciem seryjnej produkcji w 1996 roku wyodrębniono w firmie SenerTec zakład technologiczny produkujący system kogeneracyjny o nazwie Dachs. Co rocznie jest produkowanych około 3000 minikogeneracji o tej nazwie. Do kwietnia 2013 zainstalowano 32000 urządzeń Dachs firmy SenerTec. Firma SenerTec jest po Hondzie drugim największym producentem takich urządzeń na świecie.

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne i cena mikrokogeneracyjnego systemu Dachs firmy SenerTec wraz z wyposażeniem dodatkowym [41]

Dachs	HKA G 5,5
Paliwo	gaz ziemny
Moc elektryczna [kW]	5,5
Moc cieplna [kW]	12,5
Konserwacja	3.500 h
Emisja dźwięku	52–56 [dB(A)] DIN 45635–01
Dachs Cena	21943,60 Euro
Pakiet wyposażenia (zbiornik akumulator ciepła)	1668,40 Euro
Moduł ciepłej wody użytkowej	2272.00 Euro

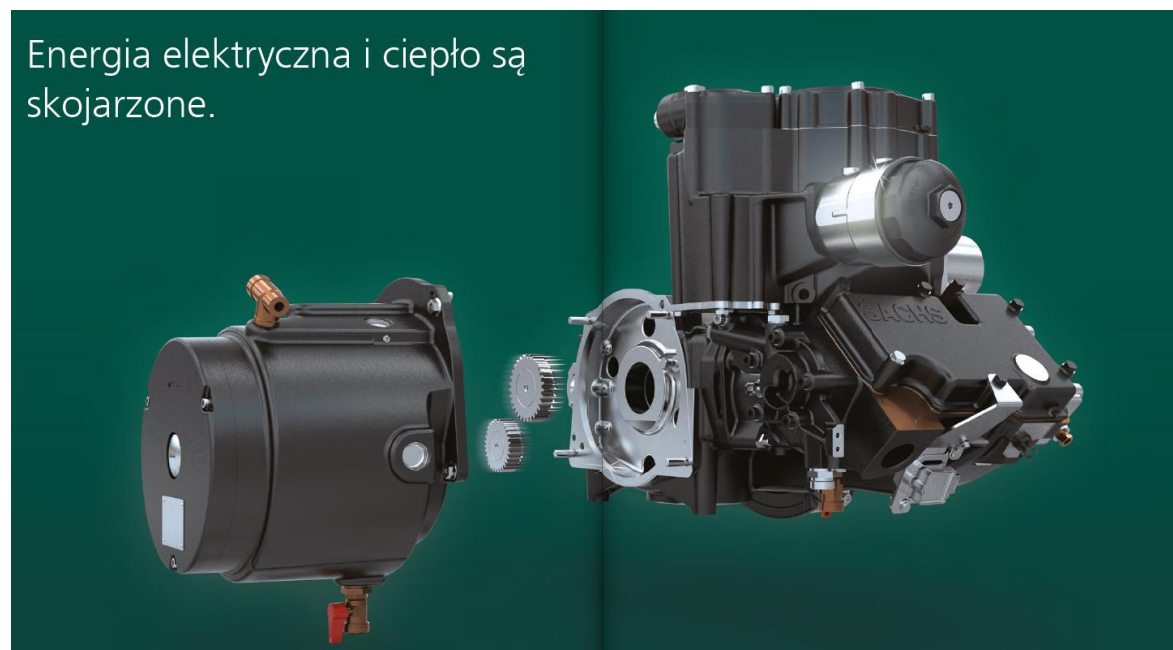
SEPlus Podgrzewacz pomocniczy 20 kW na gaz ziemny i LPG	2703,70 Euro
Dodatkowa karta SE (ogrzewanie pomieszczeń i kontroli ciepłej wody)	921,30 Euro
Skraplacz firmy Dachs	1985,30 Euro

Dla modelu HKA G 5,5 można otrzymać dotację w wysokości 2423 Euro. Dotacje przyznawane są jedynie dla instalacji kogeneracyjnych o mocy elektrycznej do 20 kW_{el} i pod warunkiem wyposażenia ich w akumulator energii cieplnej w tym wypadku izolowany termicznie zbiornik wody o pojemności 750 l (bufor).

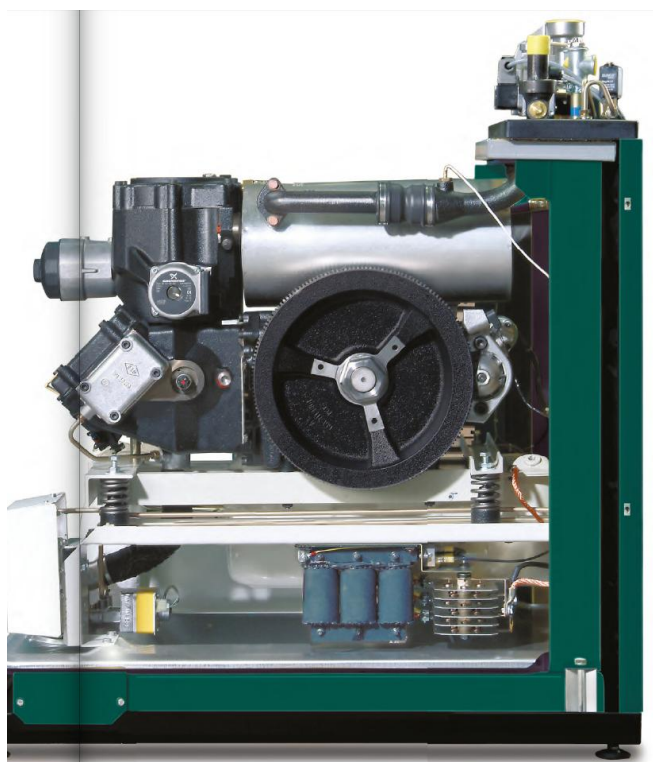


Rysunek 5. Jednostka napędowa Dachs firmy SenerTec - jednocylindrowy silnik czterosuwowy o pojemności 580 cm³ [42]

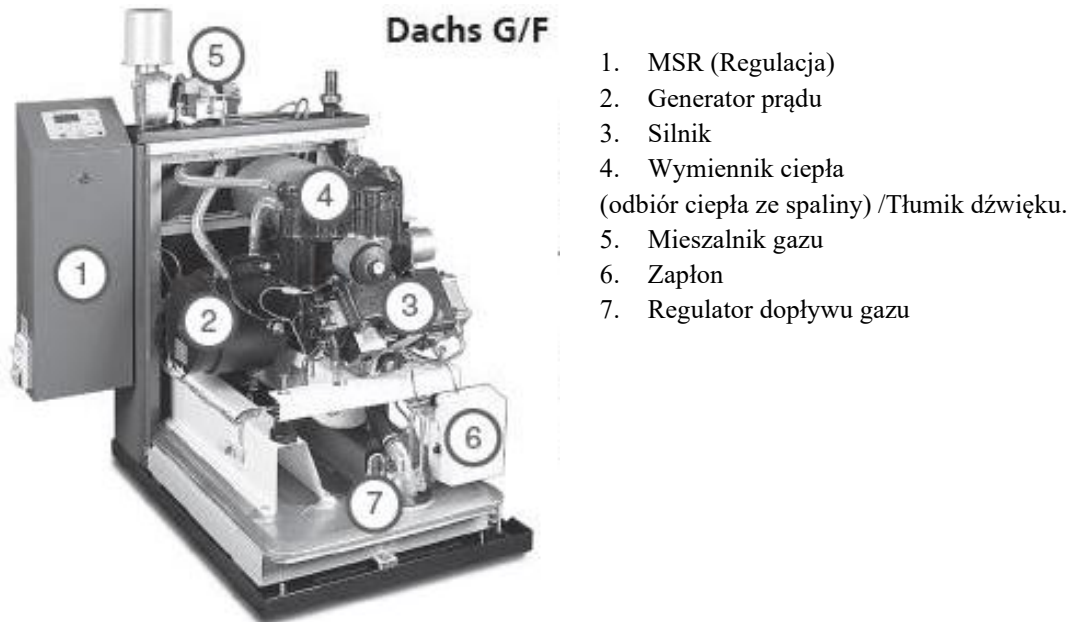
W Dachs pracuje jednocylindrowy czterosuwowy gazowy silnik z zapłonem iskrowym o pojemności około 580cm³, który jest obliczony na pracę do 80 tys. godzin. Jest on chłodzony wodą i wyposażony w asynchroniczny generator, który jest na stałe skrzęcony z silnikiem i w którym napęd jest przekazywany poprzez przekładnię jednostopniową.



Rysunek 6. Zdjęcie z prospektu firmy SenerTec Dachs przedstawia jednostkę napędową, przekładnię jednostopniową oraz generator [43]



Rysunek 7. Jednostka napędowa SenerTec Dachs [44]



Rysunek 8. Agregat kogeneracyjny Dachs G/F bez osłony [45]

Rysunek 9 obrazuje w jaki sposób można rozbudować instalację kogeneracyjną, zwiększając jej efektywność. W wersji podstawowej znajduje się sam agregat (Dachs G/F). W celu optymalnego wykorzystania ciepła potrzebny jest jednak magazyn ciepła. Takim magazynem jest (bufor) magazyn ciepłej wody. Nawet w ciągu jednego dnia zapotrzebowanie na ciepło może ulegać znacznym wahaniom i właśnie ten izolowany termicznie zbiornik pozwala w miarę potrzeb magazynować lub oddawać ciepło. Aby odzyskać ciepło ze spalin w optymalnym stopniu zastosowano też kondensator. Wyposażona w dodatkowy osprzęt instalacja kogeneracyjna jest bardzo sprawna, jest to jednak związane ze znacznym wzrostem kosztów instalacji.



Rysunek 9. Instalacja kogeneracyjna wraz z wyposażeniem dodatkowym. Po lewej urządzenie kogeneracyjne Dachs w środku to samo urządzenie ze skraplaczem, zdjęcie obok po [prawej to akumulator ciepła czyli izolowany zbiornik wody o pojemności 750 l [46]

Według stanu na kwiecień 2013, liderem światowego rynku kogeneracji jest Honda, natomiast na rynku europejskim przodującym wytwórcą jest SenerTec [47]. Honda zainstalowała na świecie ponad 100 tys. małych instalacji kogeneracyjnych. Odbiorcami produktów byli najczęściej: Kanada, USA oraz Japonia.

SenerTec ma silną konkurencję na niemieckim rynku. Głównym konkurentem jest firma Viessmann, która produkuje zespoły kogeneracyjne niemal o identycznych osiągnięciach. Przykładem może być prezentowany niżej VITOBLOC 200 Typ EM – 5/13. W instalacji tej mini-blok elektrociepłowniczy współpracuje z kotłem grzewczym (tzw., szczytowym). Agregat kogeneracyjny jest przeznaczony dla małych domów mieszkalnych i obiektów przemysłowych. Może pracować jako agregat prądotwórczy dobrze też sprawuje się do zasilania wyspowego wybranych urządzeń.

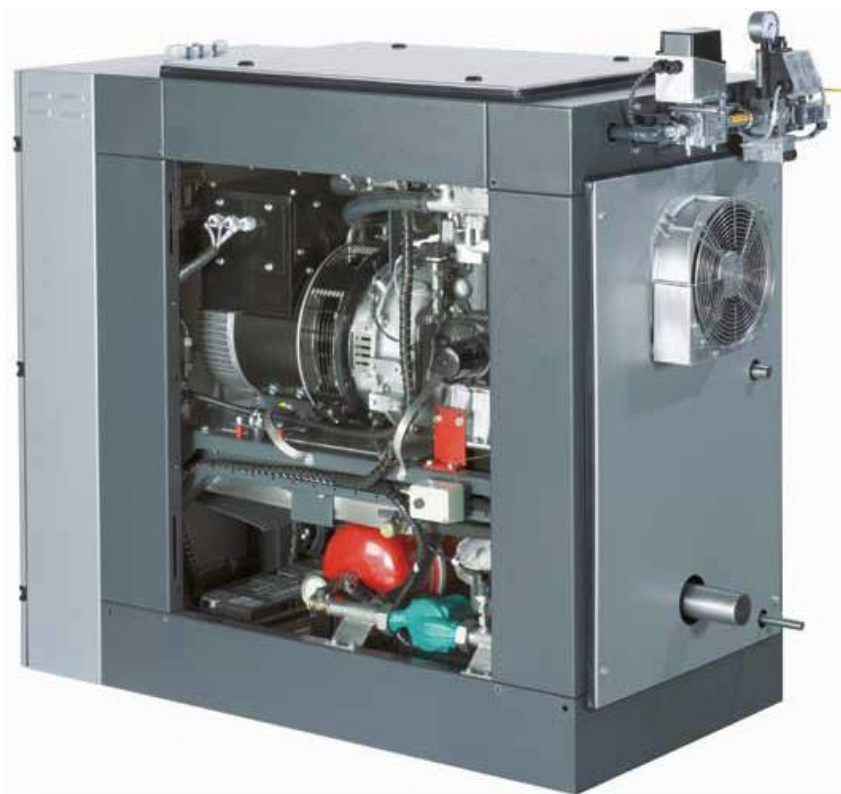
Instalacja kogeneracyjna VITOBLOC 200 Typ EM – 5/13 przeznaczona do spalania gazu ziemnego. Dane techniczne urządzenia są bardzo podobne do wcześniej prezentowanego urządzenia Dachs. Firma Viessmann reklamuje swój wyrób jako bardzo cichobieżne urządzenie ponieważ trzycylindrowy silnik Toyota 1 KS zapewnia cichobieżną pracę, a dodatkowe wyciszenie sprawia że głośność urządzenia spada do 39 dB. W stosunku do konkurencji Dachs wydłużono też okresy między obsługami. Na niekorzyść produktu Viessmann przemawia niestety jego cena, wyższa od ceny Dachs o 2000 Euro. W tabeli 5 przedstawiono podstawowe dane techniczne instalacji kogeneracyjnej VITOBLOC 200 Typ EM–5/13.

Tabela 4. Dane techniczne VITOBLOC 200 Typ EM–5/13 [48]

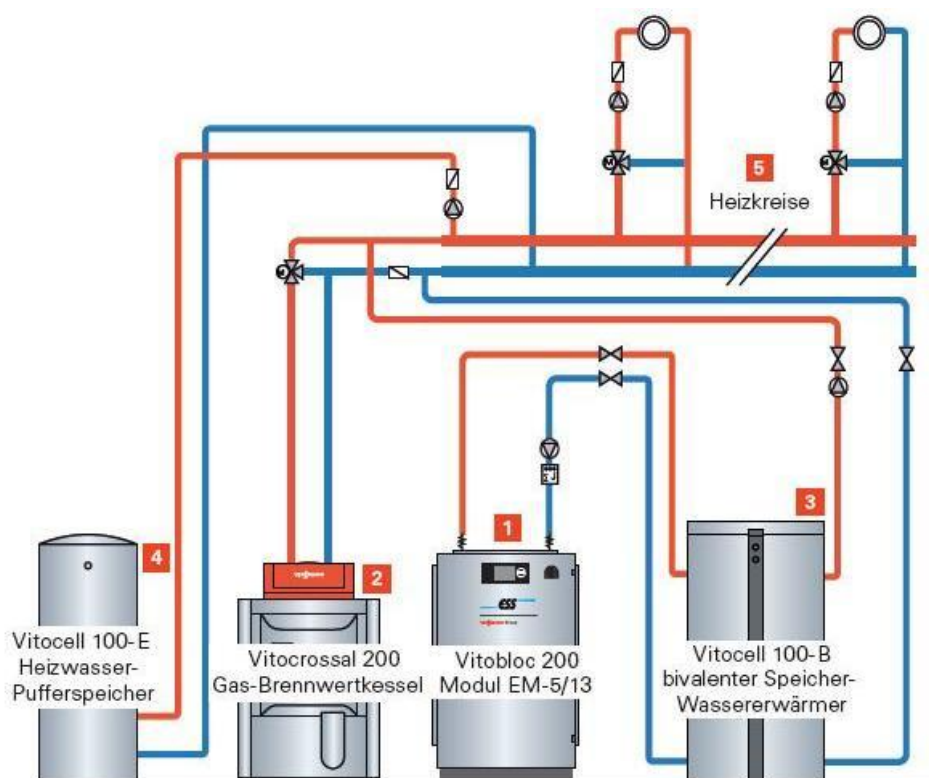
	VITOBLOC 200 Typ EM – 5/13
Zastosowanie	Małe zakłady przemysłowe, domy wielorodzinne, hotele, pływalnie
Paliwo	Gaz ziemny
Zużycie paliwa	20,2 kW/h co odpowiada 2,0Nm ³ /h
Silnik	3 – cylindrowy rzędowy Gaz – Otto – Motor (Toyota KS)
Pojemność	952 cm ³
Obroty	1500 obr/min
Wielkość emisji NO _x	< 125mg/Nm ³ , (1/2TA – powietrze)
Wielkość emisji CO	< 150mg/Nm ³ , <129 mg/kWh,
Moc elektryczna [kW]	5,5 kW
Moc cieplna [kW]	13,5 kW
Konserwacja	6.000 h
Emisja dźwięku	39 dB (A)
Sprawność elektryczna	27,2 %
Sprawność termiczna	66,8 %
Sprawność ogólna	94,0 %

Przedstawiony VITOBLOC 200 Typ EM – 5/13 został już zainstalowany w 700 obiektach. Jego praca jest sprawdzana przez automatyczny system regulacji. W instalacji jest też możliwe jest zdalne sterowanie układem, oferta serwisowa jest bardzo szeroka i całodobowa (24 h).

**Rysunek 10. Trzycylindrowy silnik gazowy (Otto–motor) produkcji Toyota 1 KS [49]**



Rysunek 11. Wnętrze jednostki kogeneracyjnej Viessmann Vitobloc 200 EM-5. Kompletny układ kogeneracyjny z uchyloną osłoną boczną [50]



Rysunek 12. Vitobloc EM-5 - przykład kompletnego systemu kogeneracyjnego [51]

1. Vitobloc 200 Moduł EM-5/13 (silnik)
2. Piec kocioł gazowy
3. Vitocell-B dwufunkcyjny magazyn ciepłej wody
4. Vitocell-E bufor (magazyn gorącej wody)
5. Obiegi ciepłownicze

Wykorzystanie urządzeń kogeneracyjnych do produkcji ciepła i energii elektrycznej w sektorze prywatnym jest milowym kamieniem w dążeniu do ochrony naszego klimatu. Systemy kogeneracyjne pozwalają na obniżenie emisji CO₂ przeliczając to na poszczególne gospodarstwa domowe. W Niemczech rząd przyczynia się do promocji zdecentralizowanej kogeneracji, przykładem jest dyrektywa CHP wprowadzona w życie 01.01.2009 roku. Zamiarem rządu niemieckiego jest zwiększenie udziału wytworzonej energii elektrycznej przez kogenerację z 12 do 25% w roku 2020 [52]. Rząd Niemiec wspiera zakup instalacji kogeneracyjnych przez dotację inwestycyjną. Ponadto cała ilość energii elektrycznej wygenerowanej poprzez 10 lat nagradzana jest premią CHP. Wsparcie polega także na zwolnieniu na czas nieokreślony z podatku od energii elektrycznej, cała ilość gazu zużytego do produkcji w kogeneracji jest również zwolniona z podatku [53].

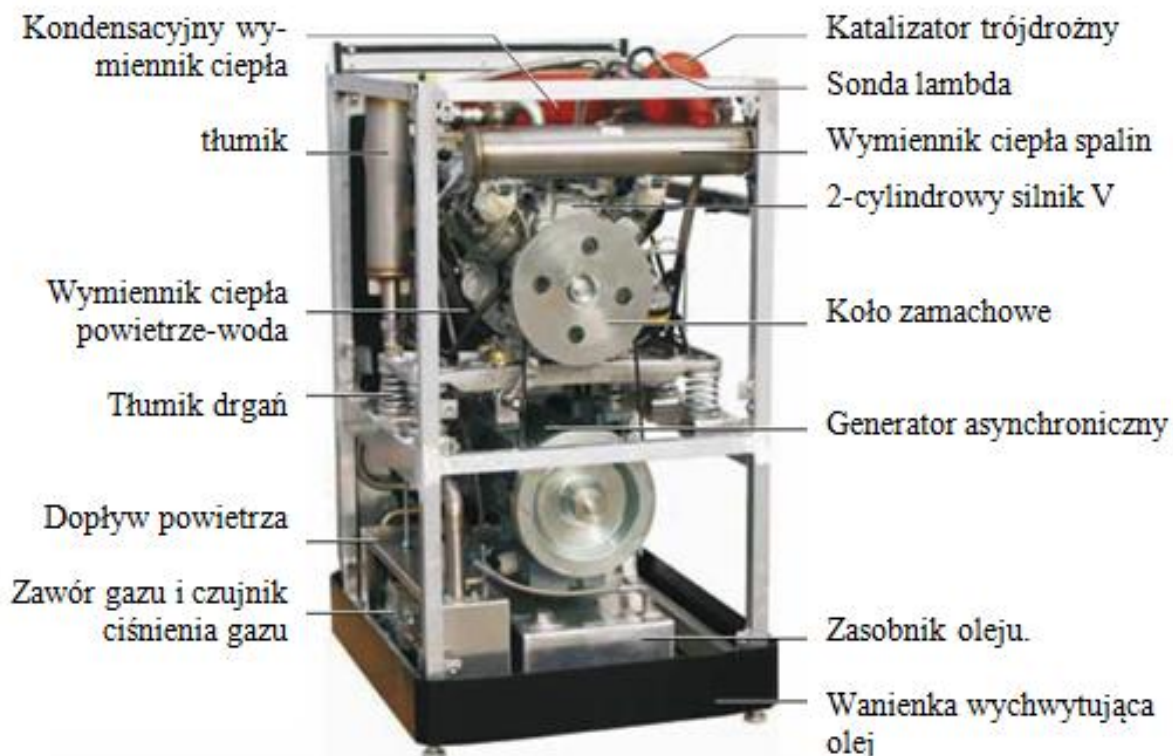
Kolejnym producentem instalacji kogeneracyjnych jest Wolf GmbH, firma z tradycjami sięgającym 1963 roku, kiedy to zaczęła produkować suszarki do chmielu. Dziś zatrudnia 1600 pracowników i produkuje systemy solarne, pompy ciepła oraz systemy mikrokogeneracyjne dla budynków jednorodzinnych i dwurodzinnych próbując zdobyć rynek właścicieli budynków prywatnych. Firma Wolf GmbH produkuje system kogeneracyjny o nazwie Wolf Mikro – BHKW GTK-4. Jest to mała jednostka napędowa przedstawiona na rys. 13.



Rysunek 13. Dwucylindrowy silnik V o pojemność 480 cm³, który posłużył firmie Wolf za bazę konstrukcyjną mikrokogeneracyjnego systemu o nazwie Wolf Mikro – BHKW GTK-4 [54]

Dwucylindrowy silnik V o pojemność 480 cm³ to jedyna jednostka napędowa chłodzona powietrzem zastosowana do pracy w instalacji kogeneracyjnej. Na tym polu firma Wolf GmbH ma tylko jednego konkurenta. Tym konkurentem jest firma Kirsch HomeEnergy. Kirsch HomeEnergy na bazie tego samego silnika produkuje dwa systemy kogeneracyjne, mianowicie Kirsch Nano oraz Kirsch Micro. Tak więc silnik V, dwucylindrowy, chłodzony powietrzem produkcji Briggs & Stratton Vanguard znalazł zastosowanie u dwóch konkurujących ze sobą producentów systemów kogeneracyjnych. Dwucylindrowy silnik chłodzony powietrzem o pojemności 480 cm³ ma moc 16 kW i moment obrotowy równy 30,6 Nm przy 2600 obr/min. Silnik wykorzystywany przez firmę Wolf Mikro w agregacie kogeneracyjnym BHKW GTK-4 pracuje z niższą prędkością obrotową. Prędkość obrotowa wynosi 1900 obr/min co znacząco wpływa na trwałość urządzenia. Silnik ma trzy stopnie obciążenia przy stałej prędkości obrotowej. Moc silnika jest regulowana nie prędkością obrotową lecz składem mieszanki co oczywiście obniża moment obrotowy dzięki takiemu rozwiązaniu agregat kogeneracyjny produkuje prąd i ciepło nawet przy małych obciążeniach. Dzięki zastosowaniu własnych patentów i korekcy współczynnika mocy układ kogeneracyjny osiąga 95 % sprawności. Zależnie od wybranego obciążenia silnik produkuje 2, 3, 4 kW_{el}, ponieważ posiada trzy stopnie obciążenia. Oczywiście odpowiednio wzrasta też moc cieplna 8,5, 10, 12 kW_{th}, głośność silnika też zależy od obciążenia i wynosi odpowiednio 49/50/55 dB (A). Wymiana świec zapłonowych

co 2,5 tys. godzin pracy, konserwacja co 5 tys. godzin i przegląd po 20 tys. godzinach pracy. Zużycie paliwa (gaz ziemny) około $1,7 \text{ m}^3/\text{h}$ przy pełnym obciążeniu [56].



Rysunek 14. Silnik zastosowany przez firmę Wolf w agregacie kogeneracyjnym BHKW GTK-4 [55]

6. Podsumowanie

Rynek producentów systemów kogeneracyjnych zdominowali wytwórcy agregatów prądotwórczych, napędzanych konwencjonalnymi paliwami. Wykorzystywane dotychczas jedynie jako awaryjne źródło energii agregaty po modyfikacji pozwalają odbierać ciepło dotychczas odpadowe i stają się elementem wytwarzania energii w systemie rozproszonym, produkując energię elektryczną oraz ciepło. Z racji stosunkowo niskiej ceny dość często do napędu tych agregatów stosuje się gaz ziemny, który jest tańszy od paliw ciekłych. Pomimo oczywistych zalet tego rozwiązania, charakteryzującego się około 90 – 95% wykorzystaniem energii zawartej w paliwie, jest ono związane ze znacznymi kosztami inwestycyjnymi. Zespół kogeneracyjny napędzany silnikiem spalinowym nie może być traktowany wyłącznie jako urządzenie do produkcji energii cieplnej. Dysponując tym samym nośnikiem energii, jakim jest gaz ziemny (E), można uzyskać energię cieplną na kilka sposobów. Przykładowo, spalając ten gaz w piecu z zamkniętą komorą spalania, którego sprawność wynosi 89 – 92% lub w instalacji kogeneracyjnej o podobnej łącznej sprawności elektrycznej i cieplnej. Różnica w cenie jest jednak olbrzymia. Piec gazowy o mocy 12 – 28 kW z zamkniętą komorą spalania kosztuje w granicach od 3 do 7 tys. zł, wraz z kondensacją spalin. Urządzenie kogeneracyjne o tej samej łącznej mocy cieplnej kosztuje 10 – 15 razy więcej. Urządzenie kogeneracyjne wymaga konserwacji oraz przeglądów, wymiany niektórych elementów, co generuje dalsze koszty. Tak więc atuty leżą po stronie tradycyjnych pieców gazowych, którym wystarcza jeden roczny przegląd. Analizując również produkcję samej energii elektrycznej w zespole kogeneracyjnym

małej mocy z silnikiem spalinowym, także znajdujemy pewne wady. W tym przypadku największym problemem wydaje się być cena uzyskiwana ze sprzedaży energii elektrycznej, która jest zbyt niska w stosunku do poniesionych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Istnieją oczywiście także zalety stosowania zespołu kogeneracyjnego napędzanego silnikiem spalinowym. Jedną z głównych zalet jest możliwość pracy i wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej w miejscach pozbawionych sieci przesyłowej, ponieważ urządzenia kogeneracyjne są często budowane jako mobilne źródła energii. Silniki spalinowe służące do napędu tych systemów są łatwe do sterowania i mogą pracować przy zmiennym obciążeniu.

Możliwość jednoczesnego, skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i cieplnej, efektywność energetyczna systemu skojarzonego jest nawet o 30 % wyższa niż w przypadku oddzielnego wytwarzania energii elektrycznej w elektrowni kondensacyjnej i ciepła w kotłowni. Silniki gazowe wykorzystywane w kogeneracji dają możliwość wykorzystania odnawialnych źródeł energii, takich jak gaz pofermentacyjny, biogaz powstały ze zgazowania biomasy i odpadów. Zastosowane do spalania tych gazów silniki zmniejszają zanieczyszczenie środowiska metanem, produkując przy okazji ciepło i prąd oraz zmieniając metan na dwutlenek węgla i parę wodną. Zespoły kogeneracyjne są jednym ze skutecznych sposobów utylizacji czy też neutralizacji odpadów pochodzenia roślinnego i zagospodarowania odpadów komunalnych. Odpady poddane przeróbce termicznej (np.: zgazowaniu czy pirolizie) są źródłem gazu generatorowego o wysokiej zawartości metanu, który spalany w silniku tłokowym agregatu przyczynia się do produkcji energii. Gazowe silniki spalinowe zespołów kogeneracyjnych zasilane paliwami alternatywnymi (biogazem, gazem generatorowym) ograniczają zużycie tradycyjnych paliw kopalnych (ropy naftowej czy gazu ziemnego), a tym samym chronią środowisko naturalne człowieka i przyczyniają się do zmniejszenia emisji toksycznych i szkodliwych składników spalin do atmosfery. Mogą być instalowane praktycznie wszędzie, począwszy od gospodarstw domowych poprzez małe i średnie przedsiębiorstwa, a na prawdziwych elektrociepłowniach zasilających całe miasta kończąc. Jest tutaj miejsce także dla dużych dystrybutorów energii elektrycznej (monopolistów), którzy sami mogą uzyskać korzyści wynikające z poprawienia jakości przesyłanej energii, wykorzystując małe jednostki kogeneracyjne rozsiane po całym kraju. Biorąc pod uwagę możliwość zdalnego sterowania małymi jednostkami kogeneracyjnymi, można w bezinwestycyjny dla sieci przesyłowej sposób uzyskać korzyści wynikające zarówno z poprawy jakości, jak i zminimalizowania strat przesyłowych.

Można przypuszczać, że najbardziej racjonalne wykorzystanie jednostek kogeneracyjnych będzie miało miejsce w godzinach szczytowego zapotrzebowania na energię tak ciepłą, jak i elektryczną. Łącząc to z odpowiednią polityką cenową, można wyliczyć obustronne korzyści tak monopolistów, jak i producentów energii w mikrokogeneracji.

Bibliografia

1. Energy.gov (2016). Overview of CHP Technologies.
2. GE Vernova. (2025). Combined Heat and Power (CHP) Systems.
3. EPA. (2025). What Is CHP?.
4. Siemens Energy. (2025). Combined Heat and Power - Decarbonizing Heat Production.
5. Department of Energy. (2019). CHP Resource Guide.
6. LowTEMP. (2021). Combined Heat & Power (CHP) Training Package.

7. Yu, S., Fan, Y., Shi, Z., et al. (2023). Hydrogen-Based Combined Heat and Power Systems: A Review.
8. Robineau, P., Boltoeva, M., Arbor, N., Quaranta, G. (2024). Techno-Economic and Life-Cycle Assessment of CHP Systems.
9. Dobre, C., Costin, M., Constantin, M. (2024). Review of Small–Medium CHP Systems.
10. Ahmadi, M.H., Zeini Vand, A., Mirzaei, M., et al. (2018). Technical and Economic Optimization of CHP Systems.
11. Jaworowska Monika, <http://automatykab2b.pl/tematmiesiaca/3254-kogeneracja-technologie-dla-przemyslu-skojarzona-produkcja-energii-elektrycznej-ciepa-i-chodu-cz-1#.VTPuzZM5tKo>.
12. UNFCCC – Kyoto Protocol Overview (https://unfccc.int/kyoto_protocol).
13. UNFCCC – Emission Reductions under the Kyoto Protocol (<https://unfccc.int/news/emission-reductions-under-the-kyoto-protocol-pave-the-way-for-increased-ambition>).
14. European Climate Law – European Commission (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en).
15. EU Climate Law: 2040 Targets Proposal (https://commission.europa.eu/news-and-media/news/eu-climate-law-new-way-reach-2040-targets-2025-07-02_en).
16. Climate TRACE – April 2025 Emissions Data (<https://climatetrace.org/news/climate-trace-releases-april-2025-emissions-data>).
17. International Court of Justice – Advisory Opinion on Climate Obligations (<https://www.msn.com/en-us/weather/topstories/un-court-sides-with-island-nation-in-greenhouse-gas-emissions-case/ar-AA1Ja12N>).
18. Eco-Business – ICJ Ruling on Fossil Fuel Emissions (<https://www.eco-business.com/news/worlds-highest-court-says-countries-are-obliged-to-regulate-fossil-fuel-emissions/>).
19. Scroll.in – ICJ Legal Order on Climate Harm (<https://scroll.in/article/1084853/icj-delivers-an-unambiguous-order-on-states-responsibilities-to-halt-climate-change>).
20. European Commission – EU Climate Action Strategy (https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI%282025%29772887).
21. Frankowski Arkadiusz,
<http://www.gaspol.pl/produkty/dlabiznesu/kogeneracja/mikrokogeneracja-mchp>.
22. <http://horus-energia.pl/portal/hed/form/r173/>.
23. <http://horus-energia.pl/portal/hed/form/r173/>.
24. Szałas Marek, http://www.tge.pl/files/04-2010/30-04-2010/tge_certyfikaty.pdf.
25. <http://www.agregaty-elmeco.pl/index.php?p=oferta&id=7>.
26. <http://www.horus-energia.pl/hed/oferta/gaz-ziemny/6795,Gaz-ziemny.html>.
27. <http://www.agregaty-mielec.pl/>.
28. Lechowicz Andrzej, Oferta Mielec Disel Gaz nr 8 2015, <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#search/mielec+diesel/14ac385a4d9b2d02>.
29. <http://www.silniki-gazowe.com/o-firmie.html>.
30. <http://www.silniki-gazowe.com/o-firmie.html>.
31. <http://www.silniki-gazowe.com/o-firmie.html>.
32. <http://www.silniki-gazowe.com/o-firmie.html>.

33. <http://www.silniki-gazowe.com/o-firmie.html>.
34. http://ghp-poland.pl/files/Kogeneracja_MCHP_GHPPoland.pdf.
35. <http://kogeneracja.tedom.com/>.
36. www.wfhlpower.com.
37. Peterek Martin, www.tedom.com.
38. www.wfhlpower.com.
39. <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#inbox/14adfccdd9595586?projector=1>.
40. <http://kogeneracja.tedom.com/>.
41. <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>.
42. <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>.
43. <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#search/sener/14e90eecd3eebe87>.
44. <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=wm#search/sener/14e90eecd3eebe87>.
45. <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>.
46. <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>.
47. <http://www.bhkw-prinz.de/senertec-dachs-mini-bhkw/108>.
48. <http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-5-mini-bhkw/3596>.
49. <http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-5-mini-bhkw/3596>.
50. <http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-5-mini-bhkw/3596>.
51. <http://www.bhkw-prinz.de/viessmann-vitobloc-200-em-5-mini-bhkw/3596>.
52. Pehnt, Craig Morris i Martin, Inicjatywa Fundacji im. Heinricha Bölla,
53. http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/pl/German-Energy-Transition_pl.pdf.
54. http://www.kmh24.pl/kmh24_newsWiecej_6000/Zadba_o_cieplo.html#afterAd-1.
55. <http://www.bhkw-prinz.de/wolf-mikro-bhkw-gtk-4/3924>.
56. <http://www.bhkw-prinz.de/wolf-mikro-bhkw-gtk-4/3924>.

4. KONCEPCJA BIOMANIPULATORA IMITUJĄCEGO RĘKĘ

Paweł Kordziukiewicz*, Piotr Prochor

Politechnika Białostocka

Wydział Mechaniczny

Studenckie Koło Naukowe ORTHOS

ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

Email: *86282@student.pb.edu.pl

1. Wstęp

Dłoń stanowi manipulator, dzięki któremu jesteśmy w stanie wykonywać proste czynności. takie jak otwieranie czy zamykanie drzwi, oraz te bardziej skomplikowane, jak pisanie czy korzystanie z telefonu. Poza zdolnościami manipulacyjnymi dłoń pełni funkcję społeczną. W otoczeniu biznesowym uściśnięcie dłoni jest uznawane za gest przywitania, bądź wstępnego uzgodnienia umowy, natomiast w strefach militarnych salutowanie uznaje się za obowiązkowy gest okazywania szacunku oficerowi wyższemu stopniem. Biorąc pod uwagę wszystkie te czynniki ludzka dłoń to nie tylko manipulator, ale również kulturowy symbol poznawczy. Głównymi elementami pozwalającymi na spełnianie wyżej wymienionych funkcji są jej kształt oraz funkcjonalność. Stąd też jej utrata jest problemem nie tylko fizycznym, ale również i społecznym dotyczącym pojedynczych ludzi od wieków. [1,2]

Konsekwencje amputacji dokumentowane są od starożytności, gdzie był to częsty skutek urazów bitewnych bądź kar cielesnych powiązanych z obowiązującymi prawami. Utratę funkcji fizycznych próbowano nadrabiać za pomocą drewnianych protez. Ze względu na brak wewnętrznych mechanizmów te prymitywne urządzenia nie pełniły funkcji manipulacyjnych, za wyjątkiem bardzo prostych czynności jak podtrzymanie dopasowanych przedmiotów. Pomimo tej wady pozwalały użytkownikom na powrót do zbliżenia się do codzienności, jednocześnie zmniejszając ostracyzm społeczny. Osoba nosząca protezę nadal nie mogła wykonywać tych samych czynności, jednakże nie różniła się znacząco od reszty społeczeństwa. [1,2]

Wraz z czasem, rozwój technologii wpłynął na rozwój protetyki. Skupiono się na funkcji manipulacyjnej tworząc urządzenia zbliżone do haków. Dzięki temu pacjent odzyskiwał część zdolności do poruszania przedmiotami oraz chwytania. W porównaniu do drewnianych modeli dłoni, użytkowe protezy były odmienne od naturalnego wyglądu, co wpływało negatywnie na psychikę użytkownika. Innowacja w tej dziedzinie powstała w okresie renesansu. Tamtejsza proteza wykonana była w pełni mechaniczna oraz została wykonana z metalu, przez co mogła imitować fragment pancerza. Potrafiła wykonać podstawowy ruch zginania i prostowania w taki sposób, aby móc utrzymać dany przyrząd. Ponadto, ze względu na podobieństwa do faktycznych fragmentów płytowej zbroi, zapewniona została funkcja imitowania anatomicznej, funkcjonalnej ręki. Wykonanie przyrządu generowało wysokie koszty, dlatego nie mógł być on stosowany pośród niższych klas. [1, 2]

Rewolucją w historii protetyki było wynalezienie, przez niemieckiego dentystę Petera Baliffa w 1818 roku, systemu sterowania protezą za pomocą systemu linek połączonych

z zdrowymi partiami ciała. Pozwalał on na wykonywanie prostych ruchów takich jak prostowanie i zginanie bez wykorzystania drugiej kończyny górnej. Ze względu na tamtejsze czasy, czyli okres rewolucji przemysłowej użyteczność takich przyrządów zdecydowanie przewyższyła estetykę, dlatego stosowano haki zbliżone do szczypiec. Pozwalały one na chwytanie prostych obiektów i wykonywanie bardziej skomplikowanych czynów. [1, 2]

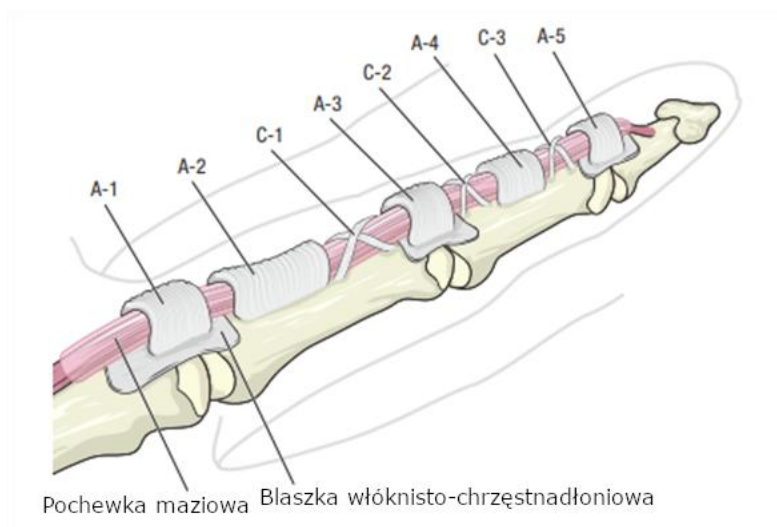
Nowoczesna protetyka pozwala na dobranie przyrządów według własnych potrzeb. Popularne stały się protezy kosmetyczne w pełni imitujące ludzką dłoń za pomocą warstwy silikonu. W celu zbliżenia do realnego wyglądu dodaje się owłosienie oraz defekty skóry jak blizny czy pieprzyki. Dla osób wykonujących prace wymagające specyficznych ruchów, jak np. szewc, wykonuje się specjalistyczne protezy ułatwiające związane z tym czynności. Przyrządy te stanowiły punkt wyjściowy do produktów wykonywanych w dzisiejszych czasach. Aktualnie powstają urządzenia sterowane za pomocą czujników elektromiograficznych bądź nawet encefalograficznych. Dzięki temu korzystanie z nich oraz wykonywanie funkcji manipulacyjnych staje się bardziej naturalne dla użytkownika [1, 2]

Ludzka dłoń (rys. 1) składa się z 27 kości, w tym 14 z nich znajduje się w palcach, 5 w śródręcza, a 8 to kości nadgarstka. Charakterystycznymi elementami anatomicznymi znajdującymi się w ręce pozwalającymi jej na wykonywanie czynności manipulacyjnych są palce połączone ruchowo bezpośrednio do kości śródręcza. Cztery z nich składają się z trzech paliczków, połączonych ze sobą stawami zawiasowymi, określonych mianem proksymalnego, środkowego oraz dystalnego. Kciuk różni się ilością paliczków – posiada tylko proksymalny i dystalny – oraz sposobem połączenia ze względu na jego przeciwstawne położenie. Dzięki temu osiąga znacznie większą ruchomość względem pozostałych palców. Zapewnia to możliwość chwytania, łapania i manipulowania podstawowymi przedmiotami, a w szczególności narzędziami. Czynności te wspierają kości śródręcza zmieniając swoje położenie w trakcie ruchu, co szczególnie jest widoczne przy piątej kości śródręcza. Ostatnim elementem ręki jest nadgarstek, łącznik dłoni z przedramieniem, o największej w kończynie górnej mobilności tuż po stawie barkowym. Składa się z 8 kości ustawionych w dwa rzędy dzięki którym człowiek realizuje ruchy obrotowe, supinację i pronację oraz zginanie wraz z prostowaniem. [3, 4, 5]



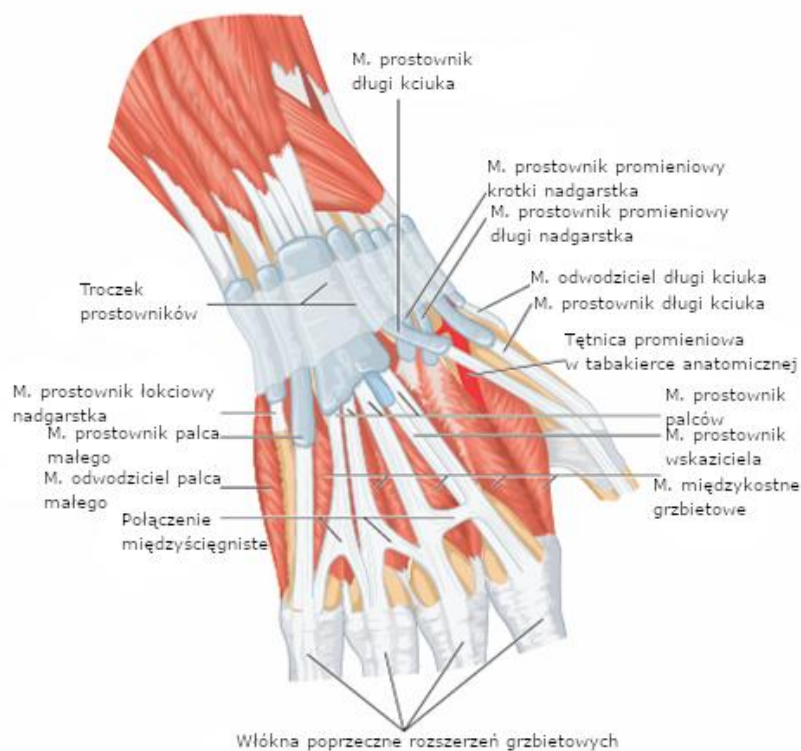
Rysunek 1. Budowa kostna ręki człowieka [3]

Ze względu na charakterystykę działania ruchu w palcu wywołany jest przez wydłużanie i skracanie ścięgna biegnącego przez cały palec i będącym zaczepionym na dystalnym paliczku. Ponadto, cała struktura (rys. 2) jest wzmocniona o system bloczków pierścieniowych (rys. 2 el. A-1 do A-5) oraz krzyżowych (rys. 2 el. C-1 do C-3). Na każdym stawie mieszczą się blaszki włóknisto-chrzęstne dłoniowe, stanowiące miejsce przyczepu wcześniej wymienionych struktur. System ten pozwala na realizowanie ruchu zginania i prostowania zmieniając położenie dystalnego paliczka, co skutkuje segmentalnym poruszeniem całej struktury. [3, 4, 5]



Rysunek 2. Budowa palca człowieka [3]

Zginanie i prostowanie jest realizowane przez współdziałanie trzech głównych grup mięśni: kłębu kciuka, kłębu palca małego oraz środkowych ręki. Pierwszą grupę budują cztery główne grupy mięśni odpowiadające za pojedyncze ruchy. W związku z tym ich nazwy to: mięsień odwodziciel krótki kciuka, mięsień zginacz krótki kciuka, mięsień przeciwstawiacz kciuka oraz mięsień przywodzić kciuka. W wyniku nałożenia na siebie tych ruchów uzyskiwana jest wysoka mobilność charakteryzująca pierwszy palec dłoni. Kolejna grupa mięśni zaopatrza pozostałe paliczki pozwalając im na zginanie i prostowanie oraz na dodatkowe ruchy palca małego, takie jak odwodzenie i przywodzenie. Są to mięsień dłoniowy krótki, mięsień odwodziciel palca małego, mięsień przeciwstawiacz palca małego. Pozostałe włókna należą do grupy mięśni środkowych ręki zbudowanych z siedmiu mięśni międzykostnych oraz czterech mięśni glistowatych. Pozwalają one na zginanie i prostowanie palców II-V w stawach śródręczno-paliczkowych. [3, 6]

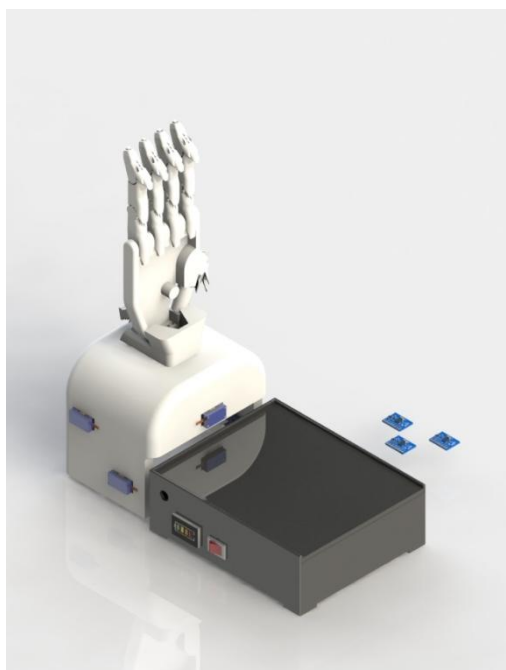


Rysunek 3. Anatomiczne przedstawienie mięśni ręki człowieka [3]

W związku z wymienioną budową oraz cechami ręki człowieka można określić wniosek na temat skomplikowania tej struktury anatomicznej. W celu zapewnienia ruchomości zbliżonej do realnego odpowiednika należy uwzględnić położenie wszystkich stawów oraz przeanalizować sposób realizacji zginania palców. W związku z tymi cechami pojawił się koncept stworzenia funkcjonalnego biomanipulatora imitującego mobilność oraz wygląd naturalnej kończyny przy jak najniższym nakładzie finansowym. Przyrząd ten ma pozwalać na chwytanie oraz naśladowanie charakterystycznych ruchów dłoni takich jak salutowanie czy podawanie ręki.

2. Materiały i metody

W celu wykonaniu modelu biomanipulatora skorzystano z programu SOLIDWORKS 2023 (Dassault Systèmes, Stany Zjednoczone). Pozwolił na wygenerowanie trójwymiarowego modelu biomanipulatora (rys. 4). Na jego podstawie dobrano zasady funkcjonowania, elementy elektroniczne oraz metody jakimi zostały wykonane fragmenty konstrukcyjne takie jak paliczki, śródręcze oraz podstawa. W celu przedstawienia poprawnych przyrządów jak mikroprocesor, żyroskop, czy płytki prototypowa skorzystano z GrabCAD.



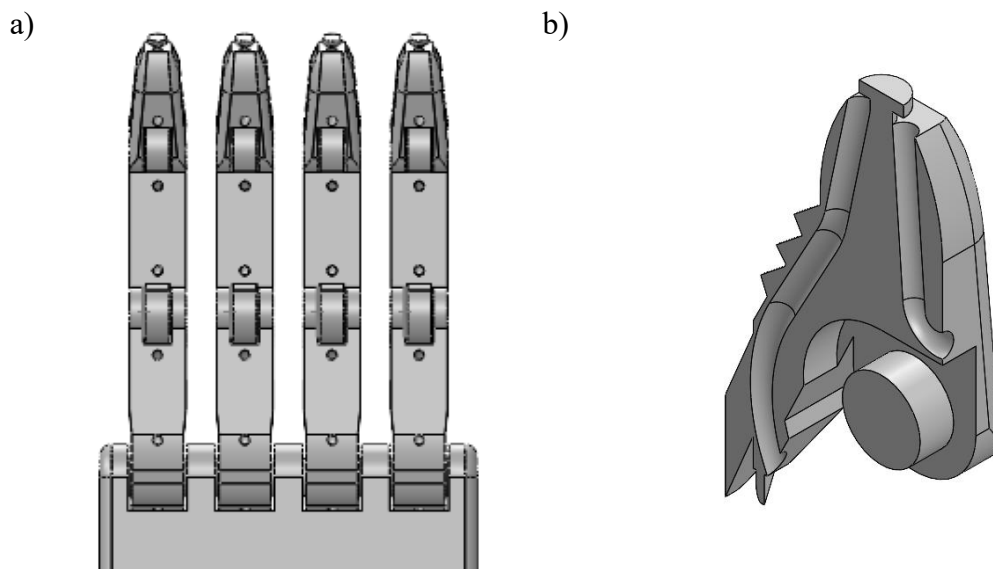
Rysunek 4. Realistyczne przedstawienie modelu biomanipulatora z programu SOLIDWORKS 2023 [opracowanie własne]

Całość obudowy, podstawki jak i palców została wykonana za pomocą metody przyrostowej jaką jest osadzanie topionego materiału (FDM, ang. Fused Deposition Modeling). Polega ona na uplastycznieniu polimerowego filamentu w głowicy i następnym przełożeniu go na podgrzany stół roboczy. Tak ułożona warstwa jest chłodzona przez zestaw wentylatorów. Tuż po tym kolejne warstwy są nakładane aż do momentu osiągnięcia pełnego modelu. Jest to obiektywnie prosta metoda, która na przestrzeni lat zyskała sporą popularność. Nie służy do produkcji precyzyjnych produktów. Pomimo tego, FDM pozwala na wykonanie prototypu urządzenia. W zależności od zadanych parametrów jakość wydruku może ulec zmianie. W szczególności należy wziąć pod uwagę grubość pojedynczej warstwy oraz prędkość wydruku. Obniżenie obu tych cech powoduje wzrost gładkości powierzchni, jednakże skutkuje znacznym wydłużeniem czasu drukowania oraz osłabieniem adhezji kolejnych warstw. Metoda ta została dobrana ze względu na powszechność oprzyrządowania do FDM oraz niskie koszty wydruku. [7]

Palce razem z śródręczem zostały wydrukowane w charakterze jednej części z zachowanym odstępami stanowiącymi luz. Pozwoliło to na utrzymanie dłoni wraz z zapewnieniem jej dostatecznych możliwości ruchowych. Przekształcenie modelu z oprogramowania SOLIDWORKS 2023 do GCode stanowiącym główny język sterujący

oprzyrządowania do techniki FDM zapewnił program Ultimaker Cura (Ultimaker, Holandia). Pozwolił on również na dobranie parametrów, takich jak temperatura stołu oraz głowicy bądź prędkość wydruku, do materiału jakim było PLA. Posiada on niską cenę oraz dostatecznie dobre właściwości mechaniczne jak twardość. Głównymi parametrami modyfikowanymi przy druku była wysokość warstwy, ustawienia podpór, płytki adhezyjnej oraz wypełnienia. Pierwszy z nich został ustawiony na 0,1 mm aby zapewnić jak najwyższą dokładność ostatecznego produktu. Płytki adhezyjne zostały dobrane tylko do podstawki, w celu poprawy adhezji do stołu roboczego. Podpory również zostały pominięte przy drukowaniu samej dłoni, ze względu na charakterystykę wydruku jako jedna część, jednakże przy podstawie został wykorzystany w celu wsparcia. W celu wypełnienia wykorzystano 10% wewnętrznej objętości w schemacie trójkątnym.

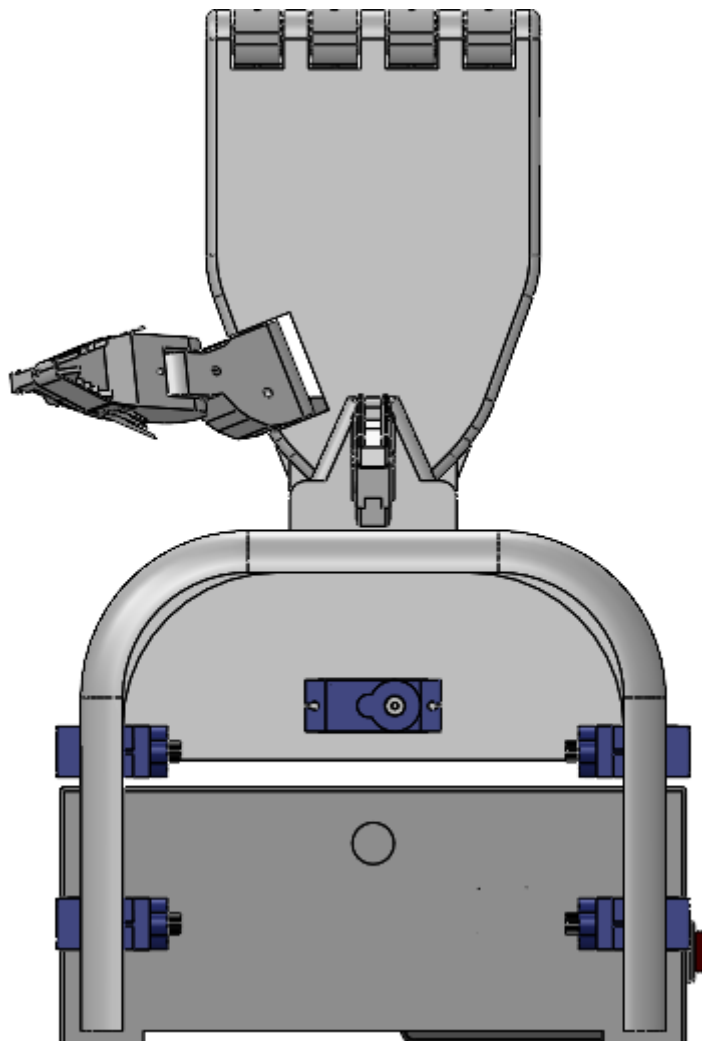
Zaprezentowany model składa się z trzech głównych grup części: z palców (rys. 5a), podstawy (rys. 6) oraz obudowy (rys. 7). Do pierwszej grupy należy zestaw trzech paliczków zawierających tunele wewnątrz (rys. 5b), przez które przeprowadzone zostały poliamidowe linki. W celu zapewnienia zbliżonych możliwości ruchowych do naturalnej dłoni niezbędnym było zastosowanie dwóch prowadnic. Pierwsza służy realizacji ruchu prostowania, gdy druga sprowadza palec w przeciwnym kierunku zginając go. Wyjątek stanowi kciuk składający się tylko z dwóch fragmentów pozwalających na skrócenie go względem innych palców. W przypadku dystalnych paliczków dodany został niewielki wałek ułatwiający zespolenie linki. Łączenia pomiędzy kolejnymi częściami zawierają luzy pozwalające na lepsze dopasowanie do trzymany przedmiotów. W celach demonstracyjnych każdy z palców został wyposażony w dodatkowe kształty imitujące wizerunki spotykane w fantastyce. Przedstawia to możliwości co do personalizacji przygotowanej protezy. Ponadto może to powodować większe zainteresowanie wśród dzieci, które chętniej skorzystają z urządzenia sprzyjającego ich zainteresowaniom.



Rysunek 5. Przedstawienie fragmentu modelu [opracowanie własne]: a) palców II – V biomanipulatora; b) przekroju dystalnego paliczka palca wskazującego

Śródrezcze z podstawką należą do drugiej grupy. Są to bezpośrednio połączone części pełniące funkcje podtrzymania nie tylko dla paliczków, ale również serwomechanizmów. To

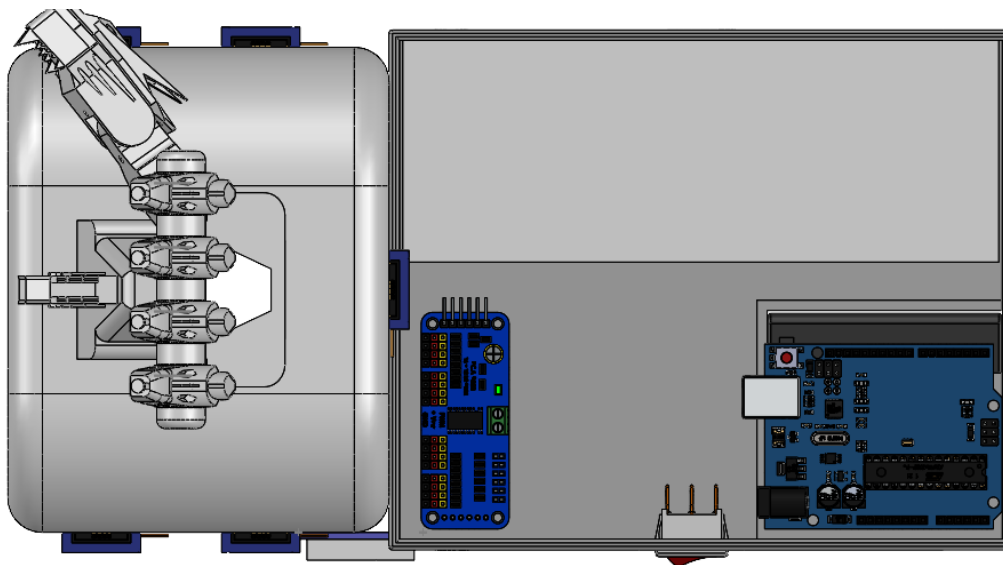
one są odpowiedzialne za wykonywanie przez palce ruchów zginania i prostowania. W podstawie znajduje się ich pięć, a każdy odpowiada kolejnym palcom. Do wszystkich umieszczony jest łącznik z przyłączonymi wcześniej wspomnianymi poliamidowymi linkami. W śródręczu znajdują się otwory zarówno przy palczkach jak i podstawie, pomagają one przeprowadzić sztuczne ścięgna z palców do samych serwomechanizmów. Dodatkowo ze względu na mniejszy rozmiar kciuka niezbędnym było dodanie wałka w celu zwiększenia ramienia działającego na niego. Wałek łączący palec z śródręczem posiada luz pełniący tą samą rolę, co w przypadku połączeń międzypaliczkowych.



Rysunek 6. Przedstawienie grupy śródręcza i podstawki [opracowanie własne]

Ostatnia grupa dotyczy zewnętrznej osłony pozostałej elektroniki. Główną elementem budującym tę grupę jest obudowa – to w niej znajdują się specjalnie przygotowane otwory. Pierwsza z nich zawiera przycisk bistabilny typu on/off. W drugim zaś wskaźnik poziomu baterii. Przedstawia on stopień naładowania czterech baterii AA połączonych szeregowo, zasilających pięć serwomechanizmów. Same źródło zasilania jest umieszczone w otworze w dolnej części obudowy, aby ułatwić proces wymiany. Poza tym mikroprocesor Arduino UNO posiada osobne źródło zasilania jakim jest akumulator litowo-polimerowy o pojemności 3000 mAh. Dzięki modułowi ładowania nie ma potrzeby wymiany źródła energii, a wystarczy

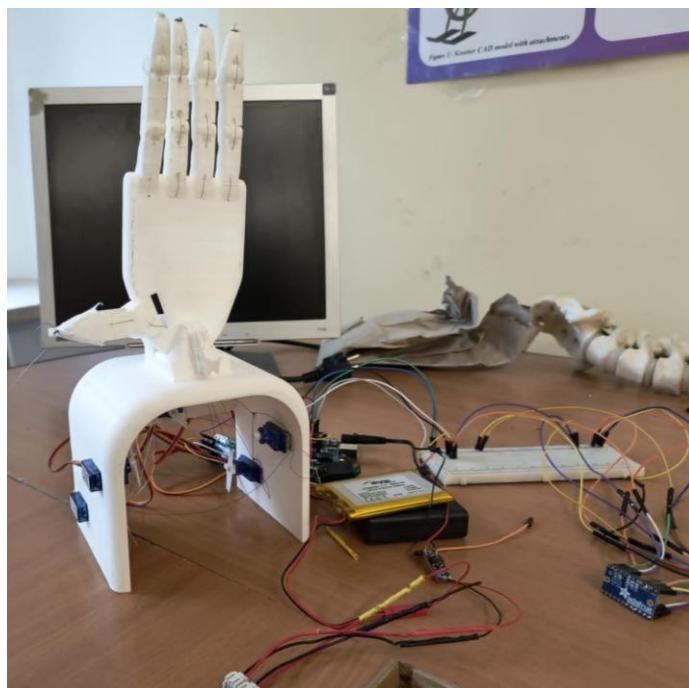
podłączenie za pomocą przewodu z wejściem USB typu C. Główna jednostka sterownicza stanowi połączenie między żyroskopami a sterownikiem. Czujniki odbierają wartość zmiany położenia przesyłaną następnie do multipleksera, który przekazuje informacje do mikroprocesora. Arduino Uno przekształca ją na wartość położenia kąowego skąd ta informacja jest przesyłana do sterownika decydującego, który z serwomechanizmów ma zmienić swoje położenie. W celu zachowania połączenia między żyroskopami, multiplekserem i mikroprocesorem zastosowana została płytki prototypowa. Żyroskopy znajdują się poza obudową, jednakże należą do tej samej grupy. Do multipleksera podłączonych jest pięć z nich, każdy odpowiada zmianie położenia osobnego palca.



Rysunek 7. Przedstawienie grupy obudowy elektroniki [opracowanie własne]

3. Wyniki i podsumowanie

W wyniku projektu wykonany został prototyp urządzenia, mający odwzorować najważniejsze fragmenty ruchowe dłoni (rys. 8). Przedstawione rozwiązanie wykorzystuje metody wspomniane we wcześniejszym rozdziale w celu zachowania jak najwyższej jakości przy jak najniższych kosztach wytwarzania. Stworzenie wstępnej wersji projektu pozwoliło zaobserwować problemy wynikające z konstrukcji oraz opcje rozwoju projektu w przyszłości.



Rysunek 8. Przedstawienie prototypu urządzenia [opracowanie własne]

W trakcie wykonywania prototypu projekt zmieniał swój kształt. Pierwsza wersja składała się z dwóch paliczków w celu weryfikacji sposobu działania. Łączenia paliczków również uległy zmianie. W pierwszych koncepcjach były wykonane za pomocą połączenia śrubowego, jednakże łeb śruby blokował sąsiadujący palec. W związku z tym koncept został zmieniony na pojedynczy wydrukowany element. Podstawa również uległa zmianie. Pierwotny plan obejmował zbyt mały obszar, przez co utrudnione było umieszczenie serwomechanizmów. Najistotniejsza zmiana dotyczyła sztucznych ścięgien sterujących palczkami. Początkowo w celach testu stosowana była nić dentystyczna, jednakże rozwiązanie to było nieprecyzyjne i ulegało nadmiernemu rozciąganiu w wyniku korzystania. Ostateczna wersja zawiera poliamidowe nicie, słynące z mniejszej rozciągliwości i większej wytrzymałości mechanicznej. Nie tylko fragment mechaniczny uległ zmianom ale również element elektroniczny. Początkowo zastosowany akumulator posiadał zbyt małą pojemność, przez co niezbędna była wymiana na wariant o pojemności 3000 mAh. To samo dotyczyło sterownika serwomechanizmów. Ze względu na charakterystykę wykorzystanego sterowania niezbędnym było zastosowanie konkretnego sterownika PCA9685.

Urządzenie w pełni funkcjonuje, wykonuje ruchy zginania i prostowania dla każdego skonstruowanego palca zgodnie z ruchem czujników położenia. Jedynym elementem, który nie został wykonany zgodnie z projektem jest obudowa na elektronice. Powodem ku tej decyzji była cena oraz czas wyprodukowania tej części. Urządzenia sterujące nie zmieniły się względem projektu. Proces połączenia części zajął dużo czasu, szczególnie przewlekanie poliamidowej linki przez każdy z paliczków. Połączenie elektroniki nie wymagało sprawiło większych problemów. Uzyskany biomanipulator może być wykorzystywany poprzez umiejscowienie czujników w rękawicy, co bezpośrednio stanowiłoby kontroler. Prototyp pozwala na korzystanie z przyrządów zdalnie stąd też można go wykorzystać tam gdzie istnieje wysokie zagrożenie wynikające np. z niekorzystnych warunków temperaturowych bądź atmosferycznych jak laboratoria medyczne.

Ze względu na wykorzystanie materiałów charakterystycznych dla techniki przyrostowej FDM jakość modelu jest dobra. Mimo tego może ona zostać poprawiona przez materiały imitujące tkanki ludzkie, bądź odporne na działania silnie kwasowych środowisk. Pierwszy wariant pozwoliłby biomanipulatorowi na bardziej realne imitowanie ludzkiej ręki co jest kluczowym elementem. W sytuacji większego zbliżenia do warunków fizycznych człowieka pozwoliłoby na przełamanie bariery między człowiekiem po amputacji a jednostką zdrową. Gdyby urządzenie zostało wykorzystane do zdalnej manipulacji można by zachować jej nienaturalny wygląd oraz zastosować materiały o innych właściwościach np. kwasoodporności czy odporności na temperaturę.

Poza zmianami materiałowymi należy uwzględnić potencjalne zmiany elektroniki. Głównym celem w przyszłych przebudować będzie rozdzielenie biomanipulatora oraz systemu sterowania. Zostanie to wykonane za pomocą modułu komunikacji bluetooth przekazującego informacje do mikroprocesora w sposób zdalny. Wymusiłoby to skonstruowanie w pełni sprawnej rękawicy sterującej wraz z osobnym akumulatorem. Poza tym połączenie źródła energii zasilania serwomechanizmów oraz układu sterowania również wpłynęłoby na komfort użytkowania. Ciągła wymiana baterii oraz osobne ładowanie mikroprocesora może być mylące i powodować wrażenie uszkodzenia elektroniki. Ze względu na cenę do wykonania prototypu zastosowano serwomechanizmy. Są one nieprecyzyjne i działają w wolny sposób. Dobrym ulepszeniem dla projektu byłoby zastosowanie silników krokowych. Pozwoliłoby to na wykonywanie bardziej precyzyjnych, dokładnych i realnych ruchów zbliżonych do tych wykonywanych przez zdrowego człowieka. Dodatkową propozycją są tensometry. Pozwalałyby one na analizę nacisku na daną strukturę co pozwoliłoby na dodanie funkcji awaryjnej przy bardziej wrażliwych przedmiotach bądź w sytuacjach codziennego użytku pozwoliłyby na modyfikacje prędkości ruchów zginania i prostowania.

Bibliografia

1. Zuo, K. J., & Olson, J. L. (2014). The evolution of functional hand replacement: From iron prostheses to hand transplantation. *Plastic Surgery*, 22(1), 44-51.
2. Fahrenkopf, M. P., Adams, N. S., Kelpin, J. P., & Do, V. H. (2018). Hand amputations. *Eplasty*, 18, ic21.
3. Maw, J., Wong, K. Y., & Gillespie, P. (2016). Hand anatomy. *British Journal of Hospital Medicine*, 77(3), C34-C40.
4. Friedrich, J. B., & Vedder, N. B. (2011). Thumb reconstruction. *Clinics in Plastic Surgery*, 38(4), 697-712.
5. Imaeda, T., An, K. N., & Cooney III, W. P. (1992). Functional anatomy and biomechanics of the thumb. *Hand clinics*, 8(1), 9-15.
6. Freivalds, A. (2011). *Biomechanics of the upper limbs: mechanics, modeling and musculoskeletal injuries*. CRC press.
7. Solomon, I. J., Sevvel, P., & Gunasekaran, J. J. M. T. P. (2021). A review on the various processing parameters in FDM. *Materials Today: Proceedings*, 37, 509-514.

Wykaz stron internetowych:

8. <https://www.solidworks.pl>
9. www.grabcad.com
10. <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>

5. HYBRYDOWE PODEJŚCIE DEEP LEARNING DO DETEKCJI MASEK OCHRONNYCH W CZASIE RZECZYWISTYM Z WYKORZYSTANIEM YOLOV8 I MOBILENETV2

Szymon Majca

Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Gdynia, Polska

Ul. Baranaukasa 4/20 81-577 Gdynia

E-mail: szymon.majca@gmail.com

Streszczenie: Niniejszy artykuł przedstawia projekt, implementację oraz ewaluację dwuetapowego systemu do automatycznej detekcji masek ochronnych na twarzach w czasie rzeczywistym. W obliczu globalnych wyzwań epidemiologicznych, automatyzacja monitorowania zgodności ze środkami ochrony osobistej stała się kluczowym zagadnieniem w dziedzinie zdrowia publicznego i bezpieczeństwa. Proponowane rozwiązanie opiera się na hybrydowym podejściu, które synergicznie łączy dwa wyspecjalizowane modele głębokiego uczenia. W pierwszym etapie, do precyzyjnej i szybkiej lokalizacji twarzy w strumieniu wideo wykorzystano ultralekki model detekcji obiektów YOLOv8n-face. W drugim etapie, wyodrębniony obszar twarzy jest poddawany binarnej klasyfikacji przez autorski model oparty na architekturze MobileNetV2, wytrenowany z zastosowaniem techniki uczenia transferowego (transfer learning) do rozróżniania obecności lub braku maseczki. Proces trenowania klasyfikatora uwzględniał zaawansowane techniki augmentacji danych w celu zwiększenia jego zdolności do generalizacji. System został zaimplementowany w języku Python z wykorzystaniem bibliotek TensorFlow/Keras, OpenCV oraz Ultralytics. Testy końcowe, przeprowadzone na obrazie z kamery w czasie rzeczywistym, potwierdziły wysoką skuteczność i płynność działania systemu, który prawidłowo identyfikował osoby z poprawnie założoną maseczką, bez maseczki, a także klasyfikował nieprawidłowo noszoną maseczkę jako jej brak. Osiągnięta dokładność walidacyjna modelu przekraczająca 90% dowodzi potencjału praktycznego zastosowania systemu w miejscach użyteczności publicznej, takich jak szpitale, przychodnie czy systemy kontroli dostępu.

Słowa kluczowe: detekcja maseczek, uczenie głębokie, YOLOv8, MobileNetV2, wizja komputerowa, transfer learning, klasyfikacja obrazów, sieci konwolucyjne

1. Wprowadzenie

Sztuczna inteligencja (AI), a w szczególności jej subdyscypliny – uczenie maszynowe (ML) i uczenie głębokie (DL), zrewolucjonizowały w ostatnich latach dziedzinę wizji komputerowej (Computer Vision). Zdolność systemów AI do analizy i interpretacji danych wizualnych na poziomie zbliżonym do ludzkiego otworzyła drogę do rozwiązywania złożonych problemów praktycznych, od autonomicznych pojazdów po diagnostykę medyczną. Jednym z takich wyzwań, które nabrało szczególnego znaczenia w kontekście pandemii COVID-19, jest potrzeba automatycznego monitorowania przestrzegania zasad sanitarnych, w tym obowiązku noszenia maseczek ochronnych w przestrzeni publicznej.

Celem niniejszego projektu było opracowanie i wdrożenie efektywnego, działającego w czasie rzeczywistym systemu do automatycznego wykrywania, czy osoba widoczna w polu widzenia kamery ma prawidłowo założoną maseczkę ochronną. Zadanie to, choć z pozoru

proste, stanowi typowy problem klasyfikacyjny w obszarze wizji komputerowej, wymagający niezawodności i odporności na zmienne warunki, takie jak oświetlenie, kąt ujęcia twarzy czy częściowe przesłonięcia.

Uczenie głębokie, oparte na architekturach wielowarstwowych sieci neuronowych, symulujących do pewnego stopnia działanie ludzkiego mózgu, jest obecnie najskuteczniejszym podejściem do zadań związanych z analizą obrazów. W szczególności Konwolucyjne Sieci Neuronowe (CNN) udowodniły swoją wyższość dzięki zdolności do automatycznego uczenia się i wyodrębniania hierarchicznych cech z danych wizualnych – od prostych krawędzi i tekstur w początkowych warstwach, po złożone obiekty w warstwach głębszych.

W ramach tego projektu zdecydowano się na wykorzystanie hybrydowej architektury, łączącej dwa wyspecjalizowane modele. Pierwszy z nich odpowiada za detekcję obiektu (twarzy), a drugi za jego klasyfikację (obecność maseczki). Takie podejście pozwala na optymalizację wydajności i dokładności, delegując każde zadanie do narzędzia, które jest do niego najlepiej przystosowane. Niniejszy artykuł szczegółowo opisuje zastosowane technologie, proces trenowania modelu klasyfikacyjnego, architekturę systemu oraz prezentuje wyniki testów, potwierdzające jego wysoką skuteczność.

2. Przegląd Istniejących Rozwiązań i Technologii

Dziedzina wizji komputerowej dysponuje szerokim wachlarzem narzędzi, bibliotek i gotowych architektur, które znacząco ułatwiają i przyspieszają proces tworzenia zaawansowanych systemów. Do najpopularniejszych frameworków należą TensorFlow (rozwijany przez Google) oraz PyTorch (rozwijany przez Facebook AI Research). TensorFlow, wraz ze swoim wysokopoziomowym API Keras, oferuje intuicyjną składnię do szybkiego budowania i trenowania sieci neuronowych, co czyni go częstym wyborem w projektach komercyjnych i badawczych. Uzupełnieniem tych narzędzi jest biblioteka OpenCV, skoncentrowana na przetwarzaniu obrazów i wideo w czasie rzeczywistym, która jest nieoceniona na etapie wstępnej obróbki danych.

W kontekście zadań detekcji i klasyfikacji obiektów, praktyka inżynierska często opiera się na wykorzystaniu wstępnie wytrenowanych architektur CNN. Modele takie jak VGG, ResNet czy MobileNet zostały wytrenowane na ogromnych, zróżnicowanych zbiorach danych, takich jak ImageNet, zawierającym miliony obrazów. Dzięki temu procesowi nauczyły się one rozpoznawać bogaty zestaw uniwersalnych cech wizualnych.

Technika uczenia transferowego (transfer learning) pozwala na zaadaptowanie tej "wiedzy" do nowego, bardziej specyficznego zadania, co drastycznie skraca czas trenowania i zmniejsza zapotrzebowanie na dane treningowe, jednocześnie poprawiając końcową efektywność modelu.

Zadanie wykrywania maseczek można realizować na dwa sposoby: jako problem detekcji jednego obiektu ("twarz z maseczką") lub jako proces dwuetapowy – najpierw detekcja twarzy, a następnie jej klasyfikacja. Nowoczesne modele detekcji obiektów, takie jak YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot MultiBox Detector) czy Faster R-CNN, są zoptymalizowane pod kątem szybkości i precyzji, umożliwiając działanie w czasie rzeczywistym. YOLO, w szczególności, jest znane z doskonałego kompromisu między prędkością a dokładnością, co czyni je idealnym kandydatem do systemów wymagających natychmiastowej analizy strumienia wideo.

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania, wybór odpowiednich technologii zależy od specyfiki projektu, dostępnych zasobów obliczeniowych i wymagań dotyczących wydajności. Podejście hybrydowe, łączące szybki detektor ogólnego przeznaczenia (do lokalizacji twarzy) z lekkim, wyspecjalizowanym klasyfikatorem (do oceny obecności maseczki), jest obecnie powszechną i efektywną praktyką w budowaniu tego typu systemów.

3. Opis Zastosowanej Metodologii i Architektury Systemu

Zaprojektowany system opiera się na sekwencyjnym przetwarzaniu klatek wideo, realizowanym przez dwa współpracujące ze sobą modele sztucznej inteligencji. Taka architektura zapewnia wysoką wydajność i modułowość.

3.1. Etap 1: Detekcja Twarzy z Użyciem YOLOv8

Pierwszym i kluczowym krokiem w procesie analizy jest zlokalizowanie wszystkich twarzy obecnych w danej klatce obrazu. Do tego zadania wybrano model

YOLOv8 w wersji "nano" (yolov8n-face.pt), który jest wysoce zoptymalizowany pod kątem szybkości działania, co jest niezbędne do płynnej pracy w czasie rzeczywistym. YOLO (You Only Look Once) to rodzina modeli detekcji obiektów, która traktuje zadanie detekcji jako pojedynczy problem regresji, bezpośrednio mapując piksele obrazu na współrzędne ramek otaczających (bounding boxes) i prawdopodobieństwa klas. Model YOLOv8 jest wykorzystywany wyłącznie jako narzędzie do identyfikacji regionów zainteresowania (ROI), czyli prostokątnych obszarów zawierających ludzkie twarze. Dla każdej wykrytej twarzy model zwraca jej współrzędne (x1,y1,x2,y2), które następnie służą do wycięcia fragmentu obrazu do dalszej analizy.

3.2. Etap 2: Klasyfikacja Maseczki z Użyciem Własnego Modelu MobileNetV2

Sercem systemu jest autorski model klasyfikacyjny, odpowiedzialny za podjęcie ostatecznej decyzji: czy na wyciętym fragmencie twarzy znajduje się maseczka. Model ten został zbudowany w oparciu o architekturę MobileNetV2 z zastosowaniem techniki uczenia transferowego. Wybór MobileNetV2 był podyktowany jego wyjątkową wydajnością obliczeniową, wynikającą z zastosowania tzw. splotów rozdzielnych w głąb (depthwise separable convolutions), co czyni go idealnym do zastosowań na urządzeniach o ograniczonych zasobach.

Architektura klasyfikatora składa się z dwóch głównych części:

1. Baza (Base Model): Wykorzystano model MobileNetV2 z wagami wstępnie wytrenowanymi na zbiorze danych ImageNet. Warstwy splotowe tej części modelu zostały "zamrożone" (layer.trainable = False), co oznacza, że ich wagi nie były modyfikowane podczas naszego procesu trenowania. Baza pełni rolę potężnego ekstraktora cech, który nauczył się rozpoznawać uniwersalne wzorce wizualne.
2. Głowa (Head Model): Do zamrożonej bazy dołączono własną, niestandardową sekwencję warstw, która została wytrenowana od zera na naszym specyficznym zbiorze danych dotyczącym maseczek. Głowa składa się z następujących warstw:
 - AveragePooling2D: Redukuje wymiary map cech, uśredniając wartości, co pomaga w zmniejszeniu liczby parametrów i zapobiega przeuczeniu.
 - Flatten: Przekształca wielowymiarową mapę cech w jednowymiarowy wektor.

- Dense(128, activation="relu"): W pełni połączona warstwa ze 128 neuronami i funkcją aktywacji ReLU, odpowiedzialna za uczenie się nieliniowych kombinacji cech.
- Dropout(0.5): Warstwa regularyzacyjna, która losowo "wyłącza" 50% neuronów podczas każdej iteracji treningowej, aby zapobiec nadmiernemu dopasowaniu modelu do danych treningowych.
- Dense(1, activation="sigmoid"): Warstwa wyjściowa z jednym neuronem i sigmoidalną funkcją aktywacji, która zwraca wartość z przedziału od 0 do 1. Wynik ten jest interpretowany jako prawdopodobieństwo przynależności do jednej z klas.

3.3. Przepływ Danych i Implementacja

Cały proces, od przechwycenia klatki z kamery do wyświetlenia wyniku, został zaimplementowany w języku Python. Przebiega on następująco:

1. Przechwycenie obrazu: Za pomocą biblioteki OpenCV, system pobiera klatkę wideo z kamery.
2. Detekcja twarzy: Klatka jest przekazywana do modelu YOLOv8, który zwraca listę ramek otaczających wykryte twarze.
3. Przetwarzanie wstępne: Dla każdej wykrytej twarzy, odpowiadający jej fragment obrazu jest wycinany, a następnie poddawany preprocessingowi:
 - Zmiana rozmiaru do 224x224 pikseli, aby dopasować go do wymiarów wejściowych modelu MobileNetV2.
 - Normalizacja wartości pikseli do zakresu [0, 1] poprzez podzielenie przez 255.0.
4. Klasyfikacja: Przygotowany obraz twarzy jest przekazywany do wytrenowanego modelu klasyfikacyjnego MobileNetV2, który zwraca pojedynczą wartość (predykcję).
5. Interpretacja wyniku: Predykcja jest porównywana z progiem 0.5. Wartość poniżej progu jest interpretowana jako "Maska", a powyżej jako "Brak maski".
6. Wizualizacja: Na oryginalnej klatce wideo, wokół wykrytej twarzy rysowana jest ramka. Kolor ramki (zielony dla maski, czerwony dla jej braku) oraz odpowiednia etykieta tekstowa wizualizują wynik klasyfikacji w sposób czytelny dla użytkownika.

4. Proces Trenowania i Ewaluacja Modelu

Skuteczność klasyfikatora zależy w decydującej mierze od jakości danych treningowych i prawidłowo przeprowadzonego procesu uczenia.

4.1. Zbiór Danych i Augmentacja

Do trenowania modelu wykorzystano gotowy zbiór danych z platformy Kaggle, który został podzielony na dwa podzbiory: treningowy i walidacyjny. W celu poprawy zdolności modelu do generalizacji i uodpornienia go na zmienność danych w rzeczywistych zastosowaniach, zastosowano rozbudowane techniki augmentacji danych na zbiorze treningowym. Operacje te, realizowane przez ImageDataGenerator z Keras, obejmowały:

- Losowe obroty obrazu (do 20 stopni).
- Losowe przybliżenia i oddalenia (zoom).
- Losowe przesunięcia w poziomie i w pionie.

- Losowe odbicia lustrzane w poziomie.

Techniki te sztucznie powiększają zbiór treningowy, generując nowe, realistyczne warianty istniejących zdjęć, co jest jedną z najskuteczniejszych metod walki z przeuczeniem (overfitting).

4.2. Parametry i Przebieg Trenowania

Model został skompilowany z wykorzystaniem optymalizatora Adam, który jest adaptacyjnym algorytmem optymalizacji dobrze sprawdzającym się w szerokim zakresie problemów uczenia głębokiego. Ustawiono początkowy współczynnik uczenia (learning rate) na niską wartość $1 \cdot 10^{-4}$ (0.0001), co jest typową praktyką przy dostrajaniu (fine-tuning) modeli z uczeniem transferowym. Jako funkcję straty wybrano `binary_crossentropy`, odpowiednią dla problemów klasyfikacji binarnej.

Proces trenowania trwał 20 epok, a wielkość paczki (batch size) ustawiono na 32. Podczas uczenia zastosowano mechanizm ModelCheckpoint, który monitorował dokładność na zbiorze walidacyjnym (`val_accuracy`) i automatycznie zapisywał na dysku wagi modelu, który osiągnął najlepszy wynik. Dzięki temu po zakończeniu trenowania dysponujemy optymalną wersją modelu, a niekoniecznie tą z ostatniej epoki.

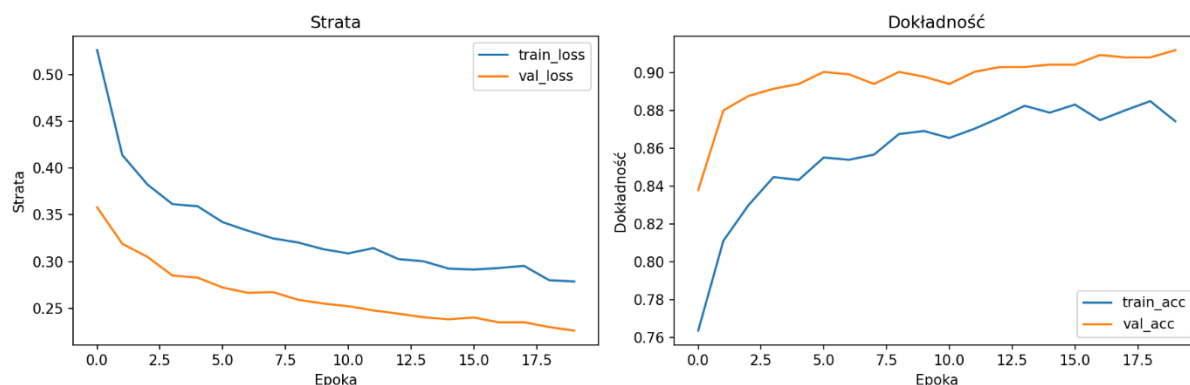
5. Wyniki i Dyskusja

5.1. Wyniki Ilościowe

Po zakończeniu procesu trenowania, wygenerowano wykresy przedstawiające przebieg funkcji straty (loss) oraz dokładności (accuracy) w kolejnych epokach, zarówno dla zbioru treningowego, jak i walidacyjnego.

Rysunek 1: Wykresy straty (po lewej) i dokładności (po prawej) w trakcie 20 epok trenowania. Analiza wykresów (Rysunek 1) pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- Krzywa straty (Loss): Zarówno strata treningowa (`train_loss`), jak i walidacyjna (`val_loss`) systematycznie maleją, co wskazuje, że model skutecznie uczył się minimalizować błąd predykcji. Krzywa walidacyjna jest wygładzona i nie wykazuje tendencji wzrostowej, co świadczy o braku silnego przeuczenia.
- Krzywa dokładności (Accuracy): Dokładność na obu zbiorach rośnie wraz z postępem trenowania. Model osiągnął na zbiorze walidacyjnym finalną dokładność na poziomie powyżej 90%, co jest wynikiem bardzo zadowalającym i potwierdzającym skuteczność wybranej architektury i strategii uczenia.



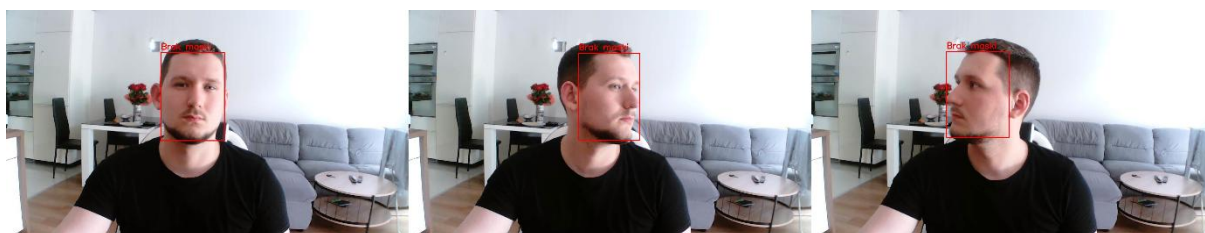
Rysunek 1

Niewielka różnica między metrykami treningowymi a walidacyjnymi jest zjawiskiem naturalnym i świadczy o dobrej zdolności modelu do generalizacji na nowe, niewidziane wcześniej dane.

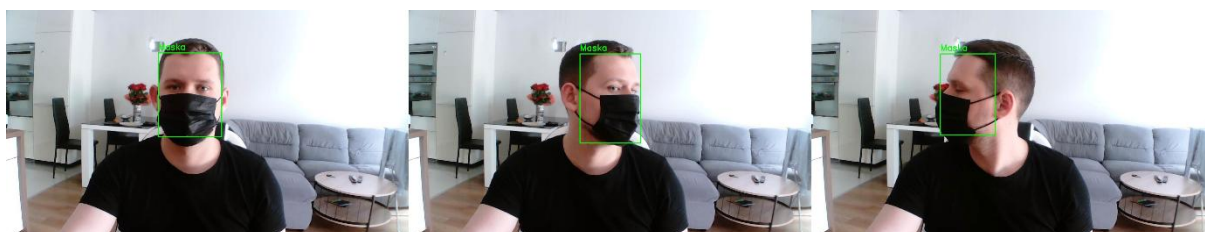
5.2. Wyniki Jakościowe

Ostatecznym testem dla systemu była jego weryfikacja w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem obrazu z kamery. Przeprowadzono serię testów na osobie, w trzech kluczowych konfiguracjach:

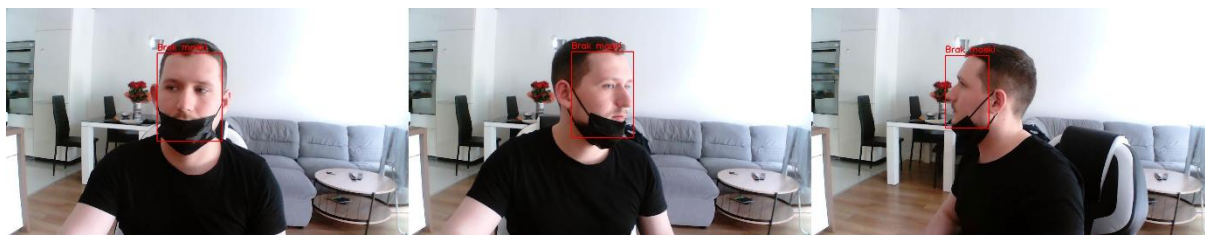
1. Osoba bez maseczki: System poprawnie wykrywał twarz i klasyfikował ją etykietą "Brak maski", oznaczając ramkę otaczającą na czerwono. (Rysunek 2)
2. Osoba z prawidłowo założoną maseczką: System bezbłędnie identyfikował obecność maseczki, przypisując etykietę "Maska" i zielony kolor ramki. (Rysunek 3)
3. Osoba z nieprawidłowo założoną maseczką (np. pod nosem): W tym krytycznym przypadku, model również działał zgodnie z założeniami, klasyfikując taką sytuację jako "Brak maski". Jest to niezwykle istotna cecha z punktu widzenia praktycznego zastosowania, ponieważ nieprawidłowo noszona maseczka nie spełnia swojej funkcji ochronnej. (Rysunek 4)



Rysunek 2.



Rysunek 3.



Rysunek 4.

Testy potwierdziły, że zintegrowany system działa płynnie, a połączenie szybkiej detekcji YOLOv8 z precyzyjną klasyfikacją MobileNetV2 jest wysoce efektywne.

6. Podsumowanie i Wnioski

W ramach niniejszej pracy pomyślnie zrealizowano cel projektu, którym było stworzenie w pełni funkcjonalnego systemu do automatycznego rozpoznawania maseczek ochronnych na twarzy w czasie rzeczywistym. Zastosowane hybrydowe podejście, łączące wyspecjalizowane modele do detekcji (YOLOv8) i klasyfikacji (MobileNetV2), okazało się skuteczną strategią, pozwalającą uzyskać wysoką dokładność przy jednoczesnym zachowaniu płynności działania.

Kluczowe wnioski płynące z realizacji projektu są następujące:

- Technika uczenia transferowego w połączeniu z lekką architekturą MobileNetV2 pozwoliła na szybkie wytrenowanie wysoce dokładnego klasyfikatora przy ograniczonych zasobach.
- Augmentacja danych była fundamentalnym elementem procesu treningowego, który znacząco przyczynił się do zdolności generalizacji modelu i jego odporności na zmienność warunków w rzeczywistym świecie.
- System wykazuje duży potencjał praktyczny i może być z powodzeniem zastosowany w systemach kontroli dostępu, monitoringu w obiektach użyteczności publicznej czy jako narzędzie wspomagające egzekwowanie zasad sanitarnych w dobie zagrożeń epidemiologicznych.

Projekt ten stanowi udane praktyczne zastosowanie wiedzy teoretycznej z zakresu sztucznej inteligencji i uczenia głębokiego. Demonstruje, jak nowoczesne narzędzia, takie jak TensorFlow i YOLO, mogą być wykorzystane do tworzenia zaawansowanych i użytecznych systemów wizji komputerowej, odpowiadających na realne potrzeby społeczne. Dalszy rozwój projektu mógłby obejmować optymalizację modeli do wdrożenia na urządzeniach wbudowanych (edge AI) lub rozszerzenie klasyfikacji o rozpoznawanie różnych typów maseczek.

6. STATYSTYCZNE STEROWANIE PROCESEM (SPC) I LEAN MANAGEMENT JAKO METODY DOSKONALENIA JAKOŚCI PROCESÓW

Konrad Piętka

Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

E-mail: pietka@agh.edu.pl

Szymon Ziaja

Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami

Katedra Ekonomiki i Zarządzania w Przemysle

E-mail: sziaja@agh.edu.pl

1. Wstęp

W warunkach dynamicznie zmieniającego się otoczenia rynkowego oraz rosnących wymagań klientów, organizacje są zmuszone do nieustannego doskonalenia swoich procesów produkcyjnych i usługowych. Kluczowe znaczenie ma tutaj jakość – rozumiana nie tylko jako zgodność wyrobu z wymaganiami, ale również jako efektywność i niezawodność całego procesu. W tym kontekście istotną rolę odgrywają narzędzia i metody zorientowane na jakość, takie jak Statystyczne Sterowanie Procesem (SPC) oraz Lean Management (zwane dalej LM).

Statystyczne Sterowanie Procesem to metoda oparta na analizie danych oraz zastosowaniu narzędzi statystycznych (m.in. kart kontrolnych Shewharta), które umożliwiają monitorowanie zmienności procesów oraz szybkie reagowanie na pojawiające się odchylenia. Dzięki SPC możliwe jest wykrywanie niepożądanych zmian w procesie i zapobieganie powstawaniu wad.

Z kolei Lean Management to podejście ukierunkowane na eliminację marnotrawstwa (tzw. muda), usprawnianie przepływu oraz ciągłe doskonalenie (kaizen). Poprzez identyfikację i eliminację czynności nieprzynoszących wartości, Lean przyczynia się do zwiększenia efektywności i redukcji kosztów operacyjnych. Zorientowanie na działania dodające wartość z punktu widzenia klienta są kluczowe w aspekcie wzrostu wartości dodanej organizacji.

W artykule przedstawiono najważniejsze założenia i podstawy SPC, jako metody doskonalenia procesów w ujęciu ich zmienności i stabilności wraz z najważniejszymi wskaźnikami i narzędziami (wskaźniki zdolności jakościowej, karty kontrolne). Zaprezentowano także najważniejsze zasady i narzędzia koncepcji LM (ze szczególnym uwzględnieniem filaru Jidoka – jakości wbudowanej w stanowisko pracy). Metodyki te służą doskonaleniu jakości procesów, poprzez wprowadzanie elementów predykcyjnych, mających na celu zapobieganie błędom i problemom jakościowym. Celem artykułu jest porównanie wybranych narzędzi i technik LM oraz SPC, z uwzględnieniem różnic i podobieństw, a także możliwości, zasadności i komplementarności ich stosowania.

Pomimo dostrzegalnych różnic połączenie SPC i LM pozwala na kompleksowe podejście do zarządzania jakością – z jednej strony poprzez precyzyjne monitorowanie i kontrolę procesów, z drugiej zaś przez systematyczne ich usprawnianie, a także wprowadzanie elementów predykcyjnych, mających na celu utrzymanie odpowiedniego poziomu jakości.

2. Lean Management

Lean Management to nowoczesna, a zarazem sprawdzona w praktyce koncepcja zarządzania, której celem jest dostarczanie klientowi maksymalnej wartości przy minimalnym zużyciu zasobów. Swoje korzenie ma w Toyota Production System (TPS) stworzonym przez Taiichi Ohno. W odróżnieniu od zachodnich modeli produkcji, opierających się na dużych partiach i wysokich zapasach, TPS kładł nacisk na wytwarzanie tylko tego, co jest faktycznie potrzebne, eliminację działań niedodających wartości oraz zatrzymywanie procesu, gdy wykryto błąd [Ohno, 1988; Pawłyszyn, 2017].

Sam termin lean po raz pierwszy został użyty przez Johna F. Krafca w 1988 r., a spopularyzowali go James P. Womack, Daniel T. Jones i Daniel Roos w przełomowej pracy *The Machine That Changed the World* [Pawłyszyn, 2017; Womack, Jones, Roos, 1990]. Autorzy ci zdefiniowali pięć kluczowych zasad, które do dziś pozostają fundamentem podejścia Lean [Womack i in., 1990]. Są to:

- Określenie wartości – z perspektywy klienta.
- Mapowanie strumienia wartości.
- Zapewnienie nieprzerwanego przepływu procesów – ciągły przepływ.
- System ssący (pull) – produkcja na podstawie rzeczywistego zapotrzebowania.
- Dążenie do doskonałości poprzez ciągłe doskonalenie (kaizen).

W ujęciu praktycznym Lean oznacza zmianę kultury organizacyjnej - od sztywnej hierarchii do środowiska, w którym wszyscy pracownicy są zaangażowani w doskonalenie procesów i eliminację marnotrawstw. Lider w organizacji lean nie skupia się na szybkim „gaszeniu pożarów”, ale na stabilnym, powtarzalnym procesie rozwiązywania problemów i rozwoju ludzi [Grobelak, 2023; Liker, 2004].

Zasadniczym elementem koncepcji Lean jest pojęcie muda – marnotrawstwa, czyli działań, które nie tworzą wartości dodanej w procesach. Taiichi Ohno wyróżnił siedem podstawowych rodzajów marnotrawstwa: nadprodukcja, oczekiwanie, zbędny transport, nadmierne przetwarzanie, nadmierne zapasy, zbędne ruchy oraz wady [Ohno, 1988; Pawłyszyn, 2017].

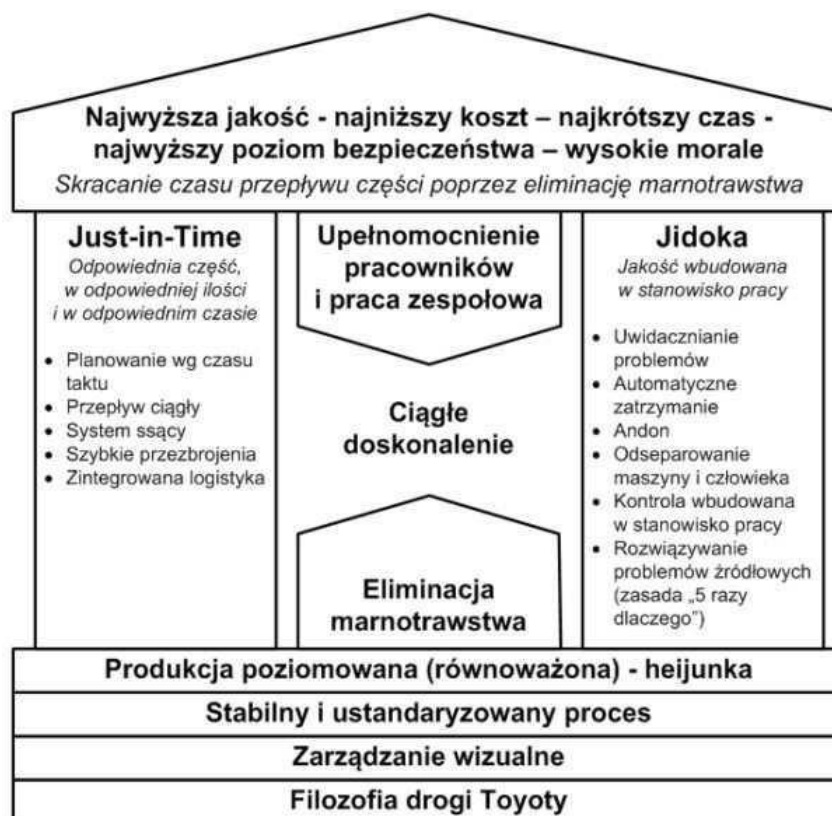
Współczesne opracowania wskazują także na ósmy rodzaj marnotrawstwa, którym jest niewykorzystany potencjał pracowników. To właśnie to marnotrawstwo coraz częściej uznaje się za najgroźniejsze, ponieważ jego eliminacja pozytywnie wpływa na redukcję wszystkich pozostałych [Grobelak, 2023; Liker 2004]. W ujęciu współczesnym chodzi o niewykorzystany potencjał pracowników, który ogranicza kreatywność, innowacyjność i zaangażowanie w doskonalenie procesów.

Jednocześnie, w klasycznym podejściu Lean wywodzącym się z Toyota Production System, za „matkę wszystkich marnotrawstw” uznaje się nadprodukcję - wytwarzanie większej liczby wyrobów, niż wynika to z rzeczywistego zapotrzebowania. Nadprodukcja generuje kaskadę kolejnych strat: wymusza zwiększone zapasy, dodatkowy transport, wydłuża czasy

realizacji, a często prowadzi do przetwarzania produktów, które ostatecznie nie zostaną sprzedane [Ohno, 1988; Womack i in. 1990].

Implementacja Lean Manufacturing przebiega zazwyczaj w trzech kluczowych etapach, które służą stopniowemu uporządkowaniu środowiska pracy, standaryzacji procesów i wprowadzeniu mechanizmów ciągłego doskonalenia. Są to:

- standaryzacja wykorzystywanych czynników produkcji,
- standaryzacja procesu produkcji i produktu,
- ciągłe doskonalenie



Rysunek 1. „Dom” Systemu Produkcyjnego Toyoty

Źródło: [Migza i Bogacz, 2015].

Podstawą „Domu Toyoty” są stabilne i standaryzowane procesy, wspierane przez zarządzanie wizualne i produkcję wyrównaną. Kluczowe znaczenie ma standaryzacja pracy, która zapewnia przewidywalność i stabilność produkcji. Pierwszy filar – Just-in-Time (JIT) – polega na dostarczaniu dokładnie tego, co jest potrzebne, we właściwym czasie i miejscu, co minimalizuje zapasy i skraca czas realizacji. Drugi filar – Jidoka – oznacza wbudowaną kontrolę jakości, automatyczne wykrywanie wad i wspólne rozwiązywanie problemów.

Koncepcja Lean Management jest oparta na cyklu Deminga poprzez zastosowanie podejścia ciągłego doskonalenia (kaizen), czyli stałego usprawniania procesów poprzez spotkania zespołów, identyfikację problemów i wprowadzanie ulepszeń. Celem jest dostarczanie klientom najwyższej jakości produktów przy minimalnych kosztach, w jak najkrótszym czasie i bez marnotrawstwa, co w efekcie zwiększa efektywność firmy [Migza i Bogacz, 2015; Ohno, 1988; Womack i in. 1990].

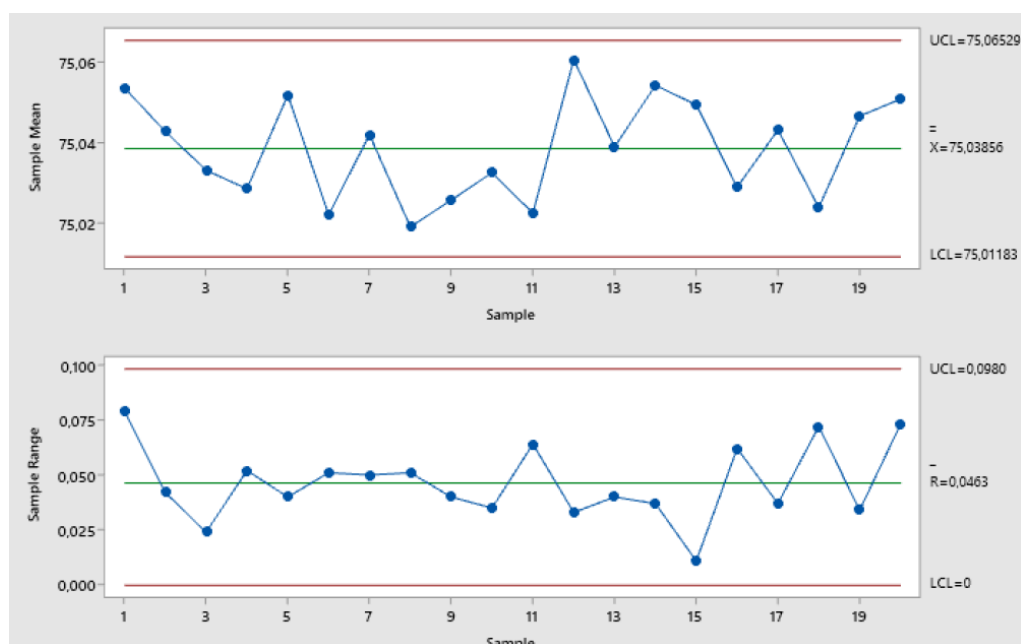
3. Statystyczne sterowanie procesem (SPC)

SPC (ang. Statistical Process Control) jest metodą statystycznego sterowania procesem przeznaczoną do gromadzenia i prezentowania danych opisujących zmienność warunków i charakterystyk przebiegu procesu. Jest to bieżąca, czyli realizowana w rzeczywistym czasie przebiegu (on-line) kontrola procesu, służąca do wykrywania jego ewentualnych rozregulowań i w konsekwencji prowadząca do stałej poprawy jego jakości. Celem stosowania SPC jest zmniejszanie zmienności na wejściu i wyjściu, a następnie usuwanie ich przyczyn. W ramach SPC bada się, z jaką naturalną zmiennością, czyli z jakim rozproszeniem wyników pomiaru, wykonywany jest proces produkcyjny i jaka jest jego zdolność do spełnienia wymagań klienta określonych specyfikacjami. Nie wystarczy już w ramach jakości utrzymać proces w granicach tolerancji. Dąży się do jego ciągłego doskonalenia przez minimalizację wielkości rozrzutu i centralizację wartości średnich procesu [Sałaciński 2011]. Do najważniejszych narzędzi wykorzystywanych w ramach prowadzenia SPC zalicza się:

- karty kontrolne,
- wskaźniki zdolności procesu.

Karta kontrolna, za której autora uważa się W.A. Shewharta to wykres wybranej statystyki procesu, na który nanosi się wartości statystyk nadzorowanej wielkości, obliczonych z próbek pobieranych z procesu w ustalonych odstępach czasu. Statystyka to np. wartość średnia, mediana, rozstęp, odchylenie standardowe, frakcja jednostek niezgodnych, liczba niezgodności na jednostkę i inne, obliczone z pomiarów lub oceny wybranej właściwości procesu lub powstającego w nim produktu. Wartości obliczonych statystyk są nanoszone na wykres w kolejności, w jakiej pobierane są próbki [Hamrol, 2018, s. 314]. Podstawowy podział rozróżnia karty kontrolne do oceny liczbowej oraz karty kontrolne do oceny atrybutowej (alternatywnej). Podział ten jest determinowany charakterem danych, na podstawie których prowadzimy analizę procesu/produktu. Dane liczbowe występują w przypadku szeroko rozumianych pomiarów (np. długości, lepkości, masy). Są to zazwyczaj dane występujące na tzw. skali ciągłej, czyli możliwe jest uzyskanie każdego wyniku w określonym zakresie. Dane alternatywne (atrybutowe) to dane pochodzące z kontroli (np. kontroli wzrokowej lub z wykorzystaniem sprawdzianów), gdzie wyroby klasyfikuje się jako dobre lub złe [Greber, 2005].

Przykładem karty kontrolnej stosowanej dla cech ocenianych liczbowo jest karta X-R, czyli karta wartości średniej i rozstępu. Na osi poziomej karty kontrolnej oznaczamy kolejne próbki pobierane do badania, natomiast na osi pionowej wartość obserwowanej charakterystyki. Linie centralne są określone przez wartość średniej z pomiarów (dla karty średniej) oraz rozstępu (dla karty rozstępu). Na karcie kontrolnej oznaczenia LCL i UCL wskazują odpowiednio na dolną oraz górną granicę kontrolną. Jeżeli dany punkt wykracza poza granice kontrolne to jest to sygnał alarmowy mogący świadczyć o ewentualnym rozregulowaniu procesu, co wymaga sprawdzenia i podjęcia odpowiednich działań. Podobnie wyróżnić można określone układy – sekwencje znajdujące się na karcie kontrolnej, które również mogą świadczyć o rozregulowaniu procesu czy też występowaniu zakłóceń specjalnych. Proces uznaje się za uregulowany, jeżeli punkty rozkładają się losowo wokół linii centralnej, a jednocześnie żaden z nich nie wykracza poza linie kontrolne. Przykładową konstrukcję karty kontrolnej przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Przykładowa karta kontrolna wartości średniej ($\bar{X}$ -śr.) i rozstępu (R)

Źródło: opracowanie własne.

Drugim kluczowym narzędziem wykorzystywanym w ramach SPC są wskaźniki zdolności procesu – C_p oraz C_{pk} . Wskaźniki te pozwalają na określenie, w jakim stopniu procesy spełniają stawiane im wymagania jakościowe. Wskaźniki jakościowe odnoszą się do wymagań, które definiuje klient względem konkretnej cechy. Wskaźnik C_p określa rozrzut procesu biorąc pod uwagę granice tolerancji. Informuje, ile razy szerokość procesu mieści się w polu tolerancji. Wskaźnik C_{pk} określa natomiast stopień wycentrowania procesu, a zatem informuje, w jakim stopniu wartość danej cechy odpowiada wartości nominalnej (określonej przez klienta) [Antosz i Kluz, 2018]. Do oceny zdolności procesu służą także wskaźniki wydajności procesu – P_p i P_{pk} . Uwzględniają one zmienność długoterminową w procesie, jednakże ocena procesu dokonywana jest na podstawie ograniczonych danych, gdy np. rozpoczynamy monitorowanie procesu. W przypadku C_p i C_{pk} uwzględniona jest zmienność krótkoterminowa. Dane do wyznaczenia C_p i C_{pk} powinny pochodzić ze stabilnego statystycznie procesu, a próbka powinna zostać zebrana w długim czasie i w zróżnicowanych warunkach (różni operatorzy, materiały, otoczenie).

Wskaźniki zdolności procesu stanowią wiarygodną ocenę zdolności procesu wówczas, gdy spełnione są następujące założenia [Kończak, 2007]:

- badany proces jest uregulowany i stabilny,
- charakterystyka opisująca badany proces ma rozkład normalny,
- pobrana próbka jest reprezentatywna,
- obserwacje do próby pobierane są w sposób niezależny.

4. Lean Management oraz Statystyczne Sterowanie Procesem – analiza porównawcza efektywności narzędzi doskonalących jakość procesów

Choć Lean Management (LM) i Statystyczne Sterowanie Procesem (SPC) mają ten sam nadrzędny cel - poprawę jakości i efektywności procesów - ich narzędzia działają na różnych poziomach. LM skupia się na organizacji pracy, eliminacji strat i tworzeniu wartości dodanej. SPC koncentruje się na kontroli statystycznej i wczesnym wykrywaniu odchyleń w procesie. W praktyce najlepiej sprawdzają się razem – LM porządkuje i stabilizuje proces, a SPC monitoruje, czy ta stabilizacja utrzymuje się w czasie [Krawczyk, 2023; Montgomery, 2019; Pawłyszyn, 2017].

Tabela 1. Porównanie kluczowych cech koncepcji Lean Management oraz Statistical Process Control (SPC)

Kryterium	Lean Management	SPC
Cel główny	Eliminacja marnotrawstwa, zwiększenie wartości dla klienta	Stabilizacja procesu, kontrola zmienności
Podejście	Systemowe, obejmujące całą organizację i kulturę pracy	Techniczne, skoncentrowane na analizie danych procesu
Przykłady wykorzystywanych metod i narzędzi	5S, VSM, Kanban, Kaizen, TPM, Poka-Yoke, SMED	Karty kontrolne, histogramy, diagramy Pareto, analiza przyczyn-efektów
Zakres	Strategiczny i operacyjny	Operacyjny i taktyczny
Zaangażowanie pracowników	Wysokie – wszyscy uczestnicy procesu	Wymaga kompetencji w zakresie analizy statystycznej
Orientacja czasowa	Ciągłe doskonalenie i usprawnienia	Ciągłe monitorowanie i prewencja błędów

Źródło: Opracowanie własne.

Badania i praktyka wskazują, że Lean Management lepiej sprawdza się w sytuacjach, gdy organizacja chce kompleksowo przebudować kulturę pracy, zwiększyć efektywność procesów i jednocześnie poprawić jakość [Liker, 2004; Krawczyk, 2023; Pawłyszyn, 2017]. Natomiast SPC jest szczególnie skuteczne, gdy procesy są już względnie ustabilizowane, a celem jest utrzymanie ich na wysokim poziomie jakościowym poprzez kontrolę statystyczną [Shewhart, 1931]. W praktyce najlepsze efekty osiąga się, łącząc oba podejścia - Lean eliminuje źródła strat i wprowadza standardy pracy, a SPC pozwala te standardy monitorować i utrzymywać w długim okresie [Montgomery, 2019; Shewhart, 1931].

Lean Management i SPC nie powinny być traktowane jako alternatywy, lecz jako komplementarne narzędzia doskonalenia jakości. LM buduje ramy organizacyjne i eliminuje marnotrawstwa, SPC dostarcza danych i analiz, które pomagają utrzymać i rozwijać wprowadzone usprawnienia. Organizacje, które potrafią integrować oba podejścia, uzyskują wyższy poziom stabilności procesów, mniejsze koszty jakości i większe zadowolenie klientów [Krawczyk, 2023; Pawłyszyn, 2017; Shewhart, 1931].

Tabela 2. Porównanie wybranych metod i narzędzi Lean Management oraz Statistical Process Control (SPC)

Kategoria działań	Przykłady metod i narzędzi Lean Management	Przykłady metod i narzędzi SPC	Komentarz porównawczy
Eliminacja źródeł problemów	5S, Kaizen, Poka-Yoke, TPM	Analiza Pareto Diagram Ishikawy (przyczynowo-skutkowy),	Lean działa „od fundamentów” – organizuje stanowisko, wprowadza dyscyplinę i standaryzację. SPC wychwytuje symptomy problemów w danych i pomaga znaleźć ich statystyczne przyczyny. W połączeniu dają efekt prewencji i skutecznego reagowania.
Kontrola procesu w czasie rzeczywistym	Andon, Gemba Walk	Karty kontrolne Shewharta	LM opiera się na natychmiastowej, wizualnej reakcji pracowników na problem (np. zatrzymanie linii). SPC analizuje przebieg procesu w czasie, wykrywając powolne odchylenia. Lean jest szybki w reakcji, SPC – precyzyjny w diagnozie.
Zapobieganie wadom	Poka-Yoke, standaryzacja pracy	Limity kontrolne, analiza trendów	Lean eliminuje możliwość popełnienia błędu (np. przez proste rozwiązania techniczne), SPC sprawdza, czy proces pozostaje w granicach ustalonych parametrów. Lean zapobiega, SPC pilnuje utrzymania standardów.
Optymalizacja przepływu	VSM, Kanban, SMED	SPC nie posiada narzędzi przepływu	W obszarze płynności przepływu materiałów i informacji SPC nie ma narzędzi – to domena Lean. Tu przewaga LM jest wyraźna, ale SPC może monitorować parametry jakościowe w punktach procesu.
Stabilizacja jakości	5S, TPM, standardy operacyjne	Analiza zdolności procesów (Cp, Cpk)	Lean usuwa przyczyny awarii i niestabilności, SPC weryfikuje zdolność procesu

			do spełnienia wymagań jakościowych. Oba podejścia działają na różnych etapach – Lean usuwa źródła zmienności, SPC mierzy jej efekty.
Identyfikacja marnotrawstw	5S, VSM, Kaizen	Analiza rozrzutu i wariancji danych	Lean skupia się na obserwacji procesów i pracy w miejscu ich realizacji (Gemba), SPC korzysta z twardych danych. Połączenie obu metod daje pełniejszy obraz problemu – od obserwacji po analizę liczbową.
Zaangażowanie pracowników	Kaizen, Gemba Walk, system sugestii pracowniczych	Szkolenia z analizy danych, interpretacja kart kontrolnych	Lean wymaga powszechnego udziału pracowników w codziennym doskonaleniu. SPC angażuje głównie personel techniczny i kontrolny, ale przy dobrym wdrożeniu może stać się narzędziem wspólnym dla całego zespołu.

Źródło: Opracowanie własne.

Patrząc na przedstawione zestawienie metod i narzędzi, można stwierdzić, że Lean Management i Statystyczne Sterowanie Procesem nie stanowią dla siebie konkurencyjnych metod, lecz systemy o charakterze komplementarnym, których równoległe stosowanie umożliwia uzyskanie efektu synergii.

Lean Management koncentruje się na usprawnianiu procesów poprzez eliminację marnotrawstw, optymalizację przepływu materiałów i informacji oraz wprowadzanie standaryzacji pracy. Szczególnie skuteczny jest w obszarach wymagających reorganizacji sposobu wykonywania zadań, poprawy ergonomii, redukcji zapasów oraz skrócenia czasu realizacji [Liker, 2004; Krawczyk, 2023; Ohno, 1988; Pawłyszyn, 2017; Womack i in., 1990;].

SPC natomiast odgrywa kluczową rolę w sytuacjach, gdy proces został już ustabilizowany dzięki działaniom organizacyjnym, a dalsza poprawa jakości wymaga monitorowania zmienności i identyfikowania odchyleń w sposób obiektywny, oparty na danych. W tym kontekście karty kontrolne Shewharta, analiza zdolności procesów oraz badanie rozkładów umożliwiają nie tylko wykrywanie problemów niewidocznych w codziennej obserwacji, ale także precyzyjne określenie źródeł zakłóceń [Montgomery, 2019; Shewhart, 1931].

W praktyce optymalny model doskonalenia jakości polega na wdrożeniu Lean Management jako „szkieletu” organizacyjnego, który zapewnia spójność działań, standaryzację procesów i eliminację najbardziej oczywistych źródeł strat, a następnie uzupełnieniu go SPC jako „systemu wczesnego ostrzegania”, pozwalającego na bieżące monitorowanie wskaźników jakościowych i wczesne reagowanie na pojawiające się nieprawidłowości. Takie podejście

zapewnia nie tylko bieżącą efektywność procesów, lecz również ich długofalową stabilność i zdolność do spełniania wymagań klientów w sposób powtarzalny [Krawczyk, 2023; Pawłyszyn, 2017; Shewhart, 1931].

Integracja obu metod jest zgodna z tendencjami opisanymi w literaturze światowej, m.in. w pracach Likera, Montgomery'ego czy Shewharta, gdzie podkreśla się, że skuteczne zarządzanie jakością wymaga jednoczesnego uwzględnienia czynników procesowych (organizacja pracy, eliminacja strat) oraz czynników statystycznych (kontrola zmienności i przewidywanie trendów). W rezultacie przedsiębiorstwo uzyskuje większą elastyczność operacyjną, niższe koszty jakości oraz wyższy poziom satysfakcji klienta, a także tworzy kulturę organizacyjną opartą na danych i ciągłym doskonaleniu [Shewhart, 1931].

5. Podsumowanie

Lean Management oraz Statystyczne Sterowanie Procesem (SPC) należą do najważniejszych współczesnych metod doskonalenia jakości procesów. Choć różnią się charakterem i stosowanymi narzędziami, to ich cele pozostają wspólne – zwiększenie efektywności, redukcja strat i zapewnienie stabilności procesów. LM koncentruje się na stronie organizacyjnej: eliminacji marnotrawstw, optymalizacji przepływu materiałów i informacji, angażowaniu pracowników oraz budowaniu kultury ciągłego doskonalenia. SPC natomiast pełni rolę narzędzia analitycznego – dzięki kartom kontrolnym, analizie zdolności procesów i innym metodom statystycznym pozwala monitorować zmienność oraz wcześniej wykrywać odchylenia.

Zestawienie obu koncepcji wskazuje, że nie należy traktować ich jako alternatywnych, lecz jako wzajemnie uzupełniające się. Lean porządkuje i stabilizuje procesy, tworząc fundament organizacyjny, natomiast SPC dostarcza danych potwierdzających czy wdrożone rozwiązania rzeczywiście przynoszą zamierzone efekty i czy są utrzymywane w dłuższej perspektywie. Dzięki temu możliwe jest nie tylko szybkie reagowanie na problemy, ale także zapobieganie ich powstawaniu.

Kolejnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonej analizy jest stwierdzenie autorów, że najlepsze rezultaty osiągają przedsiębiorstwa integrujące oba podejścia. Lean daje ramy do eliminacji źródeł strat i standaryzacji pracy, a SPC zapewnia kontrolę nad zmiennością i możliwość precyzyjnej oceny jakości. Takie połączenie pozwala osiągnąć efekt synergii - większą stabilność procesów, redukcję kosztów, krótsze czasy realizacji, wyższą jakość wyrobów oraz trwałe zwiększenie satysfakcji klienta. W długim okresie integracja Lean i SPC buduje kulturę organizacyjną opartą zarówno na ciągłym doskonaleniu, jak i na rzetelnej analizie danych, co staje się fundamentem przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa na rynku.

Bibliografia

1. Antosz K., Kluz R. (2018). Analize of process quality capability with one side specification limit. *Technologia i Automatyzacja Montażu (Assembly Techniques and Technologies)*, 100(2), 49-52.
2. Grobelak M. (2023). Wdrożenie koncepcji Lean z perspektywy pracowników przedsiębiorstwa usługowego, *Edukacja Ustawiczna Dorosłych*, nr 2, 2023.
3. Greber T. (2005). Statystyczne sterowanie procesami - praktyczne przykłady zastosowania. Politechnika Wrocławska. Zarządzanie jakością.

4. Hamrol A. (2018). Strategie i praktyki sprawnego działania: Lean, Six Sigma i inne. Wydawnictwo Naukowe PWN.
5. Kończak G. (2007). Metody statystyczne w sterowaniu jakością produkcji. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice.
6. Krawczyk A. (2023). Lean Management jako koncepcja zarządzania przedsiębiorstwem, w tym doskonalenia procesów, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu.
7. Liker J.K (2004). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, New York.
8. Migza M., Bogacz P. (2015). Możliwość wykorzystania narzędzi Lean Management w przedsiębiorstwach sektora górnictwa podziemnego w Polsce, Przegląd Górniczy, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, T. 71, nr 8, Katowice.
9. Montgomery D.C. (2019). Introduction to Statistical Quality Control, Wiley, New York.
10. Ohno T. (1988). Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, New York.
11. Pawłyszyn I. (2017). Pierwsze kroki na drodze „wyszczuplania” – wdrożenie lean management w organizacji, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, nr 72.
12. Sałaciński T. (2011). SPC (Statystyczne Sterowanie Procesami) w zarządzaniu jakością. Wybrane zagadnienia z zakresu zarządzania przedsiębiorstwem, 115
13. Shewhart W.A. (1931). Economic Control of Quality of Manufactured Product, D. Van Nostrand Company, New York.
14. Womack J.P., Jones D.T., Roos D. (1990). The Machine That Changed the World, Free Press, New York.

7. ZMIENNOŚĆ ODPLYWÓW JEDNOSTKOWYCH GŁÓWNYCH RZEK WZNIESIEŃ GÓROWSKICH W LATACH 1999-2023

Joanna Baczyńska

Uniwersytet Szczeciński

Wydział Nauk Ścisłych i Przyrodniczych

Instytut Nauk o Morzu i Środowisku

Ul. Mickiewicza 16, 70-383 Szczecin

E-mail: joanna-baczynska@outlook.com

1. Wstęp

Niedobory wody na świecie stanowią coraz poważniejszy problem. Zjawisko to zostało zasygnalizowane m.in. w raporcie IPCC [2023], który informuje o coraz wyższych temperaturach powietrza, gwałtownych i krótkotrwałych opadach atmosferycznych a w konsekwencji o występowaniu coraz częstszych i poważniejszych susz na całym świecie. Niedobory wody skutkują przede wszystkim stratami w rolnictwie, ale również obciążeniami finansowymi gospodarek, zaburzeniami hydrologicznymi w środowisku naturalnym a ponadto stanowią poważne niebezpieczeństwo dla człowieka. Dlatego też istnieje potrzeba stałego monitoringu zasobów wodnych – zarówno na świecie, jak i lokalnie.

W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań dotyczących odpływów jednostkowych w zlewniach polskich rzek. Analizy były prowadzone m.in. na terenie Pomorza Zachodniego [Świątek i Walczakiewicz, 2024], Puszczy Białowieskiej [Pierzgalski i in., 2006] oraz całej części nizinnej Polski [Świątek, 2024]. Prowadzono również badania nad sezonową zmiennością odpływów jednostkowych oraz przepływów rzek – w okresach zimowym oraz letnim [Baran-Gurgul i in., 2022; Piętka, 2009]. Naukowcy zwracali również uwagę na wpływ zmiany klimatu na odpływy jednostkowe i warunki hydrologiczne w rzekach [Brzezińska i in., 2023; Świątek i Walczakiewicz, 2024; Wrzeński i Brzezińska, 2024].

Jak dotąd nie prowadzono badań umożliwiających szczegółową analizę warunków hydrologicznych mezoregionu Wzniesień Górowskich. Jest to szczególnie istotne ze względu na rolnicze zagospodarowanie terenu oraz specyficzne warunki hydrologiczne. Dlatego też celem niniejszej pracy jest analiza zmienności zasobów wodnych w zlewniach rzek Wałszy, Drwęcy Warmińskiej oraz Elmy oparta na rocznych odpływach jednostkowych z lat 1999-2023. Przeprowadzone badania pozwolą określić kierunki zmian warunków hydrologicznych oraz możliwe tendencje w kolejnych latach.

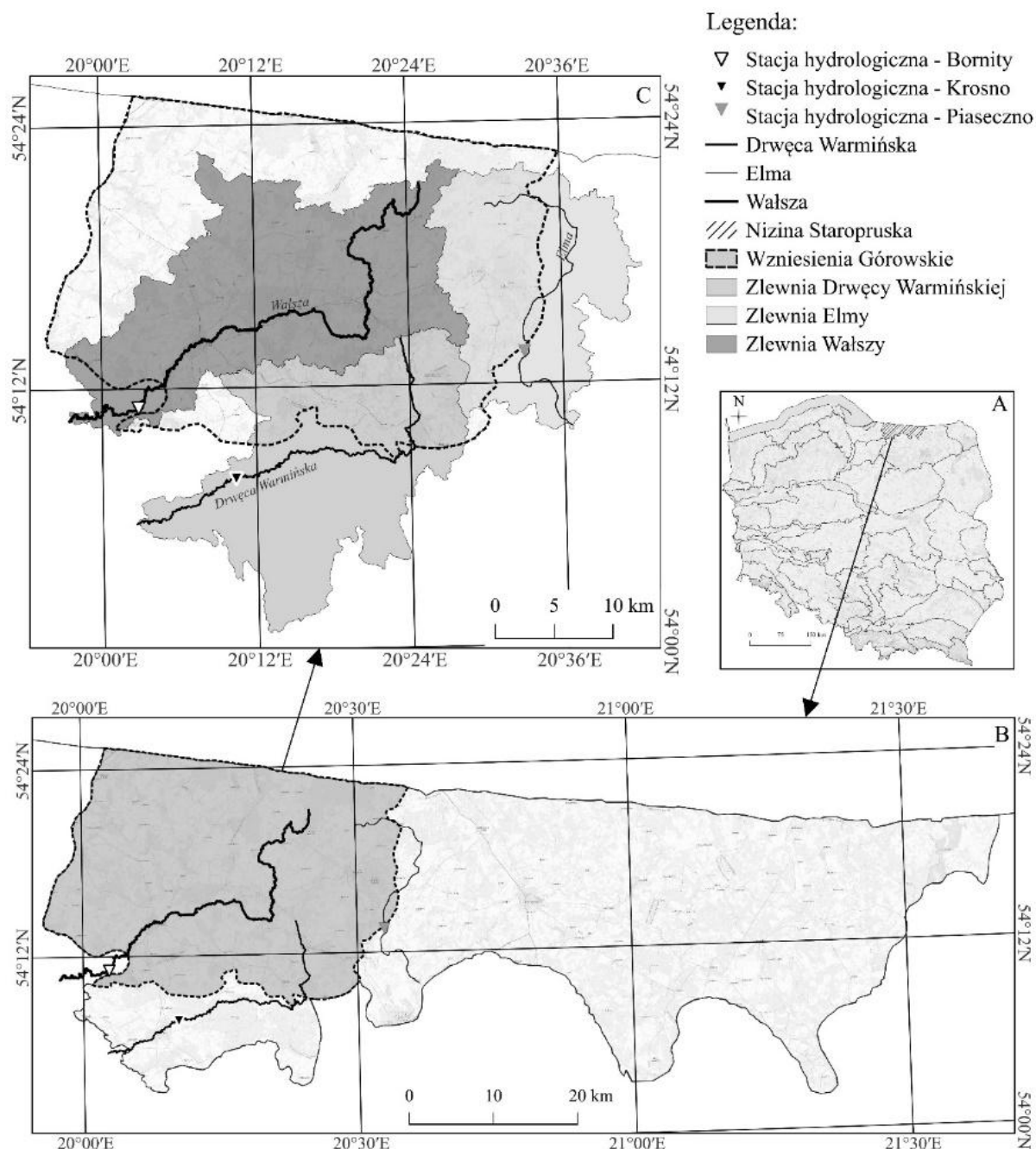
2. Materiały i metody

2.1. Obszar badań

Wzniesienia Górowskie są zachodnią częścią Niziny Staropruskiej znajdującej się w północnej części Polski (ryc. 1). Należą one do Pobrzeży Wschodniobałtyckich. Zajmują powierzchnię 978 km² w granicach Polski i są rozległym cokołem morenowym otoczonym równinami Ornecką i Warmińską oraz Niziną Sępopolską, rozciągając się aż na teren Obwodu

Królewieckiego [Borzyszkowski i Grzegorzczak, 2021]. Obszar jest zbudowany głównie z glin zwałowych oraz piasków i żwirów, które zostały naniesione przez występujący tam w przeszłości lądolód. Teren charakteryzuje się falistą rzeźbą terenu z wieloma występującymi wałami moren czołowych. Średnia wysokość Wzniesień Górowskich wynosi 113,9 m n.p.m. przy czym najwyższe wzniesienie – Góra Zamkowa – osiąga 216 m n.p.m. a najniższy punkt znajduje się na wysokości 45 m n.p.m. Występują tu głównie gleby płowe, brunatne, glejowe oraz rdzawe [Borzyszkowski i Grzegorzczak, 2021].

Klimat na obszarze Wzniesień Górowskich należy do dzielnicy Wschodniobałtyckiej [Gumiński, 1998]. Charakteryzuje się ona zmiennością pogody oraz cieplejszą i wilgotniejszą pogodą niż w dzielnicy Mazurskiej. Średnia wieloletnia temperatura powietrza (1991-2020) dla tego regionu wynosi 7-8°C przy czym na terenach przyległych sięga 8-9°C [IMGW-PIB, 2025f]. Średnia wieloletnia suma opadów atmosferycznych z lat 1991-2020 dla obszaru Wzniesień Górowskich kształtuje się na poziomie około 700 mm/rok [IMGW-PIB, 2025e]. Dla stacji opadowej w Górowie Iławeckim, położonej w obrębie analizowanego mezoregionu, wartość ta jest wyższa i wynosi 783 mm/rok [IMGW-PIB, 2025b], co znacznie przekracza średnią wieloletnią dla Polski. Wysoka suma opadów atmosferycznych w tym rejonie wynika z występowania opadów orograficznych [Lipkiewicz, 2024], które tworzą specyficzne warunki hydrologiczne dla tej części Północy Polski.



Rycina 1. Lokalizacja A: Niziny Staropruskiej, B: Wzniesień Górowskich, C: zlewni Drwęcy Warmińskiej, Elmy i Walszy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych ESRI [2025], Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska (GDOŚ) [2025], Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK) [2025] i Open Forest Data [2025].

Obszar Wzniesień Górowskich charakteryzuje się licznymi rzekami i strumieniami rozcinającymi formy polodowcowe znajdujące się na tym terenie. Największą rzeką mezoregionu jest Walsza o długości 67 km, której źródło znajduje się u podnóży Góry Zamkowej [Borzyszkowski i Grzegorzczak, 2021; Urząd Gminy Górowo Iławeckie, 2025]. Rzeka za miejscowością Pieniężno ma charakter rzeki górskiej [Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Olsztynie, 2025], płynąc w jarze, którego głębokość przekracza 40 m [Borzyszkowski i Grzegorzczak, 2021]. Walsza uchodzi do Pasłęki będąc jej najdłuższym dopływem [IMGW-PIB, 2025c]. Przez obszar Wzniesień Górowskich przepływa również

Drwęca Warmińska mająca źródło w okolicach miejscowości Pawły, której długość wynosi 48,4 km [Encyklopedia PWN, 2025]. Rzeka charakteryzuje się licznymi meandrami w końcowym biegu rzeki i uchodzi do Pasłęki [IMGW-PIB, 2025d]. Najmniejszą z głównych rzek Wzniesień Górowskich jest Elma, która bierze początek niedaleko miejscowości Dzierżno. Jej długość wynosi 37,6 km a głównym dopływem jest Górowska Młynówka. Elma uchodzi do Łyny, na północ od Lidzbarka Warmińskiego [Urząd Gminy Górowo Iławeckie, 2025].

Na terenie Wzniesień Górowskich jest bardzo mała jeziorność. Szacuje się, że stałe zbiorniki wodne na tym obszarze zajmują mniej niż 1% powierzchni [Sikora i in., 2022]. Największym jeziorem Wzniesień Górowskich jest Jezioro Głębockie o powierzchni 102,6 ha, znajdujące się na terenie zlewni rzeki Stradyk w miejscowości Głębock [Urząd Gminy Lelkowo, 2025].

Tabela 1. Podstawowe cechy fizyczno-hydrologiczne analizowanych zlewni

Rzeka	Miejscowość występowania stacji hydrologicznej	Powierzchnia zlewni [km ²]	Średni przepływ w latach 1999-2023 [m ³ /s]
Wąsza	Bornity	406	3,32
Drwęca Warmińska	Krosno	327	2,10
Elma	Piaseczno	281	1,73

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB) [IMGW-PIB, 2025a], Urzędu Gminy Górowo Iławeckie [2025] i Encyklopedii PWN [2025].

W krajobrazie Wzniesień Górowskich dominują użytki rolne stanowiące 44,3% gruntów ornych oraz 19,8% łąk i pastwisk. Dużą część obszaru stanowią lasy zajmując 33,6% powierzchni [Sikora i in., 2022]. Największa lesistość występuje w zlewni Drwęcy Warmińskiej zajmując około 40% powierzchni, z przewagą lasów iglastych. Największy udział stanowią użytki rolne zajmując około 58% powierzchni zlewni. Pozostałe 2% zajmują tereny o powierzchni utwardzonej [Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2025]. Na terenie zlewni Wąszy dominują użytki rolne stanowiące około 80%, z czego łąki i pastwiska zajmują 15%. Powierzchnia lasów stanowi około 17% obszaru zlewni a powierzchnie utwardzone około 3% [Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2025]. W zlewni Elmy użytki rolne stanowią 70%. Najwięcej lasów występuje w północnej części zlewni zajmując około 29% całkowitej powierzchni. Są to lasy głównie liściaste i mieszane. Powierzchnie utwardzone stanowią 1% powierzchni terenu [Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2025].

2.2. Metody badań

Do analizy zmienności odpływów jednostkowych w zlewniach rzek Wąszy, Drwęcy Warmińskiej oraz Elmy w latach 1999-2023 wykorzystano dane dotyczące półrocznych i rocznych przepływów rzecznych, opublikowane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy [IMGW-PIB, 2025a]. Na ich podstawie obliczono odpływy jednostkowe dla każdego roku hydrologicznego (XI-X) oraz półrocza chłodnego (XI-IV) i ciepłego (V-X) badanego okresu.

Dla każdej zlewni przeprowadzono charakterystykę trendu odpływu jednostkowego w latach 1999-2023, opartą na średnim odpływie jednostkowym z badanego okresu, odchyleniu

standardowym, współczynniku zmienności, współczynnika korelacji τ Kendalla oraz ocenie istotności statystycznej. Wykonano wykresy przedstawiające zmienność odpływów jednostkowych wszystkich rzek w czasie, na których wyznaczono linię trendu dla każdej z nich. Wykresy obejmują zarówno roczne odpływy jednostkowe, jak i odpływy dla półroczy chłodnych i ciepłych. W tabeli przedstawiono również współczynniki kierunkowe średnich odpływów jednostkowych dla poszczególnych lat oraz półroczy chłodnych i ciepłych.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Wyniki

Największe wartości średniego odpływu jednostkowego w latach 1999-2023 występowały w zlewni Wąlszy. Stosunkowo podobne odpływy jednostkowe występują w zlewni Elmy i Drwęcy Warmińskiej (tab. 2). Odchylenie standardowe jest najwyższe dla rzeki Wąlszy a najniższe dla Drwęcy Warmińskiej. Współczynniki zmienności każdej z rzek wskazują na umiarkowane zróżnicowanie odpływów jednostkowych. Największa zmienność w odpływach jednostkowych w badanym okresie występuje w zlewni Elmy wynosząc prawie 37% (tab. 2). Współczynnik korelacji τ Kendalla wskazuje na zmniejszanie się wartości odpływów jednostkowych wraz z upływem lat, aczkolwiek trend zmienności odpływu jednostkowego w badanych zlewniach jest istotny statystycznie na poziomie $p < 0,05$ tylko w Drwęcy Warmińskiej. Trendy odpływów jednostkowych Wąlszy i Elmy nie wykazały istotnie statystycznych zmian w wielkości odpływu jednostkowego na przestrzeni 25 lat (tab. 2).

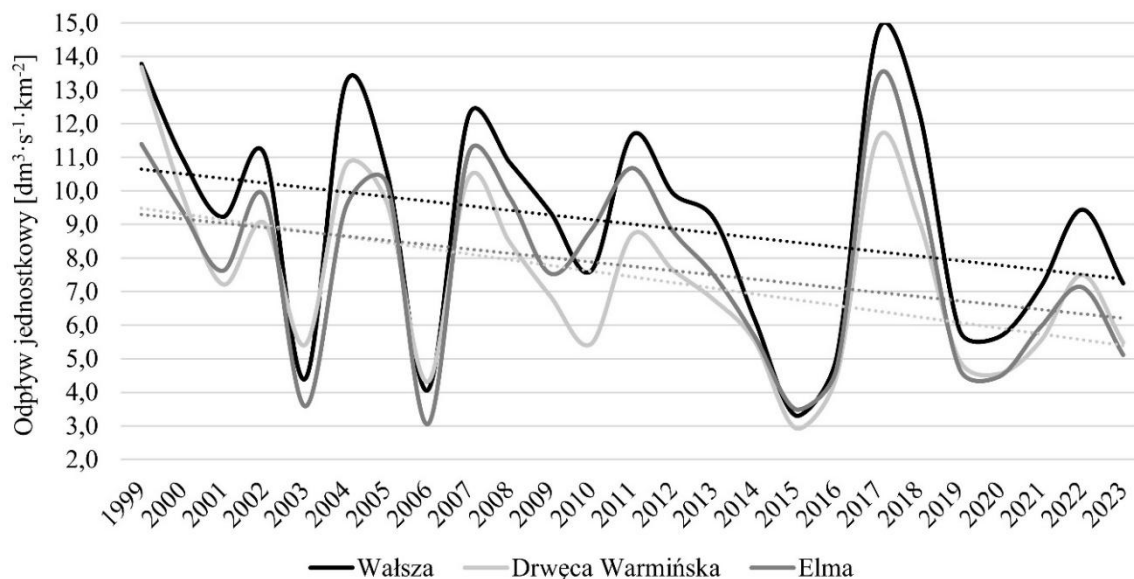
Tabela 2. Charakterystyka odpływów jednostkowych badanych zlewni w okresie 1999-2023

Rzeka	Średni odpływ jednostkowy (q) [dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	Odchylenie standardowe (SD) [dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	Współczynnik zmienności (CV) [%]	Współczynnik korelacji τ Kendalla	Istotność statystyczna (p)
Wąlsza	9,01	3,22	35,74	-0,24	$p > 0,05$
Drwęca Warmińska	7,44	2,65	35,62	-0,31	$p < 0,05$
Elma	7,75	2,86	36,90	-0,26	$p > 0,05$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB [2025a].

Mimo iż, w dwóch z trzech analizowanych rzek trendy odpływów jednostkowych są nieistotne statystycznie, na rycinie 2 wyraźnie zaznaczają się spadki wartości odpływów jednostkowych na przestrzeni 25 lat w każdej rzece. Największe wartości odpływów jednostkowych w badanych rzekach odnotowano w 1999, 2002, 2004, 2005, 2007, 2011, 2017 i 2018 roku przekraczając 8 dm³·s⁻¹·km⁻² (ryc. 2). W 2017 roku wartości te były najwyższe i wynosiły ponad 11 dm³·s⁻¹·km⁻². Latami, w których odnotowano najniższe wartości rocznych odpływów jednostkowych, były 2003, 2006, 2014, 2015, 2016, 2019 oraz 2020 – wartości te nie przekraczały 7 dm³·s⁻¹·km⁻² (ryc. 2). W roku 2015 odpływy jednostkowe były najniższe i nie przekroczyły 4 dm³·s⁻¹·km⁻². W 2010 roku Wąlsza oraz Elma miały podobne odpływy jednostkowe, natomiast Drwęca Warmińska znacznie odbiegała od dwóch pozostałych rzek, w której wartość odpływu jednostkowego wyniosła zaledwie 5,45 dm³·s⁻¹·km⁻².

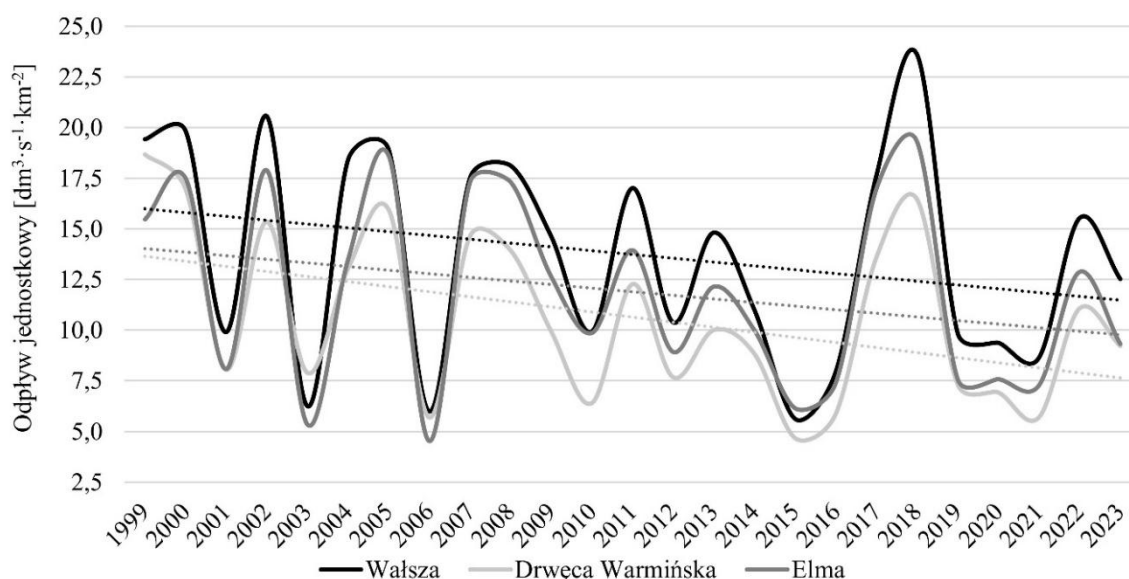
W analizowanych rzekach zauważalny jest zbliżony rytm zmian odpływu jednostkowego w badanym okresie.



Rycina 2. Średnie roczne odpływy jednostkowe wraz z trendami w latach 1999-2023

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB [2025a].

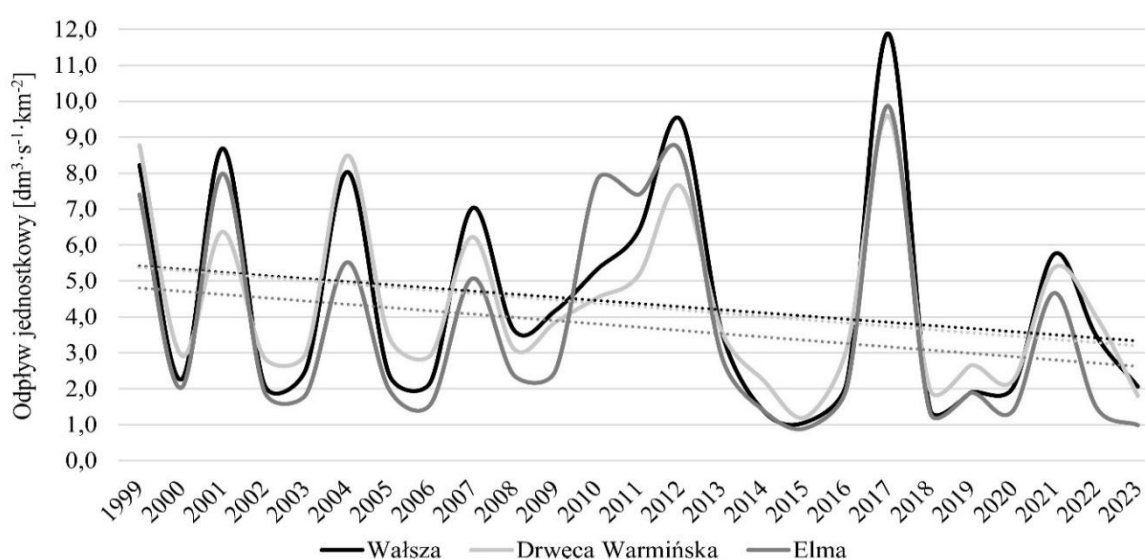
W przypadku analizy trendów odpływów jednostkowych półroczy chłodnych badanego okresu, istotność statystyczna zmian występuje jedynie w Drwęcy Warmińskiej. Trendy każdej z trzech rzek wykazują tendencję malejącą. Średni odpływ jednostkowy wynosi powyżej $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ dla każdej z rzek. Największe odpływy jednostkowe występowały w 1999, 2002, 2005 i 2017 roku (ryc. 3). Największą wartość odpływu jednostkowego w półroczu chłodnym odnotowano w 2017 roku w zlewni Wąlszy, który przekroczył $23 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. W latach 1999-2023 występowały półrocza chłodne ze skrajnie niskimi wartościami odpływów jednostkowych. Występowały one w latach 2003, 2006, 2015 i 2016 a najmniejszy odpływ jednostkowy odnotowano w 2003 roku w zlewni Elmy, który wynosił $5,34 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (ryc. 3). Wszystkie rzeki cechowały się podobnym rytmem zmian wielkości odpływu jednostkowego w czasie.



Rycina 3. Średnie odpływy jednostkowe wraz z trendami półroczy chłodnych z lat 1999-2023

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB [2025a].

W półroczach ciepłych badanego okresu (1999-2023), we wszystkich analizowanych zlewniach obserwowane były spadki trenów odpływów jednostkowych, choć nie były one tak gwałtowne jak w półroczach chłodnych. Średnie odpływy jednostkowe badanych zlewni nie przekraczały $5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Największe wartości występowały w 1999, 2001, 2004, 2012 oraz 2017 roku (ryc. 4). Wyjątkiem była rzeka Elma w 2010, w której wystąpił jeden z największych odpływów jednostkowych w półroczu ciepłym wynosząc $7,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, kiedy w innych zlewniach odpływy były znacznie mniejsze. Najmniejsze wartości występowały w latach 2000, 2002, 2003, 2005, 2006, 2014, 2015, 2018, 2020 i 2023 (ryc. 4). Minimalny odpływ jednostkowy wystąpił w 2015 roku w zlewni Elmy wynosząc $0,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.



Rycina 4. Średnie odpływy jednostkowe wraz z trendami półroczy ciepłych z lat 1999-2023

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB [2025a].

Analizując współczynniki kierunkowe trendów średnich rocznych odpływów jednostkowych w badanym okresie, zauważalna jest tendencja malejąca. Najwyższą wartość współczynnika trendu odnotowano w Drwęcy Warmińskiej, przy czym jest on istotny statystycznie. Roczny spadek odpływu jednostkowego w tej zlewni wynosi $0,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Najmniejszy spadek rocznego odpływu jednostkowego występuje w Elmie wynosząc $0,129 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Największe spadki odpływu jednostkowego występują w półroczach chłodnych. Najwyższą wartość współczynnika trendu również odnotowano w Drwęcy Warmińskiej, w której odpływ jednostkowy maleje rocznie o $0,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ i jest to trend istotny statystycznie. Najłagodniejszy spadek odpływu jednostkowego w półroczu chłodnym występuje w zlewni Elmy wynosząc $0,178 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ na rok. Najsłabsze trendy malejące występują w półroczu ciepłym nie przekraczając $0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Najmniejsze spadki trendu występują w zlewni Wąlszy nie przekraczając $0,09 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, zaś w dwóch pozostałych rzekach spadek odpływu jednostkowego w półroczach ciepłych na przestrzeni 25 lat wyniósł nieco powyżej $0,09 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. W półroczach ciepłych żaden trend nie wykazywał istotności statystycznej.

Tabela 3. Współczynniki kierunkowe trendów średnich odpływów jednostkowych w latach 1999-2023

	Wąlsza	Drwęca Warmińska	Elma
Rok hydrologiczny (1999-2023)	-0,136	-0,170*	-0,129
Półrocza chłodne (1999-2023)	-0,207	-0,250*	-0,178
Półrocza ciepłe (1999-2023)	-0,089	-0,091	-0,091

* - wykazuje istotność statystyczną na poziomie $p < 0,05$

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB [2025a].

3.2. Dyskusja

Przeprowadzone badania dotyczące zmienności rocznych odpływów jednostkowych w zlewniach Wąlszy, Drwęcy Warmińskiej i Elmy w latach 1999-2023 wskazują na ubożenie tychże zlewni w wodę. Ten trend potwierdzają również badania przeprowadzone w zlewniach Pomorza Zachodniego [Świątek i Walczakiewicz, 2022], Puszczy Białowieskiej [Pierzgałski i in., 2006], w wybranych zlewniach znajdujących się w nizinnej części Polski [Świątek, 2024] i całej Polski [Wrzesiński i Brzezińska, 2024]. Mimo tego należy podkreślić, że tylko w jednej z trzech rzek – Drwęcy Warmińskiej – trend odpływów jednostkowych okazał się być istotny statystycznie. Badania prowadzone w części nizinnej Polski wskazują na mniejsze zmiany odpływu jednostkowego w rzekach północnej części Polski niż w Polsce centralnej [Świątek, 2024] co pokrywa się z analizą trendów odpływów jednostkowych głównych rzek Wzniesień Górowskich. W przypadku półrocznych odpływów jednostkowych, zdecydowanie większe wartości występują w półroczu chłodnym a mniejsze w półroczu ciepłym co również potwierdzają badania dotyczące zmienności średniego przepływu w Polsce [Baran-Gurgul i in., 2022]. Największe spadki wartości odpływu jednostkowego występują w półroczu chłodnym. W zlewni Wąlszy oraz Drwęcy Warmińskiej spadek ten wynosi ponad $0,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ rocznie, przy czym w przypadku Drwęcy Warmińskiej trend jest istotny statystycznie. W zlewni Elmy

spadek odpływu jednostkowego wynosi niecałe $0,18 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ rocznie. Coraz mniejsze zasoby wody w zlewniach w półroczu chłodnym potwierdzają również badania dotyczące wieloletniej zmienności odpływów w polskich rzekach [Brzezińska i in., 2023; Piętka, 2009; Świątek, 2024], co może być spowodowane zmniejszającą się z roku na rok miąższością pokrywy śnieżnej w zlewni w okresie wiosennym. Badania prowadzone przez Świątek i Walczakiewicza [2024] wykazały niższe odpływy jednostkowe w zlewniach o gęstszym zalesieniu, co nie potwierdza się w przypadku zlewni Wzniesień Górowskich, gdyż w najbardziej zalesionej zlewni – Drwęcy Warmińskiej – odpływ jednostkowy jest najwyższy i istotny statystycznie.

4. Wnioski

1. W zlewniach rzeki Wąszy, Drwęcy Warmińskiej i Elmy występują malejące trendy rocznych odpływów jednostkowych w latach 1999-2023.
2. Tylko w przypadku Drwęcy Warmińskiej trendy rocznych odpływów jednostkowych i półroczy chłodnych są istotne statystycznie, co wskazuje na jednoznaczne zmniejszanie się zasobów wody w tej zlewni. Jednocześnie odnotowuje się tam największe spadki wartości odpływów jednostkowych.
3. Największe spadki odpływów jednostkowych występują w półroczach chłodnych a najmniejsze w półroczach ciepłych.
4. Najmniejsze spadki wartości odpływów jednostkowych występują w zlewni rzeki Elmy.
5. W przypadku zlewni Wąszy, Drwęcy Warmińskiej i Elmy nie zauważono wpływu pokrycia terenu na wielkość wartości odpływów jednostkowych.
6. Mimo braku istotności statystycznej, w większości przypadków należy kontynuować monitoring odpływów jednostkowych głównie z powodu dużego zagospodarowania rolniczego zlewni, aby móc kontrolować zagrożenie deficytem wody.
7. W przypadku trendów malejących odpływów jednostkowych wraz z biegiem lat przeciwdziałaniem może być zwiększanie powierzchni umożliwiającej retencję wody, dzięki której woda będzie zatrzymywana w zlewni.

Bibliografia

1. Baran-Gurgul K., Kołodziejczyk K., Rutkowska A. (2022). Czasowa i przestrzenna zmienność średniego przepływu w Polsce – ujęcie regionalne. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 45, s. 5-18.
2. Borzyszkowski J., Grzegorzczak I. (2021). Nizina Staropruska (841.5). W: A. Richling, J. Solon, A. Macias, J. Balon, J. Borzyszkowski, M. Kistowski (red.) Regionalna geografia fizyczna Polski (s. 539-544). Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
3. Brzezińska W., Wrzesiński D., Świątek S. (2023). Wpływ ocieplenia klimatu na odpływ rzek w Polsce w latach 1951-2020. W: A. Kostrzewski, D. Abramowicz (red.), Kompleksowe badania środowiska geograficznego (s. 59-74). Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
4. Gumiński R. (1998). Próba wydzielenia dzielnic rolniczo-klimatycznych w Polsce. Prace i Studia Geograficzne, 22, s. 69-117.
5. IPCC, (2023). Summary for Policymakers. W: Główny Zespół Redakcyjny: H. Lee, J. Romero (red.), Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups

- I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (s. 1-34). Geneva, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
6. Lipkiewicz J. (2024). Zmienność głębokości zalegania zwierciadła wód przypowierzchniowych w zlewni Elmy (Nizina Staropruska) na przykładzie wybranej studni gospodarczej w odniesieniu do uwarunkowań pogodowych i zmiany klimatu. Praca licencjacka. Szczecin: Uniwersytet Szczeciński.
 7. Pierzgański E., Tyszką J., Stolarek A. (2006). Zmienność odpływu wody ze zlewni rzeki Łutowni (Puszcza Białowieska) w latach 1966-2000. *Leśne Prace Badawcze*, 1, s. 21-36.
 8. Piętką I. (2009). Wieloletnia zmienność wiosennego odpływu rzek polskich. *Prace i Studia Geograficzne*, 43, s. 81-95.
 9. Sikora A., Marchowski D., Półtorak W. (2022). Wykorzystywanie zalewisk bobrowych przez lęgowe łabędzie krzykliwe *Cygnus cygnus* i nieme *C. olor* na Wzniesieniach Górowskich (pn.-wsch. Polska). *Ornis Polonica*, 63, s. 199–214.
 10. Świątek M. (2024). Zmiany odpływów jednostkowych w nizinnej części Polski w latach 1961-2021. *Acta Geographica Lodziensia*, 115, s. 125-140. <https://doi.org/10.26485/AGL/2024/115/7>
 11. Świątek M., Walczakiewicz S. (2022). Changes in specific runoff in river catchments of Western Pomerania versus climate change. *Geographia Polonica*, 95(1), s. 25-52. <https://doi.org/10.7163/GPol.0225>
 12. Wrześciński D., Brzezińska W. (2024). Niepewność reżimu odpływu rzek w Polsce w warunkach ocieplenia klimatu. *Czasopismo Geograficzne*, 95(2), s. 183–208. <https://doi.org/10.12657/czageo-95-08>.

Wykaz stron internetowych:

13. Encyklopedia PWN. 2025. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/Drweca-Warminska;3894481.html> (dostęp: 19.07.2025).
14. ESRI. 2025. <https://www.arcgis.com/index.html> (dostęp: 20.07.2025).
15. Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska. 2025. <https://www.gov.pl/web/gdos/dostep-do-danych-geoprzestrzennych> (dostęp: 18.07.2025).
16. Główny Urząd Geodezji i Kartografii. 2025. <https://www.geoportal.gov.pl/> (dostęp: 19.07.2025).
17. IMGW - PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025a. https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_hydrologiczne/ (dostęp: 17.07.2025).
18. IMGW - PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025b. https://danepubliczne.imgw.pl/data/dane_pomiarowo_obserwacyjne/dane_meteorologiczne/ (dostęp: 17.07.2025).
19. IMGW-PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025c. <https://hydro.imgw.pl/#/map?riv=true&ts=2025-07-22%2006:00&zo=9.582657819266418&lo=20.4326&la=54.2766> (dostęp: 22.07.2025).

20. IMGW - PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025d. <https://hydro.imgw.pl/#/map?riv=true&ts=2025-07-22%2006:00&zo=14.381396004079992&lo=20.0796&la=54.1011> (dostęp: 22.07.2025).
21. IMGW - PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025e. <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Precipitation/Yearly/1991-2020/1/Summer> (dostęp: 22.07.2025).
22. IMGW - PIB (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy). 2025f. https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Mean_Temperature/Yearly/1991-2020/1/Winter (dostęp: 22.07.2025).
23. Open Forest Data. 2025. https://gis.openforestdata.pl/layers/geonode:MakroregionyFizyczne_nogeograficzne_wgs84 (dostęp: 16.07.2025).
24. Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Olsztynie. 2025. https://www.olsztyn.lasy.gov.pl/aktualnosci/-/asset_publisher/6pj2jYthOvhM/content/warto-zobaczyc-podczas-wakacji-rezerwat-dolina-rzeki-walszy- (dostęp: 17.07.2025).
25. Urząd Gminy Górowo Iławeckie. 2025. <https://gorowoil-ug.bip-wm.pl/public/getFile?id=380242> (dostęp: 17.07.2025).
26. Urząd Gminy Lelkowo. 2025. https://lelkowo.warmia.mazury.pl/images/stories/kategorie/srodowisko/Programy/OchronaSrodowiska/program_ochrony_%C5%9Brodowiska.pdf (dostęp: 17.07.2025).

8. ZIMOWA AKTYWNOŚĆ JELENIOWATYCH W DWÓCH PRZYDOMOWYCH LASACH: ANALIZA PORÓWNAWCZA Z WYKORZYSTANIEM FOTOPUŁAPEK

Wojciech Lipa

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Szkola Doktorska
ul. Chodkiewicza 30, 85-064 Bydgoszcz
Wydział Nauk Biologicznych
Katedra Genetyki
ul. Aleja Powstańców Wielkopolskich 10, 85-090 Bydgoszcz
E-mail: w.lipa@ukw.edu.pl

Karolina Bis

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Nauk Biologicznych
Studenckie Koło Naukowe Wydziału Nauk Biologicznych
ul. Al. Ossolińskich 12, 85-093 Bydgoszcz

Andrzej Oleksa

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
Wydział Nauk Biologicznych
Katedra Genetyki
ul. Aleja Powstańców Wielkopolskich 10, 85-090 Bydgoszcz

1. Wstęp

Małe, często prywatne fragmenty lasów położone w pobliżu zabudowań mieszkalnych na terenach miejskich, podmiejskich oraz wiejskich – tzw. „przydomowe lasy” – mogą pełnić istotną rolę w lokalnych sieciach ekologicznych (Kirk i in., 2023). Ich strukturalna złożoność oraz pokrycie roślinnością zapewniają schronienie, miejsca żerowania i korytarze migracyjne dla wielu gatunków dzikich zwierząt (Tee i in., 2018). W coraz bardziej zurbanizowanych krajobrazach, gdzie siedliska naturalne ulegają fragmentacji lub degradacji, przydomowe lasy mogą stanowić ważne refugia ekologiczne (Biella i in., 2025). Ich znaczenie szczególnie wzrasta w okresach stresu środowiskowego, takich jak zima, kiedy zasoby w środowisku są ograniczone. Pomimo niewielkiej powierzchni i bliskiego kontaktu z człowiekiem, przydomowe lasy mogą wspierać bioróżnorodność i przyczyniać się do ochrony gatunków wrażliwych na presję antropogeniczną (Kirkpatrick, Driessen, Jarman i Jakob 2023). Do badań tego typu obszarów, przydatnym narzędziem wydają się fotopułapki.

Fotopułapki stanowią niezwykle skuteczne narzędzie monitorowania aktywności dzikich zwierząt (Glen, Cockburn, Nichols, Ekanayake i Warburton, 2013; Hsing i in., 2022; Di Cerbo i Biancardi, 2013). Są to zdalnie aktywowane, wrażliwe na ruch urządzenia,

zaprojektowane do rejestrowania zdjęć lub nagrań wideo przy minimalnej ingerencji człowieka. Wyposażone w czujniki podczerwieni, mogą działać autonomicznie przez długi czas, stając się nieodzownym elementem badań ekologicznych i monitoringu fauny (Bersacola i in., 2025). Ich nieinwazyjny charakter umożliwia ciągłe zbieranie danych w cyklach dobowych i sezonowych, co czyni je szczególnie przydatnymi w badaniach nad gatunkami skrytymi lub nocnymi (Marion i in., 2022). Fotopułapki są powszechnie wykorzystywane do oceny obecności gatunków, ich liczebności, zachowań oraz wzorców aktywności, zwłaszcza w siedliskach, w których bezpośrednia obserwacja jest trudna lub może zakłócić behavior badanych zwierząt (Tsunoda i Hirao, 2024). W kontekście niewielkich i przylegających do zabudowań fragmentów lasów, fotopułapki oferują efektywną i dyskretną metodę dokumentowania obecności zwierząt oraz ich interakcji ze środowiskiem.

Badanie miało na celu ocenę zimowej aktywności jeleniowatych (Cervidae) w dwóch fragmentach przydomowych lasów, każdy o powierzchni około 0,5 ha, zlokalizowanych w podobnym kontekście siedliskowym. Z wykorzystaniem fotopułapek rozmieszczonych w dwóch kolejnych sezonach zimowych (2023/2024 oraz 2024/2025) analizowano obecność gatunków, wzorce aktywności dobowej oraz interakcje z innymi użytkownikami przestrzeni, w tym zwierzętami domowymi i ludźmi. Wyniki mają na celu pogłębienie wiedzy na temat wykorzystania niewielkich fragmentów lasu przez jeleniowate w krajobrazie antropogenicznym oraz ocenę wpływu zakłóceń związanych z działalnością człowieka – w szczególności obecności psów domowych – na ich aktywność przestrzenną i czasową. Badanie to wpisuje się w szersze działania z zakresu ekologii miejskiej oraz wiejskiej, planowania ochrony przyrody oraz zrównoważonego zarządzania terenami zieleni w środowisku podmiejskim.

2. Materiały i metody

Badania przeprowadzono w dwóch prywatnych fragmentach przydomowych lasów, z których każdy obejmował powierzchnię 0,5 hektara. Obie lokalizacje znajdowały się w porównywalnym kontekście siedliskowym, zdominowanym przez antropogeniczne nasadzenia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) i brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*). Te niewielkie płaty leśne położone są na terenach wiejskich i pełnią funkcję potencjalnych korytarzy ekologicznych oraz refugium dla dzikich zwierząt, zwłaszcza w okresie zimowym. Monitorowanie za pomocą fotopułapek prowadzono w miesiącach zimowych (grudzień–luty) przez dwa kolejne sezony: 2023/2024 i 2024/2025. W badaniu wykorzystano łącznie pięć fotopułapek. Każde urządzenie było zamontowane na tym samym pniu drzewa na dwóch różnych wysokościach – 5–15 cm oraz 30–50 cm nad poziomem gruntu – w celu optymalizacji detekcji zwierząt o różnej wielkości ciała. Wszystkie fotopułapki były skonfigurowane do pracy ciągłej, z aktywacją za pomocą czujnika ruchu oraz trybem nocnym z użyciem podczerwieni (tab. 1).

Tabela 1. Lokalizacja i ustawienia fotopułapek wykorzystanych w badaniach

Przydomowy las	Trap ID	Model fotopułapki	Wysokość	X	Y
CT#1	CAM #1	Redleaf RD7000	5-15 cm	53°32'47.84"N	18°54'49.42"E
	CAM #2	Redleaf RD1006 (zastąpiona na CAM #3)	30-50 cm	53°32'47.84"N	18°54'49.42"E
	CAM #3	DENVER WCT-5002	30-50 cm	53°33'33.54"N	18°54'47.66"E
CT#2	CAM #4	Redleaf RF06	30-50 cm	53°33'33.54"N	18°54'47.66"E
	CAM #5	DOERR	5-15 cm	53°33'33.54"N	18°54'47.66"E

Źródło: Praca własna.

Materiał uzyskany z fotopułapek został przeanalizowany przy użyciu programu Microsoft Clipchamp, co umożliwiło systematyczną inspekcję nagrań wideo oraz klasyfikację zarejestrowanych aktywności. Obserwacje zostały pogrupowane według gatunków i opatrzone znacznikami czasowymi w celu dalszej analizy. Dane z fotopułapek posłużyły do analizy:

- względnej częstości wykryć jeleniowatych (sarna, jelen szlachetny, łoś),
- wzorców dobowej aktywności wykrytych osobników,
- interakcji przestrzennych i czasowych z innymi użytkownikami siedliska, w tym dzikimi zwierzętami, zwierzętami domowymi (psami i kotami) oraz ludźmi.

Dane ilościowe analizowano w środowisku R. W celu oceny różnic w częstości wykryć jeleniowatych pomiędzy lokalizacjami i sezonami zastosowano następujące testy statystyczne:

- test niezależności chi-kwadrat (χ^2) do porównania udziałów występowania gatunków w różnych miejscach i okresach, a także wpływu aktywności psów na obecność jeleniowatych.
- test Kruskala-Wallisa do porównania poziomów aktywności między więcej niż dwiema grupami, gdy nie spełniono założeń normalności,
- test rang Wilcoxona do porównań par obserwacji między lokalizacjami,
- test Shapiro–Wilka do oceny normalności rozkładu danych,
- test Levene’a do oceny jednorodności wariancji między grupami,
- korelacja rang Spearmana do oceny siły i kierunku między dwiema zmiennymi,
- test Rayleigha do analizy rytmów dobowych aktywności.

Przyjęto poziom istotności statystycznej $p < 0,05$ dla wszystkich testów. Wizualizacje danych oraz wykresy aktywności dobowej wykonano przy użyciu pakietu ggplot2 w środowisku R (R Core Team, 2025). Analizy porównawcze między dwoma fragmentami lasów przeprowadzono w celu oceny wpływu zakłóceń – w szczególności obecności psów domowych – na aktywność i obecność jeleniowatych.

3. Wyniki

W trakcie dwóch sezonów zimowych (2023/2024 oraz 2024/2025) zarejestrowano obecność trzech gatunków jeleniowatych: sarny (*Capreolus capreolus*), jelenia szlachetnego (*Cervus elaphus*) oraz łośa (*Alces alces*). Detekcje rozłożone były nierównomiernie, a intensywność obecności różniła się między lokalizacjami CT#1 i CT#2 oraz pomiędzy sezonami (Tabela 2). Łącznie w trakcie dwóch sezonów zimowych (2023/2024 oraz 2024/2025) odnotowano 341 niezależnych detekcji jeleniowatych w obu lokalizacjach (CT#1 i CT#2). Najczęściej rejestrowanym gatunkiem była sarna, która łącznie pojawiła się 209 razy, co stanowiło ponad 61% wszystkich detekcji. Na kolejnych miejscach uplasowały się jelen szlachetny – 103 detekcje oraz łoś – 29 detekcji (ok. 9%). Najwięcej zdarzeń współwystępowania z psami domowymi zanotowano w lokalizacji CT#1, szczególnie w sezonie 2023/2024.

Tabela 2. Liczba osobników poszczególnych gatunków jeleniowatych w wybranych lokalizacjach oraz sezonach

Sezon	Lokalizacja	Gatunek	Liczba osobników
2023/2024	CT#1	Sarna	27
		Jeleń	4
		Łoś	0
	CT#2	Sarna	83
		Jeleń	24
		Łoś	34
2024/2025	CT#1	Sarna	24
		Jeleń	5
		Łoś	1
	CT#2	Sarna	75
		Jeleń	14
		Łoś	19

Źródło: Praca własna.

Analiza zależności między obecnością psów a nieobecnością jeleniowatych za pomocą testu chi-kwadrat wykazała istotne statystycznie relacje we wszystkich analizowanych konfiguracjach (np. dla obu lokalizacji łącznie: $\chi^2 = 140.99$, $p < 2.2e-16$; CT#1, sezon 2024/2025: $\chi^2 = 27.74$, $p < 1.4e-07$) (Tabela 3). Dodatkowo korelacja rang Spearmana ($\rho \approx -0.72$, $p < 2.2e-16$) wskazuje na silny związek pomiędzy wzrostem liczby obserwacji psów a spadkiem detekcji jeleniowatych (Tabela 4).

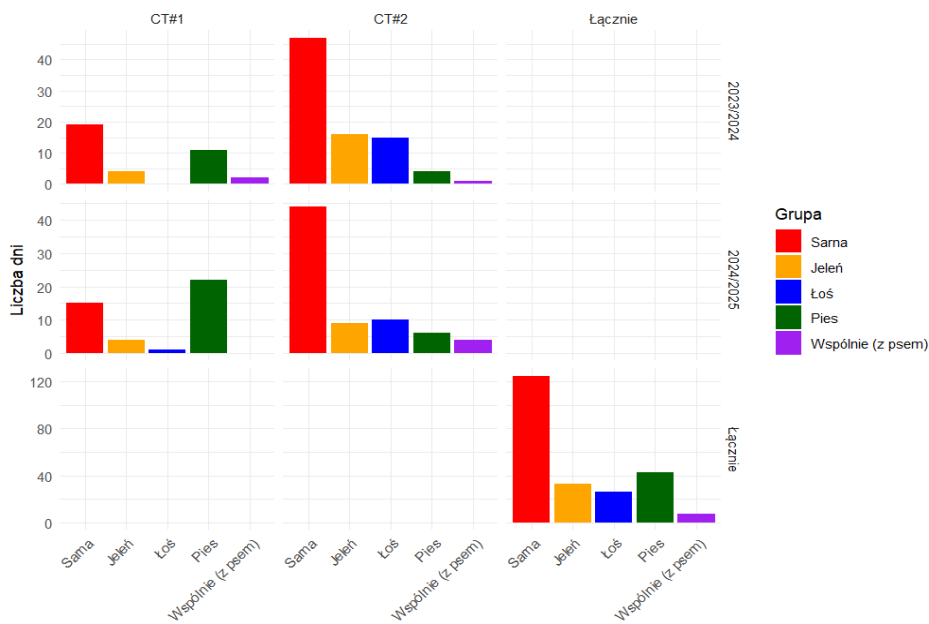
Tabela 3. Wyniki testów chi-kwadrat w wybranych konfiguracjach (zależność między obecnością psów a nieobecnością jeleniowatych)

Lokalizacja	Sezon	wartość χ^2	wartość p	df
Obie lokalizacje	oba sezony	140.99	$< 2.2e-16$	1
Obie lokalizacje	2023/2024	70.70	$< 2.2e-16$	1
Obie lokalizacje	2024/2025	66.28	$< 3.9e-16$	1
CT#1	oba sezony	55.23	$< 1.1e-13$	1
CT#2	oba sezony	54.18	$< 1.8e-13$	1

CT#1	2023/2024	23.57	< 1.2e-06	1
CT#1	2024/2025	27.74	< 1.4e-07	1
CT#2	2023/2024	34.12	< 5.2e-09	1
CT#2	2024/2025	15.48	< 8.3e-05	1

Źródło: Praca własna.

Łącznie zarejestrowano kilkaset dni obecności jeleniowatych oraz innych użytkowników przestrzeni, przy czym rozkład obecności zmieniał się w zależności od lokalizacji i sezonu. Wizualizacja danych w postaci wykresów (Wykresy 1 i 2) obrazuje różnice w liczbie detekcji i rytmach aktywności dobowej.



Wykres 1. Liczba dni obecności gatunków i współwystępowania z psami

Źródło: Opracowanie własne.

Test Kruskala–Wallisa ($\chi^2 = 9.896$, $p < 0.002$) wykazał istotne różnice w liczbie detekcji między analizowanymi grupami. Brak istotnych różnic między sezonami potwierdzony został testem Wilcoxona ($W = 5466$, $p = 0.6762$), jednak test Wilcoxona dla porównania lokalizacji wykazał różnice ($W = 2877.5$, $p < 0.002$). Dane nie spełniały założeń normalności (Shapiro–Wilk, $p < 2.2e-16$) ani jednorodności wariancji (Levene’s test, $p < 0.003$), co uzasadniało zastosowanie testów nieparametrycznych (Tabela 4).

Tabela 4. Wyniki pozostałych testów statystycznych

Nazwa testu	Wartość testu	Wartość p
Kruskal–Wallis	9.896	< 0.002
Wilcoxon (porównanie sezonów)	5466	< 0.6762
Wilcoxon (porównanie lokalizacji)	2877.5	< 0.002
Shapiro–Wilk	0.68939	< 2.2e-16
Levene’s Test	8.785	< 0.003
Spearman’s rank correlation	$\rho \approx -0.72$	< 2.2e-16

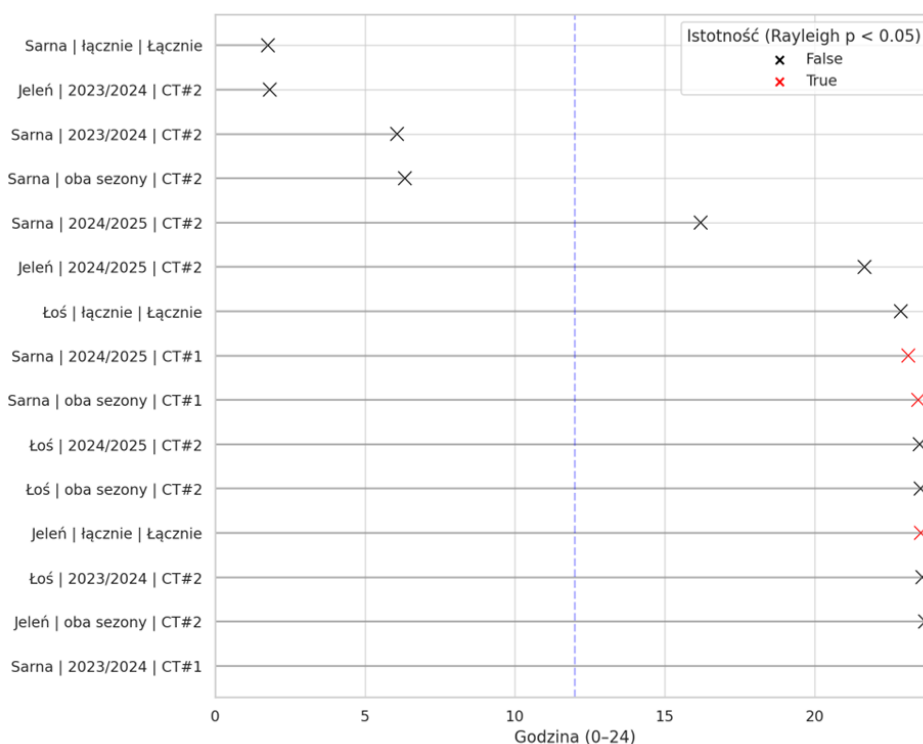
Źródło: Praca własna.

Test Rayleigha pozwolił określić rytm dobowej aktywności. Sarna wykazywała preferencję nocnej aktywności w CT#1, szczególnie w sezonie 2024/2025. W CT#2 aktywność tej grupy była bardziej rozproszona w czasie. Jeleń szlachetny był aktywny nocą w obu lokalizacjach i sezonach, natomiast w przypadku łośa test Rayleigha nie wykazała istotnego odchylenia od równomiernego rozkładu aktywności w ciągu doby, co może być konsekwencją małej wielkości próby (Tabela 5). Średnie godziny aktywności poszczególnych gatunków przedstawiono na Wykresie 2.

Tabela 5. Dobowa aktywność jeleniowatych na podstawie testu Rayleigh

Gatunek	Wynik
Sarna	Preferencja aktywności nocnej w lokalizacji CT#1, szczególnie w sezonie 2024/2025; w CT#2 aktywność bardziej rozproszona.
Jeleń szlachetny	Nocna aktywność, bez istotnych różnic między sezonami i lokalizacjami.
Łoś	Brak istotnego odchylenia od równomiernego rozkładu aktywności w ciągu doby.

Źródło: Praca własna.



Wykres 2. Średnie godziny aktywności jeleniowatych na podstawie testu Rayleigh

Źródło: Opracowanie własne.

4. Podsumowanie

Badanie zimowej aktywności jeleniowatych w dwóch przydomowych lasach wykazało wyraźne różnice w liczbie detekcji między lokalizacjami, natomiast nie potwierdzono istotnych różnic między sezonami zimowymi 2023/2024 i 2024/2025, co wskazuje na silniejsze

znaczenie lokalnych uwarunkowań niż sezonowe zmienności klimatyczne. Jednym z najbardziej jednoznacznych wyników badania była silna ujemna korelacja pomiędzy obecnością psów a liczbą detekcji jeleniowatych ($\rho \approx -0.72$, $p < 2.2e-16$), co potwierdzają również testy chi-kwadrat przeprowadzone dla różnych konfiguracji sezonów i lokalizacji – wszystkie wykazały wysoki poziom istotności ($p < 0.001$). Sugeruje to, że wzrost aktywności psów w badanym terenie ma bezpośredni i negatywny wpływ na przestrzenną obecność i czasową aktywność jeleniowatych. Rytm dobowej aktywności analizowany testem Rayleigha wskazał, że sarna i jeleni preferują aktywność nocną, szczególnie w mniej zakłóconych obszarach, natomiast łoś nie wykazywał istotnych preferencji czasowych, co można wiązać z jego większą elastycznością lub ograniczoną liczbą obserwacji. W przeciwieństwie do dużych, ciągłych kompleksów leśnych, w których jeleniowate wykazują stosunkowo stabilne i przewidywalne wzorce aktywności dobowej, niewielkie enklawy przydomowe charakteryzują się większą podatnością na lokalne zakłócenia. Badania prowadzone m.in. w Puszczy Białowieskiej wskazują, że aktywność jelenia szlachetnego i sarny w środowiskach o ograniczonym wpływie człowieka jest silnie uzależniona od rytmów dobowych, warunków klimatycznych oraz sezonowych zmian dostępności zasobów (Kamieriarz, Szymański i Panek, 2018). Z kolei analizy globalne potwierdzają, że wzrost obecności ludzi, nawet o charakterze niepolującym, prowadzi do przesunięcia aktywności dzikich ssaków w kierunku godzin nocnych (Gaynor, Hojnowski, Carter, i Brashares, 2018).

Wyniki te pozostają spójne z obserwacjami innych autorów badających wpływ antropopresji na dziką faunę. Badania Tee i in. (2018) oraz Kirk i in. (2023) wykazały, że fragmentacja środowiska miejskiego prowadzi do spadku liczebności i różnorodności ssaków, a obecność ludzi i ich zwierząt domowych – zwłaszcza psów – istotnie ogranicza aktywność dużych ssaków kopytnych. Biella i in. (2025) oraz Kirkpatrick i in. (2023) podkreślili znaczenie małych zielonych enklaw jako ważnych schronień i korytarzy ekologicznych, co bezpośrednio odnosi się do funkcji przydomowych lasów w prezentowanym badaniu. Z kolei Tsunoda i Hirao (2024) opisali wzrost czujności i zmianę rytmu aktywności u jeleniowatych w obliczu umiarkowanej obecności człowieka – podobnie jak zaobserwowano w CT#1, gdzie występowanie psów wiązało się ze spadkiem dziennej aktywności sarny i jelenia.

Zebrane obserwacje potwierdzają, że nawet małe, przydomowe fragmenty lasów mogą mieć duże znaczenie dla zachowania bioróżnorodności, o ile zostaną odpowiednio chronione przed zakłóceniami ze strony człowieka i zwierząt domowych (szczególnie psów). Badanie to, dzięki zastosowaniu fotopułapek, dostarcza wiarygodnych i nieinwazyjnych danych, które mogą służyć do planowania działań ochronnych i przestrzennych w krajobrazach miejskich, podmiejskich oraz wiejskich. Wyniki badania jednoznacznie wskazują, że obecność psów istotnie wpływa na spadek aktywności jeleniowatych w niewielkich fragmentach lasów. Dlatego zaleca się wprowadzenie środków ograniczających ruch psów na takich obszarach, szczególnie w sezonie zimowym, kiedy dostępność zasobów środowiskowych dla dzikich zwierząt jest ograniczona. Z uwagi na fakt, że badane fragmenty lasów są terenami prywatnymi, a obserwowane psy nie należą do ich właścicieli, lecz do lokalnych mieszkańców, szczególnie istotne wydaje się budowanie świadomości społecznej wokół wpływu swobodnie poruszających się psów na dziką faunę. Wyniki wskazują jednoznacznie, że obecność psów wiąże się ze spadkiem liczby detekcji jeleniowatych. Z tego względu rekomenduje się działania

miękkie, oparte na edukacji i współpracy z lokalną społecznością – np. poprzez kampanie informacyjne, tablice edukacyjne przy drogach leśnych, broszury lub spotkania z mieszkańcami. Ich celem powinno być uświadamianie, że nawet krótkotrwała obecność psów w lesie – także tych niewykazujących agresji – może skutkować wypieraniem dzikich zwierząt. Kluczowe jest promowanie odpowiedzialnego wypuszczania psów w pobliżu terenów o znaczeniu przyrodniczym. Zważywszy na to, że grodzenie takich lasów wykluczyłoby ich funkcję korytarzy ekologicznych, działania ochronne powinny koncentrować się na współdzieleniu przestrzeni z poszanowaniem potrzeb dzikiej fauny – w szczególności w okresach krytycznych, takich jak zima i wiosna (posiadamy dane o młodych osobnikach saren na tych terenach). Ponadto, dla efektywnej ochrony tego typu siedlisk, warto promować działania właścicieli terenów prywatnych oraz lokalnych społeczności w kierunku utrzymania naturalnego charakteru tych enklaw – np. poprzez rezygnację z nadmiernej ingerencji w runo leśne czy unikanie hałasu i sztucznego oświetlenia nocnego. Takie podejście może znacząco zwiększyć wartość ekologiczno-refugialną małych fragmentów lasów i przyczynić się do utrzymania lokalnej bioróżnorodności, szczególnie w krajobrazie podmiejskim i wiejskim.

Bibliografia

1. Bersacola E., McLennan M. R., Bessa J. H., Camara H., Jaló M., Kiiza V., ... & Hockings K. J. (2025). Camera Traps Document Infant Corpse Carrying Behaviour in Multiple Unhabituated Chimpanzee Populations. *Ecology and Evolution*, 15(7), e71698.
2. Biella P., Bani L., Caprio E., Cochis F., Dondina O., Fiorilli V., ... & Labra M. (2025). Biodiversity-friendly practices to support urban nature across ecosystem levels in green areas at different scales. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128682.
3. Casanelles-Abella J., & Egerer M. (2025). Special Issue–The ecology of future cities. *Basic and Applied Ecology*.
4. Di Cerbo A. R., & Biancardi C. M. (2013). Monitoring small and arboreal mammals by camera traps: effectiveness and applications. *Acta Theriologica*, 58(3), 279-283.
5. Gaynor K. M., Hojnowski C. E., Carter N. H., & Brashares J. S. (2018). The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science*, 360(6394), 1232-1235.
6. Glen A. S., Cockburn S., Nichols M., Ekanayake J., & Warburton B. (2013). Optimising camera traps for monitoring small mammals. *PloS one*, 8(6), e67940.
7. Hsing P. Y., Hill R. A., Smith G. C., Bradley S., Green S. E., Kent V. T., ... & Stephens P. A. (2022). Large-scale mammal monitoring: The potential of a citizen science camera-trapping project in the United Kingdom. *Ecological Solutions and Evidence*, 3(4), e12180.
8. Kamieniarz R., Szymański M., & Panek M. (2018). Czynniki determinujące aktywność saren polnych. *Sylvan*, 162(03), 258-264.
9. Kirk H., Soanes K., Amati M., Bekessy S., Harrison L., Parris K., ... & Threlfall C. (2023). Ecological connectivity as a planning tool for the conservation of wildlife in cities. *MethodsX*, 10, 101989.
10. Kirkpatrick J. B., Driessen M. M., Jarman P. J., & Jakob L. (2023). Influences of adjacent suburbia, fire regimes and vegetation on the mammals of a peri-urban reserve. *Urban Ecosystems*, 26(4), 905-916.

11. Marion S., Demšar U., Davies A. L., Stephens P. A., Irvine R. J., & Long J. A. (2022). Spatial and temporal variations in interspecific interaction: impact of a recreational landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 68(3), 36.
12. R Core Team (2025). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
13. Tee S. L., Samantha L. D., Kamarudin N., Akbar Z., Lechner A. M., Ashton-Butt A., & Azhar B. (2018). Urban forest fragmentation impoverishes native mammalian biodiversity in the tropics. *Ecology and Evolution*, 8(24), 12506-12521.
14. Tsunoda H., & Hirao T. (2024). Vigilance levels of sika deer in nonhunting areas with moderate human activity. *acta ethologica*, 1-11.

II NAUKI MEDYCZNE

1. STOSOWANIE UŻYWEK PRZEZ STUDENTÓW

Eliza Armata, Natalia Papużyńska, Dawid Makowicz, Renata Dziubaszewska

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie

Zakład Pielęgniarstwa

Studenckie Koło Naukowe Honorowych Dawców Krwi i Potencjalnych Dawców Szpiku

ul. Rynek 1, 38-400 Krosno

E-mail: dawid.makowicz@pans.krosno.pl

Abstrakt

Stosowanie używek wśród studentów stanowi poważny problem zdrowia publicznego, który może prowadzić do negatywnych konsekwencji fizycznych, psychicznych oraz społecznych. Na sięganie po używki przez studentów wpływa wiele czynników; głównie wyróżnia się czynniki demograficzne i ekonomiczne, ale również czynniki, takie jak: stres, środowisko społeczne, styl życia oraz presja związana z nauką i oczekiwaniami społecznymi. Celem badań była ocena stosowania używek przez studentów polskich uczelni. Badanie zostało przeprowadzone za pomocą metody sondażu diagnostycznego. Narzędziem był autorski kwestionariusz ankiety, składający się z 14 pytań zamkniętych oraz metryczki. Materiał został zebrany w maju 2025 roku. W badaniu wzięło udział 256 studentów z terenu całej Polski, w tym 59 mężczyzn i 197 kobiet. Stosowanie używek jest popularne wśród polskich studentów (96,9%). Do najczęściej stosowanych używek przez studentów należą niemalże w tym samym odsetku alkohol (21,6%), napoje energetyzujące (21,4%), kawa (21,2%) oraz e-papierosy (20,8%), a po gotowe drinki dostępne w sklepach sięga 27,3%. Studenci częściej sięgają po e-papierosy, niż papierosy tytoniowe. Studenci głównie decydują się na używki w celach towarzyskich i dla relaksu. Gotowe drinki RTD (Ready To Drink) dostępne w sklepach cieszą się dużą popularnością wśród studentów.

Słowa kluczowe: używki, studenci, zdrowie.

1. Wstęp

Stosowanie substancji psychoaktywnych, takich jak alkohol, nikotyna, środki uspokajające, narkotyki czy napoje energetyzujące, stanowi istotny problem zdrowia publicznego, który dotyka coraz częściej młodych dorosłych, w tym studentów. Używki są powszechnie dostępne, a ich spożycie nierzadko bywa bagatelizowane, mimo że mogą prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, psychicznych i społecznych [Kapała, Kapała, Wojtyła-Buciora, 2024].

Okres studiów to czas intensywnego rozwoju intelektualnego i osobistego, ale także wzmożonego stresu, presji akademickiej, braku stabilizacji życiowej oraz często ograniczonych zasobów finansowych. Czynniki te mogą skłaniać studentów do sięgania po substancje psychoaktywne jako formę odreagowania napięcia, poprawy koncentracji czy ułatwienia

nawiązywania relacji społecznych [Długosz, 2024; Dziekanowska, Bigda, Hawro, Inglot, Kosmulska, 2024].

Badania wskazują, że młode osoby dorosłe są szczególnie podatne na rozwój niekorzystnych nawyków, w tym nadużywania substancji psychoaktywnych, które mogą utrwalać się w późniejszym życiu. Szczególnie niepokojący jest fakt, że wielu studentów nie jest w pełni świadomych konsekwencji zdrowotnych stosowania używek lub bagatelizuje ich wpływ na organizm i funkcjonowanie psychospołeczne. Zjawisko to wymaga szczególnej uwagi, zarówno ze strony środowiska akademickiego, jak i instytucji zajmujących się promocją zdrowia. Kluczowe jest prowadzenie działań edukacyjnych, profilaktycznych i wspierających zdrowe wybory wśród młodych ludzi, zanim sięganie po używki stanie się dla nich codziennością [Każmierczak, Szumiec, 2021; Mazur, Małkowska-Szkutnik, 2018].

2. Cel

Celem badań była ocena stosowania używek przez studentów polskich uczelni.

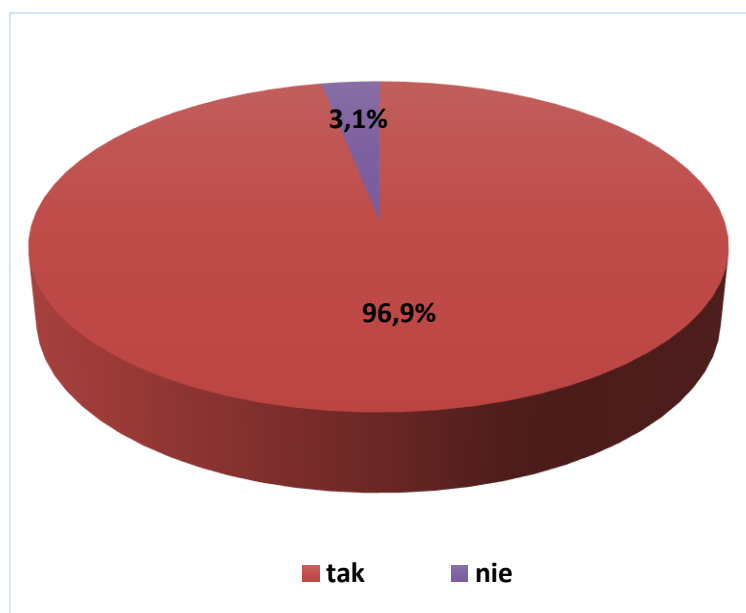
3. Materiały i metody

Badanie zostało przeprowadzone za pomocą metody sondażu diagnostycznego. Narzędziem był autorski kwestionariusz ankiety, składający się z 14 pytań zamkniętych oraz metryczki. Przeprowadzone badania są zgodne z wymaganiami Deklaracji Helsińskiej.

Materiał został zebrany w maju 2025 roku. W badaniu wzięło udział 256 studentów z terenu całej Polski, w tym 197 kobiet (77%) i 59 mężczyzn (23%). Przedział wiekowy osób badanych prezentował się następująco: 18-24 lat – 211 osób (82,4%), 25-30 lat – 23 osób (9%), 31-35 lat – 12 osób (4,7%), powyżej 35 – 10 osób (3,9%). Pośród grupy badanej 182 osoby (71,1%) deklarowało, że mieszkają w domu rodzinnym, 31 respondentów (12,1%), że podczas studiowania mieszka w akademiku/domu studenta, natomiast pozostali studenci - 43 osoby (16,8%) zaznaczyli inne opcje.

4. Wyniki

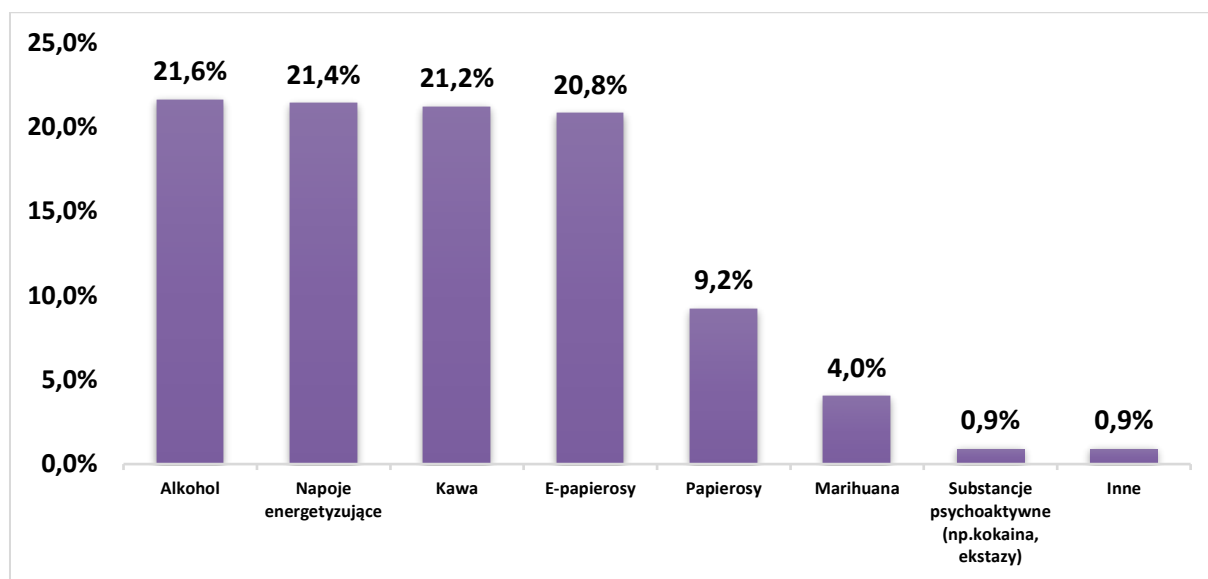
Większość respondentów (96,9%) zadeklarowało, że kiedykolwiek stosowali w swoim życiu używki, natomiast 3,1% badanych odpowiedziało, że ich nie stosowali (wykres 1).



Wykres 1. Stosowanie używek przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

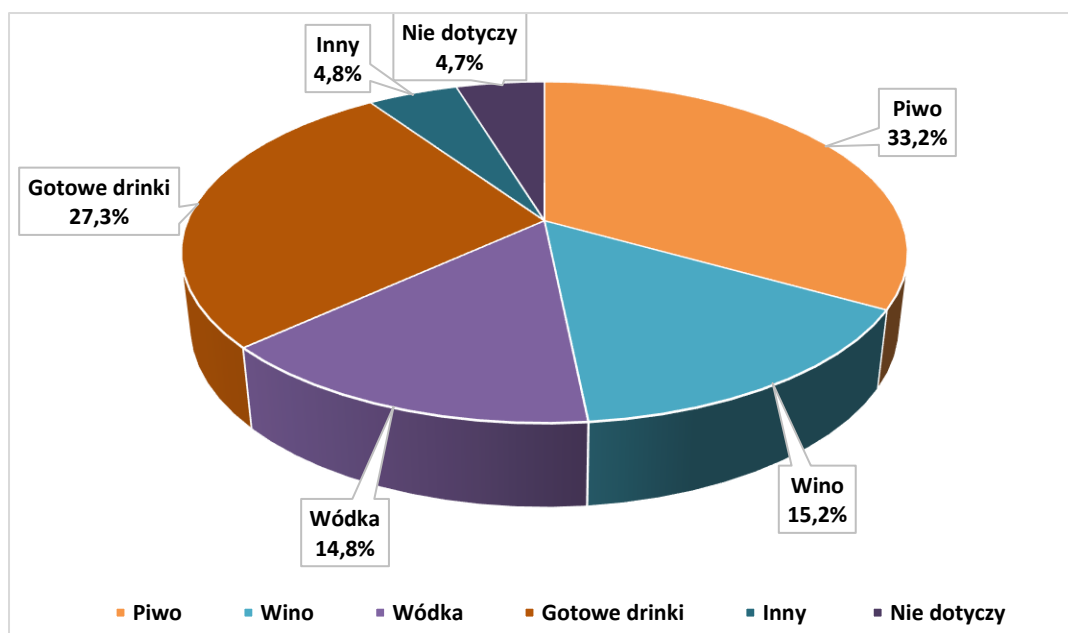
Najczęściej stosowanymi używkami przez badanych studentów były: alkohol (21,6%), napoje energetyzujące (21,4%) oraz kawa (21,2%). Natomiast 20,8% studentów deklarowało, że stosowało e-papierosy, a 9,2% tradycyjne papierosy (wykres 2).



Wykres 2. Rodzaje używek stosowanych przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

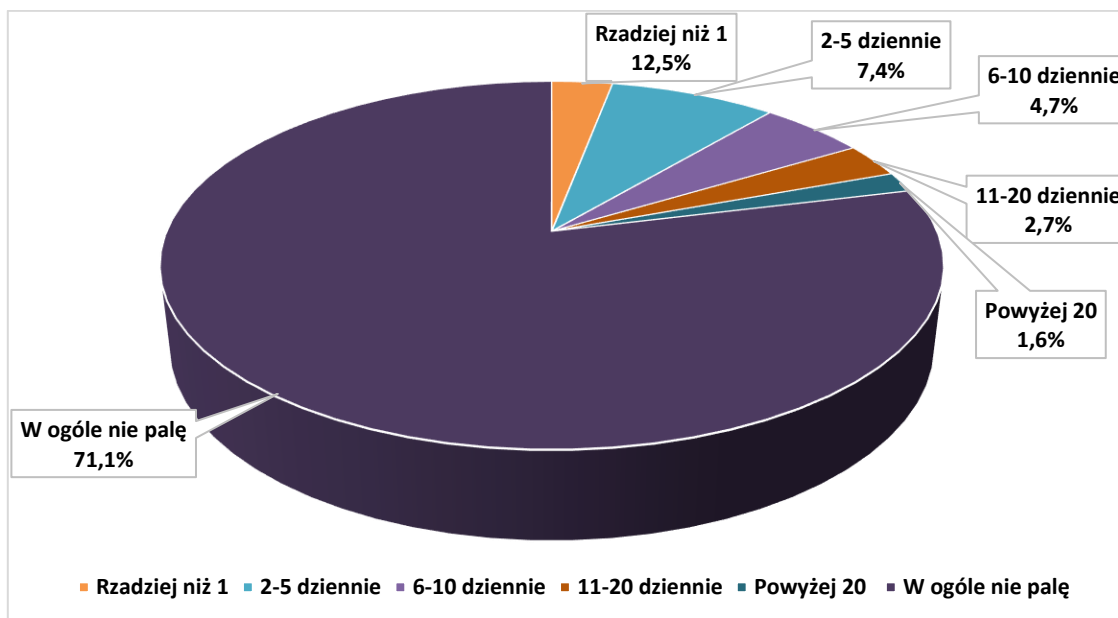
Najczęściej wybieranym alkoholem wśród studentów było piwo (33,2%), gotowe drinki (27,3%), wino (15,2%) oraz wódka (14,8%) (wykres 3).



Wykres 3. Rodzaje alkoholu, wypijane przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

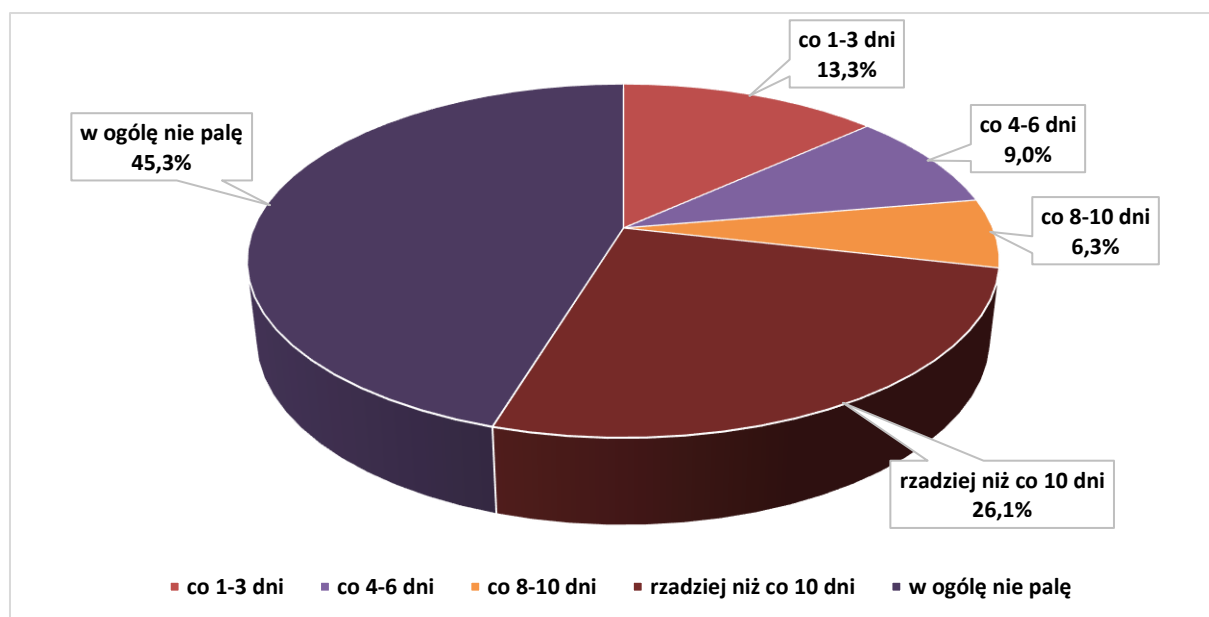
Największy odsetek studentów zadeklarował, że w ogóle nie pali papierosów (71,1%), 12,5% wypalało mniej niż jeden papieros dziennie, 7,4% studentów 2-5 papierosów dziennie, najmniejszy odsetek, bo 1,6% zaznaczyło, że wypala powyżej 20 papierosów dziennie (wykres 4).



Wykres 4. Dzienna ilość wypalanych papierosów przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

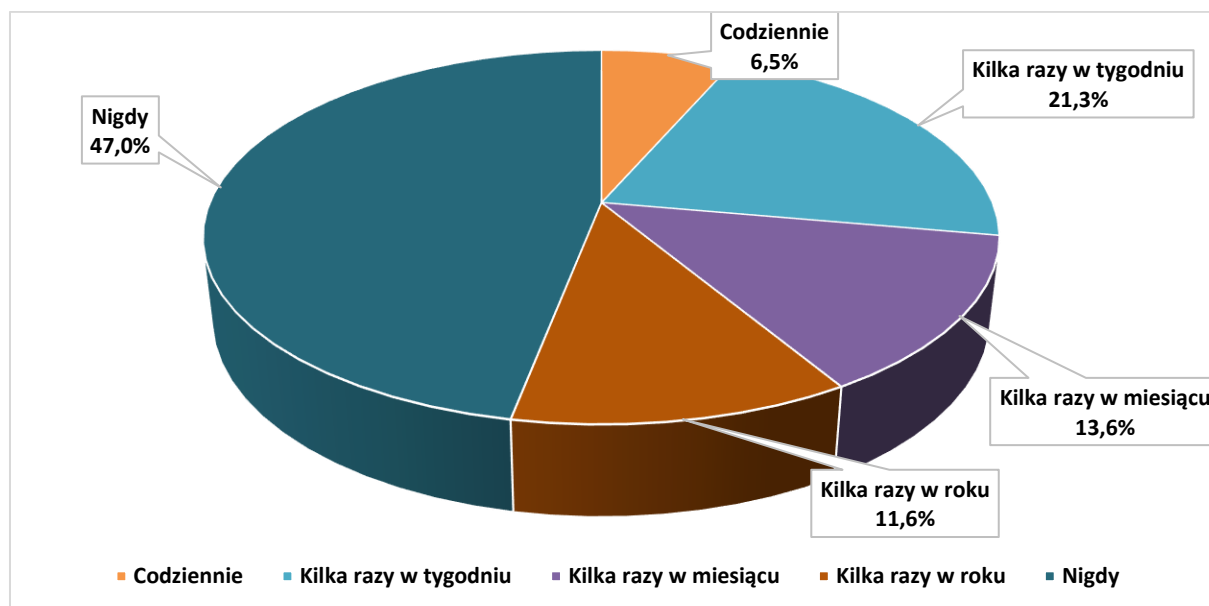
Z ankietowanych studentów 45,3% zadeklarowało, że w ogóle nie pali e-papierosów, 26,1% badanych wymieniało wkłady co 8-10 dni, 13,3% wymieniało wkłady do e-papierosów co 1-3 dni, 9,0% wymieniało je co 4-6 dni, a 6,3% co 8-10 dni (wykres 5).



Wykres 5. Częstość wymiany wkładów przez studentów palących e-papierosy (2 ml)

Źródło: opracowanie własne.

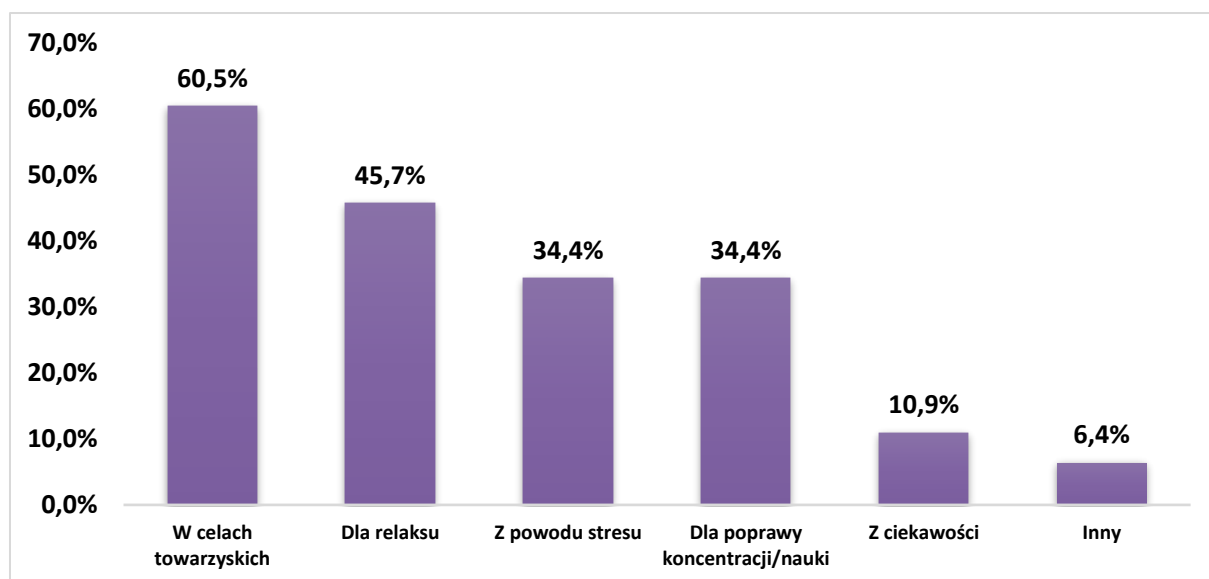
Wśród przebadanych studentów 21,3% przyznało, że spożywa napoje energetyzujące kilka razy w tygodniu, 13,6% spożywa je kilka razy w miesiącu, 11,6% kilka razy w roku, 47% ankietowanych deklarowało, że nigdy nie spożywało napojów energetyzujących, a 6,5% pije je codziennie (wykres 6).



Wykres 6. Częstość spożywania napojów energetyzujących przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

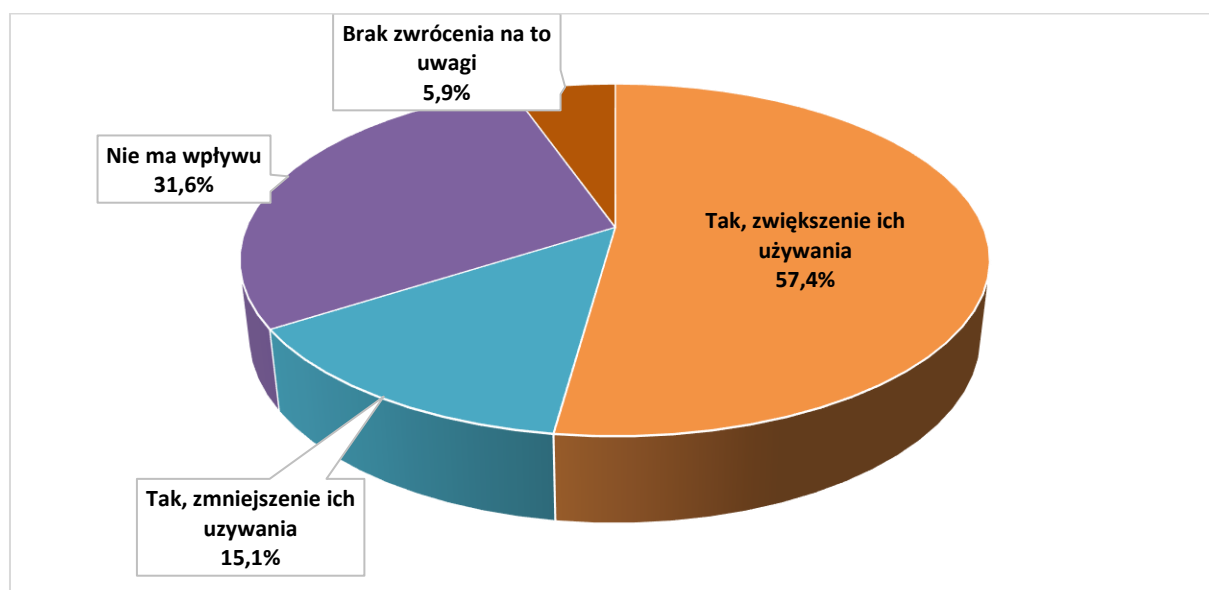
Wśród studentów najczęstszym powodem sięgania po używki były cele towarzyskie (60,5%), jako kolejny powód podawana była chęć zrelaksowania się (45,7%), natomiast w równej mierze (po 34,4%), stosowano używki w celach poprawy koncentracji oraz z powodu odczuwanego stresu (wykres 7).



Wykres 7. Powody stosowania używek przez studentów

Źródło: opracowanie własne.

Z pośród badanej grupy studentów 57,4% twierdziło, że studia zwiększyły częstość stosowania przez nich używek, natomiast 31,6% twierdziło, że studia nie mają wpływu na częstość ich stosowania, a 15,1% uważało, że studia zmniejszyły ich stosowanie (wykres 8).



Wykres 8. Wpływ studiowania na częstotliwość stosowania używek

Źródło: opracowanie własne.

5. Dyskusja

Stosowanie używek wśród studentów jest zjawiskiem, które budzi rosnące zainteresowanie wielu badaczy, ze względu na jego potencjalne, jak również realne wpływy na zdrowie młodych ludzi, wyniki w nauce, a także zachowania społeczne [Klepado, Snarska, Kobus, 2024]. W badaniach autorskich zdecydowana większość studentów stosowała w swoim życiu używki. Częsty poziom stosowania używek wśród studentów wskazuje również Pochwała [2019], która w swojej pracy pokazała, że 80% studentów przyznaje się do ich

stosowania przynajmniej raz w tygodniu, z czego ponad 2/3 codziennie. Na zwiększający się problem spożycia używek wśród studentów zwracają uwagę również zagraniczni badacze m. in. Kabbash i wsp. [Kabbash, Abdo, Żrebi, 2025]. Gałuszka [2021] podkreśla ponadto, że młody wiek sprzyja aktywności rozrywkowej, co w połączeniu z ciągłym procesem edukacji może powodować przemęczenie, a nawet stan wyczerpania organizmu, co może doprowadzić również do rozwoju nałogów. Niezwykle ważny jest również coraz bardziej zauważalny wpływ jednej używki na sięganie po inne [Milicic, Leatherdale, 2017; Scalese i in., 2023].

Najczęściej stosowanymi przez studentów używkami w prezentowanym badaniu były alkohol, napoje energetyzujące, kawa oraz e-papierosy. Różnice wśród najpopularniejszych odpowiedzi były niewielkie i wynosiły 0,8%. W badaniu Krawczyk [2023] najczęstszymi stosowanymi używkami był alkohol (47,1% kobiet, 43,2% mężczyzn) oraz e-papierosy i papierosy (32,9% kobiet, 37,8% mężczyzn). Piotrowski i in. [2020] również pokazali, że najczęstszą stosowaną używką jest alkohol, gdyż 66,89% badanych przyznało, że spożywa go często. Na wysokie ogólne spożycie napojów energetyzujących wskazują Pavlovic i wsp., w ich badaniach spośród wszystkich respondentów 52,4% przyznawało się do sięgania po tego typu napoje [Pavlovic, Miskulin, Jokic, Kovacevic, Miskulin, 2023]. Nieco niższe wyniki osiągnęli Örs Demet i wsp., gdyż w ich badaniach 40,5% studentów decydowało się na spożywanie napojów energetyzujących [Örs, Balcık, Dursun, Ayan, Alkan, 2024].

Najczęściej wybieranym alkoholem wśród respondentów było piwo, gotowe drinki, wino oraz wódka. Również w badaniu Piotrowskiego i in. [2020] najchętniej spożywanym alkoholem wśród studentów było piwo, które piło 72,11% badanych, 57,79% decydowało się na alkohole wysokoprocentowe, a po drinki sięgało 46,42%. Natomiast w badaniu Szalonki i wsp. piwo spożywało 68,1%, wino 57,2%, a wódkę 42,8% studentów [Szalonka i Witek, 2016]. Dla porównania w Tajlandii w projekcie Buakate i wsp. największą popularnością wśród napojów alkoholowych cieszyło się piwo (57,7%), a następnie koktajle alkoholowe (22,2%), czyli drinki [Buakate, Thirarattanasunthon, Wongrith, 2022]. Z kolei badania prowadzone przez Messine i in. [2021] we Włoszech pokazały, że największe spożycie alkoholu przez studentów w ich kraju dotyczy piwa (65,9%) oraz wina (60,9%), co może świadczyć, że popularność rodzaju alkoholów wśród studentów może być uwarunkowane geograficznie.

Badania własne pokazały, że e-papierosy są obecnie dużo bardziej popularne wśród studentów, niż tradycyjne papierosy. Jak ukazała Jabłońska [2024] niezmiennie od momentu pojawienia się na rynku e-papierosów cieszą się największą popularnością wśród młodzieży, najczęściej w przedziale wiekowym 18-24 lata, jak również pośród studentów i uczniów. Już w 2019 roku Fadus i wsp. zauważyli, że e-papierosy są popularniejsze niż tradycyjne papierosy, już wtedy 21% uczniów ostatnich klas szkół średnich w USA przyznało się do palenia e-papierosów w ciągu ostatniego miesiąca, natomiast 8% tych uczniów przyznało się do palenia tradycyjnych papierosów w tym samym czasie. Należy zaznaczyć, że dysproporcje te z roku na rok mogą tylko się rozwijać [Fadus, Smith, Squeglia, 2019]. Warty zauważenia jest tu fakt, że wskazywanym powodem rozpoczęcia stosowania przez młodych ludzi e-papierosów była chęć rzucenia palenia papierosów tradycyjnych. Kwestia braku nieprzyjemnego smaku i zapachu sprawiała, że studenci palą je częściej, nie zważając na miejsce, w którym się znajdują, w przeciwieństwie do zwykłych papierosów, których nieprzyjemny zapach niósł za sobą znaczące ograniczenia [Jabłońska, 2024].

Wśród badanych studentów najczęstszym powodem sięgania po używki były cele towarzyskie, chęć zrelaksowania się, poprawa koncentracji oraz chęć rozładowania stresu. Messina i in. [2021] pokazali, że głównymi przyczynami sięgania po używki były chęć poprawy samopoczucia (40,43%), potrzeba lepszych kontaktów społecznych (38,39%) oraz ogólnego radzenia sobie we współczesnym świecie (15,63%). Ponadto Chang i wsp. pokazali, że wśród głównych powodów sięgania po używki młodzi ludzie przedstawiają zachowanie czujności podczas pracy (48,7%), ciekawość dotycząca zastosowania tych produktów (32,0%), delektowanie się ich smakiem (31,3%) oraz konieczność przygotowywania się do egzaminów (26,7%) [Chang, Peng, Lan, 2017]. Natomiast wśród młodszych grup wiekowych stosowanie substancji psychoaktywnych miało na celu dostarczenie przyjemności, działania substancji jako afrodyzjaku, ale również, podobnie jak u studentów zwiększenie pewności siebie, radzenie sobie z lękiem i poprawa statusu społecznego [Kyei-Gyamfi i in., 2024].

W autorskim badaniu największy odsetek studentów był zdania, że studia zwiększyły częstotliwość stosowania przez nich używek. Malla [2025] zauważył, że bardzo wysoki odsetek studentów (67%) po raz pierwszy zaczął używać substancji psychoaktywnych podczas studiów na terenie kampusów uniwersyteckich. Edinoff i in. [2022] podkreślili, że nadużywanie wszelkiego rodzaju środków psychoaktywnych występuje częściej wśród studentów niż wśród innych grup młodych dorosłych nieuczęszczających do szkół wyższych. Należy tutaj dodatkowo podkreślić, że sami studenci (70% respondentów) w badaniu Bahlaq i in. [2023] jednoznacznie określili, że nadużywanie środków pobudzających negatywnie wpływało na osiągnięte przez nich wyniki w nauce.

6. Wnioski

1. Stosowanie używek jest popularne wśród polskich studentów.
2. Najczęściej stosowanymi używkami przez studentów są alkohol, napoje energetyzujące, kawa oraz e-papierosy.
3. Gotowe drinki RTD (Ready To Drink) dostępne w sklepach cieszą się dużą popularnością wśród studentów.
4. Studenci częściej sięgają po e-papierosy, niż papierosy tytoniowe.
5. Studenci głównie decydują się na używki w celach towarzyskich i dla relaksu.

Bibliografia

1. Bahlaq M.A., Ramadan I.K., Abalkhail B., Mirza A.A., Ahmed M.K., Alraddadi K.S., Kadi M.B. (2023). Stress, and Stimulant Abuse among Medical and Dental Students in the Western Region of Saudi Arabia: An Analytical Study. *Saudi J. Med. Med. Sci.* 11(1), s. 44-53. DOI: 10.4103/sjmms.sjmms_98_22
2. Buakate P., Thirarattanasunthon P., Wongrith P. (2022). Factors influencing alcohol consumption among university students in Southern Thailand. *Rocz Panstw Zakl Hig.* 73(4), s. 435-443. DOI: 10.32394/rpzh.2022.0239
3. Chang Y.-J., Peng C.-Y., Lan Y.-C. (2017). Consumption of Energy Drinks among Undergraduate Students in Taiwan: Related Factors and Associations with Substance Use. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 14(9), 54. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14090954>
4. Długosz P. Młodzież w epoce kryzysów. (2024). Wydawnictwo Academicon, Lublin.

5. Dziekanowska I., Bigda P., Hawro O., Inglot F., Kosmulska J. (2024). Zazywanie substancji psychoaktywnych wśród studentów medycyny. [w:] Kułak-Bejda A., Waszkiewicz N. Współczesny wymiar uzależnień Tom V, Białystok, s. 78-83.
6. Edinoff A.N., Nix C.A., McNeil S.E., Wagner S.E., Johnson C.A., Williams B.C., Cornett E.M., Murnane K.S., Kaye A.M., Kaye A.D. (2022). Prescription Stimulants in College and Medical Students: A Narrative Review of Misuse, Cognitive Impact, and Adverse Effects. *Psychiatry Int.* 3, s. 221-235. DOI: <https://doi.org/10.3390/psychiatryint3030018>
7. Fadus M.C., Smith T.T., Squeglia L.M. (2019). The rise of e-cigarettes, pod mod devices, and JUUL among youth: Factors influencing use, health implications, and downstream effects. *Drug Alcohol Depend.* 1, 201, s. 85-93. DOI: 10.1016/j.drugalcdep.2019.04.011
8. Gałuszka A. (2021). Ocena zachowań zdrowotnych wśród studentów w wybranych kierunków. *J. Educ. Health Sport.* 11(12), s. 139-149. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.12.009>
9. Jabłońska Z. (2024). Gorzko-słodki smak e-papierosów. Używanie e-papierosów przez młodzież i jego konsekwencje. *Biuletyn Socjoterapeutyczny*, 2, s. 101-118. DOI: <https://doi.org/10.14746/bst.2024.2.6>
- Kabbash I.A., Abdo S.A.E Żrebi H. A. (2025). Perception of tobacco smoking and drug use among university students. *Discov. public health.* 22(255). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12982-025-00629-z>
11. Kapała A., Kapała W., Wojtyła-Buciora P. (2024). Spożywanie alkoholu i leków oraz palenie tytoniu w obliczu zazywania narkotyków w populacji młodzieży i młodych dorosłych jako wyzwanie dla zdrowia publicznego. *Biul Gł Bibl Lek.* 383, s. 115-130. DOI: 10.2478/bgbl-2024-0026
12. Kaźmierczak D., Szumiec M. (2021). Człowiek we współczesnym świecie. Bezpieczeństwo, zdrowie, edukacja. Wydawnictwo Libron, Kraków.
13. Klepadło G., Snarska K., Kobus G. (2024). Zachowania zdrowotne studentów Uczelni medycznej i niemedycznej. [w:] Klimaszewskiej K., Krajewskiej-Kułak E. Współczesne wyzwania w ochronie zdrowia Tom XII, Białystok, s. 93-105.
14. Krawczyk J. (2023). Uzależnienie od wybranych używek jako przykład współczesnego problem wśród studentów polskich uczelni. *Homo et Societas*, 8, s. 140-153. DOI: <https://doi.org/10.4467/25436104HS.23.010.19122>
15. Kyei-Gyamfi S., Kyei-Arthur F., Alhassan N., Agyekum M.W., Abrah P.B., Kugbey N. (2024). Prevalence, correlates, and reasons for substance use among adolescents aged 10-17 in Ghana: a cross-sectional convergent parallel mixed-method study. *SATPP*, 19, s. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13011-024-00600-2>
16. Malla M.A. (2025). Epidemiology of Substance use Among the University Students in South India: an Exploratory Study. *Arch. psychiatry res.* 61, s. 25-34. DOI: 10.20471/jan.2025.61.01.02
17. Mazur. J., Małkowska-Szkutnik. A. (2018). Zdrowie uczniów w Polsce na tle wybranych uwarunkowań społecznych. Instytut Matki i Dziecka, Warszawa.
18. Messina M.P., Battagliese G., D'Angelo A., Ciccarelli R., Pisciotto F., Tramonte L., Fiore M., Ferraguti G., Vitali M., Ceccanti M. (2021). Knowledge and Practice towards Alcohol

- Consumption in a Sample of University Students. *Int J Environ Res Public Health*. 10, 18(18), 9528. DOI: 10.3390/ijerph18189528
19. Milicic S., Leatherdale S.T. (2017). The Associations Between E-Cigarettes and Binge Drinking, Marijuana Use, and Energy Drinks Mixed With Alcohol. *J. Adolesc. Health*. 60(3), s. 320-327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2016.10.011>
20. Örs Demet E.D., Balcık Z.B., Dursun M., Ayan M.N., Alkan Ş.B. (2024). Consumption of energy drinks among university students in Türkiye: A Cross-Sectional Study. *Sustainable Welfare*, 2(1), s. 37-49.
21. Pavlovic N., Miskulin I., Jokic S., Kovacevic J., Miskulin M. (2023). Consumption of Energy Drinks among University Students in Eastern Croatia. *Appl. Sci*. 13, 1124, s. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13021124>
22. Piotrowski P., Babicki M., Maślanka P., Kotowicz K., Marciniak D., Rymaszewska J. (2020). Ocena zaburzeń snu i stosowania środków psychoaktywnych wśród polskich studentów. *Psychiatr. Pol.* 54(5), s. 1007-1024. DOI: <https://doi.org/10.12740/PP/111751>
23. Pochwała M. (2019). Prozdrowotny styl życia polskich studentów. *Stud. Pr. Praw. Administr. Ekonom.* 27, s. 49-59. DOI: <https://doi.org/10.19195/1733-5779.27.3>
24. Scalese M., Benedetti E., Cerrai S., Colasante E., Fortunato L., Molinaro S. (2023). Alcohol versus combined alcohol and energy drinks consumption: Risk behaviors and consumption patterns among European students. *Alcohol*, 110, s. 15-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2023.02.001>
25. Szalonka K., Witek L. (2016). Postawy i zachowania prozdrowotne pokolenia Z w świetle badań pierwotnych. *Marketing i Zarządzanie*, 3(44), s. 189-196. DOI: 10.18276/miz.2016.44-17

2. CHOROBA ALZHEIMERA- TERAPIE PRZYSZŁOŚCI

Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska, Patrycja Zychowicz

Uniwersytet Jana Długosza

Collegium Medicum im. dr. W. Biegańskiego

Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

E-mail: aleksandragrzesiak2003@wp.pl, kingamariatchorzewska@gmail.com,

patrycja_zychowicz@o2.pl

Abstrakt: Choroba Alzheimerera (AD) jest najczęstszą formą otępienia w populacji starzejącej się, przewlekłą i nieuleczalną chorobą neurodegeneracyjną, charakteryzującą się gromadzeniem β -amyloidu (A β) oraz splątków neurofibrylarnych. Dotychczasowe terapie skupiają się głównie na spowolnieniu postępu choroby i łagodzeniu objawów. Do najczęściej stosowanych leków należą inhibitory acetylocholinoesterazy oraz niesteroidowe leki przeciwzapalne, takie jak ibuprofen, które redukują proces zapalny i odkładanie A β . Obiecujące kierunki badań obejmują substancje neuroprotektyjne, w tym latrepirynę, cyklosporynę i takrolimus, szczepionki mRNA (np. AV-1959LR), nanocząsteczki lipidowe (LBN) jako nośniki leków, a także nowe związki chemiczne oparte na szkielecie triazynowym, wykazujące aktywność wobec enzymów AChE i BuChE. W terapii eksperymentalnej badane są także autologiczne komórki NK (SNK01), wykazujące zdolność redukcji agregatów białkowych i modulowania neurozapalnych biomarkerów. Wśród innowacyjnych strategii istotną rolę odgrywają przeciwciała monoklonalne, takie jak lecanemab i donanemab, które zmniejszają akumulację A β w mózgu, spowalniając progresję AD, przy czym wymagają monitorowania ze względu na ryzyko obrzęków i mikrokrwawień.

1. Wstęp

W krajach rozwiniętych w ostatnich latach coraz wyraźniej zaznacza się proces starzenia populacji. Przyczyniają się do tego zarówno wydłużenie przeciętnej długości życia, jak i zmniejszająca się liczba narodzin. W grupie seniorów szczególnie często rozpoznawane są schorzenia neurodegeneracyjne. Najczęstszą postacią otępienia starczego na świecie jest choroba Alzheimerera. Jest to choroba przewlekła, nieuleczalna i prowadząca ostatecznie do śmierci. Szacuje się, że obecnie cierpi na nią około 55 milionów osób na całym globie, a liczba chorych podwaja się średnio co pięć lat. Według prognoz do 2050 roku liczba pacjentów może wzrosnąć do około 152 milionów. [Monteiro AR, Barbosa DJ, Remião F.; 2023][1]

Dalej nie odkryto co dokładnie powoduje chorobę. Podejrzewa się dwie prawdopodobne przyczyny obecność zewnątrzkomórkowych złogów peptydu amyloidu-beta lub obecność splątków neurofibrylarnych tworzonych przez nieprawidłowo zwinięte agregaty białkowe. [Jucker M, Walker LC.; 2023][2]

A β występuje w organizmie człowieka w kilku formach: jako rozpuszczalne monomery, oligomery, protofibryle oraz nierozpuszczalne fibryle. Badania wykazały, że oligomery i protofibryle A β są bardziej toksyczne niż monomery czy nierozpuszczalne fibryle. [Swanson CJ, Zhang Y, Dhadda S, et al.; 2021][4]

A β powstaje w wyniku proteolitycznego przetwarzania białka prekursorowego amyloidu (APP). APP może być metabolizowane dwoma odmiennymi szlakami. W szlaku nieamyloidogennym APP jest najpierw cięte przez α -sekretagę, a następnie przez γ -sekretagę, co prowadzi do powstania fragmentów, które nie tworzą A β . Z kolei w szlaku amyloidogennym APP jest początkowo rozkładane przez β -sekretagę, a następnie przez γ -sekretagę. W efekcie tego procesu powstają peptydy A β , głównie A β 40 i A β 42. A β 42 jest bardziej hydrofobowy i ma większą skłonność do agregacji w porównaniu z innymi peptydami A β . [Srivastava AK, Pittman JM, Zerweck J.; 2019, Chen GF, Xu TH, Yan Y.; 2017][5,6]

2. Materiały i metody

Analizę piśmiennictwa przeprowadzono w oparciu o aktualne publikacje naukowe obejmujące lata 2017–2025, dostępne w bazach PubMed, Scopus i Web of Science [1–15]. Uwzględniono zarówno badania przeglądowe, jak i oryginalne prace eksperymentalne oraz badania kliniczne fazy I–III dotyczące mechanizmów patofizjologicznych choroby Alzheimera, farmakokinetyki i skuteczności leków,

3. Obecne możliwości leczenia.

Terapia choroby Alzheimera ukierunkowana jest przede wszystkim na spowolnienie postępu schorzenia. Jej zadaniem jest poprawa ogólnego stanu zdrowia chorego, złagodzenie objawów oraz podniesienie jakości życia.

Niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ) odgrywają istotną rolę w terapii procesów zapalnych towarzyszących chorobie Alzheimera. Badania wskazują, że szczególnie korzystne efekty daje ich długotrwałe stosowanie, ponieważ pozwala ograniczyć rozwój zapalnego komponentu choroby w czasie. NLPZ oddziałują m.in. na komórki uczestniczące w reakcji zapalnej. Przykładowo ibuprofen zmniejsza aktywację fagocytów ośrodkowego układu nerwowego, takich jak mikroglej i astrocyty, co redukuje ich działanie prozapalne i w konsekwencji spowalnia progresję choroby. Dodatkowo ibuprofen obniża stężenie cytokin w miejscu zapalenia. Oprócz niego stosowane są również inne leki przeciwzapalne, takie jak diklofenak, S-flurbiprofen czy indometacyna. Wszystkie te preparaty mogą dodatkowo wpływać na strukturę β -amyloidu, zmniejszając jego nagromadzenie w korze mózgowej i hipokampie.

Najczęściej stosowaną grupą leków są inhibitory acetylocholinoesterazy, których działanie polega na wzmocnieniu przewodnictwa cholinergicznego. Enzym acetylocholinoesteraza odpowiada za rozkład acetylocholiny w synapsach układu cholinergicznego. Zahamowanie jego aktywności powoduje zwiększenie dostępności tego neuroprzekaźnika i nasilenie przekazywania. Leki te znalazły szerokie zastosowanie w praktyce klinicznej, jednak ich skuteczność ogranicza się do krótkotrwałej poprawy objawów – nie zatrzymują one postępu choroby ani nie zapobiegają dalszemu pogorszeniu funkcji poznawczych. [Twarowski B, Herbet M.; 2023][[3]

4. Nowe kierunki badań

Prowadzono również badania kliniczne nad zastosowaniem leków przeciwhistaminowych w terapii choroby Alzheimera, w szczególności latrepiryny. Substancja ta oddziałuje na strukturę i funkcjonowanie mitochondriów, a także chroni neurony przed

apoptozą wywołaną nagromadzeniem β -amyloidu, obniżając jego poziom wewnątrzkomórkowy. Właściwości neuroprotekcyjne latrepiryny są obecnie analizowane zarówno w badaniach *in vitro*, jak i *in vivo*. Wśród leków będących obecnie na etapie badań wymienia się cyklosporynę oraz takrolimus. Ich mechanizm działania polega na obniżaniu ekspresji mRNA białka prekursorowego amyloidu. Dodatkowo takrolimus ogranicza wydzielanie cytokin prozapalnych, a jednocześnie nasila proces fagocytozy złogów β -amyloidu przez komórki. [Twarowski B, Herbet M.; 2023][3]

5. Szczepionki

Potencjalnym kierunkiem terapii może być wykorzystanie szczepionki mRNA. W badaniu pilotażowym opracowano szczepionkę opartą na antygenie AV-1959, zawierającą uniwersalną platformę MultiTEP oraz trzy kopie peptydu obejmującego aminokwasy 1–11 amyloidu ($A\beta_{42}$). Po zamknięciu mRNA w nanocząstkach lipidowych (LNP) stworzono prototyp szczepionki o nazwie AV-1959LR. Testy przeprowadzono na myszach i naczelnych, a podanie dawki 20 μ g/mysz wywołało wyjątkowo silną odpowiedź humoralną, co czyni ten prototyp obiecującą formą szczepionki przeciwko chorobie Alzheimera. Wykazano, że zastosowanie mRNA zamkniętego w nanocząstkach lipidowych może być skuteczne w prewencji choroby Alzheimera u myszy i naczelnych poza ludźmi. Tak opracowana szczepionka profilaktyczna ma potencjał wywoływania długotrwałej odpowiedzi immunologicznej u osób zagrożonych, co mogłoby ograniczać odkładanie się patologicznych białek $A\beta$ i tau, a tym samym opóźniać rozwój otępienia. [Hovakimyan A, Chilingaryan G, King O, et al.; 2024][7]

6. Nanocząsteczki lipidowe (LBN) jako nośników leków

LBN mają potencjał jako nośniki leków na Alzheimera. Zbudowane z fosfolipidów, wyróżniają się zdolnością przenikania do komórek i przez barierę krew–mózg. LBN na przykład egzosomy, liposomy, SLN, NLC umożliwiają celowane, długotrwałe dostarczanie leków do OUN, oferując wysoką biokompatybilność, wydłużone uwalnianie substancji aktywnej i lepszą rozpuszczalność leków hydrofobowych. Ze względu na ograniczenia klasycznych LBN opracowano ich formy hybrydowe, łączące zalety egzosomów i liposomów. Dzięki zwiększonej biokompatybilności i tolerancji immunologicznej wydłużają czas krążenia, a w połączeniu z analizami proteomicznymi, lipidomicznymi i genetycznymi mogą znacząco zwiększać skuteczność terapii. [Jang YJ, Kang SJ, Park HS, et al.; 2025][8]

7. Szkielet triazynowy

1,3,5-Triazyna jest obiecującym szkieletem w poszukiwaniu leków przeciw chorobie Alzheimera. Ten heterocykliczny pierścień, w którym trzy atomy węgla zastąpiono azotem, wykazuje szeroką aktywność biologiczną, w tym działanie neuroprotekcyjne, hamowanie AChE oraz zdolność do interkalacji i rozkładu β -amyloidowych blaszek. W ostatnich badaniach z 2024 roku Zhang i współpracownicy opracowali pochodne kumaryna-1,3,5-triazyna i 2-fenylo-tiazol-1,3,5-triazynę, wykazujące znaczną aktywność hamującą AChE i BuChE. Tamaddon-Abibigloo i zespół stworzyli hybrydy izatyna-1,3,5-triazyna, również wykazujące potencjał wobec obu enzymów. Szkielet 1,3,5-triazyny uznaje się za szczególnie obiecujący ze względu na możliwość licznych modyfikacji strukturalnych, pozwalających projektować

poходne oddziałujące na wiele molekularnych celów choroby Alzheimera. [Silva CF, Guerrinha APDM, Carvalho S, et al.; 2025][9]

8. Komórki NK

Kierunkiem badań w terapii choroby Alzheimera jest zastosowanie komórek NK (SNK01). W badaniu klinicznym fazy I oceniano autologiczne, genetycznie niezmodyfikowane komórki NK, wykazujące w badaniach *in vitro* zwiększoną aktywność. SNK01 zostały przygotowane i scharakteryzowane pod kątem zdolności do eliminacji aktywowanych limfocytów T, rozkładu agregatów białkowych oraz wydzielania cytokin przeciwzapalnych. W badaniu lek podawano dożylnie co trzy tygodnie przez cztery cykle pacjentom z łagodną, umiarkowaną lub ciężką postacią AD. Wyniki wykazały, że 50–70% uczestników osiągnęło stabilizację lub poprawę w testach poznawczych (CDR-SB, ADAS-Cog, MMSE), a 90% w skali ADCOMS tydzień po ostatniej dawce. Obserwowano również korzystny wpływ na agregaty białkowe i markery neurozapalne w płynie mózgowo-rdzeniowym, z dawko-zależnym spadkiem pTau181 i GFAP. SNK01 były dobrze tolerowane i wykazały pozytywny efekt na biomarkery neurozapalne. W 2023 roku w USA rozpoczęto większe badanie z wydłużonym czasem podawania. [Zúñiga CH, Acosta BI, Menchaca R, et al.; 2025][10]

9. Przeciwciała monoklonalne

W leczeniu choroby Alzheimera jednym z kluczowych kierunków rozwoju są przeciwciała monoklonalne, w tym lecanemab i donanemab, które koncentrują się na redukcji β -amyloidu ($A\beta$) w mózgu. Lecanemab działa głównie na rozpuszczalne oligomery i protofibryle $A\beta$. Dzięki temu zmniejsza ich akumulację i prowadzi do spowolnienia progresji choroby u pacjentów z wczesnym stadium AD. Badania kliniczne wykazały, że redukcja płytek amyloidowych w mózgu wiąże się z częściową stabilizacją lub poprawą funkcji poznawczych pacjentów. Mechanizm działania lecanemabu opiera się na neutralizacji neurotoksycznych form $A\beta$ oraz wspieraniu ich eliminacji, co może ograniczać dalsze uszkodzenia neuronów. Donanemab natomiast jest skierowany przeciwko zmodyfikowanym posttranslacyjnie formom $A\beta$ obecnym w istniejących blaszkach amyloidowych. Podobnie jak lecanemab, lek redukuje amyloid w korze mózgowej i spowalnia postęp choroby. Dzięki wiązaniu się z już uformowanymi blaszkami donanemab może wpływać na stabilizację funkcji poznawczych u pacjentów z wczesnym AD. Pomimo obiecujących efektów klinicznych oba leki wymagają ostrożnego stosowania. Najczęściej obserwowane działania niepożądane obejmują obrzęki mózgu i mikrokrwawienia, zwłaszcza u osób z genotypem ApoE4, co wymaga regularnego monitorowania pacjentów za pomocą rezonansu magnetycznego. [Nemergut M, Marques SM, Uhrik L, et al.; 2023, Abushakra S, Porsteinsson AP, Sabbagh M, Bracoud L, Schaerer J, Power A, et al.; 2020, Espay AJ, Kepp KP, Herrup K.; 2024, Wang H, Pan J, Zhang M, Tan Z.; 2025, Kwon HS, Koh SH.; 2025][11, 12, 13, 14, 15]

10. Podsumowanie

Choroba Alzheimera jest globalnym problemem zdrowotnym związanym ze starzeniem się populacji, a jej patogenezą obejmuje nagromadzenie toksycznych form ($A\beta$) oraz spletków neurofibrilarnych. Obecne terapie koncentrują się na spowolnieniu postępu choroby poprzez inhibitory acetylocholinoesterazy i NLPZ, które poprawiają przewodnictwo cholinergiczne

oraz redukują proces zapalny. Nowe kierunki badań obejmują leki neuroprotektoryjne, szczepionki mRNA, nanocząsteczki lipidowe, triazynowy, komórki NK, przeciwciała monoklonalne. Wszystkie te strategie wskazują na kompleksowe podejście do terapii AD, łączące modulację amyloidu, ochronę neuronów i regulację odpowiedzi immunologicznej, co może prowadzić do skuteczniejszego spowolnienia lub częściowej regresji patologii choroby Alzheimera.

Bibliografia

1. Monteiro AR, Barbosa DJ, Remião F. Alzheimer's disease: Insights and new prospects in disease pathophysiology, biomarkers and disease-modifying drugs. *Biochem Pharmacol.* 2023;211:115522.
2. Jucker M, Walker LC. Alzheimer's disease: From immunotherapy to immunoprevention. *Cell.* 2023;186(20):4260–4270.
3. Twarowski B, Herbet M. Inflammatory Processes in Alzheimer's Disease—Pathomechanism, Diagnosis and Treatment: A Review. *Int J Mol Sci.* 2023;24(7):6518.
4. Swanson CJ, Zhang Y, Dhadda S, et al. A randomized, double-blind, phase 2b proof-of-concept clinical trial in early Alzheimer's disease with lecanemab, an anti-A β protofibril antibody. *Alzheimers Res Ther.* 2021;13:80.
5. Srivastava AK, Pittman JM, Zerweck J. β -Amyloid aggregation and heterogeneous nucleation. *Protein Sci.* 2019;28(9):1567–1581.
6. Chen GF, Xu TH, Yan Y. Amyloid beta: structure, biology and structure-based therapeutic development. *Acta Pharmacol Sin.* 2017;38(9):1205–1235.
7. Hovakimyan A, Chilingaryan G, King O, et al. mRNA Vaccine for Alzheimer's Disease: Pilot Study. *Vaccines (Basel).* 2024;12(6):659.
8. Jang YJ, Kang SJ, Park HS, et al. Drug delivery strategies with lipid-based nanoparticles for Alzheimer's disease treatment. *Nanobiotechnology.* 2025;23:99.
9. Silva CF, Guerrinha APDM, Carvalho S, et al. 1,3,5-Triazine: A Promising Molecular Scaffold for Novel Agents for the Treatment of Alzheimer's Disease. *Int J Mol Sci.* 2025;26(3):882.
10. Zúñiga CH, Acosta BI, Menchaca R, et al. Treatment of Alzheimer's Disease subjects with expanded non-genetically modified autologous natural killer cells (SNK01): a phase I study. *Alzheimers Res Ther.* 2025;17:40.
11. Nemergut M, Marques SM, Uhrig L, et al. Domino-like effect of C112R mutation on ApoE4 aggregation and its reduction by Alzheimer's Disease drug candidate. *Mol Neurodegener.* 2023;18:38.
12. Abushakra S, Porsteinsson AP, Sabbagh M, Bracoud L, Schaerer J, Power A, et al.; Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. APOE ϵ 4/ ϵ 4 homozygotes with early Alzheimer's disease show accelerated hippocampal atrophy and cortical thinning that correlates with cognitive decline. *Alzheimers Dement (N Y).* 2020;6(1):e12117.
13. Espay AJ, Kepp KP, Herrup K. Lecanemab and Donanemab as Therapies for Alzheimer's Disease: An Illustrated Perspective on the Data. *eNeuro.* 2024;11(7):ENEURO.0319-23.2024. doi:10.1523/ENEURO.0319-23.2024

14. Wang H, Pan J, Zhang M, Tan Z. Re-evaluation of the efficacy and safety of anti-A β monoclonal antibodies (lecanemab/donanemab) in the treatment of early Alzheimer's disease. *Front Pharmacol.* 2025;16:1599048. doi:10.3389/fphar.2025.1599048
15. Kwon HS, Koh SH. Monoclonal Antibodies—A New Horizon in Alzheimer's Treatment. *J Clin Neurol.* 2025;21(1):1–2. doi:10.3988/jcn.2024.0527

3. JAK SKOLIOZA WPŁYWA NA ZDROWIE PSYCHICZNE PACJENTA

Izabela Turkowska

Politechnika Białostocka

Wydział Mechaniczny

Instytut Inżynierii Biomedycznej

Skolioza nazywana również bocznym skrzywieniem kręgosłupa, staje się problemem, który dotyczy około 70% społeczeństwa. Nieprawidłowości oraz wady postawy to dolegliwości, które pozwoli można zacząć określać chorobą cywilizacyjną. Można zauważyć, że odpowiednia postawa to charakterystyczny oraz prawidłowy układ poszczególnych odcinków ciała wobec siebie, w odniesieniu do osi mechanicznej organizmu, utrzymywanej w najmniejszym możliwym napięciu układu mięśniowego oraz nerwowego. Skolioza jest wadą postawy, która stanowi dość często poważny problem ortopedyczny u dzieci oraz młodzieży. Skolioza jest to trójpłaszczyznową wadą kręgosłupa, która charakteryzuje się zniekształceniem w trzech płaszczyznach:

- poprzecznej
- strzałkowej
- czołowej.

Oprócz tego w wyniku skoliozy zakłócone zostaje działanie wielu układów oraz narządów organizmów- choroba ma ważny aspekt na układ krążeniowo- oddechowy.

Skolioza najczęściej rozwija się w odcinku piersiowym kręgosłupa lub na granicy odcinka piersiowego oraz lędźwiowego, rzadziej pojawia się w samym odcinku lędźwiowym. Skolioza może być zarówno prawostronna jak i lewostronna. Skrzywienie kręgosłupa nie ustąpi samo, dlatego bardzo ważnym aspektem jest szybka diagnoza oraz rozpoczęcie dedykowanego leczenia wady postawy. Według kryterium SRS skoliozą określamy skrzywienie, którego kąt odchylenia bocznego kręgosłupa oceniamy według kąta Cobba, na zdjęciu RTG, który wynosi co najmniej 10 stopni. Obecnie skoliozę ze względu na wielkość kątową dzieli się na trzy grupy:

10-24

25-40

50 i powyżej

W tabeli zostały przedstawione skrzywienia strukturalne oraz niestukturalne

<u>Skrzywienie strukturalne</u>	<u>Skrzywienie niestukturalne</u>
Idiopatyczne	Posturalne
W chorobach neuromięśniowych	Naciekowe
Wrodzone	Reflektoryczne
W chorobach tkanki łącznej	Związane z nierównością kończyn
Pourazowe	Związane z przykurczami okolicy stawu biodrowego
Pozapalne	
W chorobach metabolicznych	

Związane z wadami okolicy lędźwiowo-krzyżowej	
Guzy przykręgosłupowe oraz rdzenia kręgowego	

Charakterystyka skolioz idiopatycznych:

Typ wczesnodziecięcy (0-3)

- Częściej występuje u chłopców – w odróżnieniu od typu młodzieńczego
- Skrzywienie skierowane jest w stronę lewą- w odróżnieniu od typu młodzieńczego (piersiowe prawostronne)
- Często związane jest z występowaniem deformacji czaszki, opóźnieniem umysłowym, wrodzonymi wadami serca, dysplazją rozwojową stawu biodrowego
- Progresa występuje u 15% chorych

Typ dziecięcy (występuje u osób pomiędzy 3-10 rokiem życia)

- Występuje tylko u około 15% wszystkich pacjentów ze skoliozą idiopatyczną
- Częściej u dziewcząt i liczba ta wzrasta z wiekiem
- Wskaźnik dziewczęta- chłopcy w wieku 4-8 lat wynosi 1:1, a w wieku 8-10 lat i powyżej wzrasta w stosunku 10:1 na niekorzyść dziewcząt.
- Można zauważyć, że skrzywienie najczęściej skierowane jest w stronę prawą w odcinku piersiowym oraz częstsze jest występowanie skrzywień pierwotnie podwójnych
- Około 70% tych skrzywień progresuje oraz wymaga leczenia zachowawczego lub operacyjnego

Typ młodzieńczy (dotyczy osób powyżej 10 roku życia)

- Występuje częściej u dziewcząt w stosunku 10:1
- Zmiany zlokalizowane są najczęściej w odcinku piersiowym oraz skrzywione są w stronę prawa. W przypadku skrzywienia w stronę lewą należy wykonać badanie MRI, w celu wykluczenia chorób współistniejących
- Skrzywienie idiopatyczne w wieku młodzieńczym nie dają żadnych dolegliwości bólowych
- W wywiadzie należy zwrócić uwagę na wystąpienie u dziewcząt pierwszej miesiączki, co świadczy o rozpoczęciu się okresu pokwitania
- W 20% skrzywień prawostronnych oraz 80% lewostronnych w odcinku piersiowym występują inne zmiany patologiczne

Przyczyny występowania skoliozy:

- 1) Czynniki genetyczne
- 2) Okres intensywnego wzrostu
- 3) Wady wrodzone
- 4) Zaburzenia równowagi
- 5) Zaburzenia neuromięśniowe
- 6) Urazy kręgosłupa
- 7) Zwrodnienia stawów
- 8) Nawyki oraz styl życia przykładem może być przyjmowanie nieprawidłowej postawy ciała, częste używania komputera oraz telefonu komórkowego

Leczenie:

Leczenie skoliozy należy dostosować indywidualnie pod każdego pacjenta. Natomiast aktualnie stosowane są następujące formy leczenia, które zostały w tabeli w zależności od kąta skrzywienia:

Test Rissera	Kąt skrzywienia	Leczenie
0-1	0-20	Obserwacja
0-1	20-40	Leczenie za pomocą gorsetów
2-3	0-30	Obserwacja
2-3	30-40	Leczenie za pomocą gorsetów
0-3	40-45	Szara strefa
0-4	45 i więcej	Leczenie operacyjne

- 1) Obserwacja jest konieczna w celu identyfikacji oraz udokumentowaniu progresji skrzywienia, a tym samym pozwala określić moment interwencji chirurgicznej. Można zauważyć, że skrzywienie poniżej 20 stopni również powinny być obserwowane;
- 2) Rehabilitacja;
- 3) Leczenie za pomocą gorsetów.

W leczeniu nieoperacyjnym skolioz ważną rolę odgrywa leczenie za pomocą gorsetów. Bazując na wytycznych SOSORT leczenie gorsetowe powinno być łączone z kinezyterapią. Wskazaniem do rozpoczęcia leczenia gorsetem jest progresja skolioz oraz osiągnięcie skrzywienia 25 stopni według Cobba z niedojrzałym układem kostnym, czyli ujemnym testem Rissera. Celem leczenia za pomocą gorsetów jest: zatrzymanie czy też zmniejszenie progresji skrzywienia, uzyskanie zmniejszenia asymetrii klatki piersiowej lub uformowanie symetrii tułowia..Efekty leczenia za pomocą gorsetów polegają na zahamowaniu progresji skrzywienia, a w niektórych przypadkach możliwe jest również uzyskanie korekcji skrzywienia. Skuteczność powodzenia leczenia gorsetem zależy w głównej mierze od zrozumienia przez chorego celowości terapii oraz przestrzegania czasu noszenia gorsetu, właściwego dopasowania gorsetu, ustalenia prawidłowych ćwiczeń, osiągnięcia 50% korekcji skrzywienia w przeciągu od dwóch do trzech miesięcy.

W skoliozach o dużym ryzyku progresji leczenie za pomocą gorsetów odbywa się w pełnym wymiarze czasu (G- 100%). Gorset stosowany jest przez całą dobę (do szkoły, po zajęciach szkolnych, podczas snu). W praktyce wynosi około 20 godzin/dobę. Pozostały czas przeznaczony jest na ćwiczenia, potrzeby fizjologiczne oraz odpoczynek. W skoliozach o niewielkim tempie progresji oraz w okresie redukcji liczby godzin noszenia gorsetu, leczenie odbywa się w połowie wymiaru czasu (G 50%) przez około 12 godzin/ dobę. Wtedy gorset stosowany jest po zajęciach szkolnych oraz w czasie snu. W skoliozach o niewielkim tempie progresji , wyłączając okres szybkiego wzrostu. Gorsetowanie stosuje się tylko w nocy (G30%)

Gorsety stosowane w leczeniu skoliozy

- a. Szytywne- gorset szyjno-piersiowo- lędźwiowo- krzyżowy typu Milwaukee, stosowany w korekcji skolioz wysokich, gdzie kręg szczytowy głównie łuku skrzywienia umiejscowiony jest powyżej 8 kręgu piersiowego, gorset piersiowo- lędźwiowo- krzyżowy typu Cheneau lub mniej stosowane Boston, Vienna, Cuxhaven oraz inne,

stosowane

w korekcji skolioz w których kręgosłupowy główny łuk skrzywienia umiejscowiony jest na poziomie lub poniżej 8 kręgu piersiowego.

- b. kolejną grupą gorsetów są gorsety elastyczne typu SpineCor stosowane w korekcji skolioz w których kręgosłupowy główny łuk skrzywienia umiejscowiony jest na poziomie 8 kręgu piersiowego lub niżej, natomiast wartość kąta Cobba wynosi od 15 do 30 stopni.

Należy mieć na uwadze, że powodzenie leczenia zależy od wielu aspektów między innymi od prawidłowego wykonania gorsetu, stosowania się do zaleceń noszenia gorsetu, zazwyczaj 20 godzin na dobę. Przestrzeganie okresowych kontroli ambulatoryjnych co około 3 miesiące oraz przestrzeganie okresowych kontroli radiologicznych co 6 – 12 miesięcy. W celu uzyskania wstępnej korekcji w płaszczyźnie czołowej o około 50% w stosunku do wartości początkowej potwierdzone w badaniu radiologicznym, leczenie powinno być prowadzone przez multidyscyplinarny zespół kręgosłupowy (lekarz, fizjoterapeuta, technik ortopedyczny, psycholog) w ścisłym porozumieniu z rodzicami lub opiekunami prawnymi dziecka. Warunek ten jest bardzo ważny dla efektów terapii, ale jeszcze rzadko spotykany w Polsce z powodów organizacyjnych.

Niestety leczenie za pomocą gorsetów ortopedycznych wiąże się z pewnymi problemami między innymi z aspektem psychologicznym związanym z brakiem akceptacji swojej sytuacji oraz obawa, jak zareaguje środowisko rówieśników. Pogorszenie jakości życia, pomimo, że gorset nie przeszkadza w czynnościach życia codziennego, jak również w rekreacji. Przykładem może być jazda na rowerze, jazda na rolkach, korzystanie z basenu, pływanie łódka etc.

Zakończenie leczenia za pomocą gorsetów może być rozważone, gdy spełnione są warunki tzn. zatrzymanie wzrostu chorego potwierdzone pomiarami w trakcie kolejnych wizyt przez okres 6 miesięcznej obserwacji, dojrzałość kostna co najmniej 4 w teście Rissera (jest to okres minimum 2 lat od wystąpienia pierwszej miesiączki).

4) Leczenie operacyjne

Podstawowym zabiegiem w leczeniu operacyjnym skrzywień kręgosłupa jest spondylodeza. Termin spondylodeza oznacza usztywnienie kręgosłupa, natomiast termin instrumentarium- implanty kręgosłupowe (śruby, haki, pręty) wykonane z tytanu lub stali biologicznej, włókien węglowych lub materiałów biowchłaniających. Zadaniem implantów jest korekcja skrzywienia, a następnie jego stabilizacja po leczeniu operacyjnym. Po uzyskaniu wzrostu kostnego implanty mogą być usunięte z kręgosłupa, lecz nie wcześniej niż po upływie 2 lat od czasu wykonania zabiegu operacyjnego.

W przypadku występowania skrzywień wczesnodziecięcych. Skrzywienia cofające się wymagają stałej kontroli ambulatoryjnej oraz radiologicznej. Pacjentowi zaleca się spanie na brzuchu, aby zwiększyć siły mięśni brzucha i grzbietu oraz restytucji lordozy lędźwiowej. Skrzywienie progresujące leczymy gorsetowaniem głównie Milwaukee lub Boston. Natomiast w przypadkach postępującej progresji chorego należy leczyć operacyjnie, bez uwzględniania wieku. Wyróżniamy kilka wariantów operacyjnego leczenia do wyboru przez specjalistę ortopedii oraz traumatologii narządu ruchu. Na przykład przednia oraz tylna spondylodeza na

szczytce skrzywienia bez instrumentarium, tylna korekcja skrzywienia z instrumentarium bez spondylodezy z okresowymi dodatkowymi podciągnięciami.

Spondylodezę wykonujemy dopiero po osiągnięciu przez pacjenta dojrzałości kostnej minimum według Rissera 1-2. Spondylodeza tylna bez instrumentarium jest przeciwwskazana ze względu na niepohamowany wzrost kręgosłupa od przodu, który powoduje wystąpienie objawu skręcania się kręgosłupa od strony przedniej kolumny (tzw. Objaw crankshaft phenomenon).

Leczenie skrzywień dziecięcych rozpoczynamy zawsze od gorsetowania. Rodzaj gorsetu zależy od decyzji lekarza prowadzącego w uzgodnieniu z rodzicami pacjenta. W przypadkach progresji skrzywienia leczenie operacyjne jest leczeniem z wyboru. Wybór wariantu leczenia jest identyczny jak w skrzywieniach wczesnodziecięcych.

Leczenie operacyjne młodzieńczych idiopatycznych skrzywień kręgosłupa.

Wskazaniem do leczenia operacyjnego u pacjentów z dojrzałością kostną (Risser 2-4) jest kąt skrzywienia minimum 40-45 stopni.

W związku z faktem, że skolioza jest trójpłaszczyznową deformacją kręgosłupa w leczeniu operacyjnym stosowane są techniki trójpłaszczyznowej korekcji skrzywienia, tzw. techniki derotacyjne. Pierwsze instrumentarium derotacyjne do leczenia operacyjnego skolioz wprowadzili Cotel i Dubousset w roku 1988.

Rodzaj stosowanych zabiegów operacyjnych:

- Tylna spondylodeza z instrumentarium;
- Przednia spondylodeza z instrumentarium;
- Przednia oraz tylna spondylodeza z instrumentarium.

Średnia korekcja skrzywienia po tego typu zabiegach wynosi 60-90%. Po zabiegu operacyjnym nie stosuje się żadnego unieruchomienia zewnętrznego. Pionizację pacjenta rozpoczynamy w pierwszej dobie po zabiegu operacyjnym bez jakiegokolwiek unieruchomienia zewnętrznego.

Torakoplastyka- w skrzywieniach, w których występuje duży garb żebrowy, równocześnie z zabiegiem korekcji skrzywienia wykonujemy zabiegi torakoplastyki klatki piersiowej. Polega on na odcięciu przykręgosłupowych przyczepów żeber i uniesieniu ich w górę oraz połączeniu za pomocą szwów z prętem korekcyjnym, a tym samym na wyrównaniu asymetrii klatki piersiowej po stronnie wklęsłej skrzywienia. Zabieg ten zwiększa korekcję skrzywienia oraz poprawia kosmetykę pacjenta.

Kifoplastyka- zabieg może być wykonywany jednocześnie lub jako zabieg odroczone. Polega on na resekcji szczytowych części żeber wchodzących w skład garbu żebrowego. Służy poprawie wyglądu kosmetycznego pacjenta.

Stosunkowo nową metodą operacyjną leczenia skoliozy również idiopatycznej jest operacja przy użyciu systemu MAGEC (pręty magnetyczne).

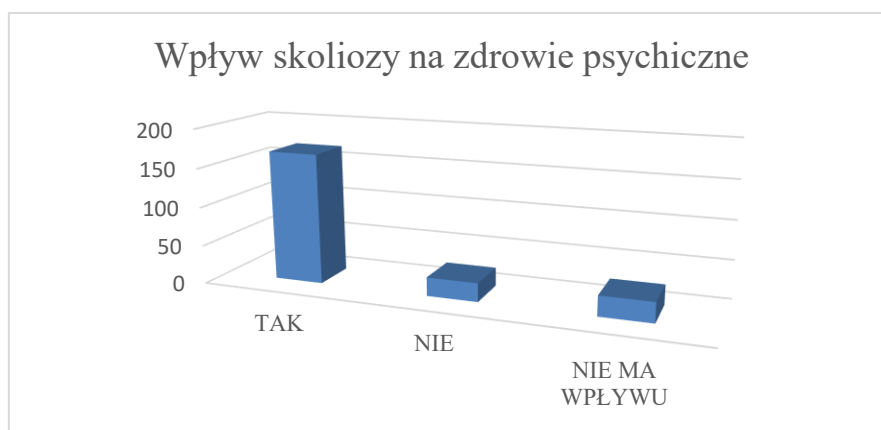
Aspekty psychologiczne

W trakcie występowania skoliozy u większości osób występuje stres. Diagnoza i leczenie są najtrudniejszymi etapami choroby. W przypadku choroby nabytej diagnoza może wywołać u pacjenta (i jego rodziny) emocjonalną odpowiedź w postaci szoku, lęku, uczucia straty i żalu. Wyróżniamy dwa główne rodzaje stresu. Stres psychiczny wywołany przez silny bodziec zewnętrzny oraz wewnętrzny, wzrost napięcia emocjonalnego prowadzący do ogólnej

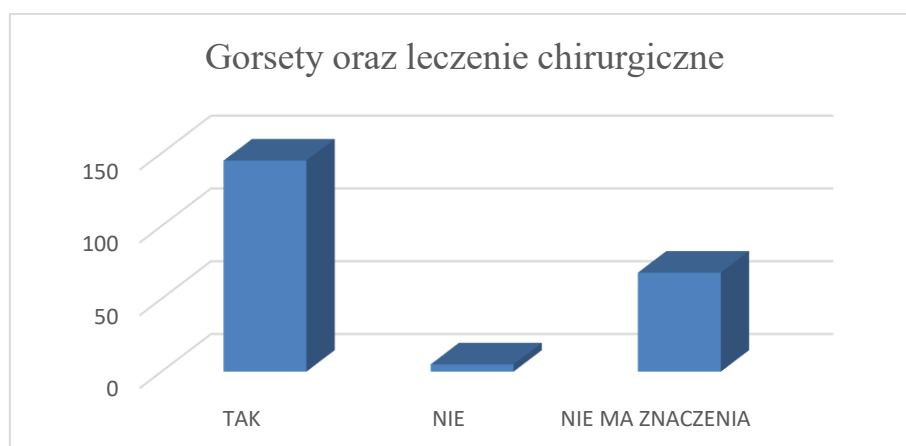
mobilizacji sił organizmu, mogący przy długotrwałym działaniu doprowadzić do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu, wyczerpaniu, występowaniu chorób psychopatycznych. Stres fizjologiczny jest to całokształt zmian, którymi organizm odpowiada na różnorakie czynniki uszkadzające jak i zranienia, oziębienie czy przegrzanie etc. Choroba oraz związane z nim leczenie jest wyzwaniem, które niesie ze sobą zjawisko odczuwania stresu. Całkowite wyeliminowanie stresu nie jest możliwe ani nawet potrzebne. Możliwe jest natomiast uczenie się strategii radzenia sobie ze stresem, by zmniejszyć jego negatywne skutki. Strategie radzenia sobie ze stresem podzielić można zasadniczo na dwie grupy – strategię podejścia i strategię unikania. Pierwsza jest strategią aktywną, zorientowaną na rozwiązywanie problemów lub aktywne poszukiwanie pomocy. Druga zaś charakteryzuje się pasywnością, wykorzystuje techniki zaprzeczenia oraz wycofania, wypierania lęku ze świadomości.

Skolioza jest klasyfikowana jako choroba przewlekła, zwykle jest ona rozpoznawana w okresie dojrzewania. Może być ona źródłem strachu, stresu również reakcji lękowych u pacjentów, szczególnie gdy chodzi o diagnostykę choroby oraz leczenie. Według literatury rozpoznanie skoliozy wiąże się z wystąpieniem stresu. Natomiast usztywnienie za pomocą gorsetu zakłóca nastrój, wyzwala negatywne emocje. Przykładem może być występowanie złości, gniewu, może również wyzwalać sytuacje konfliktowe z rodzicami oraz powodować ryzykowne zachowania. Brak wsparcia społecznego, trudności w wykonywaniu niektórych czynności codziennych, brak akceptacji własnego ciała, zła opieka medyczna lub też niewystarczająca z punktu widzenia pacjenta, dodatkowo brak rzetelnych informacji oraz trudności w korzystaniu z profesjonalnej pomocy psychologicznej mogą wiązać się z dodatkowym stresem. Stres psychologiczny może pojawiać się w wielu różnych formach. Mogą pojawiać się dodatkowe psychosomatyczne dolegliwości, zwiększone odczuwanie bólu, w szczególności w sytuacjach zagrożenia. Można zauważyć, że relacje społeczne nabierają dużego znaczenia dla młodego człowieka, który staje się podatny na opinię innych ludzi, w szczególności rówieśników. Ważnym psychologicznym aspektem jest wsparcie społeczne, które powinien otrzymywać. W pierwszej kolejności istotną rolę odgrywają rodzice. Powinni wykazywać się postawą akceptującą wobec dziecka, rozmawiać nie tylko na temat samej choroby, ale także o emocjach związanych z deformacją i jej leczeniem. Rodzice powinni także obserwować swoje dziecko, aby nie dopuścić u niego do wystąpienia długotrwałych negatywnych skutków związanych z zaburzeniami zdrowia psychicznego. Obserwuje się, że leczenie nieoperacyjne jest długie i wpływa na codzienne życie. Dodanie do leczenia interwencje psychologiczne mające na celu dzielenie się przeżyciami, wzmacnianie akceptacji dla samego siebie i naukę strategii postępowania w życiu społecznym.

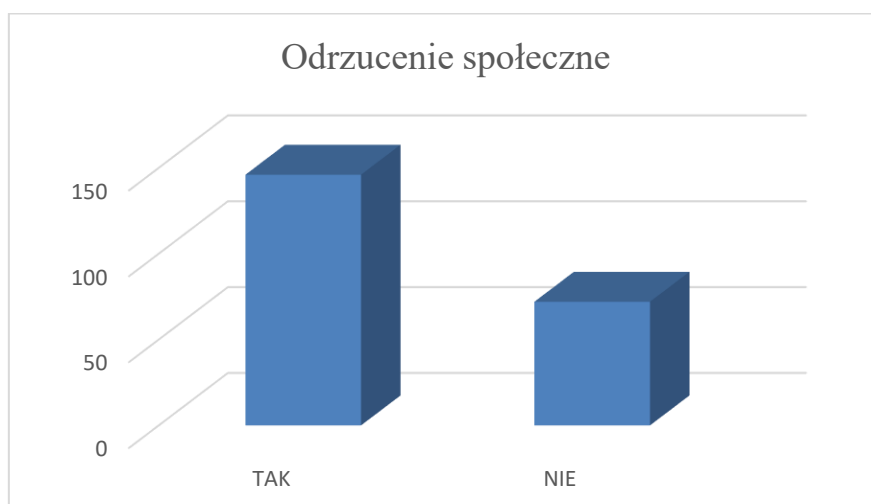
Ankietowane osoby odpowiedziały na następujące pytania. Wyniki zostały przedstawione na wykresach. W badaniach ankietowych wzięło udział 218 osób cierpiących na skoliozę.



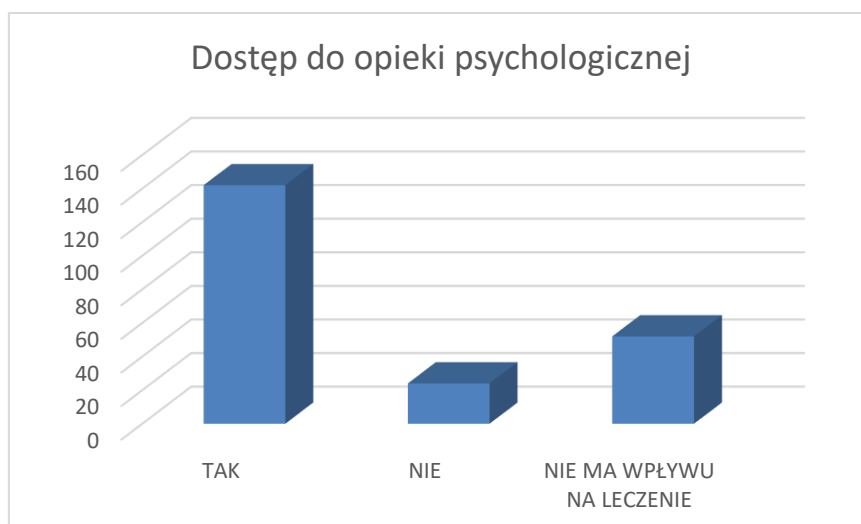
Wykres 1. Czy występowanie skoliozy wpływa na zdrowie psychiczne



Wykres 2. Czy leczenie za pomocą gorsetów ortopedycznych oraz leczenie chirurgiczne wpływa na zdrowie psychiczne osób chorych na skoliozę



Wykres 3. Czy osoby chore na skoliozę doświadczyły odrzucenia społecznego



Wykres 4. Czy osoby cierpiące na skoliozę oraz inne wady postawy, powinny być objęte wsparciem psychologicznym

Podsumowanie

Skolioza idiopatyczna jest jednostką chorobową o niezupełnie poznanej etiologii. Można zauważyć, że na występowanie skoliozy wpływają takie czynniki jak uwarunkowania genetyczne, rozwój dziecka, występowanie chorób współistniejących, prawidłowe utrzymywanie postawy przez dziecko, odpowiednia ilość aktywności fizycznej, szybkie diagnozowanie nieprawidłowości kręgosłupa. Ważny aspekt stanowią również regularne wizyty lekarskie w celu kontroli postawy ciała przez ortopedę. Leczenie skoliozy powinno być indywidualnie dopasowane pod każdego pacjenta. Wyżej wymieniona wada postawy stanowi też ważny aspekt na zdrowiu psychicznym. Pacjenci powinni być pod kontrolą opieki psychologicznej, tak aby defekty były wykrywane wystarczająco wcześnie. Leczeniem skoliozy powinien zajmować się zespół specjalistów złożony z: lekarzy ortopedów, fizjoterapeutów, neurologów oraz psychologów. Obecnie można zauważyć, że skolioza stanowi ważny aspekt cywilizacyjny i dotyka coraz więcej dzieci oraz młodzieży.

Bibliografia

1. Turkowska „Jak dostęp do placówek medycznych oraz jakość świadczonych przez nich usług wpływa na leczenie oraz rozwój skoliozy u dzieci i młodzieży”.
2. T. Goździk „Ortopedia i traumatologia narządu ruchu”.
3. S. Trzcńska „Nowoczesna diagnostyka skoliozy”.
4. J. Johnos „Korekcja Podstawy Ciała”.
5. M. Diab „Ortopedia dziecięca w praktyce”.
6. S. S Fernandez „Metoda leczenia skolioz, kifozy i lordozy”.
7. T. Kasieczek „Wady postawy ciała, diagnostyka i leczenie”.

4. OD DYSFUNKCJI FILMU ŁZOWEGO DO NOWOCZESNYCH TERAPII - WSPÓŁCZESNE SPOJRZENIE NA ZESPÓŁ SUCHEGO OKA

Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska

Uniwersytet Jana Długosza

Collegium Medicum im. dr. W. Biegańskiego

Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

E-mail: patrycja_zychowicz@o2.pl, aleksandragrzesiak2003@wp.pl,

kingamariatchorzewska@gmail.com

Abstrakt: Zespół suchego oka (DED) jest przewlekłą, wieloczynnikową chorobą powierzchni oka charakteryzującą się destabilizacją filmu łzowego, hiperosmolarnością i przewlekłym stanem zapalnym. Etiologia tego schorzenia obejmuje szereg czynników, w tym dysfunkcję gruczołów Meiboma, niedobór płynu łzowego i zaburzenia warstwy lipidowej. Wykazano, że choroba ta ma znaczący wpływ na jakość życia osób dotkniętych tą dolegliwością, często powodując ograniczenia w codziennych czynnościach i zwiększone ryzyko wystąpienia powikłań rogówki. Proces diagnostyczny obejmuje kompleksową ocenę objawów, test Schirmera, TBUT, pomiar osmolarności łez, barwienie nabłonka oraz najnowocześniejsze techniki obrazowania, takie jak meibografia. Leczenie wymaga wielopłaszczyznowego podejścia, obejmującego zmianę stylu życia, stosowanie sztucznych łez, leków immunomodulujących, suplementacji kwasów omega-3 oraz innowacyjnych metod terapeutycznych, w tym IPL, soczewek terapeutycznych i terapii komórkowych. Wykazano, że połączenie różnych metod zwiększa komfort pacjenta i łagodzi powikłania.

Słowa kluczowe: zespół suchego oka, film łzowy, dysfunkcja gruczołów Meiboma, leczenie, terapie innowacyjne.

1. Wprowadzenie

Zespół suchego oka (ang. *dry eye disease*, DED), znany również jako keratokonjunktывitis sicca, jest przewlekłą, wieloczynnikową chorobą powierzchni oka charakteryzującą się utratą homeostazy filmu łzowego, destabilizacją, hiperosmolarnością i towarzyszącym stanem zapalnym powierzchni oka [Labetoulle i in., 2022]. Jego prevalencja rośnie wraz z wiekiem, dotyczy 10-20% osób po 40. roku życia.[Kwon i in., 2025] Choroba istotnie obniża jakość życia, prowadzi do problemów w pracy wymagającej precyzyjnego widzenia oraz zwiększa ryzyko powikłań rogówkowych. [Morthen i in., 2023]

2. Patofizjologia i przyczyny zespołu suchego oka

2.1. Warstwy filmu łzowego

Film łzowy jest złożoną strukturą składającą się z trzech głównych warstw: warstwy lipidowej (wydzielanej przez gruczoły Meiboma, ograniczającej parowanie łez), warstwy wodnej (wytwarzanej przez gruczoły łzowe, zapewniającej nawilżenie i transport składników odżywczych) oraz warstwy mucyny (wytwarzanej przez komórki kubkowe, zapewniającej przyleganie filmu do nabłonka rogówki) [Labetoulle i in., 2022]. Brak równowagi między tymi

elementami może skutkować zwiększonym parowaniem, zmniejszoną objętością łez, upośledzoną przyczepnością do powierzchni rogówki, podrażnieniem nabłonka lub przewlekłym stanem zapalnym [Craig i in., 2017].

2.2. Mechanizmy patogenetyczne

Istnieją dwa główne mechanizmy leżące u podstaw rozwoju zespołu suchego oka: Zespół suchego oka spowodowany parowaniem (EDE) jest najczęstszą postacią tej choroby i wiąże się z dysfunkcją gruczołów Meiboma, stanem zapalnym brzegów powiek lub zmniejszoną częstotliwością mrugania [Labetoulle i in., 2022].

Zespół suchego oka spowodowany niedoborem płynu łzowego (ADDE) to schorzenie charakteryzujące się niewystarczającą produkcją łez, które może być spowodowane różnymi czynnikami, w tym zespołem Sjögrena lub uszkodzeniem gruczołów łzowych [Labetoulle i in., 2022].

Obecność kombinacji obu mechanizmów wskazuje na występowanie „formy mieszanej”, która została udokumentowana ze względną częstotliwością [Tsubota K. i in., 2020].

Patogeneza DED opiera się na błędnym kole: destabilizacja filmu łzowego prowadzi do hiperosmolarności, która z kolei powoduje uszkodzenie nabłonka i następujące po nim zapalenie, co skutkuje dalszą destabilizacją filmu łzowego [Kwon i in., 2025].

2.3. Czynniki ryzyka

Na rozwój zespołu suchego oka (DED) ma wpływ wiele czynników ogólnoustrojowych i miejscowych. Wśród czynników ogólnoustrojowych za istotne uznano następujące: wiek i płeć. Kobiety w okresie menopauzy są szczególnie narażone na DED ze względu na zmiany hormonalne, które często towarzyszą temu etapowi życia. Choroby autoimmunologiczne, w tym między innymi zespół Sjögrena i toczeń rumieniowaty, to grupa chorób, w których układ odpornościowy błędnie identyfikuje własne antygeny jako obce, co prowadzi do uwalniania cząsteczek zapalnych powodujących uszkodzenia tkanek. Leki przeciwhistaminowe, beta-blokery i diuretyki. Środowisko charakteryzuje się takimi czynnikami, jak suche powietrze, klimatyzacja oraz długotrwała ekspozycja na ekrany komputerów i urządzeń mobilnych (Maulvi i in., 2024).

Czynniki lokalne, które przyczyniają się do rozwoju zespołu suchego oka, obejmują przewlekłą dysfunkcję gruczołów Meiboma, nieprawidłowe ułożenie powiek, niewystarczające mruganie (często występujące podczas długotrwałego korzystania z monitora), wcześniejsze infekcje spojówek oraz zabiegi chirurgii refrakcyjnej. [Chiang i in., 2025]

2.4. Molekularne mechanizmy zapalenia

W DED dochodzi do wzrostu ekspresji cytokin prozapalnych (IL-1, IL-6, TNF- α) oraz metaloproteinaz macierzy (MMP-9), co prowadzi do uszkodzenia nabłonka i dalszej destabilizacji filmu łzowego [Labetoulle et al., 2022].

3. Objawy kliniczne

Objawy związane z zespołem suchego oka wykazują znaczną zmienność, od łagodnego dyskomfortu do poważnych objawów, które powodują znaczne ograniczenia w codziennym

funkcjonowaniu. Odnotowano szereg objawów, w tym uczucie suchości, pieczenia i swędzenia. Niektórzy pacjenci zgłaszali obecność „ciała obcego” lub „piasku pod powiekami”. Zaobserwowano następujące objawy: zaczerwienienie spojówki i zmęczenie oczu. Zgłaszano następujące objawy: światłowstręt, odruchowe łzawienie i trudności w noszeniu soczewek kontaktowych. W ostatnich badaniach przedmiotem zainteresowania były wahania ostrości wzroku, szczególnie podczas czynności takich jak czytanie i praca przy ekranie. W istniejącej literaturze odnotowano nadwrażliwość na wiatr, dym i klimatyzację [Chiang i in., 2025].

W badaniu przedmiotowym stwierdza się niestabilny film łzowy, punktowe ubytki nabłonka rogówki w barwieniu fluoresceiną, a w zaawansowanych przypadkach owrzodzenia i blizny rogówkowe [Pflugfelder i in., 2000].

4. Diagnostyka

Rozpoznanie zespołu suchego oka (DED) opiera się na zintegrowanym podejściu, które łączy szczegółowy wywiad z pacjentem, badanie kliniczne oczu oraz różnorodne testy dodatkowe.

Pacjentów często proszą o wypełnienie specjalnych kwestionariuszy, takich jak Ocular Surface Disease Index (OSDI), pozwalających określić nasilenie odczuwanych dolegliwości i ich wpływ na codzienne funkcjonowanie.

Do oceny ilości wytwarzanych łez wykorzystuje się test Schirmera, w którym papierowa bibułka absorbująca umożliwia ocenę produkcji łez w określonym czasie. Natomiast czas przerwania filmu łzowego (BUT, TBUT) wskazuje, jak długo film łzowy pozostaje stabilny po zakropleniu fluoresceiny.

Dużą wartość diagnostyczną ma również pomiar osmolarności łez, będący jednym z najbardziej czułych parametrów zaburzeń powierzchni oka.

W celu uwidocznienia ubytków nabłonka rogówki i spojówki stosuje się barwienia fluoresceiną lub zielenią lizaniny, które pokazują nawet niewielkie punkcikowe uszkodzenia. Nowoczesne metody obrazowania, takie jak meibografia i interferometria warstwy lipidowej filmu łzowego, umożliwiają ocenę struktury gruczołów Meiboma oraz jakości warstwy lipidowej filmu łzowego, co pomaga w identyfikacji przyczyn nadmiernego parowania łez i niestabilności filmu łzowego. [Wolffsohn i in., 2017]

5. Leczenie miejscowe

Podstawą terapii ZSO jest zmiana stylu życia i eliminacja czynników środowiskowych, które nasilają objawy. Zaleca się unikanie narażenia na suche powietrze i klimatyzację, regularne przerwy w pracy przy komputerze (zgodnie z zasadą 20-20-20), świadome mruganie oraz nawilżanie powietrza w pomieszczeniach [Kwon i in., 2025].

Leczeniem z wyboru w tym schorzeniu są sztuczne łzy. Preparaty te są dostępne w różnych postaciach, w tym w postaci kropli, żeli i maści. Preparaty te zawierają między innymi kwas hialuronowy, karbomer, glicerol i trójglicerydy. Wykazano również, że preparaty lipidowe zmniejszają parowanie łez i zwiększają stabilność filmu łzowego [Maulvi i in., 2024]. W przypadku przewlekłego stosowania zaleca się preparaty bez konserwantów, natomiast w cięższych przypadkach na noc stosuje się żele i maści [Ribeiro i in., 2019].

W przypadkach przewlekłego zapalenia powierzchni oka stosuje się leki immunomodulujące, takie jak cyklosporyna A, która zmniejsza stan zapalny i poprawia wydzielanie łez, oraz lifitegrast, który hamuje interakcję LFA-1/ICAM-1 i zmniejsza odpowiedź zapalną. W przypadkach ciężkiego zapalenia można zastosować krótką kurację miejscowymi glikokortykosteroidami, które mają właściwości przeciwzapalne. Jednak długotrwałe stosowanie glikokortykosteroidów może powodować działania niepożądane, w tym jaskrę lub zaćmę [Mondal i in., 2023].

Leczenie wspomagające obejmuje stosowanie zatyczek do punktów łzowych, które ograniczają odprowadzanie łez, soczewek twardych chroniących powierzchnię rogówki oraz kropli z autologiczną surowicą w przypadkach opornych na leczenie [Geerling i in., 2004]. Wykazano, że regularna higiena powiek, obejmująca usuwanie ciał obcych i złuszczonego nabłonka, poprawia funkcjonowanie gruczołów Meiboma i stabilizuje integralność filmu łzowego.

Udowodniono również, że połączenie tych metod, od zmiany stylu życia po stosowanie środków nawilżających, leków immunomodulujących i terapii wspomagającej, skutecznie łagodzi objawy DED i poprawia komfort pacjenta [Chuckpaiwong i in., 2022].

6. Leczenie systemowe

Suplementacja kwasami tłuszczowymi omega-3, a w szczególności DHA, może mieć korzystny wpływ na funkcjonowanie gruczołów Meiboma i stabilność filmu łzowego u pacjentów z zespołem suchego oka. Ostatnie badania wykazały, że po ośmiu tygodniach suplementacji następuje poprawa czasu rozrywania filmu łzowego (TBUT) i wyników w skali dysfunkcji gruczołów Meiboma (MGD) [Jo, Y. J. i in., 2021]. Jednak skuteczność kwasów omega-3 w leczeniu zespołu suchego oka pozostaje niejasna i wymaga dalszych badań [Nguyen, A. i in., 2023].

Niesteroidowe leki przeciwzapalne (NLPZ), w tym bromfenak, są stosowane miejscowo w celu złagodzenia stanu zapalnego powierzchni oka. Należy zachować ostrożność podczas stosowania NLPZ, ponieważ długotrwałe stosowanie może powodować podrażnienie oczu lub uszkodzenie nabłonka rogówki [Nguyen, A. i in., 2023].

W przypadkach DCS związanych z chorobami autoimmunologicznymi, takimi jak zespół Sjögrena, konieczne jest leczenie przyczynowe. Wykazano, że skuteczne leczenie chorób współistniejących prowadzi do znacznej poprawy objawów DCS i komfortu pacjenta [Akpek, E. K., i in., 2011].

7. Innowacyjne terapie

Postępy w badaniach naukowych doprowadziły do opracowania nowych metod leczenia zespołu suchego oka. Terapia intensywnym światłem pulsacyjnym (IPL) jest metodą stosowaną w leczeniu dysfunkcji gruczołów Meiboma, której celem jest zwiększenie wydzielania lipidów i poprawa stabilności filmu łzowego. Wykorzystanie systemów dostarczania leków opartych na nanocząsteczkach stało się obiecującym obszarem badań ze względu na ich zdolność do zwiększania biodostępności leków przeciwzapalnych i optymalizacji skuteczności terapeutycznej. Lacrytin, naturalnie występujący czynnik stymulujący łzawienie, jest obecnie badany jako potencjalna opcja terapeutyczna dla pacjentów cierpiących na zespół suchego oka. W przypadkach ciężkiej postaci choroby, szczególnie gdy dochodzi do uszkodzenia rogówki,

stosuje się przeszczep błony owodniowej i terapię komórkowe w celu pobudzenia regeneracji powierzchni oka.[Garg R, i in., 2021] Soczewki terapeutyczne stanowią znaczący postęp w leczeniu okulistycznym, zapewniając bardziej równomierne i skuteczne działanie leku.

Obecnie prowadzone są badania nad terapiami biologicznymi i genowymi, które choć obecnie znajdują się w fazie eksperymentalnej, mają potencjał, aby w przyszłości wprowadzić nowe opcje leczenia. [Mondal i in., 2023]

8. Powikłania i znaczenie kliniczne

Nieleczony zespół suchego oka (DES) może prowadzić do poważnych powikłań okulistycznych. Zapalenie powierzchni oka, znane jako zapalenie spojówek, może prowadzić do poważniejszych schorzeń, takich jak zapalenie rogówki, a w niektórych przypadkach do erozji lub owrzodzenia rogówki. Wykazano, że takie zmiany zwiększają ryzyko wtórnych infekcji bakteryjnych, które mogą prowadzić do trwałego pogorszenia ostrości wzroku.

Wpływ zespołu suchego oka na codzienne życie pacjentów jest znaczący. Objawy, takie jak pieczenie, uczucie piasku pod powiekami lub nadmierne łzawienie, mogą utrudniać wykonywanie długotrwałej pracy przy komputerze, korzystanie z urządzeń cyfrowych lub prowadzenie pojazdów mechanicznych. W konsekwencji choroba ta może negatywnie wpływać na jakość życia pacjentów, ich wydajność zawodową i aktywność społeczną, a tym samym na ich codzienne funkcjonowanie.

9. Podsumowanie

Zespół suchego oka (DED) jest przewlekłą chorobą, która ma znaczący wpływ na jakość życia pacjentów. Etiologia tej choroby jest wieloczynnikowa i obejmuje takie czynniki, jak destabilizacja filmu łzowego, uporczywe stany zapalne i dysfunkcja gruczołów Meiboma. Diagnoza opiera się na kompleksowej historii medycznej i serii badań diagnostycznych. Badania te oceniają różne składniki łzy, w tym wydzielanie, stabilność filmu, osmolarność i stan nabłonka rogówki. Leczenie wymaga indywidualnego podejścia, obejmującego szeroki zakres metod terapeutycznych. Obejmują one zmiany stylu życia, sztuczne łzy, leczenie miejscowe, suplementację kwasami omega-3, nowoczesne terapie biologiczne i soczewki terapeutyczne. Połączenie różnych metod stanowi obiecującą drogę do skutecznego leczenia objawów i poprawy jakości życia pacjentów. Ponadto rosnąca świadomość tego schorzenia ułatwia wcześniejsze diagnozowanie i opracowywanie indywidualnych metod leczenia.

Bibliografia

1. Labetoulle M, Benitez-del-Castillo JM, Barabino S, et al. Artificial tears: biological role of their ingredients in the management of dry eye disease. *Int J Mol Sci.* 2022;23(5):2434.
2. Kwon J, Lee S, Park J, et al. Overview of dry eye disease for primary care physicians. *Medicina.* 2025;61(3):460.
3. Morthen K, Andersen S, Fossum J, et al. Symptomatic dry eye and work productivity: a 2023 observational study. *Contact Lens Anterior Eye.* 2023;46:101817.
4. Craig JP, Nichols KK, Akpek EK, Caffery B, Dua HS, Joo CK, et al. TFOS DEWS II definition and classification report. *Ocul Surf.* 2017;15(3):276–283. doi:10.1016/j.jtos.2017.05.008.
5. Tsubota K, et al. New perspectives on dry eye disease. *Prog Retin Eye Res.* 2020;100950.

6. Chiang TT-K. Dry eye disease (keratoconjunctivitis sicca). Medscape. 2025 May 13.
7. Maulvi FA, Desai DT, Patel P, et al. Lipid-based eye drop formulations for the management of evaporative dry eyes. *Contact Lens Anterior Eye*. 2024;47(2):101315.
8. Pflugfelder SC, et al. Corneal disease in dry eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2000;41:2915–2923.
9. Wolffsohn JS, et al. Diagnosis of dry eye: clinical techniques. *Ocul Surf*. 2017;15(3):539–574.
10. Ribeiro MVM, Barbosa FT, Ribeiro LEF, Sousa-Rodrigues CF, Ribeiro EA. Effectiveness of using preservative-free artificial tears versus preserved lubricants for the treatment of dry eyes: a systematic review. *Arq Bras Oftalmol*. 2019;82(5):413–419.
11. Geerling G, et al. Autologous serum eye drops for ocular surface disorders. *Br J Ophthalmol*. 2004;88(11):1467–1474.
12. Chuckpaiwong V, et al. Compliance with lid hygiene in patients with meibomian gland dysfunction. *J Clin Med*. 2022;11(3):529.
13. Jo YJ, et al. Effects of dietary high dose DHA omega-3 supplement in dry eye with meibomian gland dysfunction. *J Clin Med*. 2021;10(8):1732.
14. Nguyen A, et al. Dry eye disease: a review of anti-inflammatory therapies. *J Clin Med*. 2023;12(3):789.
15. Akpek EK, et al. Treatment of Sjögren's syndrome-associated dry eye: an evidence-based review. *Ophthalmology*. 2011;118(11):2245–2252.
16. Garg R, et al. Emerging therapies for dry eye disease. *Curr Opin Ophthalmol*. 2021;32(6):595–604.

5. OBJAW RAYNAUDA - PATOFIZJOLOGIA, DIAGNOSTYKA I POSTĘPOWANIE KLINICZNE

Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak, Kinga Tchórzewska

Uniwersytet Jana Długosza

Collegium Medicum im. dr. W. Biegańskiego

Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

E-mail: patrycja_zychowicz@o2.pl, aleksandrgrzesiak2003@wp.pl,

kingamariatchorzewska@gmail.com

Abstrakt: Objaw Raynauda (RP) to częste, wieloczynnikowe zaburzenie naczyńioskurczowe, charakteryzujące się przemijającym, nawracającym i odwracalnym skurczem naczyń obwodowych pod wpływem zimna lub stresu emocjonalnego. Może występować jako postać pierwotna (PRP) - łagodna, niezwiązana z chorobami układowymi, lub postać wtórna (SRP), która towarzyszy najczęściej chorobom autoimmunologicznym i ma cięższy przebieg. Celem pracy było omówienie patofizjologii, diagnostyki oraz metod postępowania terapeutycznego w RP. Praca ma charakter przeglądowy i opiera się na analizie aktualnych publikacji naukowych z lat 2010-2025. Zaburzenia naczyniowe w PRP wynikają z działania mediatorów takich jak endotelina-1, angiotensyna II i angiopoetyna, natomiast w SRP dochodzi do uszkodzenia śródbłonna, zaniku naczyń i mikrozakrzepów. Istotną rolę odgrywa również nadreaktywność receptorów α_2 C-adrenergicznych oraz warianty genów ADRA2A i IRX1. Obraz kliniczny RP obejmuje klasyczny trójfazowy napad: zblednięcie, zasinienie i zaczerwienienie. Diagnostyka opiera się na dokładnym wywiadzie, kapilaroskopii i badaniach serologicznych (ANA, Scl-70, ACA). Leczenie rozpoczyna się od modyfikacji stylu życia i unikania czynników wyzwalających. W przypadku braku skuteczności stosuje się leczenie farmakologiczne - blokery kanałów wapniowych, inhibitory fosfodiesterazy typu 5 lub analogi prostaglandyn. Toksyna botulinowa typu A, rytuksymab oraz zabiegi chirurgiczne, takie jak przeszczep tłuszczu i sympatektomia, są rozważane w SRP opornym na leczenie. RP wpływa negatywnie na jakość życia pacjentów, zwłaszcza w postaci wtórnej. Objawy RP, a zwłaszcza ból i trudności funkcjonalne, obniżają dobrostan psychiczny i społeczny. Wczesna diagnostyka oraz odpowiednio dobrana terapia mają istotne znaczenie dla poprawy jakości życia. Skala RQLQ może stanowić użyteczne narzędzie w praktyce klinicznej do monitorowania wpływu RP na codzienne funkcjonowanie.

1. Wstęp

Celem pracy jest analiza przebiegu, diagnostyki oraz leczenia objawu Raynauda. Temat ten został wybrany ze względu na problemy w jego zdiagnozowaniu oraz jego powszechność. Objaw Raynauda (RP) to wieloczynnikowe zaburzenie naczyńioskurczowe charakteryzuje się przemijającym, nawracającym i odwracalnym zwężeniem obwodowych naczyń krwionośnych.[Nawaz I., Nawaz Y., Nawaz E., Manan M.R., Mahmood A, 2022] [1] Historia odkrycia sięga 1862 roku, kiedy Maurice Raynaud opisał w swojej pracy grupę pacjentów, u których palce dłoni i stóp bledły pod wpływem zimna lub stresu emocjonalnego, następnie siniały, a następnie były przekrwione i zaczerwienione po przywróceniu krążenia. Hipoteza Raynauda została potwierdzona w XX wieku, po odkryciu molekularnych podstaw obkurczania

się tętnic skórnych pod wpływem zimna. [Fava A. i Boin F, 2024][2] Objaw ten może dotyczyć średnio aż 11% kobiet i 8% mężczyzn, a roczne wskaźniki zapadalności wynoszą 2,2% u kobiet i 1,5% u mężczyzn. W skali międzynarodowej rozpowszechnienie pierwotnego zjawiska Raynauda różni się w zależności od populacji, od 4,9% do 20,1% u kobiet od 3,8% do 13,5% u mężczyzn. [Hansen-Dispenza H, 2025][3]

2. Materiały i metody

Praca ma charakter przeglądowy, jej celem jest omówienie aktualnego stanu wiedzy na temat pierwotnego i wtórnego przebiegu objawu Raynauda. Szczególną uwagę poświęcono analizie patofizjologii, metod diagnostycznych oraz strategii terapeutycznych. Podczas opracowywania pracy korzystano z prac naukowych opublikowanych w latach 2010-2025. W analizie uwzględniono wyniki najnowszych przeglądów systematycznych i metaanaliz, z zwróceniem szczególnej uwagi na najbardziej aktualny stan wiedzy w tej jednostce chorobowej. Do wyszukiwania prac stosowane były bazy danych takie jak PubMed, Medline, Cochrane Library, SpringerLink oraz Medscape Reference. Brane pod uwagę były wyłącznie prace recenzowane, publikowane w renomowanych czasopismach naukowych. Szczególny nacisk położono na prace przeglądowe (Prevalence, incidence, and mortality of Raynaud's phenomenon, Sjögren's syndrome and scleroderma: An umbrella review of systematic reviews [4], Calcium channel blockers for primary and secondary Raynaud's phenomenon [12], Phosphodiesterase 5 inhibitors (PDE5i) for the treatment of Raynaud's phenomenon [13], The efficacy and tolerability of prostaglandin analogues in treating systemic sclerosis-associated Raynaud phenomenon: a systematic review and meta-analysis [14]) oraz wytyczne międzynarodowych towarzystw reumatologicznych (np. EULAR recommendations for the treatment of systemic sclerosis: 2023 update [17]).

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Epidemiologia i klasyfikacja

Zespół Raynauda (RP) to stosunkowo częste zaburzenie naczynioruchowe. Według analizy systematycznej częstość ta wynosi 4,85%, a roczna zapadalność 0,25%. Zdecydowanie częściej dotyczy ona kobiet niż mężczyzn (stosunek 5:1). Najczęściej są to kobiety między 15. a 30. rokiem życia. Czynnikiem ryzyka są: płeć żeńska, niska masa ciała oraz narażenie na działanie zimna lub stresu. [Chen A., Lax S.J., Grainge M.J., Lanyon P.C., Pearce F.A, 2024][4] Klinicznie RP dzielimy na postać pierwotną (PRP) oraz postać wtórną (SRP). PRP stanowi większość przypadków (ok. 80-90%), charakteryzuje się łagodnym przebiegiem i brakiem zmian morfologicznych w obrębie naczyń. Postać ta nie jest powiązana z żadną chorobą układową. Występuje w niej brak cech zapalenia ani innych objawów towarzyszących. PRP charakteryzuje się symetrycznym występowaniem objawów oraz brakiem zmian troficznych skóry. Objaw kapilaroskopowy jest prawidłowy. SRP charakteryzuje cięższy przebieg, asymetria objawów oraz występowanie owrzodzeń. To postać, która towarzyszy chorobom tkanki łącznej, naczyniowym i hematologicznym. Może być również spowodowana poprzez działanie leków lub czynników środowiskowych. [Li S.C, 2022][6] RP to pierwszy objaw u ponad 95% pacjentów z twardziną układową. Zespół ten poprzedza rozwój innych objawów klinicznych nawet o kilka lat. SRP występuje również w chorobach autoimmunologicznych, takich jak toczeń rumieniowaty, zapalenie skórno- mięśniowe,

zespołu Sjögrena czy mieszanej choroby tkanki łącznej. Rozpoznanie SRP powinno być zawsze podstawą do dalszej diagnostyki reumatologicznej. [Haque A. i Hughes M.; 2020][7]

3.2. Patofizjologia

RP może mieć podłoże pierwotne/idiopatyczne lub wtórne w wyniku choroby, zazwyczaj reumatycznej. RP jest związany z nieprawidłowym działaniem układu naczyniowego i nerwowego. Objaw pojawia się głównie ze względu na zimno lub stres. Zaburzenia naczyniowe w pierwotnym RP pojawiają się ze względu na działanie endoteliny-1, angiotensyny II i angiopoetyny. Regulują one przepływ w naczyniach.[Nawaz I i in., 2022] [1] Natomiast w przypadku wtórnego RP dochodzi zazwyczaj do uszkodzeń śródbłonna z powodu choroby. Naczynia ulegają zanikowi wraz z obrzękiem komórek śródbłonna, pogrubieniem błony podstawnej oraz tworzeniem mikro zakrzepów i mikro krwotoków. W efekcie prowadzi to do zmniejszenia przepływu krwi przez naczynia. [Chen A. i in., 2024][4] W sferze nerwowej głównym powodem jest stres. Za reakcje naczyń w jego wyniku odpowiada układ współczulny, który reguluje napięcie naczyń. Badania wykazały u osób chorych nadreaktywność receptorów α_2 C-adrenergicznych, co prowadzi do wzmożonej reakcji naczyń na zimno. W warunkach stresu emocjonalnego aktywowany jest również ośrodkowy układ nerwowy, który nasila skurcz naczyń krwionośnych. Stres jest przyczyną jednego na trzy epizody u diagnozowanych pacjentów. Wśród osób bardziej narażonych są kobiety, szczególnie w stanie przed menopauzalnym. Jest to uwarunkowane podwyższonym poziomem estrogenów, który nasila ekspresję receptorów adrenergicznych w naczyniach. Badania dowodzą, że na obecność objawu wpływa również genetyka. Badania asocjacyjne całego genomu (GWAS) z 2023 roku zidentyfikowały kilka wariantów genów, które zwiększają ryzyko RP. Do najważniejszych genów należą ADRA2A i IRX1. ADRA2A koduje receptor α_2 C-adrenergiczny, który jest odpowiedzialny za skurcz naczyń. Zwiększona ekspresja tego genu sprzyja nadreaktywności naczyń w RP. Z kolei IRX1 jest to gen regulujący rozwój naczyń i ich odpowiedź na bodźce środowiskowe. [Hartmann S., Yasmeen S., Jacobs B.M., Düring M., Dietrich A., Franke A. i in., 2023][5] Dodatkowo w patogenezie wyróżnia się również wpływy środowiskowe takie jak: zimny klimat, drgania związane z zawodem, narażenie na niektóre substancje szczególnie leki (lit, β -blokery, bleomycyna i inne środki naczyniokurczące) i dym papierosowy.[Nawaz I. i in., 2022][1]

3.3. Obraz kliniczny

Typowy napad RP to symetryczny epizod niedokrwienia najczęściej palców rąk, choć może też obejmować stopy, nos lub uszy. Wywołany ekspozycją na zimno lub stres. Trwa od kilku do kilkudziesięciu minut. Towarzyszy temu uczucie zimna, mrowienie, drętwienie a nawet ból. Charakterystyczny jest trójfazowy przebieg. [Chen A i in., 2024][4]

-Zblednięcie (niedokrwienie), spowodowane jest przez nagły skurcz drobnych naczyń.

-Zasinienie (niedotlenienie), spowodowane zastojem odtlenowanej krwi w kapilarach, Skóra przyjmuje niebieskawy lub sinawy odcień, co wskazuje na redukcję tlenu w tkance. Fazie tej towarzyszy uczucie napięcia, chłodu oraz dyskomfort.

-Zaczerwienienie (reperfuzja), pojawia się po ustąpieniu czynnika wyzwalającego, następuje gwałtowne rozszerzenie naczyń krwionośnych i przywrócenie przepływu krwi. Skóra robi się czerwona. Możliwe jest uczucie pieczenia, pulsowania lub bólu związane z hiperemią

reaktywną. [Swarnkar B., Sarkar R.; 2023]; [8] Trójfazowość to klasyczny, charakterystyczny obraz, mimo to część z pacjentów doświadcza jednak tylko jednej lub dwóch faz. [Chen A. i in., 2024][4] Objawy alarmowe, sugerujące postać wtórną (SRP) mają początek po 40 roku życia. Zmiany te są asymetryczne, wykazują obecność owrzodzeń, bądź nawet martwicy oraz objawy ogólnoustrojowe - zmęczenie, bóle stawów, zmiany skórne, powiększenie węzłów chłonnych. U takich pacjentów zalecana jest pogłębiona diagnostyka w kierunku chorób tkanki łącznej. Ponadto wskazaniem do dalszej oceny są nieprawidłowości w badaniach serologicznych oraz zmiany w kapilaroskopii. [Haque A i Hughes M., 2020][7]

3.4. Diagnostyka

Podstawą diagnostyki zespołu Raynauda (RP) jest szczegółowy wywiad oraz ocena objawów klinicznych. W szczególności należy zwrócić uwagę na wiek początku dolegliwości, symetrię zmian, obecność czynników wyzwalających (zimno, stres), a także występowanie objawów alarmowych, takich jak owrzodzenia, martwica, bóle stawów czy zmiany skórne. W badaniu fizykalnym często nie obserwuje się nieprawidłowości poza okresem napadu. W postaci wtórnej mogą być jednak zauważalne owrzodzenia, blizny lub zmiany troficzne skóry, które wymagają dalszej diagnostyki.[Li S.C.; 2022][6]. Kapilaroskopia wału paznokciowego stanowi złoty standard w różnicowaniu PRP od SRP. W PRP obraz naczyń jest prawidłowy, natomiast w SRP typowo obserwuje się megakapilary, nieprawidłową architekturę naczyń, mikrokrwotoki oraz obszary awaskularne. [Haque A. i Hughes M., 2020][7] Rozpoznanie SRP wspierają badania serologiczne. Obejmują one oznaczenie przeciwciał przeciwjądrowych (ANA), przeciwciał przeciw topoizomerazie I (Scl-70) czy przeciwciał przeciw centromerowym. Zastosowanie ich w schemacie diagnostycznym RP umożliwia identyfikację pacjentów z ryzykiem progresji do układowej choroby tkanki łącznej [Ture H.Y., Lee N.Y., Kim N.R., Nam E.J.; 2024][9]. W diagnostyce pomocny jest również, już coraz rzadziej stosowany test zimnej prowokacji. Wykorzystywany w wątpliwych przypadkach. Rzadko wykorzystuje się go rutynowo, ze względu na ograniczoną dostępność i standaryzację. Test zimnej prowokacji polega na ekspozycji palców na niską temperaturę i ocenie reakcji naczyniowej. W połączeniu z pomiarem temperatury skóry lub kapilaroskopią zwiększa jego czułość diagnostyczną [Chen A i in., 2022][4] W diagnostyce różnicowej należy uwzględnić inne przyczyny zaburzeń mikrokrażenia, takie jak acrocyanosis, zakrzepowe zapalenie naczyń, zespół cieśni nadgarstka, miażdżyca, choroby hematologiczne (np. krieglobulinemia) czy zespoły paraneoplastyczne. Dokładna diagnostyka różnicowa jest kluczowa, ponieważ niektóre z tych stanów mogą naśladować objawy RP, a ich przebieg i leczenie znacznie się różnią. [Swarnkar B. i Sarkar R., 2023] [8]

3.5. Możliwości terapeutyczne

Pierwszym etapem w leczeniu PRP jest podejście nefarmakologiczne. Która polega na modyfikacji stylu życia. Podstawą tej terapii jest unikanie zimna poprzez stosowanie ciepłej odzieży, rękawiczek, skarpetek, ogrzewaczy do rąk. Pacjent powinien starać się unikać stresu emocjonalnego oraz kofeiny. Jeżeli chory jest osobą palącą bardzo ważną częścią terapii jest rzucenie palenia, aby przez nikotynę nie nasilać skurczu naczyń, a tym samym objawów RP. Powinno się również unikać leków pogarszających krążenie, jeśli pozwala na to stan zdrowia pacjenta. [Terri L Levien; 2010][10] Prowadzone są również badania nad innymi terapiami

niefarmakologicznymi. Największe nadzieje i skuteczność w poprawie życia pacjentów wykazała terapia laserowa ponieważ badania wykazały poprawę na poziomie 60-75% częstości napadów RP na tydzień oraz nasilenia bólu podczas napadu. Istnieją również dowody naukowe na skuteczność elektroterapii wśród pacjentów z RP. Stosowana była również terapia ruchowa wśród pacjentów z RP. Ćwiczenia fizyczne zmniejszają ból podczas napadu oraz poprawiają mikrokrążenie. Zbadano również wpływ akupunktury oraz biofeedbacku temperaturowego. Akupunktura przyniosła minimalne korzyści wśród badanych natomiast dane na temat biofeedbacku były niejasne i słabej jakości. [Mahmood, F., Chase, H., Soucy, S., Perron, S., Ah-mad, M., Tugwell, P., & Maltez, N.; 2024][11] Zespół RP można również leczyć farmakologiczne jeśli wymaga tego jego nasilenie. Większość pacjentów z RP nie wymaga leczenia farmakologicznego. Skutecznymi lekami zwłaszcza w PRP są blokery kanałów wapniowych. Nifedypina może zmniejszać częstotliwość oraz nasilenie napadów RP, jej skuteczność zależy od wielkości dawki. Podczas stosowania blokerów kanałów wapniowych mogą rzadko wystąpić działania niepożądane takie jak uderzenia gorąca, niedociśnienie tętnicze i obrzęki obwodowe. U niektórych pacjentów mogą prowadzić do odstawienia leku.[Rirash F., Tingey P.C., Harding S.E., Maxwell L.J., Tanjong Ghogomu E., Wells G.A., Tugwell P., Pope J.; 2017][12] Badano również wpływ inhibitorów fosfodiesterazy 5 na leczenie objawów RP, szczególnie w odniesieniu do chorych z SRP. Niestety inhibitory fosfodiesterazy 5 wykazały, że ich stosowanie nie przynosi zauważalnych korzyści. Praktycznie w ogóle nie zmniejszają one bólu podczas napadu oraz nieco bardziej niż w przypadku placebo zmniejszają częstotliwość, czas trwania i nasilenie napadu RP. Porównanie poszczególnych leków sydenafil, tadalafil i wardenafil z tej grupy nie wykazało różnic w skuteczności ich działania. Podczas stosowania leków z tej grupy występowały działania niepożądane takie jak ból głowy, ból mięśni i zawroty głowy. [Maltez N., Maxwell L.J., Rirash F., Tanjong Ghogomu E., Harding S.E., Tingey P.C., Wells G.A., Tugwell P., Pope J.; 2023][13] Analogi prostaglandyn mogą zmniejszyć ból podczas napadów RP w krótkim okresie, wykazują też potencjalną skuteczność w czasie trwania i częstości ataków RP. [Alahmari H., Jazayeri H., Johnson S.R.; 2024][14] Przeprowadzono również badanie na temat wpływu rytuksymabu przeciwciała monoklonalnego na pacjentów z RP. Lek ten doprowadził do kompletnej remisji ciężkiego pierwotnego RP. Stosowano wcześniej inne terapie farmakologiczne ale każda była bez powodzenia. Efekt rytuksymabu był trwały i powtarzalny przy ponownym podaniu. Niestety był to pojedynczy przypadek więc potrzeba badań w tym kierunku aby poznać dokładny wpływ rytuksymabu na pacjentów z RP. [Shabrawishi M., Albeity A., Almoallim H.; 2016][15] Toksyna botulinowa typu A wykazuje klinicznie istotny efekt w zmniejszeniu nasilenia szczególnie objawów bólu i poprawy funkcji ręki w SRP w przebiegu twardziny układowej. Może ona stanowić alternatywę dla pacjentów z ciężką postacią choroby oporną na leczenie konwencjonalne. Niestety brak istotnej poprawy podczas jej stosowania w odniesieniu do częstości oraz nasilenia napadów RP. Sugeruje to że toksyna botulinowa typu A wpływa przede wszystkim na objawy wtórne, a nie na przyczynę RP. Może ona służyć jako terapia wspomagająca leczenie wybranych aspektów SRP w przebiegu twardziny układowej, lecz potrzebne są dalsze badania kliniczne. [Pang C., Iakovou D., Fraser D., Leurent B., Awad L., Langridge B., Butler P.; 2025][16] EULAR podaje natomiast w pierwszej kolejności w SRP w przebiegu twardziny układowej rozważenie podania blokerów kanału wapniowego lub następnie inhibitora fosfodiesterazy typu 5. W przypadku ciężkiego objawu SRP w przebiegu twardziny układowej

w drugim rzucie należy podać iloprost dożylnie. [Del Galdo F., Lescoat A., Conaghan P.G., Bertoldo E., Čolić J., Santiago T., Suliman Y.A., Matucci-Cerinic M., Gabrielli A., Distler O., Hoffmann-Vold A.-M., Castellví I., Balbir-Gurman A., Vonk M., Ananyeva L., Rednic S., Tarasova A., Ostojic P., Boyadzhieva V., El Aoufy K., Farrington S., Galetti I., Denton C.P., Kowal-Bielecka O., Mueller-Ladner U., Allanore Y.; 2023][17] W ciężkich przypadkach RP, gdy pacjenci nie reagują na terapię farmakologiczną, można zastosować również leczenie chirurgiczne. Przeszczep tłuszczu łagodzi objawy i przyspiesza gojenie owrzodzeń na palcach. Jest on dobrze tolerowany, powikłania występują rzadko, najczęściej zapalenie tkanki łącznej w miejscu zebrania się tłuszczu. Innym stosowanym zabiegiem chirurgicznym jest sympatektomia. Ma ona na celu zmniejszenie skurczu naczyń krwionośnych poprzez przerwanie przekazu nerwowego z nerwu współczulnego do tętnic palcowych. Niestety nie ma jednoznacznych badań nad długoterminową skutecznością sympatektomii w RP. Potrzebne są dalsze badania nad skutecznością tych metod.[Ture H.Y., i in.; 2024][9]

3.6. Jakość życia pacjentów

Pacjenci z RP szczególnie z jego SRP doświadczają istotnego obniżenia jakości życia. Objawy takie jak ból, uczucie zimna, skurcz naczyń oraz towarzyszące im trudności w wykonywaniu codziennych czynności prowadzą do znacznego ograniczenia funkcjonalnego. Odpowiadają za około 30 % zmienności w wynikach z zadowolenia z jakości życia. Pacjenci z SRP mają niższy dobrostan psychiczny oraz wyższy poziom lęku, stresu i depresji. [Vaportzis E.; 2025][18] Choroba ma wymiar nie tylko fizyczny, ale również psychospołeczny. Pacjenci często doświadczają niezrozumienia ze strony otoczenia, izolacji społecznej i spadku samooceny. Brak diagnozy lub niska świadomość choroby dodatkowo potęguje cierpienie emocjonalne. Osoby z objawami RP ale bez diagnozy często były w gorszym stanie psychicznym niż osoby z rozpoznaniem. Świadczy to o tym jak ważne jest wczesne rozpoznanie chorego, leczenie oraz jego edukacja. Może ona poprawić jego samopoczucie emocjonalne i poczucie kontroli nad chorobą. [Vaportzis E.; 2025][18] Skuteczne monitorowanie objawów i ich wpływu na codzienne życie wymaga odpowiednich narzędzi przygotowanych specjalnie dla pacjentów z RP. opracowano i zatwierdzono pierwszą dedykowaną skalę do oceny jakości życia w RP. RQLQ obejmuje 29 pozycji podzielonych na 5 podskal: objawy, funkcjonowanie, emocje, interakcje społeczne i wpływ środowiska. Skalę tą cechuje wysoka trafność i rzetelność. Może być ona wykorzystywana w przyszłości w praktyce klinicznej i badaniach naukowych jako wskaźnik progresji i efektywności leczenia. [Fábián B., Csiki Z., Bugán A.; 2024][19]

4. Podsumowanie

Objaw Raynauda (RP) to częste, wieloczynnikowe zaburzenie naczynioskurczowe, które może występować jako jednostka pierwotna lub wtórna. W postaci pierwotnej cechuje się łagodnym przebiegiem i brakiem powiązania z innymi schorzeniami, natomiast wtórna postać RP jest zazwyczaj objawem choroby układowej i wiąże się z cięższym przebiegiem oraz ryzykiem powikłań naczyniowych. RP częściej dotyczy kobiet, zwłaszcza w wieku przedmenopauzalnym.[Chen A i in., 2024; Li S.C, 2022][4,6] W pierwotnym RP dominują funkcjonalne zaburzenia kurczliwości naczyń, natomiast w wtórnym dochodzi do uszkodzeń strukturalnych ścian naczyniowej. Istotną rolę odgrywa nadreaktywność receptorów α_2C -

adrenergicznych oraz zmiany genetyczne, w tym warianty genów ADRA2A i IRX1. [Hartmann S. i in.; 2023, Nawaz I. i in., 2022][5,1] Objawy kliniczne RP obejmują klasyczny trójfazowy napad: zblednięcie, zasinienie i zaczerwienienie, choć nie wszyscy pacjenci przechodzą przez wszystkie fazy. Diagnostyka opiera się na wywiadzie klinicznym, kapilaroskopii i badaniach serologicznych. Kapilaroskopia jest szczególnie istotna w różnicowaniu PRP i SRP, a obecność przeciwciał ANA, Scl-70 czy ACA może sugerować współistniejącą chorobę tkanki łącznej. [Li S.C, 2022; Haque A., i in. 2020; Ture H.Y., i in. 2024][6,7,9] Leczenie RP powinno być dostosowane do jego postaci oraz nasilenia objawów. W pierwszej kolejności stosuje się metody nefarmakologiczne. [Terri L Levien; 2010, Mahmood, F., i in.; 2024][10,11] W przypadku nieskuteczności leczenia zachowawczego lub ciężkiego przebiegu stosuje się terapię farmakologiczną – głównie blokery kanałów wapniowych w PRP oraz dodatkowo inhibitory fosfodiesterazy typu 5 lub iloprost w SRP. Mimo dostępnych opcji terapeutycznych, skuteczność niektórych leków, takich jak inhibitory PDE5, pozostaje ograniczona i wymaga dalszych badań. [Rirash F., i in.; 2017, Maltez N., i in.; 2023, Del Galdo F., i in.; 2023][12,13,17] Obiecującą metodą terapeutyczną u wybranych pacjentów okazuje się toksyna botulinowa typu A, szczególnie w łagodzeniu bólu i poprawie funkcji ręki w przebiegu SRP w twardzinie układowej. Zastosowanie rytuksymabu czy przeszczepu tłuszczu jest opisywane w pojedynczych przypadkach i wymaga potwierdzenia skuteczności w szerszych badaniach. [Shabrawishi M. i in., 2016; Pang C. i in, 2025] [15,16] Rozwój nowych terapii celowanych może w przyszłości znacząco zmienić podejście do leczenia ciężkich postaci RP. RP znacząco wpływa na jakość życia pacjentów, szczególnie w formie wtórnej. Objawy RP, a zwłaszcza ból i trudności funkcjonalne, obniżają dobrostan psychiczny i społeczny. Wczesna diagnoza, właściwe leczenie oraz wsparcie psychologiczne mają istotne znaczenie dla poprawy jakości życia chorych. Skala RQLQ może być przydatnym narzędziem do oceny wpływu choroby na codzienne funkcjonowanie pacjentów i monitorowania skuteczności terapii. [Vaportzis E.; 2025, Fábíán B., i in.; 2024][18,19] Kompleksowe podejście do pacjenta z RP powinno obejmować nie tylko leczenie objawowe, ale także uwzględniać jego potrzeby emocjonalne i społeczne.

Bibliografia

1. Nawaz I., Nawaz Y., Nawaz E., Manan M.R., Mahmood A.; 2022; *Raynaud's Phenomenon: Reviewing the Pathophysiology and Management Strategies*; Palo Alto, Cureus.
2. Fava A., Boin F.; 2024a; *Historical Perspective of Raynaud's Phenomenon*; Cham, Springer Nature.
3. Hansen-Dispenza H.; b.r. (dostęp: 2025); *Raynaud Phenomenon*; Nowy Jork, Medscape Reference. (dostęp online: <https://emedicine.medscape.com/article/331197-overview>)
4. Chen A., Lax S.J., Grainge M.J., Lanyon P.C., Pearce F.A.; 2024b; *Prevalence, incidence, and mortality of Raynaud's phenomenon, Sjögren's syndrome and scleroderma: An umbrella review of systematic reviews*; Oksford, Oxford University Press. (PMCID: PMC11368408)
5. Hartmann S., Yasmeen S., Jacobs B.M., Düring M., Dietrich A., Franke A. i in.; 2023; *ADRA2A and IRX1 are putative risk genes for Raynaud's phenomenon*; Londyn, Nature Publishing Group.

6. Li S.C.; 2022; *Pediatric Raynaud Phenomenon*; Nowy Jork, Medscape Reference. (dostęp online: <https://emedicine.medscape.com/article/1355650-overview>)
7. Haque A., Hughes M.; 2020; *Raynaud's phenomenon*; Oksford, Oxford University Press.
8. Swarnkar B., Sarkar R.; 2023; *Raynaud's phenomenon: A brush up!*; Nowe Delhi, Indian Dermatology Online Journal.
9. Ture H.Y., Lee N.Y., Kim N.R., Nam E.J.; 2024; *Raynaud's phenomenon: a current update on pathogenesis, diagnostic workup, and treatment*; Seul, Vascular Specialist International.
10. Levien T.L.; 2010; *Advances in the treatment of Raynaud's phenomenon*; Palo Alto, Vascular Health and Risk Management.
11. Mahmood F., Chase H., Soucy S., Perron S., Ah-mad M., Tugwell P., Maltez N.; 2024; *Non-pharmacological interventions for the treatment of Raynaud's phenomenon—A systematic review*; Ottawa, University of Ottawa Journal of Medicine.
12. Rirash F., Tingey P.C., Harding S.E., Maxwell L.J., Tanjong Ghogomu E., Wells G.A., Tugwell P., Pope J.; 2017; *Calcium channel blockers for primary and secondary Raynaud's phenomenon*; Londyn, Cochrane Database of Systematic Reviews.
13. Maltez N., Maxwell L.J., Rirash F., Tanjong Ghogomu E., Harding S.E., Tingey P.C., Wells G.A., Tugwell P., Pope J.; 2023; *Phosphodiesterase 5 inhibitors (PDE5i) for the treatment of Raynaud's phenomenon*; Londyn, Cochrane Database of Systematic Reviews.
14. Alahmari H., Jazayeri H., Johnson S.R.; 2024; *The efficacy and tolerability of prostaglandin analogues in treating systemic sclerosis-associated Raynaud phenomenon: a systematic review and meta-analysis*; Londyn, International Journal of Rheumatology.
15. Shabrawishi M., Albeity A., Almoallim H.; 2016; *Severe primary Raynaud's disease treated with rituximab*; Londyn, Case Reports in Rheumatology.
16. Pang C., Iakovou D., Fraser D., Leurent B., Awad L., Langridge B., Butler P.; 2025; *A systematic review of botulinum toxin as a treatment for Raynaud's disease secondary to scleroderma*; Berlin, Clinical Rheumatology.
17. Del Galdo F., Lescoat A., Conaghan P.G., Bertoldo E., Čolić J., Santiago T., Suliman Y.A., Matucci-Cerinic M., Gabrielli A., Distler O., Hoffmann-Vold A.-M., Castellví I., Balbir-Gurman A., Vonk M., Ananyeva L., Rednic S., Tarasova A., Ostojic P., Boyadzhieva V., El Aoufy K., Farrington S., Galetti I., Denton C.P., Kowal-Bielecka O., Mueller-Ladner U., Allanore Y.; 2023; *EULAR recommendations for the treatment of systemic sclerosis: 2023 update*; Londyn, Annals of the Rheumatic Diseases.
18. Vaportzis E.; 2025; *Cold hands, warm heart: quality of life, wellbeing, and mental health in Raynaud's disease – an international survey study*; Londyn, medRxiv (preprint).
19. Fábíán B., Csiki Z., Bugán A.; 2024; *Development and validation of the RQLQ: a Raynaud's disease-specific measure of health-related quality of life*; Berlin, Clinical Rheumatology.

6. MEDICINAL PROPERTIES OF MANGIFERA INDICA LEAVES

Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak

Uniwersytet Jana Długosza

Collegium Medicum im. dr. W. Biegańskiego

Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

E-mail: patrycja_zychowicz@o2.pl, aleksandragrzesiak2003@wp.pl

Abstract: Mango leaves (*Mangifera indica* L.) have a long history in traditional Asian medicine, particularly in Ayurveda, for the treatment of gastrointestinal, respiratory, and dermatological ailments. Phytochemical analyses confirm that the leaves are rich in bioactive compounds, including mangiferin, flavonoids, tannins, saponins, alkaloids, and phenolic compounds, in addition to essential vitamins and minerals. These constituents underlie a wide spectrum of pharmacological activities demonstrated in preclinical and clinical studies. The experimental data suggest that there are significant antidiabetic effects, including improved glucose tolerance and protection of pancreatic β -cells. In addition, there is potent antibacterial activity against both sensitive and multidrug-resistant pathogens. Mango leaf extracts have been shown to promote wound healing, primarily through the combined action of tannins, flavonoids, and saponins. In addition, mango leaf extracts exhibit hepatoprotective and anti-inflammatory properties by modulating oxidative stress and inflammatory pathways. In vitro and in vivo studies have underscored the anticancer potential of mangiferin, which has been shown to modulate critical signaling pathways. Moreover, standardized extracts have exhibited neuroprotective and cognition-enhancing effects in human trials. A series of toxicological assessments have been conducted, and the results indicate that the substance in question exhibits a favorable safety profile. These findings support the hypothesis that the substance has the potential to serve as a natural therapeutic agent. Collectively, mango leaves signify a potentially valuable source of phytochemicals, exhibiting a wide range of health benefits. This suggests a promising avenue for exploration into the development of dietary supplements and phytopharmaceuticals, with the objective of preventing and managing chronic diseases.

1. Traditional use

Mango leaves (*Mangifera indica* L.) have been utilized for millennia within the framework of traditional Asian medicinal systems, notably Ayurveda. These substances were employed in the treatment of a variety of gastrointestinal ailments, including diarrhea, flatulence, and abdominal discomfort. Additionally, they were utilized in the formulation of compresses for burns, eczema, and skin inflammation [1,2]. The administration of mango leaf juice has been employed to alleviate respiratory ailments, such as coughs and colds. In India, it has also been traditionally utilized to regulate blood sugar levels [1].

2. Phytochemical composition

Phytochemical analyses have shown that mango leaves contain a wealth of secondary metabolites, including alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, phenols, and glycosides [1,9]. The most important compound is mangiferin, a powerful antioxidant with a broad spectrum of biological activity [9]. Phenols (1.34 mg/g) have been identified as antioxidants with anticancer,

cardioprotective, and antidiabetic properties. Flavonoids, with an average content of 1.05 mg/g, have been shown to have strong anti-inflammatory properties, thus supporting immune function and promoting tissue regeneration. Tannins, defined as astringent substances, accelerate wound healing and reduce scarring. Their content has been found to be 0.98 mg/g. Alkaloids have been detected in the sample at a concentration of 0.30 mg/g. These alkaloids have analgesic and bactericidal properties. Saponins, in an amount of 0.24 mg/g, have antibacterial and antifungal properties, thus supporting the immune system. Mango leaves have been found to contain vitamins A, B, C, and E, as well as minerals such as Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, P, and Mn, which further enhance their nutritional potential [1].

3. Antidiabetic properties

The utilization of mango leaves in the treatment of diabetes has a long-standing tradition in Asia, and recent research findings corroborate the efficacy of this approach. In a rat model, an ethanol extract from the leaves, administered at a dose of 200 mg/kg of body weight, resulted in a reduction of blood glucose levels after a mere four hours. This effect was comparable to that of insulin [3]. A hydroalcoholic extract from the Anwar Ratol variety has been demonstrated to enhance glucose tolerance, reduce blood sugar levels, and safeguard pancreatic β -cells in rats [4]. A comprehensive review of the extant literature indicates that mango leaves possess hypoglycemic, hypolipidemic, and antioxidant properties [10]. Recent studies from 2024-2025 demonstrated that a combination of mango and guanábana (soursop) leaves reduced blood glucose levels in rats with streptozotocin-induced diabetes, exhibiting a comparable effect to metformin and glibenclamide [17].

4. Antibacterial properties

Mango leaf extracts have been shown to have strong antibacterial activity. Acetone extract inhibits the proliferation of both sensitive and multidrug-resistant strains of *Salmonella typhi*, with a minimum inhibitory concentration ranging from 10 to 50 mg/ml [6]. Studies have shown activity against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium*, particularly against Gram-positive bacteria [6]. Phenolic compounds and flavonoids destabilize bacterial cell membranes, while mangiferin inhibits protein synthesis and biofilm formation [9].

5. Research on the wound healing activity of mango leaf extracts

The study "Effectiveness of Mango Leaf Extract (*Mangifera indica* L.) on Healing of Second Level Cut Wound in Male White Mice (*Mus musculus*)" examined the effectiveness of mango leaf extract in treating cut wounds in mice. The leaves were subjected to desiccation, milled into a powder, and extracted with 96% ethanol. Ointments with concentrations of 10%, 20%, and 40% were prepared from the extract. The mice were divided into groups receiving ointments with extract, Bioplacenton gel (positive control), and petroleum jelly (negative control). [7]

On the 14th day of the study, a significant reduction in wound length was observed in animals treated with the extract compared to the negative control. The optimal concentration was determined to be 20%, as this concentration yielded a healing rate that was comparable to that of Bioplacenton [7].

Mechanism of action:

Tannins have been shown to reduce swelling and prevent pus formation. Saponins stimulate macrophages, increase cytokine synthesis, and stimulate fibroblast activity, thereby increasing collagen production. Flavonoids reduce inflammation and protect wounds from infection [7].

The results of the study indicate that mango leaf extracts may be a natural and economical alternative to conventional wound care products, with efficacy comparable to pharmaceutical treatments [7].

6. Anti-inflammatory and hepatoprotective properties

In a rat model, mango leaf extract (250 mg/kg) and mangiferin (40 mg/kg) increased the activity of antioxidant enzymes (SOD), reduced NF- κ B levels, and increased the expression of cytoprotective HSP72 proteins, indicating strong anti-inflammatory and hepatoprotective effects [12].

7. Anticancer properties

In vitro studies have demonstrated that mango leaf extracts possess the capacity to impede the proliferation of cancer cells, including those derived from breast, colon, and liver malignancies [8,9]. Mangiferin has been shown to modulate critical signaling pathways, including Wnt/ β -catenin, Akt, and cyclin B1, thereby protecting DNA from oxidative damage [9].

8. Neuroprotection and cognitive function

A standardized extract from mango leaves, rich in mangiferin, effectively improves episodic memory, attention, and concentration in healthy adults, as confirmed in clinical studies [13,14,16]. Consistent with these findings, animal studies have shown that extracts from these plants have a protective effect on spatial memory and neuronal function, particularly in cases of oxidative stress [15].

9. Safety of use

A toxicological evaluation of an extract containing 60% mangiferin revealed no mutagenic or genotoxic effects in vivo, although a weak clastogenic effect was observed in in vitro tests [12]. The overall safety profile of mango leaf extracts is favorable.

10. Summary

Mango leaves (*Mangifera indica* L.) have been shown to be a valuable source of bioactive compounds, including but not limited to mangiferin, flavonoids, tannins, and saponins. These bioactive compounds are responsible for the wide range of biological effects observed in mango leaves. The findings from preclinical and clinical investigations substantiate the antidiabetic, antibacterial, anti-inflammatory, hepatoprotective, anticancer, neuroprotective, and wound healing properties of the aforementioned substances. The combination of robust pharmacological effects with the presence of vitamins and minerals renders mango leaves a promising plant material with considerable potential for use in the prevention and treatment of chronic diseases. In the long term, there is a possibility that they may serve as the foundation

for the development of contemporary dietary supplements and medicinal preparations in the field of phytotherapy.

Bibliography

1. Ali BA, Alfa AA, Tijani KB, Idris ET, Unoyiza US, Junaidu Y. Nutritional Health Benefits and Bioactive Compounds of *Mangifera indica* L. Leaves Methanolic Extracts. *Asian Plant Res J.* 2020;6(2):41–51. doi:10.9734/aprj/2020/v6i230132
2. Lauricella M, Emanuele S, Calvaruso G, Giuliano M, D'Anneo A. Multifaceted Health Benefits of *Mangifera indica* L. (Mango): The Inestimable Value of Orchards Recently Planted in Sicilian Rural Areas. *Nutrients.* 2017;9(5):525. doi:10.3390/nu9050525
3. Sarmah PC, Hazarika R. Evaluation of hypoglycemic effect of *Mangifera indica* leaf. *Int J Appl Biol Pharm Technol.* 2012;3(3):98–102.
4. Saleem M, Tanvir M, Akhtar MF, Iqbal M, Saleem A. Antidiabetic Potential of *Mangifera indica* L. cv. Anwar Ratol Leaves: Medicinal Application of Food Wastes. *Medicina.* 2019;55(7):353. doi:10.3390/medicina55070353
5. Thomas J, Jacob J, Kumar NS. Mango leaves unveiled: A comprehensive review of their benefits and uses. *J Pharmacogn Phytochem.* 2025;14(1):130–134.
6. Hannan A, Asghar S, Naeem T, Ullah MI, Ahmed I, Aneela S, Hussain S. Antibacterial effect of mango (*Mangifera indica* Linn.) leaf extract against antibiotic sensitive and multi-drug resistant *Salmonella typhi*. *Pak J Pharm Sci.* 2013;26(4):715–719.
7. Suhatri S, Fidiyani D, Azzahra N, Suardi M. Effectiveness of Mango Leaf Extract (*Mangifera indica* L.) on Healing of Second Level Cut Wound in Male White Mice (*Mus musculus*). *J Kesehatan Andalas.* 2022;9(2):66–71.
8. Parvez GM. Pharmacological Activities of Mango (*Mangifera indica*): A Review. *J Pharmacogn Phytochem.* 2016;5(3):1–7.
9. Li Y, Xu J, Chen H, Bai Y, Tang J, Wang J, et al. Bioactive phenolics from *Mangifera indica* L. leaves and their antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities. *Ind Crops Prod.* 2018;111:400–406. doi:10.1016/j.indcrop.2017.10.029
10. Patarakijavanich P, Hirunpanich Sato V, Kongkiatpaiboon S, Chewchinda S. A review of the antidiabetic potential of *Mangifera indica* leaf extract. *Songklanakarin J Sci Technol.* 2019;41(4):943–951.
11. Bamidele O, Kolawole JT, Ayoka AO, Olalere AI, Ajani EO. Wound Healing Potentials of Aqueous Leaf Extract of *Mangifera indica* L. in Wistar Rats. *J Complement Altern Med Res.* 2017;2(4):1–11. doi:10.9734/JOCAMR/2017/33719
12. Reddeman RN, Glávits R, Endres JR, Clewell AE, Hirka G, Vértési A, Béres E, Szakonyiné IP. A Toxicological Evaluation of Mango Leaf Extract Containing 60% Mangiferin. *J Toxicol.* 2019;2019:4763015. doi:10.1155/2019/4763015
13. Castellote-Caballero Y, Guillen-Riquelme A, Ruiz-Robledillo N, et al. Acute Supplementation of Soluble Mango Leaf Extract (Zynamite® S) Improves Mental Performance and Mood: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Crossover Study. *Pharmaceuticals (Basel).* 2025;18(4):571. doi:10.3390/ph18040571
14. Wightman EL, Jackson PA, Khan J, Forster J, Heffernan T, Pouchieu C, et al. Acute effects of a polyphenol-rich leaf extract (Zynamite®) on cognitive function and psychological

- mood state in healthy adults: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Nutrients*. 2020;12(8):2194. doi:10.3390/nu12082194
15. López-Ríos L, Etcheverry SB, Di Virgilio AL. Central nervous system activities of *Mangifera indica* L. leaf extract and mangiferin. *Phytomedicine*. 2020;79:153353. doi:10.1016/j.phymed.2020.153353
 16. Dodd FL, Williams S, Jones J, et al. Acute Effects of Mango Leaf Extract (standardised $\geq 60\%$ Mangiferin) on Cognitive Performance and Mood in Healthy Adults – A Double-Blind, Placebo-Controlled, Crossover Study. *Front Nutr*. 2024;1:1298807. doi:10.3389/fnut.2024.1298807
 17. Khan JT, Richi AE, Riju SA, Jalal T, Orchi RJ, Singh S, et al. Evaluation of Antidiabetic Potential of *Mangifera indica* Leaf in Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetic Rats: Focus on Glycemic Control and Cholesterol Regulation. *Endocrines*. 2024;5(2):137–152. doi:10.3390/endocrines5020010

7. POSTĘPOWANIE W CIĘŻKIM ARDS WYWOŁANYM COVID-19 – PRZYPADEK KLINICZNY I PRZEGLĄD TERAPII

Jagoda Józefczyk

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie
Wydział Lekarski
E-mail: jagodajozefczyk@wp.pl

Konrad Zieliński

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski
E-mail: konrad.zielinski222@gmail.com

Adam Biesiada-Lewandowski

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie
Wydział Lekarski
E-mail: adam.biesiada@icloud.com

Wstęp

Układ oddechowy człowieka pełni kluczową rolę w zapewnieniu organizmowi tlenu niezbędnego do przeprowadzania procesów metabolicznych, a także w usuwaniu dwutlenku węgla, który jest produktem ubocznym oddychania komórkowego. Jego działanie opiera się na złożonych procesach fizjologicznych i biochemicznych, które współdziałają, aby utrzymać równowagę gazów w organizmie.

Układ oddechowy człowieka składa się z kilku podstawowych elementów, które współpracują, aby umożliwić prawidłową wymianę gazów. Główne części układu to:

Nos i jama nosowa – powietrze dostaje się do organizmu przez nos, gdzie jest oczyszczane z zanieczyszczeń, nawilżane i podgrzewane do odpowiedniej temperatury.

Gardło i krtień – powietrze przechodzi przez gardło do krtani, gdzie znajduje się aparat głosowy. Następnie trafia do tchawicy.

Tchawica i oskrzela – powietrze z tchawicy kieruje się do oskrzeli, które dzielą się na mniejsze oskrzeliki i prowadzą do płuc.

Płuca – głównym elementem wymiany gazów w organizmie są płuca, w których znajdują się pęcherzyki płucne. To w nich zachodzi kluczowy proces wymiany gazowej.

Wentylacja Płuc: Mechanizm Oddychania

Podstawowym zadaniem układu oddechowego jest wymiana gazów między organizmem a środowiskiem zewnętrznym. Odbywa się to w ramach procesu wentylacji płuc, który dzieli się na dwa główne etapy: wdech i wydech.

- Wdech (inhalacja) – w trakcie wdechu dochodzi do rozszerzenia klatki piersiowej. Głównym mięśniem odpowiedzialnym za ten proces jest przepona, która, kurcząc się, obniża ciśnienie w płucach. To powoduje, że powietrze z otoczenia wchodzi do pęcherzyków płucnych.
- Wydech (eksalacja) – podczas wydechu przepona oraz mięśnie międzyżebrowe rozluźniają się, co prowadzi do zmniejszenia objętości klatki piersiowej i wypchnięcia powietrza z płuc.

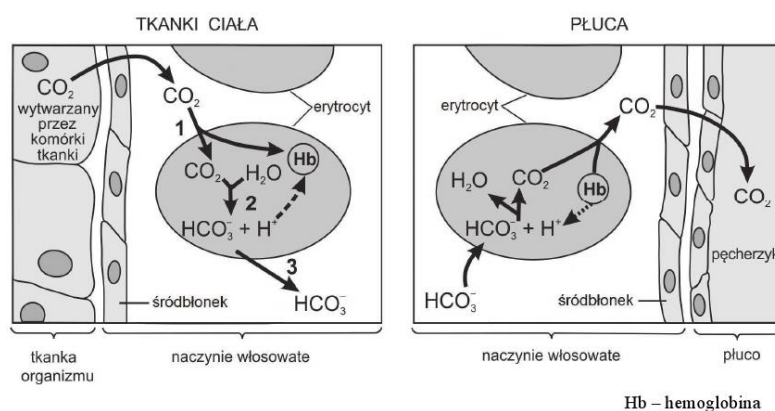
Regulacja Oddychania

Oddychanie jest ściśle kontrolowane przez ośrodek oddechowy w mózgu, który znajduje się w rdzeniu przedłużonym i moście. Ośrodek oddechowy monitoruje poziom dwutlenku węgla we krwi. Kiedy jego stężenie wzrasta, ośrodek wysyła sygnał do mięśni oddechowych, co prowadzi do przyspieszenia wentylacji płuc i usuwania nadmiaru CO_2 .

Wymiana Gazów: Dyfuzja w Pęcherzykach Płucnych

Głównym celem wentylacji płuc jest zapewnienie odpowiedniego środowiska do wymiany gazów.

Dyfuzja gazów w pęcherzykach płucnych jest możliwa dzięki różnicy ciśnień (tzw. gradientowi stężeń) tych gazów w powietrzu i krwi. Tlen przechodzi z obszaru o wyższym stężeniu (w pęcherzykach płucnych) do krwi, gdzie jego stężenie jest niższe, a dwutlenek węgla – z krwi (gdzie jego stężenie jest wyższe) do pęcherzyków płucnych.



Na podstawie: J.M. Berg, J.L. Tymoczko, L. Stryer, *Biochemia*, Warszawa 2009.

Zespół Ostrej Niewydolności Oddechowej (ARDS)

Zespół ostrej niewydolności oddechowej (ARDS, *Acute Respiratory Distress Syndrome*) to stan krytyczny, który charakteryzuje się gwałtownym pogorszeniem wymiany gazów w płucach, prowadzącym do hipoksemii (niskiego poziomu tlenu we krwi). ARDS jest wynikiem uszkodzenia struktury pęcherzyków płucnych i bariery pęcherzykowo-kapilarnej, co zaburza normalną wentylację i perfuzję płuc. Zespół ten jest jednym z najcięższych stanów wymagających intensywnej opieki medycznej, a jego diagnoza oraz leczenie opierają się na dokładnej analizie przyczyn oraz patofizjologii procesu.

Przyczyny ARDS

ARDS może mieć wiele różnych przyczyn, które prowadzą do uszkodzenia pęcherzyków płucnych i rozwoju niewydolności oddechowej. Wśród najczęstszych czynników ryzyka znajdują się zarówno choroby płucne, jak i pozapłucne stany zapalne.

1. Zakażenia płucne: Jednym z najczęstszych powodów ARDS są infekcje płucne, zwłaszcza te wywołane przez bakterie (*Streptococcus pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*), wirusy (np. wirus grypy, koronawirusy) czy grzyby. Zakażenie płuc prowadzi do stanu zapalnego, który uszkadza barierę pęcherzykowo-kapilarną, powodując przeciek płynów do pęcherzyków płucnych.
2. Zatrucia i urazy: ARDS może wystąpić w wyniku ciężkich urazów, takich jak oparzenia czy aspiracja treści żołądkowej. Zatrucia toksynami, takimi jak dym, chemikalia lub niektóre leki, również mogą prowadzić do uszkodzenia płuc.
3. Zakażenia ogólnoustrojowe: Sepsa, szczególnie spowodowana bakteriami gram-ujemnymi, jest jedną z głównych przyczyn ARDS. W wyniku sepsy dochodzi do ogólnoustrojowego stanu zapalnego, który może prowadzić do rozwoju ARDS.
4. Choroby autoimmunologiczne i inne: ARDS może być również wynikiem chorób autoimmunologicznych, takich jak toczeń rumieniowaty czy reumatoidalne zapalenie stawów, które prowadzą do przewlekłego stanu zapalnego w organizmie. Dodatkowo, niektóre choroby trzustki, jak ostra niewydolność trzustki, mogą również prowadzić do ARDS.

Mechanizmy Patofizjologiczne ARDS

Patofizjologia ARDS jest wynikiem uszkodzenia bariery pęcherzykowo-kapilarnej, co prowadzi do zaburzeń w wymianie gazów. W odpowiedzi na czynniki uszkadzające, takich jak infekcje czy toksyny, dochodzi do aktywacji układu odpornościowego i uwolnienia substancji prozapalnych. Powoduje to wzrost przepuszczalności naczyń krwionośnych, przez co płyny oraz białka przenikają do przestrzeni pęcherzykowej, prowadząc do obrzęku płuc.

Uszkodzenie pęcherzyków płucnych skutkuje również zniszczeniem nabłonka pęcherzykowego, co utrudnia proces wymiany gazów. W efekcie, tlen nie może przechodzić do krwi, a dwutlenek węgla nie jest skutecznie usuwany z organizmu, co prowadzi do hipoksemii. Zmniejszona elastyczność płuc i ich zmniejszona zdolność do rozprężania się w wyniku obrzęku płuc jeszcze bardziej pogarsza wentylację.

Fazy ARDS

Patofizjologiczne zmiany w ARDS rozwijają się w trzech głównych fazach:

1. Faza zapalna (0-7 dni): W odpowiedzi na uszkodzenie dochodzi do uwolnienia mediatorów zapalnych, takich jak cytokiny i leukotrieny. Te substancje prowadzą do uszkodzenia śródbłonki naczyń krwionośnych i epitelium pęcherzyków płucnych. To zjawisko prowadzi do zwiększonej przepuszczalności naczyń, wycieku białek i płynów do przestrzeni pęcherzykowej, co powoduje obrzęk i zablokowanie wymiany gazów.
2. Faza proliferacyjna (7-14 dni): W tej fazie rozpoczyna się proces regeneracji uszkodzonych komórek płucnych. Pneumocyty typu II proliferują i zaczynają odbudowywać nabłonek pęcherzyków płucnych. Jednak proces ten jest często

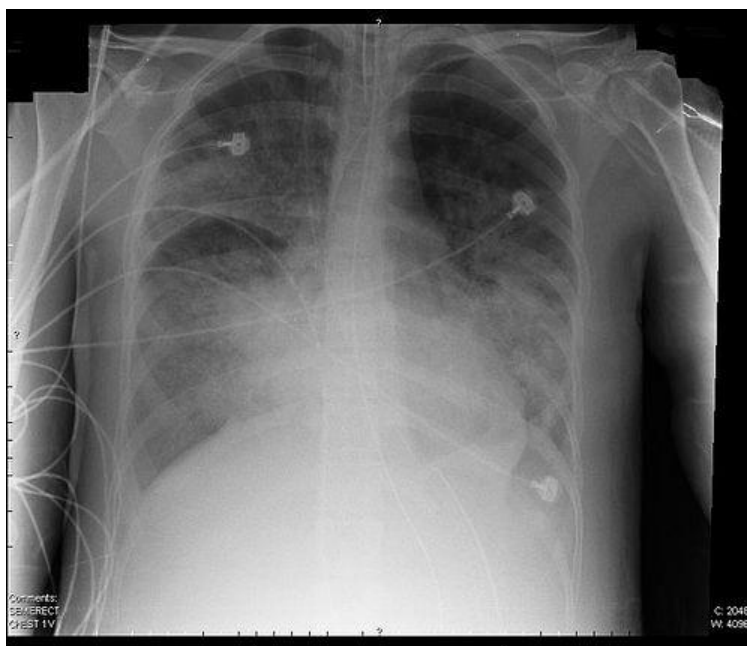
niewystarczający do pełnej regeneracji, co prowadzi do tworzenia się tkanki bliznowatej (włóknienie) i dalszego pogorszenia funkcji płuc.

3. Faza włóknienia (po 14 dniach): W przypadku niepełnej regeneracji, dochodzi do trwałego włóknienia płuc, co znacznie utrudnia ich rozprężanie i wymianę gazową. Włóknienie jest odpowiedzią organizmu na długotrwały stan zapalny i uszkodzenie tkanek. Zmniejszenie elastyczności płuc oraz ograniczenie ich zdolności do wentylacji prowadzi do przewlekłej niewydolności oddechowej.

Diagnostyka ARDS

Rozpoznanie ARDS opiera się na kombinacji objawów klinicznych oraz wyników badań obrazowych. Objawy typowe dla tego zespołu to duszność, przyspieszony oddech, sinica oraz zróżnicowane stopnie hipoksemii. Z kolei badania obrazowe, takie jak RTG klatki piersiowej czy tomografia komputerowa (CT), mogą ujawnić charakterystyczne obustronne zmiany w płucach, związane z obrzękiem i stanem zapalnym.

Ostateczne rozpoznanie ARDS opiera się na ocenie poziomu tlenu we krwi (PaO_2) i stosunku $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, a także na wykluczeniu innych przyczyn niewydolności oddechowej, takich jak niewydolność serca.



Leczenie ARDS

Leczenie ARDS jest przede wszystkim objawowe, ukierunkowane na poprawę wymiany gazów i zapobieganie dalszemu uszkodzeniu płuc. Najważniejsze elementy terapii obejmują:

1. Wentylacja mechaniczna: Stosowanie wentylacji z niskimi ciśnieniami wdechowymi (strategia ochrony płuc) jest kluczowe w leczeniu ARDS. Celem jest utrzymanie odpowiedniego poziomu tlenu we krwi przy minimalizacji urazów mechanicznych płuc.
2. Zarządzanie płynami: Kontrola bilansu płynów jest niezbędna, aby zapobiec nadmiernemu obrzękowi płuc. Nadmiar płynów w organizmie może pogłębić stan niewydolności oddechowej.

3. Farmakoterapia: W leczeniu ARDS stosuje się leki przeciwzapalne, leki poprawiające funkcję serca oraz wspomagające leczenie infekcji, jeśli są one przyczyną zespołu. W niektórych przypadkach rozważa się stosowanie leków stosowanych w leczeniu zespołów septycznych.
4. Oksygenoterapia i inne metody wspomagania oddechu: W ciężkich przypadkach może być konieczne zastosowanie terapii tlenem wysokiej koncentracji lub stosowanie alternatywnych metod wspomagania wentylacji, takich jak ECMO (pozaustrojowe wspomaganie oddychania).

Patofizjologia COVID-19 i jego wpływ na płuca

COVID-19 wywołuje zapalenie płuc, które może mieć różny stopień nasilenia. Wirus SARS-CoV-2 infekuje komórki nabłonka dróg oddechowych, głównie w obrębie płuc, wykorzystując białko *spike* do wiązania się z receptorem ACE2 (Angiotensin-Converting Enzyme 2) znajdującym się na powierzchni komórek nabłonka dróg oddechowych, w tym pęcherzyków płucnych. Gdy wirus wnika do komórki, zaczyna się proces replikacji, który prowadzi do uszkodzenia komórek i uwolnienia wirusa do organizmu. To wywołuje reakcję zapalną, której celem jest zwalczanie infekcji, ale również prowadzi do uszkodzenia zdrowych tkanek płucnych.

Uszkodzenie pęcherzyków płucnych

Pęcherzyki płucne, w których zachodzi wymiana gazowa, są szczególnie wrażliwe na działanie wirusa. Infekcja prowadzi do uszkodzenia nabłonka pęcherzykowego, a także do zniszczenia bariery pęcherzykowo-kapilarnej. W wyniku tego procesu dochodzi do wzrostu przepuszczalności naczyń krwionośnych i wycieku płynów oraz białek do przestrzeni pęcherzykowej. To prowadzi do obrzęku płuc, zmniejszenia zdolności płuc do wymiany gazowej, a w konsekwencji – do hipoksemii (niskiego poziomu tlenu we krwi).

Odpowiedź zapalna

Infekcja COVID-19 prowadzi do nadmiernej reakcji zapalnej organizmu. Cytokiny zapalne, takie jak interleukina-6 (IL-6) i inne, są uwalniane przez komórki odpornościowe w odpowiedzi na zakażenie. To zjawisko, zwane "burzą cytokinową", może prowadzić do poważnych uszkodzeń płuc i innych narządów. Burza cytokinowa jest jednym z głównych mechanizmów, przez które COVID-19 prowadzi do ciężkiej niewydolności oddechowej, a także zwiększa ryzyko rozwoju niewydolności wielonarządowej.

Tworzenie zakrzepów i mikrozakrzepów

U niektórych pacjentów COVID-19 może prowadzić do zaburzeń krzepnięcia, co powoduje tworzenie mikrozakrzepów w małych naczyniach płucnych. Mikrozakrzepy blokują przepływ krwi przez płuca, co prowadzi do niewydolności oddechowej, ponieważ zmniejsza się zdolność do dostarczania tlenu do tkanek.

Uszkodzenie komórek nabłonka płucnego

Po początkowej infekcji i uszkodzeniu komórek nabłonka płucnego (szczególnie pneumocytów typu II), organizm podejmuje próbę regeneracji. Jednak w wielu przypadkach naprawa jest niewystarczająca, co prowadzi do procesu włóknienia płuc. Włóknienie zmienia strukturę płuc, zmniejszając ich elastyczność i zdolność do prawidłowego rozprężania, co skutkuje przewlekłymi problemami oddechowymi.

Długoterminowe skutki COVID-19 na płuca

Chociaż wiele osób, które przeszły COVID-19, doświadcza pełnej regeneracji, to u części pacjentów mogą wystąpić długoterminowe problemy zdrowotne. Tak zwany "long COVID" (długotrwałe skutki COVID-19) może obejmować przewlekłe problemy oddechowe, nawet u pacjentów, którzy początkowo mieli łagodny przebieg choroby. Do długoterminowych konsekwencji dla płuc należą:

1. Przewlekłe problemy z oddychaniem: U pacjentów, którzy przeszli ciężki przebieg COVID-19, może wystąpić przewlekła duszność i obniżona wydolność płucna, nawet po okresie rekonwalescencji.
2. Włóknienie płuc: U niektórych osób po infekcji SARS-CoV-2 rozwija się włóknienie płuc, które jest wynikiem przewlekłego zapalenia i uszkodzenia tkanek płucnych. To może prowadzić do trwałego uszkodzenia płuc i potrzeby długotrwałej rehabilitacji oddechowej.
3. Zwiększona podatność na inne infekcje: Osoby, które przeszły COVID-19, mogą mieć osłabiony układ odpornościowy, co zwiększa ryzyko wystąpienia innych infekcji płucnych, takich jak zapalenie płuc czy infekcje grzybicze.
4. Zmniejszona funkcja płuc: W wyniku włóknienia i innych uszkodzeń płuc może dojść do zmniejszenia pojemności życiowej płuc i ograniczenia ich zdolności do wymiany gazowej.
- 5.



Obraz radiologiczny płuc w przebiegu COVID-19 – obustronne zmiany śródmiąższowe typu matowej szyby

Opis przypadku: 52-letni mężczyzna z ciężką niewydolnością oddechową w przebiegu infekcji wirusowej SARS-CoV-2

Historia kliniczna

52-letni mężczyzna został przyjęty na Oddział Intensywnej Terapii po przewiezieniu ze szpitala powiatowego z powodu ciężkiej niewydolności oddechowej w przebiegu infekcji wirusem SARS-CoV-2. Pacjent w chwili przyjęcia był głęboko niedotleniony, zaintubowany

i wentylowany czystym tlenem. Jego stan był poważny: powłoki ciała zsiniałe, wskazujące na zaawansowaną hipoksemię.

Decyzja o leczeniu ECMO

Z powodu niewydolności oddechowej pacjent został zakwalifikowany do terapii ECMO V-V (veno-venous), czyli wspomagania funkcji płuc. Metoda ta jest stosowana w przypadkach ciężkiej niewydolności oddechowej, kiedy tradycyjne metody wentylacji nie wystarczają do utrzymania odpowiedniego poziomu saturacji tlenem. Założono kaniule przez żyłę szyjną wewnętrzną oraz żyłę udową prawą w celu przeprowadzenia krwi przez oksygenator i zapewnienia prawidłowej wymiany gazowej.

Postępowanie kliniczne

Początkowo pacjent otrzymywał antybiotykoterapię empiryczną, aby zapobiec infekcjom wtórnym. Terapia ECMO została wdrożona z rzutem supranormalnym, w celu zapewnienia maksymalnego wsparcia w wymianie gazowej.

Wykonano RTG klatki piersiowej w pozycji leżącej, które wykazało zmiany zapalne w płucach, bez obecności odmy płucnej. Na podstawie obrazu radiologicznego stwierdzono także obecność płynów w przestrzeni międzypłucnej.

Po kilku dniach podjęto próbę ekstubacji pacjenta i przejścia na awake-ECMO (ECMO w trybie czuwania), jednak ze względu na nieefektywny kaszel i trudności w oczyszczaniu dróg oddechowych, pacjent ponownie wymagał intubacji. W związku z trudnościami w wentylacji, przeprowadzono tracheotomię.

Kolejne próby redukcji przepływu gazów w ECMO okazały się nieudane, głównie z powodu problemów z eliminacją CO₂. W odpowiedzi na to, pacjent wymagał intensyfikacji wspomagania farmakologicznego układu krążenia.

Oddech był początkowo prowadzony w trybie APRV (Airway Pressure Release Ventilation), a później przełączono na Intellivent, z dodatkowym wspomaganie objętościowym, co pozwoliło na lepszą kontrolę wentylacji. Podczas leczenia wystąpiła przejściowa małopłytkowość, która została skorygowana przez odpowiednią terapię.

Przebieg leczenia i wyniki

Po 30 dniach wspomagania terapią ECMO, pacjent został odłączony od ECMO i zdekanulowany. Wykonano kolejne RTG klatki piersiowej, które ujawniło bezpowietrzne nacieki na obu płucach z obecnością bronchogramu powietrznego, zwłaszcza w segmentach grzbietowych. Obraz wskazywał na nasilający się proces zapalny w płucach. Nie stwierdzono obecności płynu w jamie opłucnej ani w worku osierdziowym. Inne struktury śródpiersia były prawidłowe.

Zdecydowano o kontynuacji sedacji, ponieważ pacjent nadal miał trudności w eliminacji CO₂ i nie wykazywał wystarczającej reakcji na leczenie wentylacyjne.

Podsumowanie

Po 2 miesiącach leczenia pacjent odzyskał zdolność do wentylacji własnej, a jego stan kliniczny uległ znacznemu poprawieniu. Dzięki zastosowaniu terapii ECMO oraz intensywnemu leczeniu wspomagającemu, pacjent przeżył pomimo ciężkiego przebiegu

infekcji wirusowej SARS-CoV-2. Po odłączeniu od ECMO pacjent nadal wymagał monitorowania i leczenia farmakologicznego, jednak wykazywał stopniową poprawę funkcji płuc.

Bibliografia

1. <https://www.mp.pl/pacjent/pulmonologia/choroby/150465,ostra-niewydolnosc-oddechowa>
2. https://pl.wikipedia.org/wiki/Ciągłe_pozauustrojowe_natlenianie_krwi
3. <https://cordis.europa.eu/article/id/421597-how-covid-19-damages-the-lungs/pl>
4. E. McLaughlin, J. Stamford, D. White, Fizjologia człowieka. Krótkie wykłady, Warszawa 2008.
5. Andrzej Szczeklik, Piotr Gajewski, Interna Szczeklika 2021 Empendium, MP Kraków 2021.
6. Wojciech Sawicki: Histologia dla studentów medycyny. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 1997. ISBN 83-200-2088-3.
7. Stanisław Konturek: Fizjologia dla studentów medycyny. Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2013.
8. [8.https://www.google.pl/amp/s/www.hellozdrowie.pl/rtg-klatki-piersiowej-%25E2%2580%2592-jak-wyglada-i-co-pokazuje/amp/](https://www.google.pl/amp/s/www.hellozdrowie.pl/rtg-klatki-piersiowej-%25E2%2580%2592-jak-wyglada-i-co-pokazuje/amp/)

8. CHIRURGICZNE ZAOPATRZENIE WRZODU PERFOROWANEGO ŻOŁĄDKA – WYZWANIE W OSTRYM BRZUCHU

Adam Biesiada-Lewandowski

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: adam.biesiada@icloud.com

Jagoda Józefczyk

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: jagodajozefczyk@wp.pl

Konrad Zieliński

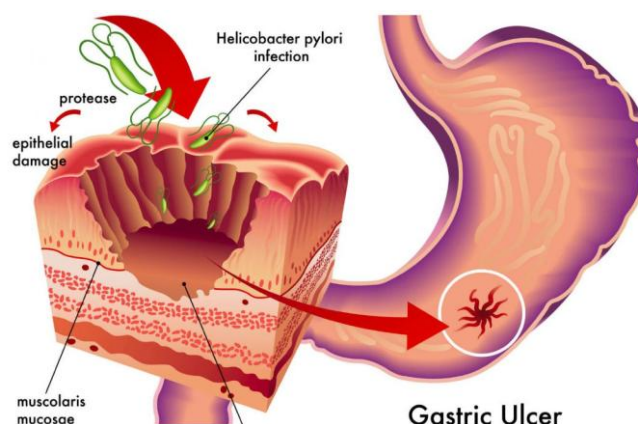
Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: konrad.zielinski222@gmail.com

1. Wstęp

Wrzód żołądka to ograniczony ubytek błony śluzowej żołądka, sięgający przynajmniej do warstwy mięśniowej błony śluzowej, który powstaje w wyniku działania czynników zaburzających równowagę między agresywnymi czynnikami środowiska żołądkowego (np. kwas solny, pepsyna) a mechanizmami ochronnymi śluzówki. Wrzody trawienne (w tym wrzody żołądka) to przewlekłe zmiany chorobowe o charakterze nawracającym, które mogą prowadzić do powikłań takich jak krwawienie, perforacja (przedziurawienie ściany) czy zwężenie odźwiernika.



Najczęstsze przyczyny wrzodów żołądka

2. Zakażenie bakterią *Helicobacter pylori*

Helicobacter pylori to spiralna bakteria Gram-ujemna, która kolonizuje błonę śluzową żołądka i jest najczęstszą przyczyną choroby wrzodowej żołądka i dwunastnicy. Szacuje się, że zakażenie tym patogenem występuje u ponad 50% populacji światowej, choć nie u wszystkich prowadzi do rozwoju wrzodów.

Bakteria ta wytwarza ureazę – enzym rozkładający mocznik na amoniak i dwutlenek węgla, co alkalizuje lokalne środowisko i umożliwia jej przetrwanie w kwaśnym soku żołądkowym. Jednocześnie *H. pylori* uszkodza komórki nabłonka, wywołuje stan zapalny i osłabia barierę śluzówkową, przez co ułatwia działanie kwasu solnego i enzymów trawiennych. Zakażenie często przebiega bezobjawowo, ale w części przypadków prowadzi do zapalenia błony śluzowej i powstania owrzodzeń.

W leczeniu choroby wrzodowej związanej z *H. pylori* kluczowe znaczenie ma eradykacja bakterii – czyli całkowite jej usunięcie poprzez leczenie skojarzone (IPP + dwa antybiotyki).

3. Stosowanie niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ)

Leki takie jak ibuprofen, ketoprofen, diklofenak czy aspiryna (kwas acetylosalicylowy) należą do grupy NLPZ i są powszechnie stosowane w leczeniu bólu, gorączki i stanów zapalnych. Ich działanie polega na hamowaniu enzymu cyklooksygenazy (COX), co zmniejsza produkcję prostaglandyn – substancji chroniących błonę śluzową żołądka.

Prostaglandyny odpowiadają m.in. za:

- zwiększanie wydzielania ochronnego śluzu i wodorowęglanów,
- poprawę ukrwienia śluzówki,
- ograniczenie wydzielania kwasu solnego.

Ich niedobór prowadzi do osłabienia mechanizmów obronnych żołądka, co może skutkować powstaniem nadżerek, owrzodzeń, a nawet krwawień. Ryzyko uszkodzeń zwiększa się przy długotrwałym stosowaniu NLPZ, szczególnie u osób starszych, osób z wcześniejszą historią choroby wrzodowej, a także przy równoczesnym stosowaniu GKS lub leków przeciwzakrzepowych.

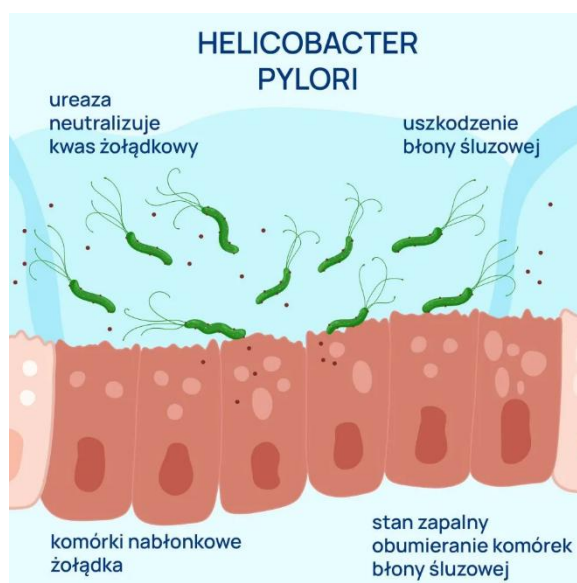
4. Nadmierne wydzielanie kwasu solnego (hiperchlorhydria)

Nadmierna produkcja kwasu solnego przez komórki okładzinowe żołądka może doprowadzić do uszkodzenia błony śluzowej i rozwoju wrzodów. Choć u większości pacjentów z wrzodami żołądka produkcja kwasu jest w normie lub nawet obniżona, to w niektórych przypadkach nadmierne wydzielanie kwasu odgrywa istotną rolę.

Przykładem jest zespół Zollingera–Ellisona – rzadki, ale ciężki zespół chorobowy spowodowany obecnością guza (gastrinoma), który wydziela duże ilości gastryny, hormonu pobudzającego produkcję kwasu żołądkowego. Prowadzi to do licznych, trudnych do leczenia owrzodzeń w żołądku i dwunastnicy.

5. Czynniki dodatkowe (ryzyka lub wspomagające)

- **Palenie tytoniu** – upośledza gojenie wrzodów, zwiększa wydzielanie kwasu solnego i zmniejsza produkcję ochronnego śluzu.
- **Nadmierne spożycie alkoholu** – może uszkadzać błonę śluzową żołądka, prowadząc do nadżerek i przewlekłego zapalenia.
- **Stres psychiczny i fizyczny** – nie jest bezpośrednią przyczyną, ale w sytuacjach silnego stresu (np. operacje, urazy, choroby krytyczne) może dojść do tzw. wrzodów stresowych (np. wrzody Curlinga, Cushinga).
- **Dieta uboga w składniki ochronne** – np. niski poziom witaminy C, cynku, czy błonnika może mieć wpływ na gojenie błony śluzowej.
- **Czynniki genetyczne** – skłonność do choroby wrzodowej może być dziedziczna, choć wpływ ten jest umiarkowany.



Objawy wrzodów żołądka

Najczęstszym objawem wrzodów żołądka jest ból w nadbrzuszu, zwykle opisywany jako piekący, tępy lub gniotący. Pojawia się on najczęściej po jedzeniu, co odróżnia wrzody żołądka od wrzodów dwunastnicy (gdzie ból częściej występuje na czczo lub w nocy i ustępuje po jedzeniu).

Inne typowe objawy to:

- uczucie pełności i wzdęcia po posiłku,
- nudności, czasem prowadzące do wymiotów,
- zmniejszenie apetytu i spadek masy ciała,
- zgaga lub odbijanie,
- uczucie przelewania się w żołądku.

W przypadku powikłań, takich jak krwawienie z wrzodu, mogą pojawić się fusowate wymioty (ciemne, przypominające fusy z kawy) lub smoliste stolce.

Diagnostyka wrzodów żołądka

Wczesna i trafna diagnoza wrzodów żołądka jest kluczowa, by zapobiec groźnym powikłaniom, takim jak krwawienie, perforacja czy przewlekłe dolegliwości bólowe. Ze względu na to, że objawy wrzodów mogą być niespecyficzne i przypominać inne choroby przewodu pokarmowego (np. refluks, zapalenie błony śluzowej, czy nawet nowotwór), podstawą rozpoznania są odpowiednie badania diagnostyczne.

1. Gastroskopia (endoskopia górnego odcinka przewodu pokarmowego)

To złoty standard w diagnostyce choroby wrzodowej. Badanie polega na wprowadzeniu giętkiego endoskopu przez jamę ustną do żołądka i dwunastnicy, co pozwala lekarzowi bezpośrednio obejrzeć błonę śluzową. Dzięki gastroskopii można: potwierdzić obecność i lokalizację wrzodu, ocenić jego głębokość i krwawienie, pobrać wycinki do badania hist-pat – w celu wykluczenia zmian nowotworowych, wykonać test ureazowy w kierunku *H. pylori*.

2. Testy w kierunku *Helicobacter pylori*

Zakażenie tą bakterią to najczęstsza przyczyna wrzodów. Istnieje kilka sposobów jej wykrycia:

- **Test ureazowy** – wykonywany podczas gastroskopii z pobranej próbki śluzówki.
- **Test oddechowy z mocznikiem C13 lub C14** – nieinwazyjny i bardzo czuły.
- **Badanie antygeny *H. pylori* w kale** – dobre do wykrywania i kontroli leczenia.
- **Badania serologiczne** (przeciwciała IgG) – mniej przydatne, bo nie odróżniają aktywnego zakażenia od przebytego.

3. Badania laboratoryjne

Pomocniczo wykonuje się:

- morfologię krwi (w kierunku niedokrwistości przy krwawiących wrzodach),
- OB i CRP (ocena stanu zapalnego),
- testy na krew utajoną w kale (przy podejrzeniu utajonego krwawienia).

Leczenie wrzodów żołądków

Leczenie wrzodów żołądka polega przede wszystkim na złagodzeniu objawów, wygojeniu uszkodzonej błony śluzowej oraz zapobieganiu nawrotom i powikłaniom. Głównym elementem terapii są leki zmniejszające wydzielanie kwasu solnego w żołądku – tzw. inhibitory pompy protonowej (IPP), takie jak omeprazol, pantoprazol, esomeprazol czy lansoprazol. Stosuje się je zazwyczaj przez 4 do 8 tygodni, dzięki czemu wrzód ma czas się wygoić.

Jeśli przyczyną wrzodów jest obecność bakterii *Helicobacter pylori*, konieczne jest przeprowadzenie tzw. eradykacji, czyli usunięcia tej bakterii z organizmu. W tym celu stosuje się leczenie skojarzone – zazwyczaj jest to terapia potrójna, która obejmuje IPP oraz dwa antybiotyki, np. amoksycylinę i klarytromycynę (lub metronidazol). Leczenie trwa najczęściej 7–14 dni. W przypadkach opornych na leczenie stosuje się terapię poczwórną, która dodatkowo zawiera preparaty bizmutu oraz inny zestaw antybiotyków.

U osób, u których wrzody powstały na skutek długotrwałego stosowania leków przeciwbólowych z grupy NLPZ (takich jak ibuprofen, ketoprofen czy aspiryna), zaleca się przede wszystkim odstawienie tych leków, jeśli to możliwe. Dodatkowo stosuje się inhibitory pompy protonowej przez okres co najmniej 6–8 tygodni. W sytuacji, gdy pacjent musi

kontynuować terapię przeciwbólową, lekarz może zalecić przyjmowanie leków osłonowych lub zamianę NLPZ na bezpieczniejszy środek, np. paracetamol.

W niektórych przypadkach do leczenia włącza się również leki wspomagające gojenie wrzodów. Jednym z nich jest sukralfat – preparat, który tworzy ochronną warstwę na powierzchni wrzodu, chroniąc go przed dalszym drażnieniem kwasem żołądkowym. Czasami stosuje się też preparaty bizmutu lub tzw. antagonistów receptora H₂, choć te ostatnie są dziś wykorzystywane rzadziej niż IPP.

Zdecydowana większość wrzodów żołądka goi się dzięki leczeniu farmakologicznemu. Leczenie chirurgiczne jest obecnie rzadko stosowane i zarezerwowane wyłącznie dla przypadków powikłanych – np. przy krwawieniu z wrzodu, jego przedziurawieniu (perforacji) lub zwężeniu odźwiernika. Może być też konieczne, jeśli istnieje podejrzenie, że wrzód ma charakter nowotworowy.

Po zakończeniu leczenia lekarz może zlecić badania kontrolne, takie jak gastroskopia lub test na obecność *H. pylori*, aby upewnić się, że wrzód się zagoił, a bakteria została skutecznie usunięta. Odpowiednio dobrane leczenie daje bardzo dobre efekty, jednak kluczowe znaczenie ma także przestrzeganie zaleceń lekarza, unikanie alkoholu, papierosów i leków drażniących żołądek oraz prowadzenie zdrowego stylu życia, który zapobiega nawrotom choroby.

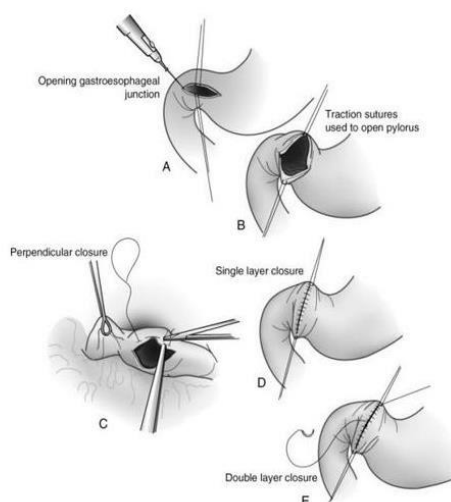
Pyloroplastyka Heinecke-Mikulicza

Choroba wrzodowa żołądka i dwunastnicy, szczególnie w zaawansowanych postaciach, może prowadzić do powikłań wymagających leczenia operacyjnego. Jednym z takich powikłań jest zwężenie odźwiernika (pylorostenoz), czyli części żołądka łączącej go z dwunastnicą. Przewlekłe drażnienie błony śluzowej przez kwas solny oraz gojące się wrzody mogą powodować bliznowacenie i znaczne ograniczenie drożności tej okolicy. Objawia się to wymiotami, uczuciem zalegania pokarmu, bólem oraz utratą masy ciała. W takich przypadkach stosuje się zabieg chirurgiczny – pyloroplastykę, a jedną z najczęściej wykonywanych technik jest właśnie pyloroplastyka Heinecke-Mikulicza.

Wskazaniem do pyloroplastyki Heinecke-Mikulicza jest więc:

- zwężenie odźwiernika utrudniające opróżnianie żołądka,
- nawracające wymioty i zaleganie pokarmu,
- niedrożność czynnościowa żołądka związana z bliznowaceniem po wrzodach.

Zabieg ten często łączy się z inną procedurą – wagotomią, czyli przecięciem nerwów błędnych, które pobudzają wydzielanie kwasu solnego. Wagotomia zmniejsza wydzielanie kwasu i zapobiega nawrotom wrzodów, ale może upośledzać motorykę żołądka. Dlatego wykonuje się równocześnie pyloroplastykę, by ułatwić opróżnianie żołądka po operacji.



Ostry brzuch a wrzody żołądka

W przebiegu choroby wrzodowej żołądka może dojść do nagłych powikłań stanowiących obraz tzw. ostrego brzucha. Najczęściej są to perforacja wrzodu, krwotok lub zwężenie odźwiernika. Każda z tych sytuacji wymaga szybkiej reakcji – od stabilizacji stanu chorego po pilne leczenie operacyjne. Właściwa diagnostyka i kompleksowe leczenie (zarówno chirurgiczne, jak i farmakologiczne) są kluczem do ratowania życia i zapobiegania nawrotom powikłań choroby wrzodowej.

Opis przypadku

Pacjent zgłosił się na Izbę Przyjęć z dolegliwościami bólowymi brzucha i wymiotami, które utrzymywały się od około czterech dni. W dniu poprzedzającym hospitalizację ból zlokalizował się pod prawym łukiem żebrowym i przybrał na sile. Z uwagi na pogarszający się stan kliniczny, chory został przyjęty na oddział chirurgii ogólnej celem dalszej diagnostyki i leczenia.

W dniu przyjęcia ból brzucha narastał, ale nie występowały typowe objawy otrzewnowe – były jedynie słabo zaznaczone. Zlecono wykonanie badań obrazowych (RTG jamy brzusznej, USG jamy brzusznej), gastrokopii oraz podstawowych badań laboratoryjnych.

Trzeciego dnia pobytu w szpitalu przeprowadzono gastrokopię, w której uwidoczniono rozległe zmiany zapalne przełyku o charakterze okrężnym, z obecnością zmian krwotocznych. Dodatkowo rozpoznano refluksowe zapalenie przełyku. Po badaniu doszło do nasilenia bólu brzucha.

W badaniu RTG jamy brzusznej wykonanym w pozycji siedzącej stwierdzono obecność wolnego powietrza pod kopułami przepony oraz obecność poziomów płynu, co nasuwało podejrzenie perforacji przewodu pokarmowego. Obserwowano również pojedyncze poziomy płynu w obrębie jelit.

Badanie ultrasonograficzne było ograniczone przez obecność gazów i mas treści pokarmowej, co utrudniło pełną ocenę narządów jamy brzusznej. Mimo to, większość struktur – wątroba, pęcherzyk żółciowy, trzustka, śledziona, nerki, pęcherz moczowy oraz przestrzeń

zaotrzewnowa – oceniono jako prawidłowe. Nie stwierdzono obecności wolnego płynu w jamie brzusznej. Żołądek i jelita były znacznie rozdęte i wypełnione gęstą treścią.

Na podstawie wyników badań postawiono rozpoznanie: perforacja wrzodu odźwiernika z rozlanym zapaleniem otrzewnej oraz współistniejące refluksowe zapalenie przełyku.

Ze względu na obecność wolnego powietrza w jamie otrzewnowej i potwierdzoną perforację, pacjent został pilnie zakwalifikowany do zabiegu chirurgicznego. W trakcie operacji potwierdzono obecność perforowanego wrzodu w okolicy odźwiernika. Przeprowadzono wycięcie zmiany oraz wykonano pyloroplastykę metodą Heinecke-Mikulicza.

Okres pooperacyjny przebiegał bez powikłań. Pacjent został wypisany do domu w stanie ogólnym dobrym, z zaleceniem stosowania diety lekkostrawnej, nieobciążającej przewodu pokarmowego.

Bibliografia

1. Duża Interna Szczeklika 2022 J. Musiał, J. Sznajd, A. Szczeklik.
2. https://pl.wikipedia.org/wiki/Helicobacter_pylori
3. <https://www.mp.pl/pacjent/gastrologia/choroby/zoladek/63409,choroba-wrzodowa-zoladka-i-dwunastnicy>
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/Plastyka_Heinekego-Mikulicza
5. <https://www.mp.pl/pacjent/gastrologia/choroby/zoladek/80640,leczenie-zakazenia-eradykacja-helicobacter-pylori>
6. <https://www.alab.pl/centrum-wiedzy/choroba-wrzodowa-dyspepsja-diagnostyka/?srsltid=AfmBOoqkewQ0WRpHv4wI76WD3FvhVEe0cY-y6lHPQMrxWCpaV1egvsQG>
7. <https://www.swiatdietetyki.pl/dietetyka/wrzody-zoladka-dwunastnicy-zalecenia-dietetyczne/>
8. https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Piloroplastia-de-Heineke-Mikulicz-A-E-de-Soreide-JA-Soreide-A-Pyloroplasty_fig2_308698100

9. ZAOPATRZENIE ORTOPEDYCZNE JAKO ELEMENT KOMPLEKSOWEJ REHABILITACJI - NOWE WYZWANIA I MOŻLIWOŚCI

Kamila Maculewicz

Fundacja ROSE Rozwój, ochrona zdrowia, sport i edukacja

1. Wstęp

Rehabilitacja XXI wieku stanowi złożony proces terapeutyczny, w którym łączą się elementy fizjoterapii, edukacji pacjenta, zaopatrzenia ortopedycznego, a coraz częściej także nowoczesnych technologii wspierających proces leczenia. Celem tego podejścia nie jest już wyłącznie przywrócenie utraconej sprawności w możliwym zakresie, lecz również utrwalenie osiągniętych efektów, zapobieganie nawrotom schorzeń oraz zwiększenie jakości życia pacjenta [Kiwerski i Włodarczyk, 2019].

Zaopatrzenie ortopedyczne, tradycyjnie traktowane jako narzędzie biernej stabilizacji, przeszło w ostatnich dekadach znaczącą transformację. Obecnie jest coraz częściej rozpatrywane nie tylko jako środek wspomagający, lecz jako integralny element terapii, który aktywnie wpływa na proces usprawniania [Woźniewski i in., 2020]. Ortezy, protezy oraz inne wyroby medyczne nie są już projektowane wyłącznie w kategoriach ochrony i unieruchomienia, ale również z uwzględnieniem potrzeb funkcjonalnych, biomechanicznych i psychospołecznych użytkownika.

Równocześnie obserwuje się dynamiczny rozwój technologii wspierających proces rehabilitacji. Zastosowanie sensorów ruchu, systemów biofeedback, technologii druku 3D czy algorytmów sztucznej inteligencji sprawia, że możliwości personalizacji zaopatrzenia ortopedycznego znacząco wzrosły [Ma i in., 2016; Escamilla-Núñez i in., 2020; Mayo Clinic, 2023]. Nowoczesne rozwiązania umożliwiają nie tylko monitorowanie postępów rehabilitacji w czasie rzeczywistym, ale także korektę wzorców ruchowych, reedukację propriocepcji czy wspomaganie kontroli motorycznej.

Mimo postępu technologicznego wciąż istnieją istotne bariery w praktyce klinicznej. Do najważniejszych należą: niewystarczająca liczba badań klinicznych potwierdzających skuteczność nowoczesnych rozwiązań, ograniczona dostępność ortez nowej generacji w codziennej praktyce, a także bariery refundacyjne, które znacząco ograniczają ich upowszechnienie (BMC Musculoskeletal Disorders, 2024). W rezultacie, zaopatrzenie ortopedyczne często bywa traktowane jako koszt, a nie jako inwestycja w zdrowie i sprawność pacjenta.

W kontekście rosnącej liczby urazów, przewlekłych schorzeń narządu ruchu oraz starzejącego się społeczeństwa, konieczne jest ponowne zdefiniowanie roli zaopatrzenia ortopedycznego w procesie rehabilitacji. W artykule podjęto próbę analizy obecnego stanu wiedzy, przedstawienia potencjalnych możliwości rozwoju oraz wskazania rekomendacji dla praktyki klinicznej.

2. Materiały i metody

Charakterystyka źródeł

Podstawą niniejszego opracowania jest analiza literatury naukowej, raportów klinicznych oraz wytycznych towarzystw medycznych dotyczących roli zaopatrzenia ortopedycznego w rehabilitacji. Uwzględniono zarówno publikacje polskojęzyczne, jak i anglojęzyczne, aby możliwe było zestawienie danych z różnych perspektyw systemów ochrony zdrowia.

Główne źródła obejmowały: podręczniki i monografie: *Wyroby medyczne. Zaopatrzenie indywidualne* (Woźniewski, Przeździak, Gieremek, Janicki, 2020) oraz *Fizjoterapia ogólna* (Kiwerski i Włodarczyk, 2019) – zawierające podstawy klasyfikacji i zastosowania ortez oraz podejście kliniczne, publikacje międzynarodowe: m.in. Ma i in. (2016), Escamilla-Núñez i in. (2020), BMC Musculoskeletal Disorders (2024), które omawiają wykorzystanie biofeedbacku, czujników ruchu i nowoczesnych technologii, raporty i doniesienia kliniczne: Mayo Clinic (2023) – praktyczne zastosowanie druku 3D w ortotyce, artykuły przeglądowe: systematyczne analizy skuteczności biofeedbacku, ortez dynamicznych oraz technologii w rehabilitacji.

Łącznie w analizie uwzględniono ponad 30 publikacji (z czego 6 kluczowych wskazanych w bibliografii podstawowej), wyselekcjonowanych z baz danych takich jak PubMed oraz polskich baz, między innymi Biblioteka PZWL.

Kryteria włączenia i wyłączenia publikacji

Do analizy włączono publikacje spełniające następujące kryteria: dotyczące zastosowania zaopatrzenia ortopedycznego w rehabilitacji narządu ruchu, opisujące rozwiązania tradycyjne (ortezy seryjne, stabilizatory) i nowoczesne (dynamiczne, biofeedback, druk 3D, AI), badania kliniczne, przeglądy systematyczne, wytyczne i monografie opublikowane po 2000 roku, teksty dostępne w języku polskim i angielskim.

Metody analizy

Analiza miała charakter jakościowy i porównawczy. Oceniano:

1. Aspekty kliniczne – skuteczność w stabilizacji, odciążeniu, redukcji bólu, kontroli zakresu ruchu, reedukacji wzorców ruchowych, propriocepcji.
2. Aspekty technologiczne – materiały, zastosowanie druku 3D, obecność czujników, integracja z biofeedbackiem i aplikacjami mobilnymi.
3. Aspekty funkcjonalne – komfort użytkowania, higiena, łatwość stosowania, estetyka i akceptacja pacjenta.
4. Aspekty ekonomiczne i organizacyjne – koszt, dostępność, refundacja, bariery wdrożeniowe w systemach ochrony zdrowia.

Porównano także modele opieki: tradycyjny (orteza jako bierne zabezpieczenie, stosowana niezależnie od terapii) oraz nowoczesny (orteza jako aktywne narzędzie zintegrowane z planem rehabilitacyjnym).

Analiza przypadków klinicznych

Część materiału oparta została na studiach przypadków publikowanych w literaturze oraz raportach klinicznych. Oceniano m.in.: zastosowanie ortez dynamicznych w rehabilitacji

pacjentów po urazach więzadeł, wykorzystanie czujników i biofeedbacku w reedukacji chodu, efektywność ortezy drukowanych w 3D w porównaniu z seryjnymi stabilizatorami.

W analizie nie prowadzono badań własnych na grupie pacjentów – charakter artykułu ma formę przeglądu literatury i analizy porównawczej.

Ograniczenia metodologiczne

Należy podkreślić, że: dostępne badania różnią się metodologią, wiele doniesień ma charakter wstępny lub eksperymentalny, istnieje luka pomiędzy nowoczesnymi możliwościami technologicznymi a ich wdrożeniem do codziennej praktyki rehabilitacyjnej.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Stan obecny zaopatrzenia ortopedycznego

3.1.1. Standardowe rozwiązania – ograniczenia i konsekwencje

W codziennej praktyce klinicznej zaopatrzenie ortopedyczne jest często dobierane według standardowych rozmiarów (S, M, L), bez pełnego uwzględnienia budowy anatomicznej pacjenta. Taki model, choć szybki i łatwy w realizacji, generuje liczne problemy kliniczne. Brak precyzyjnego dopasowania może prowadzić do niewystarczającej stabilizacji, a nawet do pogorszenia istniejących dolegliwości.

Ponadto, pacjentom zazwyczaj nie przekazuje się pełnych instrukcji dotyczących użytkowania. Brak jasnych zaleceń co do czasu noszenia, warunków stosowania czy momentu zakończenia terapii skutkuje częstymi błędami: zbyt długim noszeniem ortezy, jej niewłaściwym zakładaniem czy brakiem regularnej kontroli stanu technicznego. Efektem ubocznym może być wtórne osłabienie mięśni, zaburzenia propriocepcji oraz obniżenie skuteczności rehabilitacji.

3.1.2. Problemy higieniczne i pielęgnacyjne

Niedostateczna edukacja pacjenta w zakresie higieny i pielęgnacji ortezy jest kolejnym poważnym problemem. Pacjenci często nie wiedzą, jak prawidłowo czyścić stabilizator, jak go przechowywać, kiedy wymienić zużyty materiał. Brak tej wiedzy może prowadzić do podrażnień skóry, infekcji, spadku komfortu użytkowania, a w konsekwencji do rezygnacji z terapii.

Czynniki te mają bezpośredni wpływ na zgodność pacjenta z zaleceniami oraz na wyniki leczenia. Bagatelizowane aspekty higieniczne w praktyce okazują się kluczowe dla utrzymania skuteczności i bezpieczeństwa terapii.

3.1.3. Brak integracji z planem rehabilitacyjnym

Kolejnym ograniczeniem obecnego modelu stosowania zaopatrzenia ortopedycznego jest brak jego spójności z indywidualnym planem fizjoterapii. Ortezy bywają traktowane jako odrębny element, oderwany od procesu usprawniania. Brak współpracy między lekarzem, fizjoterapeutą i pacjentem skutkuje tym, że potencjał terapeutyczny zaopatrzenia nie jest w pełni wykorzystywany.

3.2. Nowe wyzwania w podejściu do zaopatrzenia ortopedycznego

3.2.1. Indywidualizacja i personalizacja

Nowoczesne podejście zakłada, że zaopatrzenie ortopedyczne powinno być dopasowane nie tylko do rozmiaru, ale przede wszystkim do indywidualnych potrzeb anatomicznych, funkcjonalnych i estetycznych pacjenta. Personalizacja obejmuje nie tylko konstrukcję ortozy, ale także sposób jej używania, czas noszenia i stopień integracji z terapią ruchową.

3.2.2. Spójność z planem fizjoterapeutycznym

Orteza nie jest już jedynie „dodatkiem” do rehabilitacji – staje się jej integralnym elementem. Wspiera realizację konkretnych celów: odciążenie, reedukację wzorców, kontrolę zakresu ruchu, stabilizację w fazach krytycznych. Fizjoterapeuta traktuje ją jako narzędzie terapeutyczne, które należy modyfikować wraz z postępem leczenia.

3.2.3. Edukacja pacjenta i świadome użytkowanie

Skuteczność stosowania ortozy wzrasta, gdy pacjent wie, jak i dlaczego ją stosuje. Nowoczesne modele terapii obejmują instruktaż, materiały edukacyjne i monitorowanie zgodności z zaleceniami. To nie tylko poprawia efektywność rehabilitacji, ale buduje poczucie odpowiedzialności i zaangażowania pacjenta.

3.2.4. Orteza jako alternatywa dla chirurgii

W wielu przypadkach – np. częściowe uszkodzenie więzadeł, niestabilności stawów, przewlekłe przeciążenia – dobrze dobrane zaopatrzenie ortopedyczne w połączeniu z terapią fizjoterapeutyczną może zastąpić lub opóźnić konieczność zabiegu operacyjnego. To szczególnie ważne dla pacjentów starszych i z chorobami współistniejącymi, dla których zabieg wiąże się z dużym ryzykiem powikłań.

3.2.5. Współpraca interdyscyplinarna

Idealnym modelem jest zespół wielodyscyplinarny, w którym lekarz, fizjoterapeuta, technik ortopeda i pacjent współpracują w procesie terapii. Pacjent staje się pełnoprawnym partnerem, co zwiększa skuteczność terapii i poprawia długoterminowe wyniki leczenia.

3.3. Nowoczesne podejście – od biernej ochrony do aktywnej funkcji

3.3.1. Ewolucja koncepcji ortez

Tradycyjnie ortozy pełniły funkcję przede wszystkim ochronną. Ich celem było unieruchomienie stawu, zmniejszenie obciążenia i zapobieganie dalszym urazom. Takie podejście, choć skuteczne w kontekście ochrony struktur, miało istotne ograniczenia: prowadziło do sztywności stawów, zaniku mięśni oraz zaburzeń propriocepcji.

Nowoczesna ortotyka odchodzi od koncepcji biernego zabezpieczenia na rzecz aktywnej funkcji terapeutycznej. Oznacza to, że zaopatrzenie ortopedyczne nie tylko stabilizuje, ale wspiera ruch i uczestniczy w reedukacji prawidłowych wzorców motorycznych.

3.3.2. Kontrolowany ruch zamiast unieruchomienia

Nowoczesne ortozy umożliwiają wykonywanie kontrolowanego, bezpiecznego ruchu w obrębie stawu. Dzięki temu pacjent zachowuje aktywność mięśniową i proprioceptywną, co

znacząco skraca czas rehabilitacji. Badania pokazują, że integracja ortez z systemami monitorującymi umożliwia pacjentowi wykonywanie ruchów w granicach bezpiecznych, co zmniejsza ryzyko powikłań i przyspiesza powrót do sprawności.

3.3.3. Neuroplastyczność i reedukacja wzorców

Ortezy mogą odgrywać kluczową rolę w procesie neuroplastyczności. Dzięki współpracy z terapią ruchową i systemami biofeedbacku wspierają reedukację prawidłowych wzorców. Pacjent otrzymuje w czasie rzeczywistym informacje o poprawności wykonywanego ruchu, co wzmacnia proces uczenia motorycznego i zapobiega utrwalaniu kompensacji.

3.3.4. Monitorowanie postępów i integracja z aplikacjami

Rozwój technologii sprawił, że nowoczesne ortozy mogą być wyposażone w czujniki rejestrujące zakres ruchu, siłę nacisku czy obciążenie kończyny. Dane te przesyłane są do aplikacji mobilnych lub systemów terapeutycznych, które pozwalają na bieżąco monitorować postępy pacjenta. Takie rozwiązania mogą zwiększać motywację pacjenta, poprawiają jego świadomość terapeutyczną i ułatwiają fizjoterapeucie kontrolę nad procesem leczenia.

3.3.5. Biofeedback jako element terapii

Biofeedback umożliwia pacjentowi świadomą kontrolę nad wykonywanymi ruchami. Orteza z funkcją informacji zwrotnej (np. poprzez sygnał dźwiękowy lub wibracje) informuje o nieprawidłowym obciążeniu czy ruchu poza zakresem terapeutycznym. Dzięki temu pacjent uczy się wykonywać zadania w sposób prawidłowy, co zwiększa skuteczność rehabilitacji i zmniejsza ryzyko nawrotów.

3.3.6. Współpraca z ciałem pacjenta

Nowoczesne ortozy dynamiczne są projektowane tak, aby nie blokować, lecz prowadzić ruch. Oznacza to współpracę z biomechaniką ciała – stabilizacja odbywa się przy jednoczesnym zachowaniu aktywności mięśniowej. Takie podejście wspiera kontrolę motoryczną, ułatwia powrót do pełnej sprawności i redukuje ryzyko powikłań wynikających z nadmiernego unieruchomienia.

3.4. Technologie przyszłości w zaopatrzeniu ortopedycznym

3.4.1. Ortezy z czujnikami ruchu

Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów są ortozy wyposażone między innymi w czujniki ruchu. Dzięki nim możliwa jest analiza zakresu ruchu, siły nacisku, obciążenia kończyny czy symetrii chodu w czasie rzeczywistym. Dane przesyłane są bezpośrednio do aplikacji mobilnej lub specjalistycznego oprogramowania terapeutycznego. Takie rozwiązanie umożliwia: bieżące monitorowanie prawidłowości wykonywanych ćwiczeń, wczesne wykrywanie przeciążeń i nieprawidłowych wzorców, personalizację terapii na podstawie rzeczywistych parametrów pacjenta.

Badania Escamilla-Núñez i in. (2020) wskazują, że systemy oparte na biofeedbacku i czujnikach poprawiają efektywność reedukacji chodu u osób po amputacjach kończyn dolnych. Podobne technologie stosowane w ortezach ortopedycznych mogą znaleźć szerokie zastosowanie w rehabilitacji po urazach i operacjach ortopedycznych.

3.4.2. Druk 3D i skanowanie 3D

Technologia druku 3D stanowi rewolucję w projektowaniu i wykonywaniu zaopatrzenia ortopedycznego. Dzięki skanowaniu ciała pacjenta możliwe jest stworzenie idealnie dopasowanej anatomicznie ortozy. Takie wyroby charakteryzują się mniejszą masą, większą przewodnością i estetyką, a jednocześnie zapewniają wysoką funkcjonalność.

Według doniesień Mayo Clinic (2023), zastosowanie druku 3D w ortotyce pozwala nie tylko na precyzyjne odwzorowanie anatomii, ale również na szybszą i tańszą produkcję w porównaniu z metodami tradycyjnymi. W perspektywie kilku lat technologia ta może stać się standardem w tworzeniu indywidualnych ortez.

3.4.3. Algorytmy sztucznej inteligencji

Kolejnym obszarem rozwoju są algorytmy sztucznej inteligencji (AI), które wspierają proces doboru zaopatrzenia ortopedycznego. Analiza danych pacjenta – takich jak postawa, wzorce chodu, historia choroby – umożliwia stworzenie modelu, który proponuje optymalne rozwiązanie terapeutyczne.

Systemy AI mogą być szczególnie przydatne w: planowaniu rehabilitacji pacjentów z chorobami przewlekłymi, monitorowaniu postępów terapii i przewidywaniu ryzyka powikłań, wspieraniu fizjoterapeutów w podejmowaniu decyzji klinicznych.

3.4.4. Biofeedback w czasie rzeczywistym

Zaopatrzenie ortopedyczne integrowane z systemami biofeedbacku umożliwia przekazywanie pacjentowi informacji zwrotnych podczas wykonywania ruchu. Może to być sygnał dźwiękowy, świetlny lub wibracyjny, ostrzegający o nieprawidłowym obciążeniu czy wykonaniu ruchu poza zakresem terapeutycznym.

Badania mówią o tym, że biofeedback poprawia równowagę i stabilność, a włączenie go do terapii przyspiesza proces reedukacji motorycznej. Ortezy z taką funkcją mogą stać się kluczowym narzędziem we wspieraniu procesów neuroplastyczności i uczenia ruchowego.

3.4.5. Aplikacje mobilne zintegrowane z ortezą

Rozwój aplikacji mobilnych stwarza nowe możliwości interakcji pacjenta z terapią. Aplikacje zintegrowane z ortezami mogą: monitorować czas noszenia, przypominać o wykonywaniu ćwiczeń, rejestrować objawy, umożliwiać komunikację z fizjoterapeutą.

Dzięki temu pacjent staje się aktywnym uczestnikiem procesu rehabilitacji, a terapeuta otrzymuje narzędzie umożliwiające bieżącą kontrolę i modyfikację planu leczenia.

3.4.6. Ortezy dynamiczne – nowy wymiar wsparcia ruchu

Szczególną uwagę zwraca rozwój ortez dynamicznych, które nie tylko stabilizują, ale również prowadzą ruch zgodnie z zasadami biomechaniki. Umożliwiają one reedukację wzorców motorycznych bez sztywnego unieruchomienia, wspierając aktywność mięśniową pacjenta. Ortezy dynamiczne można traktować jako narzędzie pośrednie między klasycznym unieruchomieniem a aktywną terapią funkcjonalną.

3.5. Ograniczenia i bariery we wdrażaniu nowoczesnego zaopatrzenia ortopedycznego

3.5.1. Niewystarczająca liczba badań klinicznych

Jednym z kluczowych problemów ograniczających szersze zastosowanie nowoczesnych ortez jest niedostatek rzetelnych badań klinicznych. Choć literatura obfituje w doniesienia eksperymentalne, studia przypadków i badania pilotażowe, to wciąż brakuje dużych, randomizowanych badań z udziałem reprezentatywnych grup pacjentów. Brak dużych metaanaliz i badań wieloośrodkowych utrudnia wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań do standardów postępowania klinicznego.

3.5.2. Ograniczona dostępność nowoczesnych technologii

Mimo że technologie takie jak druk 3D, czujniki ruchu czy ortozy dynamiczne są dostępne, to ich użycie w praktyce klinicznej jest wciąż ograniczone. Wynika to z kilku czynników: wysoki koszt produkcji i zakupu, brak standaryzowanych procedur ich stosowania, niska dostępność specjalistycznych laboratoriów ortopedycznych czy długi czas realizacji indywidualnych zamówień.

W Polsce oraz wielu innych krajach europejskich główną formą zaopatrzenia pozostają seryjne stabilizatory w rozmiarach standardowych, które nie zapewniają takiego stopnia personalizacji jak rozwiązania nowoczesne [Woźniewski i in., 2020].

3.5.3. Bariery refundacyjne

Kolejnym poważnym ograniczeniem jest brak odpowiednich mechanizmów refundacyjnych. Refundacja często obejmuje jedynie podstawowe modele stabilizatorów i protez, natomiast ortozy nowej generacji, drukowane w 3D czy wyposażone w biofeedback, pozostają poza zasięgiem wielu pacjentów.

3.5.4. Brak integracji z praktyką kliniczną

Nowoczesne ortozy wciąż są traktowane przez wielu lekarzy i terapeutów jako ciekawostka technologiczna, a nie standardowe narzędzie terapeutyczne. Bariery obejmują: brak szkoleń dla fizjoterapeutów i lekarzy w zakresie nowoczesnych technologii, niewystarczające doświadczenie w praktycznym zastosowaniu, trudności w integracji z planem rehabilitacyjnym.

3.5.5. Bariery organizacyjne i świadomościowe

Do czynników dodatkowych zalicza się: brak świadomości pacjentów co do możliwości korzystania z nowoczesnych rozwiązań, niedostateczna edukacja dotycząca higieny, pielęgnacji i prawidłowego użytkowania, bariery organizacyjne w systemie ochrony zdrowia, takie jak długie kolejki do specjalistów

3.5.6. Podsumowanie ograniczeń

Nowoczesne technologie otwierają zupełnie nowe perspektywy, jednak ich wdrożenie napotyka na wiele przeszkód: brak wystarczających badań, bariery refundacyjne, ograniczoną dostępność i niską świadomość pacjentów i terapeutów. Przewyciężenie tych barier jest

warunkiem koniecznym, aby zaopatrzenie ortopedyczne mogło stać się integralnym i skutecznym elementem kompleksowej rehabilitacji w XXI wieku.

3.6. Porównanie modeli opieki – od biernego zabezpieczenia do aktywnego partnerstwa

3.6.1. Klasyczny model stosowania zaopatrzenia ortopedycznego

W tradycyjnym podejściu zaopatrzenie ortopedyczne pełniło funkcję głównie ochronną. Jego zadaniem było zabezpieczenie uszkodzonego segmentu ciała poprzez unieruchomienie lub częściowe odciążenie. Proces ten charakteryzował się kilkoma cechami: dobór ortezy odbywał się w oparciu o standardowe rozmiary, rola pacjenta była pasywna – otrzymywał sprzęt, ale nie zawsze wiedział, jak go używać, brakowało edukacji dotyczącej higieny i pielęgnacji, orteza funkcjonowała jako element oddzielony od planu fizjoterapii.

Takie podejście skutkowało często brakiem pełnego wykorzystania potencjału terapeutycznego ortezy. W praktyce pacjent niejednokrotnie używał sprzętu w sposób nieprawidłowy, co obniżało efektywność rehabilitacji i zwiększało ryzyko powikłań.

3.6.2. Nowoczesny model – orteza jako aktywne narzędzie terapii

Współczesne koncepcje rehabilitacji zakładają, że orteza powinna być zintegrowana z procesem usprawniania. Jej funkcja wykracza poza bierne zabezpieczenie – staje się narzędziem wspierającym aktywność pacjenta.

Charakterystyka nowoczesnego modelu obejmuje: indywidualizację i personalizację doboru, uwzględniającą budowę anatomiczną i potrzeby funkcjonalne, spójność z planem fizjoterapeutycznym – orteza wspiera realizację konkretnych celów, np. reedukację wzorców ruchowych, kontrolę zakresu ruchu czy stabilizację dynamiczną, edukację pacjenta w zakresie stosowania, higieny i świadomego użytkowania, integrację z nowoczesnymi technologiami (biofeedback, czujniki, aplikacje mobilne, druk 3D).

Dzięki temu orteza staje się elementem aktywnej terapii funkcjonalnej, wspierając proces uczenia ruchu i kontrolę postępow.

3.6.3. Rola pacjenta jako partnera terapii

Jednym z kluczowych elementów współczesnego modelu jest traktowanie pacjenta jako pełnoprawnego partnera w procesie terapeutycznym. Oznacza to, że pacjent nie tylko korzysta z ortezy, ale rozumie jej znaczenie, otrzymuje informacje zwrotne i aktywnie uczestniczy w procesie rehabilitacji.

Nowe technologie wspierają tę koncepcję – aplikacje mobilne przypominają o ćwiczeniach i monitorują czas noszenia ortezy, a systemy biofeedback pozwalają pacjentowi kontrolować jakość wykonywanych ruchów. W rezultacie pacjent zyskuje większą autonomię, a terapia staje się bardziej skuteczna i zgodna z jego potrzebami.

3.6.4. Interdyscyplinarny zespół terapeutyczny

Nowoczesny model wymaga także zmiany podejścia wśród specjalistów. Optymalne efekty można osiągnąć tylko dzięki współpracy interdyscyplinarnej, obejmującej lekarzy, fizjoterapeutów, techników ortopedów, psychologów, a przede wszystkim samego pacjenta.

Taki zespół umożliwia: holistyczną ocenę potrzeb pacjenta, dobór najlepszego zaopatrzenia, bieżące modyfikowanie terapii oraz wsparcie emocjonalne i edukacyjne.

3.6.5. Podsumowanie porównania modeli

Kontrast pomiędzy klasycznym a nowoczesnym modelem opieki jest wyraźny. Klasyczny model: orteza jako bierne zabezpieczenie, pacjent w roli odbiorcy, brak integracji z terapią. Nowoczesny model: orteza jako aktywne narzędzie terapeutyczne, pacjent jako partner, pełna integracja z procesem rehabilitacji.

Przejście od pierwszego do drugiego modelu jest niezbędne, aby w pełni wykorzystać potencjał nowoczesnych technologii i poprawić skuteczność rehabilitacji w XXI wieku.

4. Wnioski i podsumowanie

1. Zaopatrzenie ortopedyczne jako integralny element rehabilitacji

Analiza literatury i dostępnych rozwiązań jednoznacznie wskazuje, że zaopatrzenie ortopedyczne przestało pełnić wyłącznie funkcję biernej ochrony i stabilizacji. Obecnie należy je traktować jako pełnoprawne narzędzie terapeutyczne, które może aktywnie wpływać na skuteczność rehabilitacji. Odpowiednio dobrane ortezy wspierają proces usprawniania poprzez kontrolę ruchu, reedukację wzorców motorycznych, poprawę propriocepcji oraz zwiększenie bezpieczeństwa pacjenta.

Kompleksowa rehabilitacja nie może być rozpatrywana w oderwaniu od zaopatrzenia ortopedycznego – integracja obu obszarów pozwala na osiągnięcie lepszych wyników klinicznych, szybszy powrót do sprawności i zmniejszenie ryzyka nawrotów.

2. Znaczenie indywidualizacji i personalizacji

Jednym z kluczowych wniosków płynących z analizy jest konieczność indywidualizacji doboru zaopatrzenia. Standardowe rozwiązania rozmiarowe (S, M, L) nie odpowiadają na potrzeby anatomiczne i funkcjonalne wszystkich pacjentów. Personalizacja powinna obejmować zarówno konstrukcję ortezy, jak i sposób jej stosowania, czas noszenia oraz integrację z planem rehabilitacyjnym.

Technologie takie jak druk 3D i skanowanie 3D umożliwiają tworzenie wyrobów idealnie dopasowanych anatomicznie, które są lżejsze, wygodniejsze i bardziej akceptowalne dla pacjentów. W perspektywie kolejnych lat personalizacja stanie się standardem w ortotyce.

3. Edukacja pacjenta i aktywny udział w terapii

Skuteczność stosowania ortezy zależy nie tylko od ich jakości, lecz także od świadomego użytkowania przez pacjenta. Brak instruktażu i materiałów edukacyjnych prowadzi do błędów w stosowaniu, które mogą skutkować osłabieniem mięśni, zaburzeniami propriocepcji czy powikłaniami dermatologicznymi.

Nowoczesne modele rehabilitacji zakładają, że pacjent jest aktywnym uczestnikiem procesu terapeutycznego. Aplikacje mobilne i systemy biofeedback wspierają tę ideę, zwiększając motywację i zaangażowanie chorego.

4. Nowoczesne technologie – szansa na przełom

Technologie XXI wieku otwierają nowe perspektywy w rehabilitacji: czujniki ruchu – umożliwiają analizę parametrów biomechanicznych w czasie rzeczywistym, systemy biofeedback – pozwalają pacjentowi na korektę ruchu i reedukację motoryczną, druk 3D i skanowanie 3D – gwarantują precyzyjne dopasowanie i zwiększają komfort użytkowania, algorytmy AI – wspierają proces decyzyjny w doborze zaopatrzenia i planowaniu terapii, ortozy dynamiczne – prowadzą ruch zgodnie z biomechaniką, nie blokując, lecz wspierając aktywność.

Rozwiązania te stanowią fundament przyszłości rehabilitacji, gdzie granica między technologią a terapią staje się coraz bardziej płynna.

5. Bariery i ograniczenia

Pomimo ogromnego potencjału nowoczesnych technologii istnieją poważne bariery ich wdrożenia: brak wystarczających badań klinicznych wysokiej jakości, ograniczona dostępność finansowa i refundacyjna, brak standaryzacji i procedur stosowania, niska świadomość pacjentów i niedostateczne przygotowanie personelu medycznego.

Pokonanie tych barier jest warunkiem koniecznym, aby zaopatrzenie ortopedyczne mogło w pełni realizować swoją rolę w nowoczesnej rehabilitacji.

6. Rekomendacje dla praktyki i systemu ochrony zdrowia

Na podstawie przeprowadzonej analizy można sformułować następujące rekomendacje: aktywny udział fizjoterapeutów w procesie doboru zaopatrzenia ortopedycznego, wprowadzenie nowoczesnych rozwiązań do praktyki klinicznej: ortozy dynamiczne, czujniki, biofeedback, indywidualizacja doboru oparta na funkcji i potrzebach pacjenta, a nie jedynie na rozmiarze, pacjent jako partner – świadomy i zaangażowany uczestnik procesu terapeutycznego, rozszerzenie refundacji o zaopatrzenie ortopedyczne nowej generacji.

7. Perspektywa przyszłości

Przyszłość rehabilitacji to integracja technologii, terapii i aktywnego udziału pacjenta. Zaopatrzenie ortopedyczne powinno być postrzegane nie jako koszt, ale jako inwestycja w sprawność, jakość życia i skuteczną profilaktykę.

W kolejnych latach kluczowe stanie się: przeprowadzenie badań klinicznych potwierdzających skuteczność nowoczesnych ortez, opracowanie standardów ich stosowania, włączenie nowych technologii do systemów refundacyjnych, szkolenie kadry medycznej w zakresie nowoczesnej ortotyki.

8. Podsumowanie końcowe

Zaopatrzenie ortopedyczne wkracza w nową erę. Z narzędzia ochronnego staje się aktywnym elementem rehabilitacji, wspierającym proces neuroplastyczności, reedukacji ruchowej i monitorowania postępów pacjenta. Jego przyszłość opiera się na personalizacji, nowoczesnych technologiach i współpracy interdyscyplinarnej.

Zmiana paradygmatu w myśleniu o ortotyce jest niezbędna – tylko wtedy możliwe będzie pełne wykorzystanie jej potencjału w poprawie zdrowia i jakości życia pacjentów.

Bibliografia

1. Ma, C. Z.-H. i in. „Balance Improvement Effects of Biofeedback Systems with State-of-the-Art Wearable Sensors: A Systematic Review.” *Sensors* 16 (4): 434, 2016
2. Escamilla-Núñez, R. i in. „Biofeedback Systems for Gait Rehabilitation of Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review.” *Sensors* 20 (6): 1628, 2020.
3. Mayo Clinic (2023). Application of 3D-printing technology to the construction of orthoses.
4. Woźniewski M., Przeździak B., Gieremek K., Janicki S. *Wyroby medyczne. Zaopatrzenie indywidualne*. Warszawa: Wydawnictwo PZWL, 2020.
5. Kiwerski J.E., Włodarczyk K. *Fizjoterapia ogólna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2019.
6. Redakcja BMC Musculoskeletal Disorders (2024) *Advances in prosthetics and orthotics*.

10. WPLYW MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH NA SEN

Aleksandra Stępień

Uniwersytet Jana Kochanowskiego

Wydział lekarski

Al. IX Wieków Kielc 19a, 25-317 Kielce

Email: olass1562@gmail.com

Mateusz Stępień

Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica

Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej

Al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

E-mail: matstepien2@gmail.com

1. Wstęp

Celem naszego badania było sprawdzenie, czy ilość czasu spędzonego przed ekranem urządzeń elektronicznych wpływa na jakość snu i czas zasypiania. Chcieliśmy również zbadać, czy te zależności są takie same w różnych grupach wiekowych.

Wybraliśmy ten temat ze względu na rosnącą popularność mediów społecznościowych oraz potencjalne konsekwencje dla zdrowia i jakości życia wynikające z zaburzeń snu.

2. Metodyka

Nasza grupa badawcza liczyła 70 osób. Byli to ludzie w różnym przedziale wiekowym, od 13 do ponad 60 roku życia. Grupa badawcza obejmowała zarówno kobiety i mężczyzn. Większość naszych ankietowanych stanowiły kobiety, osoby w wieku od 19 do 26 lat.

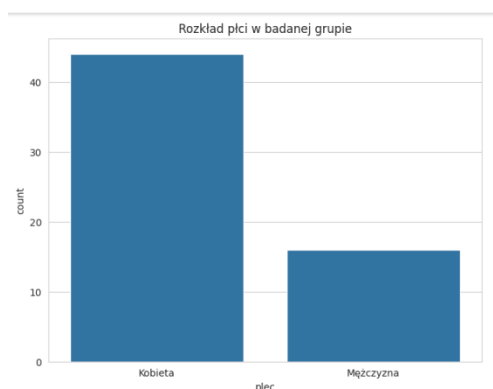
Badanie przeprowadziliśmy za pomocą ankiety, składającej się z 16 pytań zamkniętych. Pytaliśmy o wiek, płeć, status, średni dzienny czas spędzany w mediach społecznościowych, najczęściej używaną aplikację, czas spędzany w mediach społecznościowych bezpośrednio przed snem, jak długo i czy w ogóle korzysta ktoś z telefonu po położeniu się do łóżka, najczęstszą rzecz robioną wieczorami w mediach społecznościowych, średnią ilość przesypianych godzin, subiektywną ocenę jakości snu, czas zasypiania, czy łatwiej jest zasnąć, jeżeli nie korzysta się przed snem z telefonu, wybudzanie w nocy, budzenie się niewyspanym, zmęczenie lub rozkojarzenie w trakcie dnia, wybudzanie się w nocy bez powodu.

W celu weryfikacji postawionych hipotez badawczych zastosowano wieloaspektowe, zarówno opisowe, jak i inferencyjne metody analizy statystycznej. Przygotowanie i wstępne przetworzenie danych obejmowało standaryzację odpowiedzi kategorycznych (np. zamianę opisowej odpowiedzi "nie używam telefonu po położeniu się do łóżka" na kategorię "0 min") oraz kodowanie zmiennych jakościowych na skale porządkowe i numeryczne (np. "Nigdy"=0, "Rzadko"=1, "Czasem"=2, "Zawsze"=3*), umożliwiające ich ilościową analizę. Analizę statystyczną rozpoczęto od statystyk opisowych (średnia, odchylenie standardowe, częstości występowania) w celu scharakteryzowania badanej populacji pod kątem zmiennych

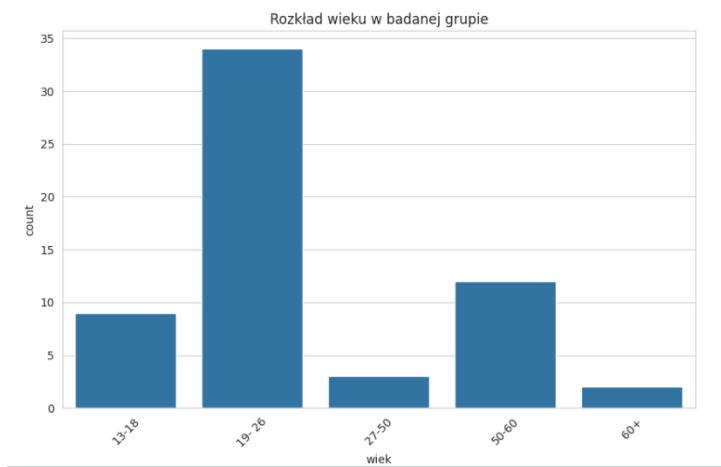
demograficznych (wiek, płeć, status), nawyków związanych z użytkowaniem mediów społecznościowych oraz parametrów snu.

Do weryfikacji hipotez dotyczących zależności między zmiennymi zastosowano testy wnioskowania statystycznego, dostosowane do skali pomiarowej badanych zmiennych. Do oceny wpływu czasu spędzanego w mediach społecznościowych (zmienna kategoryczna porządkowa) na jakość snu (zmienna ilościowa) wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) wraz z wizualizacją w formie wykresów pudełkowych. Dla zbadania związku między dwiema zmiennymi kategorycznymi (np. czas użytkowania telefonu w łóżku a częstość wybudzeń w nocy) zastosowano test nieparametryczny chi-kwadrat (χ^2) niezależności wraz z prezentacją wyników w formie tabeli krzyżowej i skumulowanego wykresu słupkowego. Do oceny siły i kierunku związku między zmiennymi porządkowymi (np. czas zasypiania a ocena jakości snu) posłużono się współczynnikiem korelacji Pearsona. W celu kompleksowego przedstawienia powiązań między wieloma zmiennymi jednocześnie, zbudowano macierz korelacji i zwizualizowano ją jako heatmapę. Wszystkie analizy przeprowadzono przy użyciu języka programowania Python (wersja 3.x) oraz bibliotek naukowych: pandas (przetwarzanie danych), scipy (testy statystyczne), matplotlib i seaborn (wizualizacja). Poziom istotności statystycznej (α) dla wszystkich testów ustalono na 0,05.

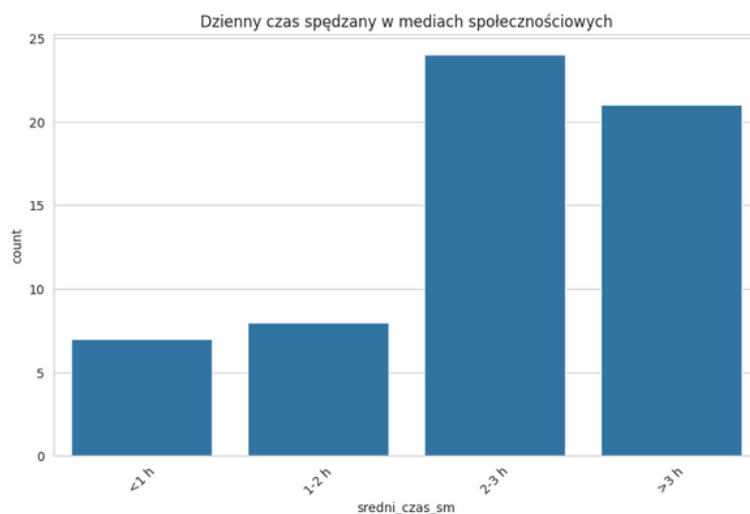
3. Wyniki



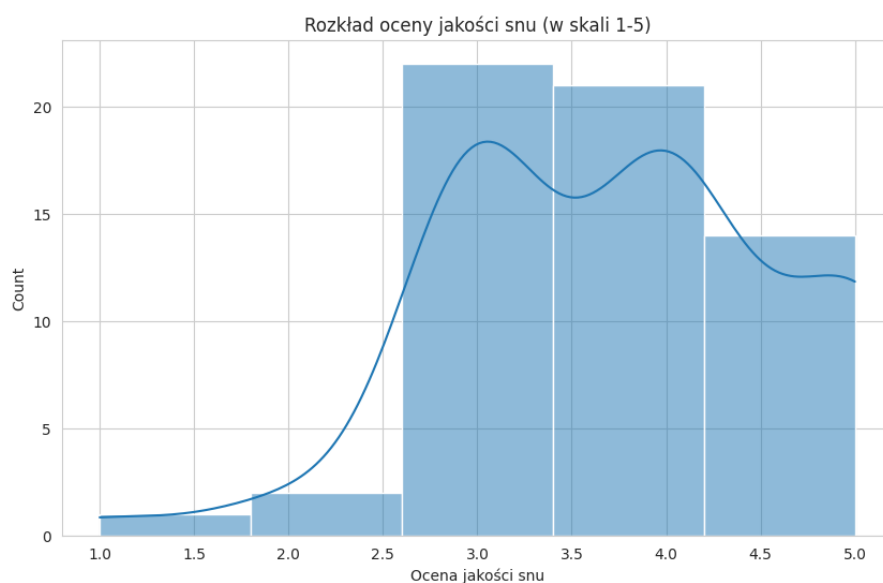
Badaliśmy zarówno kobiety, jak i mężczyzn. Większość naszych ankietowanych stanowiły kobiety



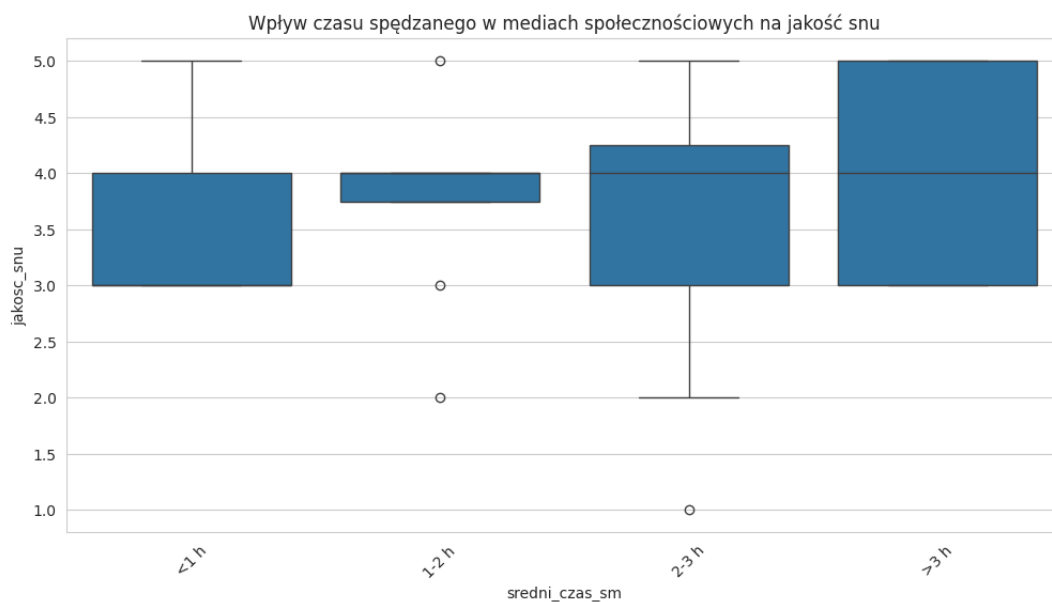
Największy odsetek naszych ankietowanych stanowiły osoby w przedziale wiekowym od 19 do 26 lat



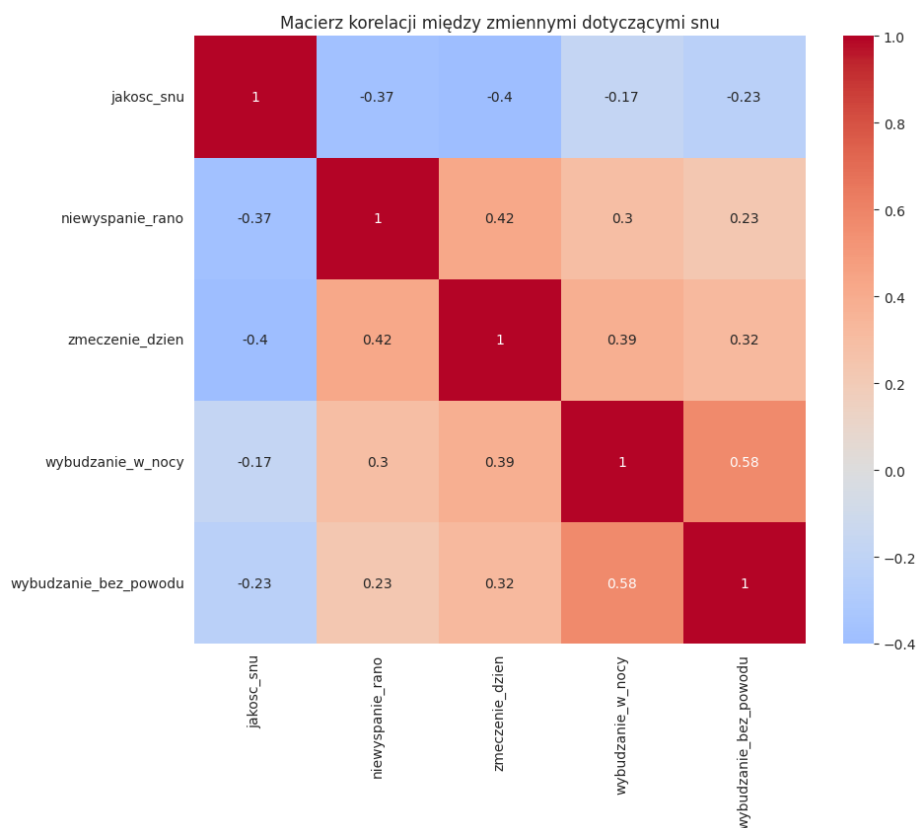
Najwięcej ludzi spędza 2-3 godziny dziennie w mediach społecznościowych.



Znaczna większość ankietowanych ocenia swój sen na 3.0. Oznacza to, że większość osób doświadcza przeciętnej jakości snu. Bardzo mało badanych deklaruje słabą jakość snu (1.0-2.0), co jest pozytywnym sygnałem. Co więcej, warto zauważyć, że dobre oceny (4.0-5.0) są powszechniejsze.

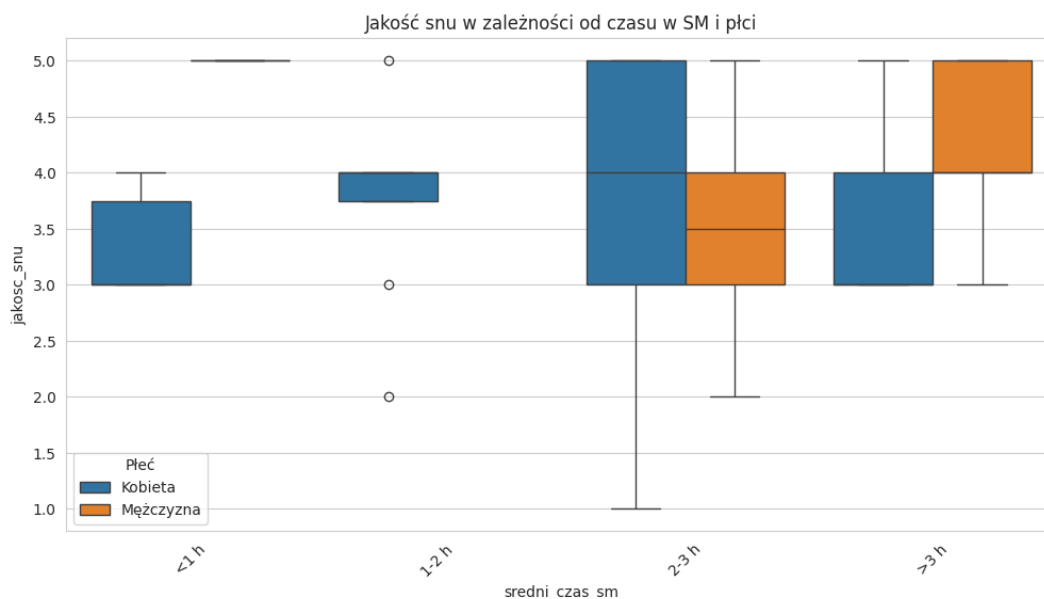


Przedstawiony wykres pudełkowy nie ukazuje oczekiwanego negatywnego wpływu długiego używania social mediów na jakość snu. Osoby deklarujące korzystanie z nich powyżej 3 godzin zaznaczyły jakość snu na wysokim poziomie (3.0-5.0) gdy w grupie spędzającej od 2-3 godzin odnotowano największy rozrzut odpowiedzi. Może to sugerować, że inne czynniki (np. wiek) są ważniejsze dla jakości snu od czasu spędzanego w social mediach.

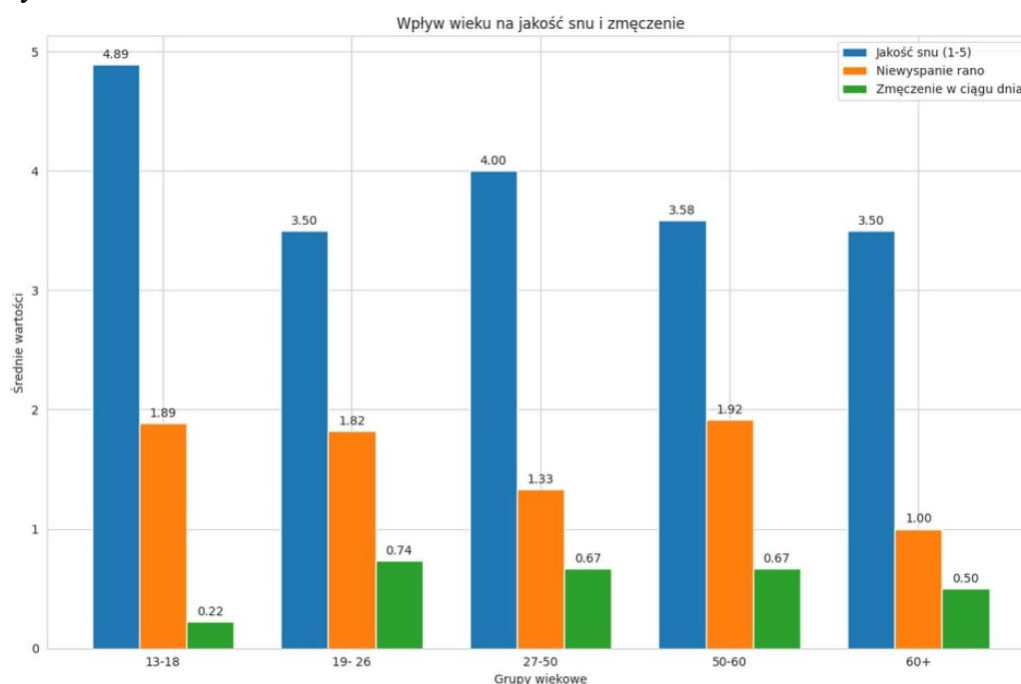


Na wykresie widać, że gorsza jakość snu wiąże się z częstszym wybudzaniem w nocy, większym niewyspaniem rano i zmęczeniem w ciągu dnia. Co ciekawe, wszystkie te negatywne

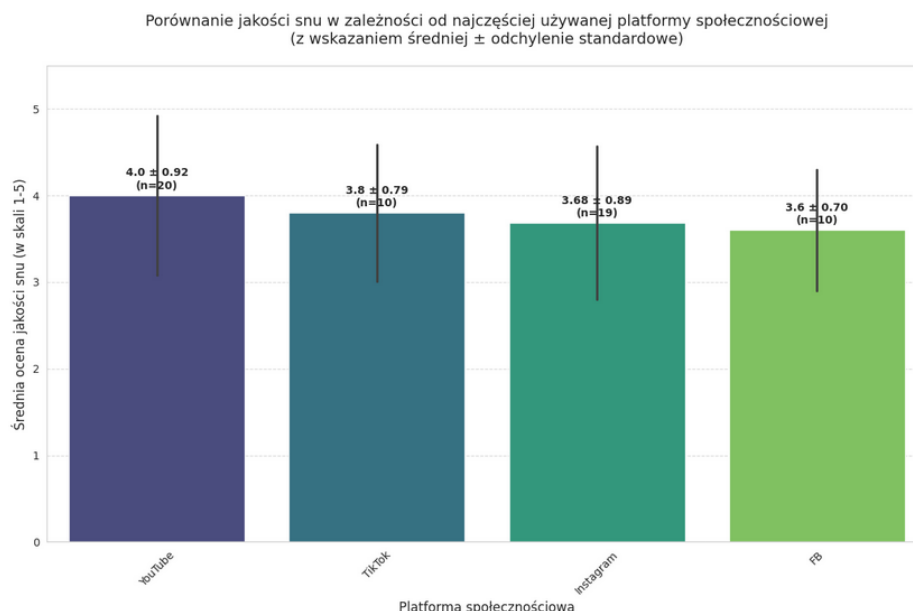
zjawiska są ze sobą powiązane - jedno prowadzi do drugiego. Na przykład: osoby które często budzą się w nocy, częściej skarżą się na zmęczenie w ciągu dnia. Wyniki sugerują, że aby poprawić jakość snu, należy pracować nad wszystkimi tymi aspektami.



Na wykresie widoczne są wyraźne różnice w jakości snu między kobietami, a mężczyznami w zależności od czasu spędzanego w mediach społecznościowych. Dla mężczyzn (pomarańczowa linia) dłuższy czas korzystania z SM (>3h) koreluje z wyższą oceną jakości snu (około 4.0-5.0). Zupełnie odwrotny trend obserwujemy u kobiet - im dłuższy czas w SM, tym niższa jakość snu. Brak danych dla mężczyzn w przedziale <2h uniemożliwia pełne porównanie, jednak dane dla kobiet są mocniej skorelowane z dostępnymi materiałami naukowymi na ten temat.



Na wykresie widać, że najmłodsi ankietowani oceniają swoją jakość snu najwyżej, Niewyspanie rano (oceniane na 0-3) jest względnie wysokie w każdej badanej grupie wiekowej. Podobnie zmęczenie w ciągu dnia (0-1), które wyróżnia się jedynie u najmłodszych. Co ciekawe młodzi dobrze oceniają swój sen pomimo częstej deklaracji niewyspania rano, wskazuje to na niską efektywność regeneracji.



Na podstawie wykresu widać, że platformy oparte na dłuższych formach treści (jak YouTube, średnia ocena snu: 4.0) wiążą się z nieco wyższą oceną jakości snu w porównaniu do platform zdominowanych przez krótkie, szybkie treści (jak TikTok, Instagram Reels), które mogą prowadzić do większej stymulacji i problemów z zasypianiem.

4. Dyskusja

Otrzymane wyniki dostarczają istotnych wniosków dla zrozumienia związku między użytkowaniem mediów społecznościowych, a parametrami snu w badanej próbie. Głównym odkryciem jest brak statystycznie istotnego wpływu całkowitego dziennego czasu spędzanego na przeglądaniu mediów społecznościowych na subiektywnie ocenianą jakość snu. Wykres pudełkowy sugerował co prawda tendencję, nie potwierdzoną jednak testami statystycznymi, do obniżania się jakości snu przy dłuższym czasie użytkowania. Wynik ten pozostaje w częściowej sprzeczności z doniesieniami literaturowymi wskazującymi na negatywne konsekwencje długiego czasu przed ekranem [1, 2]. Rozbieżność tę można wyjaśnić specyfiką badanej grupy lub faktem, że kluczowy jest nie sam czas, ale sposób użytkowania oraz pora dnia.

Znacznie silniejszy i statystycznie istotny związek zaobserwowano w przypadku nawyków bezpośrednio przed snem. Test chi-kwadrat wykazał zależność między czasem spędzonym na używaniu telefonu w łóżku a częstotliwością wybudzeń w nocy. Mechanizmy tej zależności mają dwojaki charakter: fizjologiczny, gdzie niebieskie światło z ekranów hamuje wydzielanie melatoniny, opóźniając zaśnięcie i destabilizując strukturę snu [3], oraz

psychologiczny, gdzie angażujące emocjonalnie treści prowadzą do pobudzenia poznawczego, utrudniając wyciszenie i zwiększając prawdopodobieństwo przerywania snu [4].

Analiza porównawcza platform społecznościowych wykazała, że użytkownicy TikToka zgłaszali najniższą średnią jakość snu, podczas gdy użytkownicy YouTube i Instagrama deklarowali ją jako istotnie wyższą. Różnica ta, choć niezaweryfikowana odpowiednim testem statystycznym, stanowi ważną przesłankę dla dalszych badań. Może to wynikać z algorytmicznie sterowanej, bezkońcowej natury feedu w TikTok, która sprzyja wydłużonemu i trudnemu do przerwania użytkowaniu, opóźniającemu porę snu [5].

Zaobserwowano także różnice międzypłciowe. Kobiety deklarowały nieco niższą jakość snu w porównaniu do mężczyzn. Różnica ta jest zgodna z metaanalizami wskazującymi, że kobiety generalnie zgłaszają więcej problemów ze snem [6].

Umiarkowana ujemna korelacja między czasem zasypiania a ogólną oceną jakości snu potwierdza intuicyjny związek: im dłużej badani potrzebowali, aby zasnąć, tym gorzej oceniali sen następnego dnia. [7].

Podsumowując: wyniki sugerują, że dla jakości snu kluczowy może nie być sam fakt korzystania z mediów społecznościowych, lecz kontekst behawioralny, zwłaszcza użytkowanie urządzeń mobilnych w łóżku, bezpośrednio przed próbą zaśnięcia. Główne ograniczenie badania stanowi jego przekrojowy charakter i oparcie na samoopisie, co uniemożliwia ustalenie związku przyczynowo-skutkowego.

5. Wnioski

Na podstawie naszych badań da się wywnioskować, że platforma społecznościowa, z której korzystamy, może mieć pewien związek z tym, jak oceniamy swój sen. Użytkownicy YouTube'a wskazują nieco lepszą jakość snu (średnia 4,00) niż osoby spędzające czas głównie na TikToku (3,80) czy Instagramie (3,68). Może to sugerować, że różne formy treści - krótkie, dynamiczne filmiki kontra dłuższe materiały - inaczej wpływają na nasz wieczorny odpoczynek i proces zasypiania.

Widać też wyraźne różnice między płciami: kobiety oceniają swój sen nieco gorzej (3,68) niż mężczyźni (3,94). Może to być związane zarówno z różnicami biologicznymi, jak i z obciążeniami codziennymi obowiązkami czy większą podatnością na stres.

Dodatkowo wyniki pokazują, że im dłużej ktoś zasypia, tym gorzej ocenia swój sen. Choć korelacja nie jest bardzo silna, wskazuje na wyraźny trend: trudności w zasypianiu przekładają się na subiektywne poczucie gorszej jakości snu.

Moim zdaniem powinniśmy ograniczyć korzystanie z urządzeń elektronicznych bezpośrednio przed snem. Pozwoli to na poprawę jakości naszego snu, a także pomoże w szybszym zasypianiu.

Obserwowane różnice sugerują, że warto pogłębić analizy, uwzględniając m.in. częstotliwość korzystania z poszczególnych platform, porę dnia ich używania, a także czynniki psychologiczne i środowiskowe, które mogą dodatkowo modyfikować wpływ mediów społecznościowych na sen.

Bibliografia

1. Exelmans L, Van den Bulck J. Bedtime mobile phone use and sleep in adults. *Soc Sci Med.* 2016 Jan;148:93-101. doi: 10.1016/j.socscimed.2015.11.037. Epub 2015 Dec 2. PMID: 26688552.
2. Dibben GO, Martin A, Shore CB, Johnstone A, McMellon C, Palmer V, Pugmire J, Riddell J, Skivington K, Wells V, McDaid L, Simpson SA. Adolescents' interactive electronic device use, sleep and mental health: a systematic review of prospective studies. *J Sleep Res.* 2023 Oct;32(5):e13899. doi: 10.1111/jsr.13899. Epub 2023 Apr 7. PMID: 37029099; PMCID: PMC10909457.
3. Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2015 Jan 27;112(4):1232-7. doi: 10.1073/pnas.1418490112. Epub 2014 Dec 22. PMID: 25535358; PMCID: PMC4313820.
4. Exelmans L, Van den Bulck J. Binge Viewing, Sleep, and the Role of Pre-Sleep Arousal. *J Clin Sleep Med.* 2017 Aug 15;13(8):1001-1008. doi: 10.5664/jcsm.6704. PMID: 28728618; PMCID: PMC5529125.
1. 5 .Katsiroumpa, A.; Moisoglou, I.; Gallos, P.; Katsiroumpa, Z.; Konstantakopoulou, O.; Tsiachri, M.; Galanis, P. Problematic TikTok Use and Its Association with Poor Sleep: A Cross-Sectional Study Among Greek Young Adults. *Psychiatry Int.* 2025, 6, 25. <https://doi.org/10.3390/psychiatryint6010025>
5. Zeng LN, Zong QQ, Yang Y, Zhang L, Xiang YF, Ng CH, Chen LG, Xiang YT. Gender Difference in the Prevalence of Insomnia: A Meta-Analysis of Observational Studies. *Front Psychiatry.* 2020 Nov 20;11:577429. doi: 10.3389/fpsy.2020.577429. PMID: 33329116; PMCID: PMC7714764.
6. Pierson-Bartel, R., Ujma, P.P. Objective sleep quality predicts subjective sleep ratings. *Sci Rep* 14, 5943 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56668-0>

11. STOMIA, JEJ WPŁYW NA ZDROWIE PSYCHICZNE PACJENTÓW

Kinga Tchórzewska, Patrycja Zychowicz, Aleksandra Grzesiak

Uniwersytet Jana Długosza

Collegium Medicum im. dr. W. Biegańskiego

Al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

E-mail: kingamariatchorzewska@gmail.com, patrycja_zychowicz@o2.pl,
aleksandragrzesiak2003@wp.pl

Abstrakt: Celem pracy było ukazanie wpływu kolostomii i ileostomii na zdrowie psychiczne pacjentów. Stomia, często jest jedynym rozwiązaniem ratującym życie, ale niestety wiąże się z licznymi konsekwencjami psychospołecznymi, takimi jak lęk, depresja, obniżenie poczucia własnej wartości czy problemy w relacjach intymnych. Analiza artykułów wykazała, że objawy depresji występują nawet u połowy pacjentów. Objawy te częściej są zauważane u osób młodszych, mężczyzn oraz chorych na nieswoiste zapalenia jelit, szczególnie z chorobą Leśniowskiego-Crohna. Zależą one również od rodzaju stomii, kultury, statusu społecznego oraz jakości opieki medycznej. Duże znaczenie w procesie adaptacji mają wsparcie psychologiczne, edukacja przedoperacyjna oraz uczestnictwo w grupach wsparcia. Kluczowe pozostaje interdyscyplinarne podejście obejmujące pomoc lekarzy, pielęgniarek stomijnych, psychologów i rodzin. Wsparcie społeczeństwa oraz bliskich ma ogromny wpływ na szybkość adaptacji do nowej sytuacji. Istotnym problemem jest jednak stygmatyzacja pacjentów, która potęguje poczucie izolacji i utrudnia proces leczenia. Ukazuje to, że niezbędne są działania edukacyjne i większa wrażliwość personelu medycznego w stosunku do pacjentów stomijnych. Rozwój innowacyjnych rozwiązań, takich jak nowoczesny sprzęt stomijny, dodatki minimalizujące dyskomfort czy cyfrowe systemy monitorowania, w połączeniu z psychoterapią i programami edukacyjnymi, stanowi ważny element wspierający proces akceptacji i adaptacji pacjentów, poprawiając ich jakość życia w długiej perspektywie.

1. Wstęp

Stomia jest to problem powszechnie występujący w społeczeństwie. Ilość zabiegów z roku na rok rośnie w związku ze starzeniem się społeczeństwa. Szacuje się, że co roku w Stanach Zjednoczonych ma ją 100 000 nowych osób.⁽¹⁾ W Europie zmagają się z nią około 700 000 chorych.⁽²⁾ Stomia jest to celowo wytworzone połączenie światła narządu wewnętrzного ze skórą, większość z nich stanowią połączenia jelit ze skórą. Najczęściej mamy do czynienia z kolostomią i jest ona połączeniem skóry z jelitem grubym. Głównie jest wykonywana z powodu nowotworów jelita grubego, urazów brzucha, niedokrwienia jelit czy niedrożności jelit. Kolejnym rodzajem jest ileostomia, która jest z kolei połączeniem jelita cienkiego ze skórą. Jest ona wykonywana najczęściej w przypadku usunięcia całego jelita grubego. Do usunięcia tej części jelita dochodzi w wyniku nieswoistych chorób zapalnych jelit, polipowatości czy z tych samych przyczyn z, których wykonuje się kolostomię.⁽¹⁾ Stomia jest często jedynym i koniecznym rozwiązaniem w celu ratowania życia pacjenta. Wiele badań opisało problemy psychospołeczne i emocjonalne wynikające z wyłonienia stomii oraz jej wpływ na styl życia pacjentów. Życie ze stomią negatywnie wpływa na ogólną jakość życia. Jej obecność wiąże się z wieloma złożonymi problemami, takimi jak problemy psychologiczne

i seksualne, niezadowolenie ze zmienionego obrazu ciała, zmiany w codziennej rutynie, trudności w podróżowaniu czy zmęczenie. Czynniki takie jak wiek, płeć i czas od leczenia mogą mieć wpływ na jakość życia związaną ze stomią. W tej pracy chcemy skupić się na wpływie stomii na zdrowie psychiczne pacjentów.

2. Wyzwania psychiczne po wyłonieniu stomii

Do pierwszych reakcji pacjentów jeszcze przed operacją można zaliczyć lęk, strach, negatywny obraz własnego ciała czy depresję. Szacuje się, że lęk dotyka aż 60-80% pacjentów. Jest on spowodowany zmianą w wyglądzie fizycznym oraz w relacjach oraz utratą kontroli nad funkcją jelit. Istotne jest, że badania wykazały, że pacjenci, którym przekazano szczegółowe informacje w okresie przedoperacyjnym, odczuwali mniejszy niepokój pooperacyjny i szybciej wracali do normalności i sprawności.⁽³⁾ Po operacji wyłonienia stomii u pacjentów często dochodziło do zaburzeń obrazu własnego ciała oraz depresji. W 44 badaniach (na podstawie, których przeprowadzono zestawieni) mediana odsetka pacjentów zgłaszających objawy depresyjne po operacji wyłonienia stomii wynosiła 42,9% (IQR: 24,2–58,9%) w różnych punktach czasowych po zabiegu, natomiast mediana liczebności próby wyniosła 76,5 uczestników (IQR: 43–214,8). Średnie wyniki HADS i BDI były poniżej progów klinicznych dużej depresji, co oznacza, że objawy były obecne, ale zazwyczaj łagodne. HADS jest to badanie lęku i depresji składające się z 14 pytań natomiast BDI to kwestionariusz składający się z 21 pytań, który ocenia nasilenie objawów depresji w ciągu ostatnich dwóch tygodni. Oba te badania są często stosowane w ocenie objawów depresji u pacjentów stomijnych. Jednym z czynników wpływających na negatywne postrzeganie własnego ciała i depresję był wiek. Wyższy wskaźnik objawów depresji występował u osób młodszych. Było to spowodowane wyższą świadomością własnego ciała i większą aktywnością seksualną osób młodszych w porównaniu do starszych. Wyższy wskaźnik występował również u mężczyzn, było to najprawdopodobniej spowodowane większym poczuciem odpowiedzialności za zapewnienie bezpieczeństwa finansowego rodzinie przez mężczyzn w porównaniu do kobiet. Badanie to było prowadzone w Azji, gdzie głównie rolę społeczną pełni mężczyzna a kobieta większość czasu spędza w domu, co mogło być dodatkowym kryterium wpływającym na ten wynik. Istotny statycznie wpływ na wynik miał region geograficzny. Najczęściej depresja dotyczyła osób z Bliskiego Wschodu i Afryki, a najrzadziej z Ameryki Południowej. Odkrycia to może potencjalnie odzwierciedlać różnice społeczno-kulturowe i różnice w podejściu do okołoperacyjnej opieki biopsychospołecznej nad pacjentami poddanymi operacji stomii w tych regionach geograficznych. ⁽⁴⁾ W porównaniu populacyjnym wskaźnik depresji był o 24% wyższy po operacji w porównaniu do okresu przed zabiegiem. Ciekawym aspektem jest, że w populacjach stomijnych objawy depresyjne były rzadsze niż w populacjach bez stomii (średnia różnica: 58% mniej w populacji bez stomii, 95% CI: 0,20–0,65). Wpływ na to może mieć wiele czynników, między innymi fakt, że osoby po operacjach nabywają większą odporność psychiczną i zyskują pozytywne nastawienie do życia. Na uwagę zasługuje również fakt, że u pacjentów z ileostomią pooperacyjne objawy depresyjne były o 51% mniejsze niż w grupie z kolostomią. Wpływ na to mogło mieć kilka czynników m.in. fakt, że ileostomia jest zazwyczaj tymczasowa w odróżnieniu do kolostomii, która jest w większości na stałe. Pacjenci z aktywną chorobą Leśniowskiego-Crohna mieli wyższe wskaźniki depresji niż pacjenci z remisją lub pacjenci onkologiczni. Jest to najprawdopodobniej spowodowane tym, że pacjenci

onkologiczni są bardziej świadomi, że operacja była konieczna do ratowania ich życia (4) Warto wspomnieć, że zbadano osoby z chorobą Leśniowskiego-Crohna, którzy byli operowani w aktywnej fazie choroby i wykazywali się oni wyższym wskaźnikiem PROMIS niż osoby, które były operowane w remisie choroby. PROMIS to skrót od Patient-Reported Outcomes Measurement Information System – jest to standaryzowany system oceny wyników zdrowotnych zgłaszanych przez pacjentów. Jego celem jest mierzenie subiektywnego doświadczenia pacjenta, np. objawów depresji, lęku, jakości snu, funkcjonowania społecznego czy fizycznego. Badanie wykazało również, że pacjenci z chorobą Leśniowskiego-Crohna charakteryzowali się wyższym współczynnikiem PROMIS niż pacjenci chorzy na wrzodziejące zapalenie jelita grubego. Nie jest do końca wyjaśnione czy pacjenci ze stomią stałą są bardziej narażeni niż pacjenci ze stomią tymczasową. W badaniu Blackwell i in. stwierdzili, że wyższe wskaźniki objawów depresyjnych wymagających leków przeciwdepresyjnych występowały u osób ze stomią stałą w porównaniu ze stomią tymczasową (37,1% w porównaniu z 33,5%). W badaniu Davis i in. stwierdzili, że osoby ze stomią stałą miały istotnie większe nasilenie objawów depresyjnych niż osoby ze stomią tymczasową ($p = 0,023$). Hong i in. porównali wyniki BDI w obu populacjach, jednak nie znaleźli statystycznie istotnej różnicy ($p = 0,276$). Natomiast Knowles i in. stwierdzili większe nasilenie depresji u osób ze stomią tymczasową w porównaniu ze stomią stałą, jednak nie stwierdzono, czy ta różnica była statystycznie istotna. (4) Pacjenci po operacji mają również trudności w zaspokojeniu potrzeb związanych z życiem towarzyskim i samorealizacją. (5) Bezprecedensowo zmienia się u tych osób życie seksualne. Pacjenci zgłaszali trudności w utrzymaniu aktywności seksualnej z powodu zmian w ciele. Obecność stomii wpływała na intymność i bliskość w relacjach z partnerami, prowadząc do obaw przed odrzuceniem i trudności w komunikacji (10). Pacjenci zgłaszali również lęk przed odrzuceniem przez rodzinę oraz przed utratą ról społecznych. Bardzo ważna w ten czas jest pomoc z kilku źródeł takich jak: rodzina, przyjaciele, towarzystwa stomijne czy profesjonalistów (lekarza, psychologa, pielęgniarki. (6)

3. Proces adaptacyjny pacjentów ze stomią

Na podstawie badania wykazano, że średni wynik w Skali Akceptacji Choroby wynosił 21,72, w 40 stopniowej skali. Wskazuje to na umiarkowaną akceptację choroby w momencie konieczności wyłonienia stomii. Ankietowani w większości przyjęli to ze spokojem, a pozostali twierdzili, że związane to było u nich z przykrymi emocjami. (7) Badania wskazują, że przygotowanie fizyczne i psychiczne przed zabiegiem oraz wsparcie ze strony personelu medycznego oraz edukacja w zakresie pielęgnacji stomii mają kluczowe znaczenie w procesie adaptacji i akceptacji. Nauka prawidłowej pielęgnacji oraz zdobycie pewności w zakresie samoopieki zwiększa poczucie kontroli i redukuje lęk związany z codziennym funkcjonowaniem ze stomią. (6) Z przeprowadzonym w Australii badaniem wykazano, że osoby ze stomią odnoszą korzyści z uczestnictwa w grupach wsparcia rówieśniczego pod względem nauki, wsparcia i wzmocnienia więzi. Możliwość nawiązania relacji z innymi osobami ze stomią pomogła uczestnikom poczuć się normalnie i ostatecznie zaakceptowanymi przez otoczenie. (9) Adaptacja zależy również od takich czynników jak wiek, płeć, relacje rodzinne czy status społeczno-ekonomiczny. Młodsze osoby mogą mieć większe trudności w akceptacji zmian w wyglądzie ciała i ograniczeń w sferze intymnej. Za to osoby żyjące ze stomią dłużej wykazują wyższy poziom akceptacji i lepszy dobrostan psychiczny. Wsparcie

psychologiczne, w tym terapia poznawczo-behawioralna oraz holistyczny model opieki wielodyscyplinarnej obejmujący pomoc: chirurga, pielęgniarki stomijnej, psychologa i dietetyka, odgrywa kluczową rolę w procesie adaptacji. Niektóre badania podkreślają również pozytywne aspekty życia ze stomią. Pacjenci ze stomią odczuwają większe poczucie wdzięczności, odzyskują swobodę codziennego życia dzięki możliwości kontrolowania funkcji jelit, a wsparcie rodziny i bliskich często wzmacnia relacje społeczne i emocjonalne. Wszystkie te czynniki razem sprzyjają lepszemu przystosowaniu psychospołecznemu oraz poprawiają jakość życia osób po wyłonieniu stomii.

4. Wpływ stomii na tożsamość pacjenta

Wyłonienie stomii znacząco wpływa na sposób, w jaki pacjenci postrzegają samych siebie oraz swoją rolę w społeczeństwie. Badania jakościowe wskazują, że dla wielu osób stomia wiąże się z koniecznością przebudowy dotychczasowych nawyków i poszukiwania tak zwanej „nowej normalności”, w której zmienione ciało staje się częścią codziennego życia (20,21). Proces ten nie zawsze przebiega płynnie. Część pacjentów doświadcza poczucia utraty dotychczasowej tożsamości, wstydu i obniżonej samooceny, co jest szczególnie widoczne u młodszych kobiet, dla których zmiany w wyglądzie i funkcjonowaniu mają silny wpływ na obraz ciała oraz życie intymne (22). Z kolei w badaniach fenomenologicznych podkreślono, że pacjenci, którzy potrafili zintegrować stomię jako element swojego „ja”, wykazywali wyższy poziom akceptacji i lepsze przystosowanie psychospołeczne (12). Istotną rolę odgrywa także wsparcie społeczne, pacjenci charakteryzujący się większą klarownością obrazu siebie i lepszym zapleczem wsparcia ze strony bliskich osiągalni wyższy poziom dobrostanu psychicznego (23). Warto podkreślić, że na tożsamość pacjentów wpływa również stygmatyzacja związana z posiadaniem stomii, zarówno ze strony społeczeństwa, jak i personelu medycznego, co może prowadzić do nasilenia poczucia odmienności i izolacji (16).

5. Stygmatyzacja pacjentów ze stomią przez społeczeństwo

Naukowcy od dziesięcioleci snują teorie na temat stygmatyzacji i mechanizmów z nią związanych. Osoby stygmatyzowane są bardziej narażone na problemy natury psychicznej. Erving Goffman definiował stygmat jako „cechę głęboko dyskredytującą” w oczach innych, która prowadzi do społecznego odrzucenia i poczucia niższej wartości osoby naznaczonej. Stomia może być traktowana jako przykład stygmatu ukrywalnego. Osoby ze sprzętem stomijnym, który jest zazwyczaj przymocowany do brzucha, starają się ukryć go pod ubraniem. Piętno stomii może (lub nie) być ukrywalne w życiu codziennym. Stomia może być ukrywalna, dopóki worek nie wypełni się gazem lub płynami ustrojowymi, a następnie może zostać odsłonięty lub spuchnąć tak, że ubranie odsunie się od ciała, lub może być słyszalne wydalenie gazów, albo mogą wyciekać płyny ustrojowe na przód ubrania. Jednakże, ukrywalność jest niemożliwa przy lekarzach, gdy pacjent jest w szpitalu. Dlatego pacjenci ze stomią nie są w stanie ukryć swojego stygmatyzowanego statusu w tym scenariuszu. Badanie pokazuje, że pacjenci ze stomią doświadczają stygmatyzujących uczuć i negatywnego traktowania podczas wizyt lekarskich z powodu stomii.(16) Badania Riggle Miller i Peck (2022) wykazały, że 16% pacjentów doświadczyło stygmatyzujących sygnałów ze strony personelu medycznego.(16) Stygmatyzujące uczucia ze strony lekarzy prawdopodobnie przyczyniają się do odczuwania niepokoju, strachu i wstydu u pacjentów. Stygmatyzacja pacjenta przez lekarza zazwyczaj

objawiała się przez wyraźne okazywanie obrzydzenia (werbalne lub niewerbalne) oraz negatywne traktowanie pacjentów w kontekście stomii. W tym kontekście na poprawę tego zjawiska może wpłynąć szkolenie personelu medycznego w zakresie podejścia do pacjentów stomijnych.(16) Stygmatyzacja tych osób oczywiście nie odbywa się wyłącznie przez personel medyczny. Badania dowodzą, że jest ona również zauważalna w społeczeństwie. Wiele badań wykazało, że przyczyną stygmatyzacji pacjentów ze stomią jest internalizacja negatywnych emocji i integracja doświadczeń. Wyniki stygmatyzacji wahały się od 29 do 87, a łączny wynik wyniósł $(72,76 \pm 12,73)$. Wyniki stygmatyzacji były ciężkie. W tym samym badaniu stwierdzono, że piętno ma istotny bezpośredni wpływ na adaptację psychospołeczną ($\beta = 0,542$, $p < 0,01$, 95% przedział ufności (95%CI) $[-0,615, -0,273]$). Piętno ponad to ma istotny bezpośredni wpływ na akceptację niepełnosprawności, o której wspominaliśmy we wcześniejszym akapicie. Samoakceptacja niepełnosprawności ma istotny bezpośredni wpływ na adaptację psychospołeczną ($\beta = -0,342$, $p < 0,01$, 95% przedział ufności (95%CI) $[-0,575, -0,181]$; $\beta = 0,465$, $p < 0,01$, 95%CI $[0,241, 0,735]$). Ponadto, stygmatyzacja ma istotny pośredni wpływ na adaptację psychospołeczną poprzez akceptację niepełnosprawności ($\beta = 0,053$, $p < 0,01$, 95% przedział ufności (95%CI) $[0,028, 0,125]$). (17)

6. Rola interwencji psychologicznej i psychoterapii w życiu pacjenta stomijnego

Osoby po wyłonieniu stomii są narażone na szereg wyzwań, którym nie łatwo sprostać. Brak pomocy może doprowadzić do szeregu powikłań psychicznych, a niewłaściwa pomoc może doprowadzić do problemów z adaptacją i akceptacją nowej sytuacji. Bez wątpienia pacjenci ze stomią powinni być pod kontrolą psychologa czy psychiatry w czasie bezpośrednio po zabiegu. Niestety pomimo dowodów na negatywne skutki psychologiczne po wyłonieniu stomii, nie poświęcono uwagi w jaki sposób problemy psychologiczne związane ze stomią są identyfikowane i rozwiązywane w placówkach opieki zdrowotnej. Pacjenci w Anglii zgłaszali, że doświadczyli trudności w otrzymaniu profesjonalnego wsparcia w ramach opieki pooperoacyjnej. Co więcej, badanie ankietowe na małą skalę Knowles i in. (2013) ($n = 31$) wykazało, że pomimo wysokiej częstości występowania depresji i lęku odnotowanej w ich australijskiej próbie, bardzo niewielu respondentów otrzymało formalne wsparcie, a większość (77%) zgłosiła brak korzystania z usług psychologicznych w przeszłości lub obecnie. Ten brak dostępu do usług psychologicznych jest również zgłaszany w szerszej literaturze dotyczącej NZJ, co sugeruje, że problem ten może występować na całej ścieżce opieki — zarówno przed, jak i po operacji stomii. W rezultacie kilku badaczy wezwało do zintegrowanego modelu opieki, który podchodzi do leczenia pacjentów z NZJ z holistycznej perspektywy: gdzie zarówno ich potrzeby fizjologiczne, jak i psychologiczne są zarządzane w ramach współpracy wielodyscyplinarnego zespołu (18) Badania jednoznacznie potwierdzają wartość psychoterapii, wsparcia grupowego i psychoedukacji w poprawie adaptacji pacjentów po zabiegu stomii. Uczestnictwo w grupach wsparcia rówieśniczego sprzyja poczuciu przynależności, zmniejsza poczucie wstydu i buduje nadzieję na powrót do aktywnego życia społecznego.(19)

7. Inicjatywy poprawiające jakość życia pacjenta

W społeczeństwie, w którym jest coraz więcej osób zmagających się ze stomią powstają nowe inicjatywy, które starają się poprawić jakość życia pacjentów. W Polsce dostępnych jest kilka programów prowadzonych przez specjalistów dla pacjentów stomijnych. W programach tych pielęgniarki demonstrują używanie sprzętu stomijnego, pielęgnację stomii oraz skóry wokół niej oraz często prowadzą bezpłatną infolinię pomagającą odpowiedzieć na pytania związane ze stomią. W przeprowadzonym w Chinach badaniu zastosowano na chorych procedurę nauczania Skinnera. Jest to siedmio etapowa metoda, która polega na: edukacji przedoperacyjnej, obserwacji stomii, szkoleniu w zakresie opieki, aktywnym uczestnictwie, samoopiece, opiece domowej oraz wsparciu. U pacjentów z grupy poddanej metodzie nauczania zaobserwowano znaczącą poprawę w zakresie gotowości do wypisu ze szpitala ($p < 0,001$), samoopieki stomijnej ($p < 0,001$), wpływu społecznego ($p < 0,05$) i częstości występowania powikłań ($p < 0,05$) w porównaniu z grupą kontrolną.(11) Przez nieustający rozwój medycyny, mamy coraz to nowocześniejsze sprzęty i metody medyczne. Pozwalają one nie jednokrotnie na samoopiekuńczość pacjentów, co bezpośrednio wpływa na jakość życia. Istnieją już systemy cyfrowe ostrzegające przed wyciekiem z worka stomijnego oraz pomagające monitorowaniu stanu skóry oraz samopoczucia chorego (13) czy też dodatki zapachowe do worków, które niwelują nieprzyjemne zapachy wydalające się z nich. (14) Dodatkowo do poprawy może przyczynić się pomoc psychologa czy psychoterapeuty. Dlatego powinno być więcej inicjatyw, które zapewniałyby pacjentom stomijnym stałą pomoc i opiekę psychologiczną.

8. Czynniki sprzyjające dobrostanowi i samopielęgnacji

Codziennie pielęgnowanie stomii wymaga czasu i systematyczności, ponieważ niektórzy pacjenci doświadczają problemów z przeciekami i bolesnością skóry przez kilka lat po operacji. Może to mieć realny wpływ na jakość życia, prowadząc do trudności psychologicznych u około 20% pacjentów, takich jak nasilone objawy depresji zgłaszane nawet u 50% pacjentów. Jednak nie we wszystkich badaniach obserwuje się spadek jakości życia ze stomią, ponieważ dla niektórych oznacza to lepszą jakość życia i powrót do normalności oraz wolności od ograniczeń toaletowych. Na obniżenie dobrostanu pacjentów niewątpliwie wpływały częste przecieki stomii. W badaniu Simpson i wsp. aż 98% osób ze stomią zgłosiło epizody wycieków, które u około 20% wiązały się z istotnymi problemami w zakresie samopielęgnacji. Czas życia ze stomią krótszy niż trzy lata również był związany z pogorszeniem stanu psychicznego oraz z obniżeniem dobrostanu, sugeruje to, że okres adaptacji do nowej sytuacji ma kluczowe znaczenie dla jakości życia. Do strategii, które zalecano osobą chorym należało: regularne sprawdzanie i opróżnianie worka stomijnego. Pomaga to pacjentom utrzymać kontrolę nad szybkością wypełniania się worka i uniknięcie niepotrzebnego stresu. Dodatkowo dobrze kontrolowana dieta, która zapewnia kontrolę nad objętością treści wydostającej się do worka. Pacjentom pomaga również noszenie luźnych ubrań oraz utrzymywanie dobrej postawy ciała. Dzięki temu, mogą ukryć worek albo przynajmniej sprawić, że nie będzie się rzucał w oczy. Pacjenci wskazywali także na potrzebę rozwoju nowych rozwiązań technicznych, takich jak system wczesnego ostrzegania przed wyciekiem, które mogłyby znacząco poprawić komfort i poczucie bezpieczeństwa w codziennym funkcjonowaniu lub na poprawę doboru materiałów, z których są wykonywane

worki, tak aby były one nie przemakalne i mniej drażniły skórę. Rozwój takich innowacji mógłby przyczynić się do zmniejszenia stresu związanego z codzienną opieką nad stomią oraz poprawą jakości życia pacjentów w dłuższej perspektywie. (15)

9. Opinia pacjentów

Ważne, żeby społeczeństwo też przynajmniej częściowo zrozumiało pacjentów zmagających się ze stomią. W tym celu przeprowadzono badanie fenomenologiczne. Głównymi tematami były: doświadczanie traumatycznego wydarzenia, życie w nowej rzeczywistości oraz wysiłki na rzecz poprawy jakości życia. Pacjenci byli badani przed i po operacji. Duża grupa z nich odczuwała niepewność i lęk, ale również spora część z nich uznała stomię za tak traumatyczne doświadczenie, że rozważała tylko śmierć jako alternatywę. Utworzenie stomii łączy się również z rozwojem silnych mechanizmów obronnych i nowych perspektyw dla pacjentów. Pacjenci doceniają wcześniej nieistotne aspekty życia. Chorzy odczuwali ulgę wynikającą z utratą ich problemów zdrowotnych oraz motywowali się do maksymalizacji autonomii, samoopieki oraz do radzenia sobie w nowej rzeczywistości. U wszystkich badanych wystąpiły zmiany w życiu osobistym. Zmiany te były nie uniknione ze względu na kondycje fizyczną i psychiczną. Zmiany te niestety niejednokrotnie prowadziły do izolacji i introwersji, co miało negatywny wpływ na zdrowie psychiczne chorych. Pacjenci mieli również problemy z zachowaniem zdrowego snu i rutyny przed nim. Chorzy cierpieli również z powodu ograniczającej ich diety i programu aktywności. Z jednej strony pomagały im utrzymać sprawność fizyczną, ale z drugiej strony zmieniały utrwalone od lat nawyki i przyzwyczajenia. Zmiany zaszły również w ich życiu społecznym. Było to spowodowane długotrwałą rekonwalescencją po zabiegu, wstydem pacjentów przez wydzielanie przez nich nie kontrolowanych zapachów, wycieków, odgłosów lub świadomą decyzją chorego. Chociaż dla części z nich doznała po operacyjnego odrodzenia i znajdowali w tym nowe, dobre znaczenie. Pozwalało im to zawiązać nowe znajomości, ale również wrócić szybciej do nowej rzeczywistości. Na powrót do sprawności wpływ miała odporność psychiczna, siła, optymizm, brak powikłań oraz kontynuacja życia społecznego i zawodowego. W odczuciu pacjentów największy wpływ na poprawę jakości ich życia miała własna edukacja i włożony przez nich wysiłek. (12)

Bibliografia

1. Elnaïm, A. L., Wong, M., & Sagap, I. (2024, December 7). Intestinal stomas: Basics, complications and controversies: Systematic review. *Academic Medicine & Surgery*. <https://doi.org/10.62186/001c.127121>
2. Stocare. (n.d.). Ostomy care products and support. Retrieved September 10, 2025, from <https://www.stocare.co.uk/>
3. Karaveli Çakır, S., & Özbayır, T. (2018). Assessment of patient anxiety levels before and after stoma surgery. *Turkish Journal of Colorectal Disease*, 28.
4. Kovoov, J. G., Jacobsen, J. H. W., Stretton, B., Bacchi, S., Gupta, A. K., Claridge, B., Steen, M. V., Bhanushali, A., Bartłomiej, L., Edwards, S., Asokan, G. P., Asokan, G., McGee, A., Ovenden, C. D., Hewitt, J. N., Trochsler, M. I., Padbury, R. T., Perry, S. W., Wong, M.-L., ... Hewett, P. J. Depression after stoma surgery: A systematic review and meta-analysis. [Journal name, volume, issue, pages – uzupełnij].

5. Piaszczyk, D. L., & Schabowski, J. (n.d.). Problemy medyczne i społeczne pacjentów ze stomią należących do POL-ILKO.
7. Stachowiak, M. (n.d.). Przystosowanie pacjentów do życia ze stomią.
8. Rogowska, J., Krajewska-Kulak, E., & Kondzior, D. (n.d.). Przystosowanie się do życia pacjentów po wyłonieniu stomii: Artykuł przeglądowy.
9. Gapińska, B., Tartas, M., Walkiewicz, M., & Majkowicz, M. (n.d.). Poczucie własnej skuteczności a lęk i depresja u pacjentów po zabiegu wyłonienia stomii jelitowej.
10. Kittscha, J., Wilson, V., Fairbrother, G., & Bliokas, V. (n.d.). The role of peer support groups in adjustment to stoma: A qualitative study.
11. Lin, S., Yin, G., & Chen, L. (n.d.). The sexuality experience of stoma patients: A meta-ethnography of qualitative research.
12. Lin, L., Lin, N., Yan, M., Xie, J., Lin, R., & Lin, H. (n.d.). The effect of a nurse-led health education model for patients with temporary stomas: A randomized controlled trial.
13. Stavropoulou, A., Vlamakis, D., Kaba, E., Kalemikerakis, I., Polikandrioti, M., Fasoi, G., Vasilopoulos, G., & Kelesi, M. (2021). "Living with a stoma": Exploring the lived experience of patients with permanent colostomy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8512. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168512>
14. Brady, R. R. W., Sheard, D., Alty, M., Vestergaard, M., Boisen, E. B., Ainsworth, R., Hansen, H. D., Ajslev, T. A. (2024). Evaluating the effect of a novel digital ostomy device on leakage incidents, quality of life, mental well-being, and patient self-care: An interventional, multicentre clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, 13(19), 5673. <https://doi.org/10.3390/jcm13195673>
15. Meacham, A., Gowans, P., Bradley-Clarke, J., Swearingen, A., & Lord, S. (2024). Effectiveness of malodor-reducing ostomy pouch additives: An assessment of odor intensity, hedonic tone, and odor character. *Cureus*, 16(7), e65172. <https://doi.org/10.7759/cureus.65172>
16. Simpson, E., Pourshahidi, K., Davis, J., Slevin, M., Lawther, R., O'Connor, G., Porrett, T., Marley, J., & Gill, C. (n.d.). Living with and without an intestinal stoma: Factors that promote psychological well-being and self-care: A cross-sectional study.
17. Miller, L. R., & Peck, B. M. (2022). Marginalization in the medical encounter: Ostomy patients' experience of perceived stigmatizing sentiments from medical clinicians. *SAGE Open Nursing*, 8, 23779608221095315. <https://doi.org/10.1177/23779608221095315>
18. Xi, Z., Rong, C. M., Ling, L. J., Hua, Z. P., Rui, G., Fang, H. G., Long, W., Zhen, Z. H., & Hong, L. (2022). The influence of stigma and disability acceptance on psychosocial adaptation in patients with stoma: A multicenter cross-sectional study. *Frontiers in Psychology*, 13, 937374. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.937374>
19. Polidano, K., Chew-Graham, C. A., Farmer, A. D., & Saunders, B. (2021). Access to psychological support for young people following stoma surgery: Exploring patients' and clinicians' perspectives. *Qualitative Health Research*, 31(3), 535–549. <https://doi.org/10.1177/1049732320972338>
20. Byfield, D. (2020). The lived experiences of persons with ostomies attending a support group: A qualitative study. *Journal of Wound, Ostomy and Continence Nursing*, 47(5), 489–495. <https://doi.org/10.1097/WON.0000000000000696>

21. Polidano, K., Chew-Graham, C. A., Farmer, A. D., & Saunders, B. (2020). Access to psychological support for young people following stoma surgery: Exploring patients' and clinicians' perspectives. *Qualitative Health Research*, 31(3), 535–549. <https://doi.org/10.1177/1049732320972338>
22. Tan, Z., et al. (2024, November 12). Living with a permanent ostomy: A descriptive phenomenological study on postsurgical experiences in patients with colorectal cancer. *BMJ Open*, 14(11), e087959. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-087959>
23. Mørkhagen, A. E., & Nortvedt, L. (2023, April 24). A qualitative study on how younger women experience living with an ostomy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(9), 5627. <https://doi.org/10.3390/ijerph20095627>
24. Liang, W., Jie, H., Zeng, Z., Luo, S., Liu, Z., Huang, L., & Kang, L. (2022). Comparison of postoperative complication rates between a novel endoluminal balloon-assisted drainage and diverting stoma after low rectal cancer. *Clinical and Translational Oncology*, 24, 1347–1353. <https://doi.org/10.1007/s12094-021-02775-7>

12. NOWOCZESNA OSTEOSYNTeza ZŁAMANIA ŻUCHWY U PACJENTA PO URAZIE – ZASTOSOWANIE SYSTEMU TYTANOWEGO

Konrad Zieliński

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: konrad.zielinski222@gmail.com

Jagoda Józefczyk

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: jagodajozefczyk@wp.pl

Adam Biesiada-Lewandowski

Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Wydział Lekarski

E-mail: adam.biesiada@icloud.com

Wstęp

W leczeniu złamań kości kluczową rolę odgrywają materiały wykorzystywane do ich stabilizacji, ponieważ od ich właściwości zależy skuteczność zespoleń, proces gojenia oraz komfort pacjenta. W chirurgii ortopedycznej i szczękowo-twarzowej stosuje się różnorodne rozwiązania, w tym tradycyjne gipsy, stabilizatory zewnętrzne, a także wszczepialne elementy metalowe – płytki, śruby, pręty czy rusztowania wewnętrzne. Materiały te muszą spełniać rygorystyczne wymagania – być odporne na działanie czynników biologicznych, zapewniać odpowiednią sztywność, ale też elastyczność dopasowaną do konkretnego obszaru ciała. Co równie istotne, powinny być biozgodne, czyli nie wywoływać reakcji immunologicznych organizmu.

Wśród materiałów stosowanych do wewnętrznej stabilizacji złamań szczególne miejsce zajmują metale, takie jak stal nierdzewna, stop kobaltu z chromem, a przede wszystkim tytan. Tytan wyróżnia się na tle innych metali swoją wysoką wytrzymałością mechaniczną przy jednocześnie niskiej masie, znakomitą odpornością na korozję w środowisku fizjologicznym oraz doskonałą biokompatybilnością. Te cechy sprawiają, że jest on materiałem z wyboru w leczeniu wielu rodzajów złamań, również tych o szczególnym stopniu trudności – jak złamanie żuchwy.

Żuchwa, jako element kosztny odpowiadający za funkcje żucia, mowy oraz mimiki, wymaga bardzo precyzyjnej i stabilnej rekonstrukcji po urazie. Tytanowe płytki i śruby stosowane w leczeniu jej złamań pozwalają na dokładne dopasowanie anatomiczne, zapewniają trwałą stabilizację i nie zaburzają fizjologicznych funkcji stawu skroniowo-żuchwowego. Co

więcej, ich obecność w organizmie nie koliduje z obrazowaniem medycznym, co ułatwia późniejszą diagnostykę i kontrolę procesu leczenia.

Złamania kości czaszki – przegląd i charakterystyka

Kości czaszki stanowią złożoną strukturę kostną, która pełni funkcję ochronną dla mózgu oraz narządów zmysłów, a także uczestniczy w procesach oddechowych, pokarmowych i komunikacyjnych. Mimo swojej stosunkowo dużej wytrzymałości, w wyniku działania silnych urazów mechanicznych mogą ulegać złamaniom. Najczęstszą przyczyną tego typu urazów są wypadki komunikacyjne, upadki z wysokości, pobicia oraz urazy sportowe.

Złamania kości czaszki można podzielić na:

- Złamania sklepienia czaszki, dotyczące głównie kości czołowej, ciemieniowej, skroniowej i potylicznej,
- Złamania podstawy czaszki, które mogą prowadzić do poważnych powikłań neurologicznych,
- Złamania trzewioczaszki, obejmujące m.in. kości nosa, oczodołu, szczęki i żuchwy.

W obrębie trzewioczaszki jednymi z najczęściej diagnozowanych urazów są złamania żuchwy. Żuchwa, jako jedyna ruchoma kość czaszki, jest szczególnie narażona na uszkodzenia – zwłaszcza w wyniku bezpośrednich uderzeń w dolną część twarzy. Jej złamania stanowią około 15–20% wszystkich złamań kości twarzoczaszki. W zależności od lokalizacji, wyróżnia się złamania kąta, trzonu, gałęzi, wyrostka kłykciowego oraz wyrostka dziobiastego żuchwy. Złamania żuchwy często wiążą się z zaburzeniem zgryzu, trudnościami w żuciu, mówieniu, a także silnym bólem i obrzękiem. Ze względu na istotną funkcję tej kości oraz jej udział w mechanice narządu żucia, konieczne jest precyzyjne i stabilne zespolenie odłamów. Współczesna chirurgia dysponuje zaawansowanymi metodami leczenia operacyjnego złamań żuchwy, wśród których dominującą rolę odgrywają tytanowe systemy płytkowo-śrubowe. Dzięki nim możliwe jest przywrócenie prawidłowych funkcji żuchwy oraz minimalizacja ryzyka powikłań.

Najczęstsze miejsca złamań w kości żuchwy

Żuchwa to największa i jedyna ruchoma kość czaszki, która odgrywa kluczową rolę w funkcjach takich jak żucie, mowa i mimika. Ze względu na swoją budowę anatomiczną oraz narażenie na bezpośrednie urazy, żuchwa jest szczególnie podatna na złamania. Najczęstszymi lokalizacjami złamań kości żuchwy są:

1. Kąt żuchwy

Złamania w tej okolicy występują stosunkowo często i stanowią około 20-25% wszystkich złamań żuchwy. Kąt żuchwy to miejsce przejścia trzonu w gałąź żuchwy – punkt anatomicznie osłabiony ze względu na obecność zębów trzonowych (w tym zatrzymanych ósepek). Złamania kąta często mają charakter ukośny i mogą powodować przemieszczenie odłamów pod wpływem siły mięśni żucia.

2. Trzon żuchwy

Obejmuje część żuchwy pomiędzy kątem a okolicą bródkową. Złamania tej części są często związane z bezpośrednim urazem w okolicę dolnego łuku zębowego. Występują w około 20–30% przypadków. Złamania trzonu mogą mieć charakter pojedynczy lub wieloodłamowy i często towarzyszy im uszkodzenie zębów lub ich utrata.

3. Okolica bródkowa

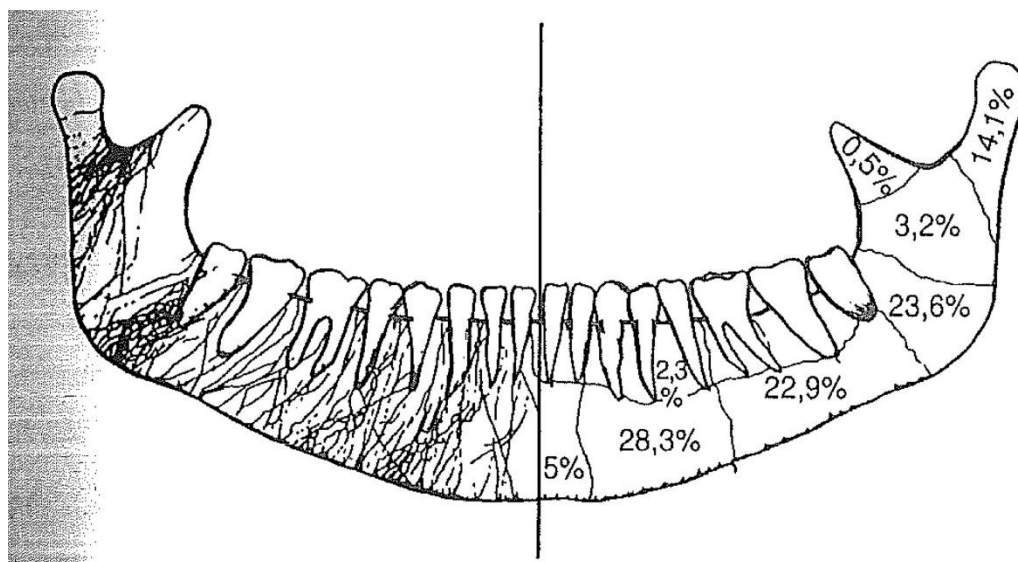
Złamania w linii pośrodkowej (symphysis) i przysymetryczne (parasymphysis) stanowią około 5% złamań żuchwy. Ze względu na bliskość nerwu bródkowego, mogą powodować zaburzenia czucia w okolicy wargi dolnej i brody. Złamania symfizy często występują jako złamania podwójne (ang. „double fractures”) – z drugim złamaniem po stronie kąta lub gałęzi.

4. Wyrostek kłykciowy

To jedno z najczęstszych miejsc złamań, stanowiące około 15% wszystkich urazów żuchwy. Wyrostek kłykciowy wchodzi w skład stawu skroniowo-żuchwowego, dlatego jego złamanie może prowadzić do zaburzeń ruchomości żuchwy, ograniczenia otwierania ust oraz późniejszych powikłań stawowych. Złamania mogą być wewnątrzstawowe lub pozastawowe, z przemieszczeniem odłamów lub bez.

5. Wyrostek dziobiasty

Złamania tej okolicy są rzadkie (poniżej 1%) i najczęściej towarzyszą urazom wielonarządowym lub innym złamaniom żuchwy. Wyrostek dziobiasty nie uczestniczy w stawie skroniowo-żuchwowym, więc jego złamanie rzadko wymaga leczenia operacyjnego, chyba że występuje przemieszczenie odłamów powodujące ograniczenie ruchomości żuchwy.



Złamania żuchwy klasyfikuje się na złamania otwarte oraz zamknięte. Do złamań otwartych zaliczamy uszkodzenia występujące w uzębionym odcinku żuchwy, gdzie dochodzi do przerwania ciągłości błony śluzowej oraz okostnej, co powoduje bezpośredni kontakt szczeliny złamania z jamą ustną i zębodołem. Złamania zamknięte najczęściej lokalizują się w obrębie gałęzi żuchwy, wyrostka stawowego oraz wyrostka dziobiastego, przy zachowanej integralności błony śluzowej.

Ze względu na przebieg linii złamania wyróżnia się złamania pełne, charakteryzujące się całkowitym przerwaniem ciągłości kostnej, oraz złamania niepełne. Liczba linii złamania warunkuje podział na złamania pojedyncze — z dwoma odłamami kostnymi, podwójne — z trzema odłamami oraz wieloodłamowe, w których liczba fragmentów kostnych jest znacznie zwiększona.

Klinicznie złamanie żuchwy objawia się silnym, miejscowym bólem nasilającym się podczas ruchów żuchwy, takich jak odwodzenie i przywodzenie. W miejscu urazu pojawia się obrzęk tkanek miękkich oraz deformacja konturu twarzy, spowodowana przemieszczeniem odłamów kostnych. Badanie palpacyjne ujawnia obecność uskoku kostnego, potwierdzającego przerwanie ciągłości kości.

Uraz żuchwy często skutkuje zaburzeniami zgryzu, manifestującymi się nieprawidłowym kontaktem między zębami szczęki i żuchwy. Towarzyszyć temu mogą urazy zębów, takie jak wybite, zwichnięcie czy złamanie. W przypadku złamań w obszarze uzębionym, zęby znajdujące się w linii złamania często wykazują przemieszczanie lub rozchwianie.

Metody leczenia złamań kości żuchwy

Terapia złamań żuchwy jest determinowana przede wszystkim przez lokalizację oraz charakterystykę złamania, a także stopień przemieszczenia odłamów kostnych i ogólny stan kliniczny pacjenta. Celem leczenia jest anatomiczna rekonstrukcja ciągłości kości, przywrócenie prawidłowej funkcji stomatognatycznej oraz eliminacja powikłań takich jak zaburzenia zgryzu czy przewlekłe bóle.

Leczenie zachowawcze

Wskazane u pacjentów ze złamaniami nieprzemieszczonymi lub o minimalnym przemieszczeniu, najczęściej dotyczących obszarów gałęzi żuchwy oraz wyrostka dziobiastego. Postępowanie obejmuje ograniczenie funkcji żucia poprzez dietę płynną lub półpłynną, stosowanie środków farmakologicznych (analgetyków i leków przeciwzapalnych) oraz ścisłą obserwację kliniczną i radiologiczną. Unieruchomienie zewnętrzne lub ortodontyczne może być opcjonalne.

Leczenie operacyjne (osteosynteza wewnętrzna)

Złamania przemieszczone, wieloodłamowe, otwarte oraz te lokalizujące się w odcinku uzębionym wymagają interwencji chirurgicznej z nastawieniem odłamów i ich stabilizacją. Standardem jest zastosowanie tytanowych płytek i śrub minipłytkowych, które zapewniają stabilną osteosyntezę i umożliwiają wczesną funkcjonalną rehabilitację żuchwy. Metoda ta pozwala na skrócenie okresu unieruchomienia oraz zmniejszenie ryzyka powikłań pozabiegowych.

Unieruchomienie międzylukowe (maxillomandibular fixation, MMF)

Jest często stosowane jako uzupełnienie leczenia chirurgicznego lub jako samodzielna metoda w przypadku złamań stabilnych bez istotnego przemieszczenia. MMF realizuje się poprzez zespolenie szczęki z żuchwą za pomocą drutów, klamer ortodontycznych lub aparatów typu gipsu szczękowego. Standardowy czas unieruchomienia wynosi około 4–6 tygodni, co zapewnia odpowiednie warunki do wygojenia złamania.

Zastosowanie systemów tytanowych w osteosyntezie kości żuchwy

Osteosynteza wewnętrzna z wykorzystaniem systemów tytanowych stanowi obecnie złoty standard w leczeniu złamań kości żuchwy, zwłaszcza w przypadkach złamań przemieszczeniowych, wieloodłamowych oraz otwartych. Tytan i jego stopy są materiałami biokompatybilnymi, charakteryzującymi się wysoką wytrzymałością mechaniczną, odpornością na korozję oraz minimalną reakcją tkankową, co sprzyja procesowi gojenia kostnego.

Współczesne systemy osteosyntezy tytanowej składają się z anatomicznie profilowanych płytek minipłytkowych oraz odpowiednio dobranych śrub o różnych długościach i średnicach. Precyzyjne dopasowanie implantów do anatomicznych cech żuchwy pozwala na:

- **Stabilną fixację odłamów** – systemy te zapewniają mechaniczne unieruchomienie fragmentów kostnych, umożliwiając ich prawidłowe zrastanie bez konieczności długotrwałego unieruchomienia szczęk
- **Minimalizację uszkodzeń tkanek miękkich** – dzięki cienkim i lekkim płytkom możliwe jest ograniczenie ingerencji w okoliczne struktury, co przekłada się na szybszą rehabilitację pacjenta.
- **Uniwersalność zastosowania** – systemy tytanowe pozwalają na leczenie różnorodnych typów złamań żuchwy, od pojedynczych, przez wieloodłamowe, aż do złamań otwartych i złożonych

Wskazania do zastosowania osteosyntezy tytanowej

Wskazania kliniczne do zastosowania tytanowych systemów osteosyntezy obejmują:

- Złamania żuchwy z przemieszczeniem odłamów.
- Złamania wieloodłamowe.
- Złamania otwarte i skomplikowane urazy.
- Przypadki, w których konieczne jest szybkie przywrócenie funkcji żucia i minimalizacja czasu leczenia

Umożliwiają one także leczenie pacjentów z wieloma urazami twarzoczaszki, gdzie szybka i trwała stabilizacja jest niezbędna dla dalszej rehabilitacji.

Przebieg leczenia i efekty kliniczne

Operacyjne leczenie złamań żuchwy przy użyciu systemów tytanowych polega na chirurgicznym nastawieniu odłamów kostnych i ich stabilnej fixacji za pomocą płytek i śrub.

Dzięki dużej sztywności konstrukcji możliwe jest:

- Wczesne rozpoczęcie funkcji żucia bez konieczności unieruchomienia szczęk za pomocą szyn lub opatrunków gipsowych.
- Redukcję ryzyka powikłań takich jak zrosty nieprawidłowe czy zaburzenia zgryzu
- Skrócenie czasu hospitalizacji i rehabilitacji.

Wyniki badań klinicznych potwierdzają wysoką skuteczność i bezpieczeństwo tej metody, a także dobrą tolerancję materiału przez organizm pacjenta

Potencjalne powikłania i wyzwania

Mimo licznych zalet, stosowanie tytanu w osteosyntezie wiąże się z pewnymi ryzykami i ograniczeniami. Do najczęstszych powikłań należą:

- Infekcje okołointplantacyjne, które mogą wymagać terapii antybiotykowej lub usunięcia implantu
- Ekspozycja płytek na skutek zaniku tkanek miękkich, zwłaszcza w miejscach o cienkiej pokrywie skórnej.
- Potencjalne reakcje alergiczne, choć występują one bardzo rzadko
- Wpływ ogólnego stanu zdrowia pacjenta, chorób współistniejących (np. cukrzyca, osteoporoza) na proces gojenia i integracji implantu

Systemy tytanowe stanowią obecnie złoty standard w leczeniu chirurgicznym złamań kości żuchwy. Ich unikalne właściwości biomechaniczne i biologiczne umożliwiają stabilną i bezpieczną fixację odłamów, co przekłada się na skuteczną rekonstrukcję anatomiczną

i funkcjonalną pacjentów. Pomimo potencjalnych powikłań, korzyści wynikające z zastosowania tytanu przewyższają ryzyko, a dalsze postępy technologiczne obiecują jeszcze większą optymalizację leczenia.

Opis przypadku

Pacjent zgłosił się do Szpitalnego Oddziału Ratunkowego z powodu dolegliwości bólowych i obrzęku w okolicy kąta żuchwy po stronie prawej, powstałych w wyniku urazu bezpośredniego (pobicia). W badaniu przedmiotowym stwierdzono asymetrię twarzy z obecnością obrzęku i tkliwości palpacyjnej w okolicy kąta żuchwy. Skóra w miejscu urazu była nieuszkodzona, nie stwierdzono patologicznej ruchomości górnego masywu twarzy. Badanie wewnątrzustne wykazało obecność skrzepów krwi w tylnej części wyrostka zębodołowego po stronie prawej. Dno jamy ustnej oraz błona śluzowa nie wykazywały odchyłań od stanu prawidłowego.

W trybie pilnym wykonano spiralną tomografię komputerową twarzoczaszki bez kontrastu, która ujawniła złamanie kąta żuchwy po stronie prawej, lokalizujące się w sąsiedztwie zęba zatrzymanego 48. Odlamy kostne były w prawidłowej osi, bez cech istotnego przemieszczenia. Struktury kostne podstawy czaszki, sklepienia czaszki oraz zatoki przynosowe nie wykazywały patologii.

W warunkach ambulatoryjnych, po wykonaniu nasiękowego znieczulenia z użyciem 2% lignokainy z adrenaliną, założono unieruchomienie międzyszczękowe metodą Ivy'ego. Zalecono farmakoterapię obejmującą antybiotyk (amoksycylina z kwasem klawulanowym co 12 godzin), niesteroidowy lek przeciwzapalny (nimesulid), lek przeciwbólowy (metamizol), zimne okłady w okolicy policzka, ograniczenie odwodzenia żuchwy oraz ścisłą dietę płynną. Zalecono także ograniczenie aktywności artkulacyjnej poprzez mówienie przy zaciśniętych łukach zębowych.

Po uzyskaniu pozytywnej kwalifikacji anestezjologicznej, w znieczuleniu ogólnym przeprowadzono zabieg chirurgiczny. W ramach interwencji wykonano osteosyntezę kąta żuchwy z zastosowaniem jednej minipłytki tytanowej 2.0 oraz czterech śrub korytkalnych. Ząb zatrzymany 48, znajdujący się w linii złamania, został usunięty w trakcie tej samej procedury. Pooperacyjny przebieg kliniczny był niepowikłany. Pacjent został wypisany do domu w dobrym stanie ogólnym i miejscowym, z zaleceniem dalszej kontroli ambulatoryjnej w Poradni Chirurgii Szczękowo-Twarzowej, kontynuacji antybiotykoterapii, diety płynnej oraz higieny jamy ustnej.

Bibliografia

1. Kryst L., Chirurgia szczękowo-twarzowa, wydanie V. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2012.
2. Współczesna radiologia stomatologiczna, Ingrid Różyło-Kalinowska, Teresa Katarzyna Różyło, wydanie I, 2012.
3. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Osteosynteza>
4. <https://pl.wikipedia.org/wiki/żuchwa>
5. Ellis E. (2014). Management of mandibular fractures. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.*
6. Zhao Y, et al. (2017). Titanium alloy in oral and maxillofacial surgery: properties and applications. *J Craniofac Surg.*

13. FARMAKOTERAPIA W SPEKTRUM AUTYZMU U DZIECI – PRZEGLĄD AKTUALNYCH STRATEGII TERAPEUTYCZNYCH

Zofia Śledzikowska

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

1. Wprowadzenie

Autyzm to zaburzenie neurorozwojowe o zróżnicowanej prezentacji klinicznej, charakteryzujące się deficytami komunikacyjnymi, społecznymi oraz sztywnymi i powtarzalnymi wzorcami zachowań [1]. Chociaż podstawą leczenia pozostaje terapia behawioralna, w przypadkach nasilonych objawów stosuje się leczenie farmakologiczne w celu łagodzenia wybranych symptomów, takich jak:

- agresja i napady złości,
- autoagresja,
- nadpobudliwość psychoruchowa,
- lęk i obsesyjno-kompulsyjne zachowania,
- zaburzenia snu [2].

2.1. Cel pracy

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat farmakoterapii stosowanej w leczeniu objawów zaburzeń ze spektrum autyzmu (ASD) u dzieci. Omówiono mechanizmy działania, skuteczność i bezpieczeństwo stosowanych leków oraz rekomendacje kliniczne.

2.2. Metodologia

Analizie poddano publikacje z lat 2015–2024 wyszukiwane w bazach PubMed, Scopus i Google Scholar. Kryteria włączenia obejmowały badania randomizowane, metaanalizy oraz wytyczne towarzystw takich jak American Academy of Child and Adolescent Psychiatry (AACAP) czy NICE. Wykluczono publikacje dotyczące dorosłych oraz doniesienia o niskiej jakości metodologicznej.

3. Leki przeciwpsychotyczne

3.1. Risperydona

Risperydona to atypowy lek przeciwpsychotyczny, antagonistycznie działający na receptory D2 i 5-HT_{2A}. Jako pierwszy lek uzyskał zatwierdzenie FDA do leczenia drażliwości u dzieci z autyzmem powyżej 5. roku życia.

Skuteczność:

W badaniu McCracken et al. (2002) risperydona znacząco zmniejszył nasilenie agresji, napadów złości i autoagresji (ocena według skali ABC-I) [2].

Działania niepożądane:

- przyrost masy ciała,
- senność,
- hiperprolaktynemia,
- ryzyko zespołu metabolicznego [3].

Zalecenia:

Stosować możliwie najniższą skuteczną dawkę. Zaleca się monitorowanie masy ciała i parametrów metabolicznych.

3.2. Aripiprazol

Aripiprazol działa jako częściowy agonista receptorów D2 i 5-HT1A oraz antagonistą 5-HT2A. Zatwierdzony przez FDA do leczenia drażliwości u dzieci z ASD w wieku 6–17 lat.

Zalety:

- mniej nasilony przyrost masy ciała niż przy rysperydonie,
- lepsza tolerancja dla niektórych pacjentów [4].

Efekty uboczne:

- akatyzyja,
- nadpobudliwość,
- zmiany ciśnienia tętniczego.

4. Leczenie nadpobudliwości i deficytu uwagi (ADHD)

4.1. Metylofenidat

Jeden z najczęściej stosowanych stymulantów u dzieci z ADHD, również stosowany w ASD. Działa przez hamowanie wychwyty zwrotnego dopaminy i noradrenaliny.

Skuteczność u dzieci z ASD:

W metaanalizie Handen et al. (2000) wykazano poprawę koncentracji i redukcję impulsywności, ale częstość działań niepożądanych (np. drażliwość, bezsenność) była wyższa niż u dzieci bez ASD [5].

4.2. Atomoksetyna

Inhibitor wychwyty zwrotnego noradrenaliny, niebędący stymulantem. Może być korzystny u dzieci z ASD, szczególnie jeśli występuje lęk.

Zalety:

- brak ryzyka uzależnienia,
- dobrze tolerowany przez dzieci z ASD [6].

4.3. Guanfacyna i klonidyna

Agoniści receptora α_2 -adrenergicznego. Redukują nadpobudliwość, impulsywność i problemy ze snem.

Guanfacyna o przedłużonym uwalnianiu wykazała skuteczność w badaniu Scahill et al. (2015) z udziałem dzieci z ASD i ADHD [6].

5. Leki przeciwdepresyjne (SSRI) i przeciwłękowe

SSRI, jak fluoksetyna, sertralina czy escitalopram, stosowane są w leczeniu lęku, depresji oraz powtarzalnych zachowań.

Wielu pacjentów z ASD doświadcza nadwrażliwości na SSRI, mogą wystąpić:

- pobudzenie,
- zwiększenie lęku,
- zaburzenia snu [7].

Cochrane Review (2013):

Nie znaleziono przekonujących dowodów na skuteczność SSRI u dzieci z ASD. Zaleca się ostrożność w ich stosowaniu [7].

6. Melatonina i leki nasenne

Zaburzenia snu są częste w ASD i mogą znacząco wpływać na funkcjonowanie rodziny. Suplementacja melatoniną poprawia latencję snu, długość snu i zmniejsza liczbę przebudzeń [8]. Zwykle stosuje się 1–6 mg wieczorem. Efekty uboczne są rzadkie.

7. Leki eksperymentalne i kierunki badań

W ostatnich latach trwają badania nad lekami modulującymi układ glutaminergiczny (np. bumetanid, memantyna), oksytocyną i terapiami immunomodulacyjnymi.

Bumetanid

Diuretyk wpływający na działanie GABA. W badaniach klinicznych wykazał umiarkowaną poprawę funkcji społecznych [9].

8. Ograniczenia farmakoterapii w ASD

- Brak leków leczących rdzeń zaburzenia.
- Skuteczność farmakoterapii ogranicza się do objawów towarzyszących.
- Ryzyko działań niepożądanych u dzieci z ASD może być większe.
- Wysokie zróżnicowanie biologiczne pacjentów utrudnia dobór terapii.
- Potrzeba większej liczby badań z grupami kontrolnymi.

9. Wnioski

Farmakoterapia dzieci z ASD powinna być indywidualnie dopasowana, oparta na precyzyjnej diagnozie objawów współistniejących i zawsze połączona z terapiami psychospołecznymi. Risperidon i aripiprazol to najczęściej stosowane leki, ale wiele objawów można również łagodzić za pomocą leków z innych grup. Niezbędne są dalsze badania nad nowymi lekami i biomarkerami predykcyjnymi odpowiedzi na leczenie.

Bibliografia

1. Lord, C., et al. (2020). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508–520.
2. McCracken, J. T., et al. (2002). Risperidone in children with autism and serious behavioral problems. *NEJM*, 347(5), 314–321.

3. Shea, S., et al. (2004). Risperidone in the treatment of disruptive behavioral symptoms in children with autistic and other pervasive developmental disorders. *Pediatrics*, 114(5), e634–e641.
4. Marcus, R. N., et al. (2009). Aripiprazole in children and adolescents with pervasive developmental disorders. *Pediatrics*, 124(6), 1533–1540.
5. Handen, B. L., et al. (2000). Methylphenidate in children with mental retardation and ADHD. *JAACAP*, 39(6), 723–731.
6. Scahill, L., et al. (2015). Extended-release guanfacine for hyperactivity in children with autism spectrum disorder. *AJP*, 172(12), 1197–1206.
7. Williams, K., et al. (2013). Selective serotonin reuptake inhibitors (SSRIs) for autism spectrum disorders (ASD). *Cochrane Database*, (8), CD004677.
8. Malow, B. A., et al. (2012). Melatonin for sleep in children with autism: a controlled trial. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 42(8), 1729–1737.
9. Lemonnier, E., et al. (2012). A randomised controlled trial of bumetanide in the treatment of autism in children. *Translational Psychiatry*, 2(12), e202.

14. LECZENIE ZABURZEŃ DEPRESYJNYCH U DZIECI – FARMAKOTERAPIA I PSYCHOTERAPIA

Zofia Śledzikowska

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

1. Wstęp

Zaburzenia depresyjne u dzieci i młodzieży to coraz poważniejsze wyzwanie kliniczne i społeczne. Według danych epidemiologicznych, u około 2–3% dzieci w wieku szkolnym oraz 5–8% nastolatków rozwija się kliniczna depresja. Nieleczona depresja wiąże się z wysokim ryzykiem nawrotów, zaburzeń funkcjonowania społecznego, a nawet prób samobójczych [1]. Wczesne rozpoznanie oraz skuteczne leczenie — zarówno psychoterapeutyczne, jak i farmakologiczne — stanowią fundament działań terapeutycznych.

2. Cel i metodologia pracy

Celem pracy jest przegląd aktualnych metod leczenia zaburzeń depresyjnych u dzieci z uwzględnieniem skuteczności i bezpieczeństwa farmakoterapii oraz psychoterapii.

Metodologia:

Przegląd systematyczny literatury naukowej z lat 2004–2024 na temat leczenia depresji u dzieci i młodzieży.

3. Psychoterapia w leczeniu depresji u dzieci

3.1. Terapie rekomendowane

Zgodnie z wytycznymi m.in. NICE i WHO, terapia poznawczo-behawioralna (CBT) oraz terapia interpersonalna (IPT) są uznawane za metody pierwszego wyboru w leczeniu depresji łagodnej i umiarkowanej [2], [3].

- CBT uczy dziecko rozpoznawania negatywnych schematów myślowych i zachowań oraz ich modyfikacji.
- IPT koncentruje się na relacjach interpersonalnych i rozwiązywaniu problemów w rodzinie, szkole czy środowisku rówieśniczym.

Metaanaliza Weisz i wsp. wykazała, że CBT i IPT mają umiarkowaną do dużej skuteczności (średni efekt: $d \approx 0,5-0,8$) [4].

3.2. Inne formy terapii

Choć mniej przebadana, terapia psychodynamiczna może być pomocna u dzieci z zaburzeniami relacyjnymi. Terapie rodzinne, np. Attachment-Based Family Therapy, są szczególnie skuteczne w przypadku depresji w kontekście konfliktów domowych [5].

3.3. Wskazania do psychoterapii

Psychoterapia jest wskazana jako pierwsza forma leczenia u:

- dzieci poniżej 12 roku życia,
- pacjentów z depresją łagodną lub umiarkowaną,
- rodzin nieakceptujących farmakoterapii [3].

4. Farmakoterapia depresji u dzieci i młodzieży

4.1. Zatwierdzone leki (FDA)

Tylko dwa leki są zatwierdzone przez FDA do leczenia dużej depresji u dzieci i młodzieży:

Lek	Minimalny wiek	Wskazanie FDA
Fluoksetyna	od 8 lat	MDD
Escitalopram	od 12 lat	MDD

Zatwierdzenie oznacza, że lek przeszedł badania kliniczne wykazujące skuteczność i bezpieczeństwo w danej grupie wiekowej [6].

4.2. Paroksetyna i inne SSRI – stosowanie off-label

Paroksetyna była badana w populacji młodzieży (Study 329), ale:

- nie wykazała istotnej skuteczności,
- wykazała zwiększone ryzyko myśli samobójczych ($OR \approx 3,9$) [7],
- nie została zatwierdzona przez FDA i nie jest zalecana do stosowania u dzieci [8].

Inne leki, takie jak sertralina, citalopram czy wenlafaksyna, bywają stosowane off-label, ale również nie mają wystarczająco silnych dowodów skuteczności w tej grupie [9].

4.3. Skuteczność i bezpieczeństwo leków (meta-analizy)

W metaanalizie Ciprianiego i wsp. (2016), uwzględniającej 34 badania kliniczne z udziałem 5260 dzieci i młodzieży:

- Fluoksetyna jako jedyna wykazała statystycznie istotną skuteczność [10],
- inne leki nie różniły się od placebo lub miały gorszy profil działań niepożądanych,
- wenlafaksyna i paroksetyna wiązały się z większym ryzykiem objawów suicydalnych [10].

FDA w 2004 roku wprowadziła dla wszystkich leków przeciwdepresyjnych ostrzeżenie typu „black box”, dotyczące zwiększonego ryzyka samobójstw u osób <24 r.ż. [11].

5. Połączenie psychoterapii i leków

Badania, m.in. TADS Study (Treatment for Adolescents with Depression Study), wykazały, że:

- połączenie fluoksetyny z CBT jest skuteczniejsze niż każdy z tych elementów osobno,
- takie leczenie prowadzi do szybszego ustąpienia objawów i mniejszego ryzyka nawrotu [12].

6. Wnioski

- Psychoterapia (CBT, IPT) jest podstawą leczenia depresji u dzieci i młodzieży.
- Fluoksetyna jest najlepiej przebadanym i jedynym lekiem zatwierdzonym dla dzieci od 8. roku życia.
- Paroksetyna i inne SSRI nie są zalecane u dzieci — ryzyko przeważa nad korzyściami.
- Połączenie leków i terapii daje najlepsze efekty w depresji umiarkowanej i ciężkiej.
- Leczenie wymaga monitorowania, indywidualizacji i współpracy z rodziną.

Bibliografia

1. Birmaher B., Brent D. (2007). Practice parameter for the assessment and treatment of children and adolescents with depressive disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 46(11), 1503–1526.
2. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). (2019). Depression in children and young people: identification and management [CG28].
3. World Health Organization. (2023). Mental health care for children and adolescents: WHO Guidelines.
4. Weisz JR et al. (2017). Psychotherapy for children and adolescents with depression: A meta-analysis. *J Child Psychol Psychiatry*, 58(4), 353–365.
5. Diamond GS et al. (2010). Attachment-Based Family Therapy for depressed adolescents: A treatment development study. *Fam Process*, 49(2), 162–179.
6. U.S. FDA. (2024). Approved Drug Products with Therapeutic Equivalence Evaluations (Orange Book).
7. Le Noury J. et al. (2015). Restoring Study 329: efficacy and harms of paroxetine and imipramine in adolescent depression. *BMJ*, 351:h4320.
8. Whittington CJ et al. (2004). Selective serotonin reuptake inhibitors in childhood depression: systematic review. *Lancet*, 363(9404), 1341–1345.
9. Hazell P, Mirzaie M. (2013). Tricyclic drugs for depression in children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev*.
10. Cipriani A et al. (2016). Antidepressants in children and adolescents: meta-analysis. *The Lancet*, 388(10047), 881–890.
11. FDA Public Health Advisory (2004). Suicidality in Children and Adolescents Being Treated With Antidepressant Medications.
12. March J et al. (2004). Fluoxetine, cognitive-behavioral therapy, and their combination for adolescents with depression (TADS). *JAMA*, 292(7), 807–820.

15. WPŁYW MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH NA ZDROWIE PSYCHICZNE NASTOLATKÓW

Zofia Śledzikowska

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

1. Wstęp

Współczesna młodzież dorasta w erze cyfrowej, w której media społecznościowe odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu relacji, tożsamości, samooceny i sposobu postrzegania świata. Według badań przeprowadzonych przez Pew Research Center, ponad 90% nastolatków w krajach rozwiniętych korzysta codziennie z mediów społecznościowych, a średni dzienny czas spędzany na tych platformach wynosi od dwóch do sześciu godzin [1]. Zjawisko to budzi pytania o jego wpływ na rozwój emocjonalny, społeczny i psychiczny młodych ludzi. Szczególnie istotne jest zrozumienie, w jaki sposób media społecznościowe oddziałują na podatną i kształtującą się psychikę nastolatka, który poszukuje swojej tożsamości, akceptacji i przynależności społecznej.

2. Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest analiza aktualnej wiedzy na temat wpływu mediów społecznościowych na zdrowie psychiczne nastolatków, ze szczególnym uwzględnieniem mechanizmów psychologicznych, czynników ryzyka oraz potencjalnych korzyści wynikających z ich używania.

3. Metodologia

Praca ma charakter przeglądu. Źródła wyszukiwano w bazach takich jak PubMed, Scopus i Google Scholar, uwzględniając publikacje recenzowane z lat 2010–2024 dotyczące nastolatków (12–19 lat). Wybrano badania ilościowe, jakościowe oraz przeglądowe analizujące związki między korzystaniem z mediów społecznościowych a zdrowiem psychicznym. Kryteria wykluczenia obejmowały prace bez recenzji, dotyczące wyłącznie dzieci lub dorosłych oraz publikacje bez pełnego tekstu.

4. Mechanizmy wpływu mediów społecznościowych

4.1. Porównania społeczne i idealizacja rzeczywistości

Media społecznościowe opierają się w dużej mierze na publikowaniu treści ukazujących wyidealizowane życie, wygląd zewnętrzny i sukcesy innych użytkowników. Dla nastolatków, którzy znajdują się w fazie rozwoju tożsamości i są szczególnie wrażliwi na ocenę społeczną, takie treści mogą być źródłem intensywnych porównań społecznych. Badania wskazują, że młodzież często porównuje się z rówieśnikami o „lepszem” wyglądzie, większej liczbie obserwujących lub bardziej interesującym życiu [2].

Takie porównania prowadzą do obniżonej samooceny, wzrostu niezadowolenia z własnego ciała oraz pogorszenia nastroju [3]. Zjawisko to jest szczególnie nasilone w przypadku aplikacji takich jak Instagram czy TikTok, które opierają się głównie na wizualnym przekazie i promowaniu estetyki zgodnej z aktualnymi standardami piękna [4].

4.2. FOMO – fear of missing out

FOMO to termin opisujący niepokój wywołany poczuciem, że inni uczestniczą w atrakcyjnych wydarzeniach, z których użytkownik został wykluczony. Media społecznościowe, aktualizowane w czasie rzeczywistym, potęgują to wrażenie. Młodzież, obserwując znajomych bawiących się na imprezach, wyjeżdżających na wakacje lub osiągających sukcesy, może odczuwać smutek, zazdrość, złość czy samotność [5].

Przy długotrwałym doświadczeniu FOMO mogą rozwinąć się objawy lękowe, depresyjne oraz zaburzenia koncentracji. Co więcej, potrzeba ciągłego monitorowania aktywności innych osób online może prowadzić do uzależnienia od mediów społecznościowych, co dodatkowo pogłębia problemy ze zdrowiem psychicznym [5].

4.3. Cyberprzemoc i hejt

Jednym z najpoważniejszych zagrożeń wynikających z obecności nastolatków w mediach społecznościowych jest cyberprzemoc. Badania pokazują, że od 10% do 30% młodzieży doświadcza prześladowania online, w tym gróźb, upokarzania, wykluczenia z grup rówieśniczych czy rozpowszechniania kompromitujących materiałów [6].

Skutki psychiczne cyberprzemocy są bardzo poważne – obejmują lęk, depresję, izolację społeczną, a w skrajnych przypadkach mogą prowadzić do prób samobójczych. Brak fizycznej obecności agresora oraz pozorna anonimowość sprawiają, że przemoc online bywa bardziej brutalna niż w świecie rzeczywistym.

4.4. Zaburzenia snu

Wielu nastolatków korzysta z mediów społecznościowych tuż przed snem, często nawet w łóżku. Takie nawyki są niebezpieczne z kilku powodów. Po pierwsze, światło niebieskie emitowane przez ekrany zakłóca naturalny rytm dobowy i hamuje wydzielanie melatoniny – hormonu snu [7]. Po drugie, emocjonalne pobudzenie związane z interakcjami online (np. kłótnia, zignorowanie wiadomości) utrudnia wyciszenie i zaśnięcie.

Zaburzenia snu prowadzą z kolei do zmęczenia, spadku koncentracji, pogorszenia nastroju i obniżenia odporności psychicznej, co sprzyja rozwojowi problemów emocjonalnych i poznawczych.

4.5. Uzależnienie od mediów społecznościowych

Problem uzależnienia behawioralnego od mediów społecznościowych zyskuje coraz większą uwagę badaczy. Objawy uzależnienia to m.in. niezdolność do ograniczenia czasu spędzanego online, uczucie niepokoju przy braku dostępu do internetu, rezygnacja z obowiązków na rzecz aktywności w mediach społecznościowych, a także utrata zainteresowania kontaktami w świecie rzeczywistym [10].

Uzależnienie od social mediów często współwystępuje z objawami depresji, lęku społecznego oraz niską samooceną.

5. Potencjalne korzyści płynące z korzystania z mediów społecznościowych

Choć media społecznościowe są często krytykowane, nie sposób nie zauważyć także ich pozytywnych aspektów – zwłaszcza w kontekście wspierania młodzieży. Przede wszystkim umożliwiają one utrzymywanie relacji z rówieśnikami, co może być szczególnie ważne w sytuacjach izolacji społecznej, np. w czasie pandemii COVID-19 [8].

Dla wielu nastolatków media społecznościowe stają się przestrzenią wyrażania siebie, eksplorowania swojej tożsamości (w tym seksualnej i kulturowej), szukania grup wsparcia oraz dzielenia się trudnymi doświadczeniami. Młodzież LGBTQ+, osoby z zaburzeniami psychicznymi czy osoby niepełnosprawne często znajdują w mediach społecznościowych zrozumienie i akceptację, których nie doświadczają w swoim najbliższym otoczeniu [9].

Dodatkowo niektóre platformy edukacyjne i terapeutyczne wykorzystujące media społecznościowe umożliwiają kontakt z psychologiem, dostęp do informacji psychoedukacyjnych i budowanie sieci wzajemnej pomocy.

6. Czynniki moderujące wpływ mediów społecznościowych

Warto podkreślić, że wpływ mediów społecznościowych nie jest jednolity i zależy od wielu czynników:

- Styl korzystania: Badania wskazują, że bierne przeglądanie treści (scrollowanie) ma gorszy wpływ na samopoczucie niż aktywne uczestnictwo (komentowanie, publikowanie, prowadzenie dialogu) [11].
- Płeć: Dziewczęta częściej niż chłopcy doświadczają negatywnego wpływu mediów społecznościowych na obraz ciała i samoocenę [3].
- Wiek: Im młodsze dziecko, tym większe ryzyko negatywnego wpływu ze względu na mniejszą dojrzałość emocjonalną i słabsze mechanizmy samoregulacji.
- Wsparcie rodzinne i relacje offline: Silna więź z rodzicami i dobre relacje rówieśnicze w świecie rzeczywistym amortyzują negatywne skutki korzystania z social mediów [11].

7. Wnioski

Media społecznościowe są integralnym elementem życia nastolatków. Ich wpływ na zdrowie psychiczne jest złożony i wielowymiarowy. Z jednej strony niosą ryzyko pogorszenia samopoczucia, niskiej samooceny, problemów ze snem, uzależnienia i wystawienia na cyberprzemoc. Z drugiej strony mogą pełnić funkcję wspierającą, sprzyjać budowaniu relacji, eksplorowaniu tożsamości oraz znajdowaniu wsparcia w trudnych sytuacjach życiowych.

Kluczowe znaczenie ma sposób korzystania z mediów społecznościowych oraz kontekst społeczny i rodzinny, w jakim funkcjonuje młody człowiek. Rekomenduje się edukowanie młodzieży w zakresie higieny cyfrowej, rozwijanie krytycznego myślenia oraz promowanie zdrowych nawyków cyfrowych. W proces ten powinni być zaangażowani nie tylko pedagodzy i psychologowie, ale również rodzice i twórcy aplikacji społecznościowych.

Bibliografia

1. Twenge JM, Campbell WK. Associations between screen time and lower psychological well-being among children and adolescents: Evidence from a population-based study. *Prev Med Rep.* 2018;12:271–83.

2. Vogel EA, Rose JP, Roberts LR, Eckles K. Social comparison, social media, and self-esteem. *Psychol Pop Media Cult.* 2014;3(4):206–22.
3. Fardouly J, Diedrichs PC, Vartanian LR, Halliwell E. Social comparisons on social media: The impact of Facebook on young women's body image concerns and mood. *Body Image.* 2015;13:38–45.
4. Sagrera L, López-Guimerà G, Sánchez-Carracedo D. Scrolls and self-perception: Navigating the link between social networks and body dissatisfaction in preadolescents and adolescents—a systematic review. *Front Educ.* 2024;9:1390583. doi:10.3389/educ.2024.1390583
5. Przybylski AK, Murayama K, DeHaan CR, Gladwell V. Motivational, emotional, and behavioral correlates of fear of missing out. *Comput Human Behav.* 2013;29(4):1841–8.
1. 6.Kowalski RM, Limber SP, McCord A. A developmental approach to cyberbullying: Prevalence and protective factors. *Aggress Violent Behav.* 2019;45:20–32.
6. Levenson JC, Shensa A, Sidani JE, Colditz JB, Primack BA. The association between social media use and sleep disturbance among young adults. *Prev Med.* 2016;85:36–41.
2. 8.Best P, Manktelow R, Taylor B. Online communication, social media and adolescent wellbeing: A systematic narrative review. *Children and Youth Services Review.* 2014;41:27–36.
10. Uhls YT, Ellison NB, Subrahmanyam K. Benefits and costs of social media in adolescence. *Pediatrics.* 2017;140(Supplement 2):S67–S70.
11. Verduyn P, Ybarra O, Résibois M, Jonides J, Kross E. Do Social Network Sites Enhance or Undermine Subjective Well-Being? A Critical Review. *Soc Issues Policy Rev.* 2017;11(1):274–302.
12. Orben A, Przybylski AK. The association between adolescent well-being and digital technology use. *Nat Hum Behav.* 2019;3(2):173–82.

16. PRZYMUSOWE LECZENIE PSYCHIATRYCZNE – ASPEKTY ETYCZNE I PRAWNE

Zofia Śledzikowska

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

1. Wprowadzenie

Przymusowe leczenie psychiatryczne to forma ingerencji państwa w prawa jednostki, polegająca na zastosowaniu terapii bez zgody pacjenta, zazwyczaj w celu ochrony jego życia lub zdrowia lub bezpieczeństwa innych osób. Decyzje o hospitalizacji psychiatrycznej bez zgody budzą liczne kontrowersje etyczne i prawne – wymagają bowiem pogodzenia wartości autonomii jednostki z koniecznością ochrony dobra pacjenta i interesu publicznego.

2. Cel pracy

Celem pracy jest przegląd i analiza podstaw prawnych oraz aspektów etycznych związanych z przymusowym leczeniem psychiatrycznym w Polsce i w kontekście międzynarodowym. Praca ma na celu zidentyfikowanie głównych problemów etycznych i prawnych oraz wskazanie możliwych kierunków zmian w systemie ochrony zdrowia psychicznego.

Metodologia

Praca ma charakter przeglądowy. Opiera się na analizie źródeł prawa krajowego (ustawy, orzecznictwo), aktów prawa międzynarodowego (konwencje, zasady ONZ) oraz literatury naukowej z zakresu etyki medycznej, psychiatrii i prawa medycznego. Dokonano także przeglądu przykładów praktycznych problemów i kontrowersji zidentyfikowanych w literaturze przedmiotu.

3. Wyniki

Definicja i cele przymusowego leczenia psychiatrycznego

Przymusowe leczenie psychiatryczne obejmuje działania bez zgody pacjenta w postaci hospitalizacji, leczenia ambulatoryjnego lub zastosowania przymusu bezpośredniego. Celem jest ochrona życia lub zdrowia pacjenta lub innych osób oraz zapewnienie odpowiedniej terapii w sytuacjach, gdy pacjent nie jest w stanie świadomie wyrazić zgody lub odmawia leczenia z powodu choroby psychicznej.

Aspekty prawne przymusowego leczenia psychiatrycznego

Podstawy prawne w Polsce

Podstawowym aktem prawnym regulującym przymusowe leczenie psychiatryczne w Polsce jest Ustawa o ochronie zdrowia psychicznego z 19 sierpnia 1994 r. (Dz.U. 2022 poz. 2123) [1]. Ustawa przewiduje możliwość leczenia bez zgody pacjenta:

- art. 23: w przypadku bezpośredniego zagrożenia życia lub zdrowia własnego lub innych osób,
- art. 29: w trybie nagłym, gdy z powodu choroby psychicznej osoba wymaga leczenia szpitalnego, a brak takiego leczenia spowodowałby znaczne pogorszenie jej stanu lub niemożność zaspokajania podstawowych potrzeb życiowych.

Decyzję o przyjęciu w trybie przymusowym potwierdza lekarz psychiatra i zatwierdza sąd opiekuńczy w terminie 48 godzin od zawiadomienia.

Standardy międzynarodowe

Zasady dopuszczalności leczenia przymusowego określają również akty prawa międzynarodowego, np.:

- Konwencja o Ochronie Praw Człowieka i Podstawowych Wolności (art. 5 ust. 1 lit. e) dopuszcza pozbawienie wolności osób „chorych umysłowo” zgodnie z ustawą i procedurami [2],
- Konwencja ONZ o Prawach Osób Niepełnosprawnych (CRPD) – kładzie nacisk na poszanowanie autonomii, równość wobec prawa i prawo do samostanowienia [3],
- Zasady Narodów Zjednoczonych dotyczące ochrony osób chorych psychicznie i poprawy opieki psychiatrycznej (MI Principles, 1991) – wskazują warunki konieczne dla legalności przymusowego leczenia [4].

Aspekty etyczne

Autonomia pacjenta

Zasada autonomii jest fundamentem etyki medycznej – wymaga szacunku dla decyzji pacjenta, nawet jeśli wydają się nieracjonalne [5]. Przymusowe leczenie bez zgody budzi sprzeciw, bo ogranicza wolność jednostki i jej prawo do samostanowienia.

Dobro pacjenta a paternalizm

Etyczne uzasadnienie leczenia przymusowego opiera się na paternalizmie – przekonaniu, że interwencja wbrew woli pacjenta jest dopuszczalna w jego najlepszym interesie. Jednak zasada ta musi być ograniczona i stosowana tylko w wyjątkowych sytuacjach [6].

Zasada najmniejszej szkody

Etyczne standardy wymagają, aby przymusowe leczenie było ultima ratio – środkiem ostatecznym, stosowanym w sposób minimalizujący szkody psychiczne i fizyczne [7].

Praktyczne problemy i kontrowersje

Ryzyko nadużyć

Przymusowe leczenie może być nadużywane w celach pozamedycznych, np. rozwiązywania konfliktów rodzinnych czy politycznych. Historia psychiatrii zna przykłady wykorzystywania diagnoz psychiatrycznych do represji (np. w ZSRR) [8].

Stygmatyzacja pacjentów

Przymusowa hospitalizacja pogłębia stygmatyzację osób chorych psychicznie. Utrwala stereotyp osoby chorej jako zagrożenia dla otoczenia, utrudniając jej reintegrację społeczną [9].

Problemy oceny zagrożenia

Ocena „zagrożenia” jest trudna i często subiektywna. Nie istnieją narzędzia pozwalające jednoznacznie przewidzieć zachowanie pacjenta, co rodzi ryzyko arbitralności decyzji [10].

Alternatywy i kierunki zmian

Rozwój psychiatrii środowiskowej

Postuluje się rozwój psychiatrii środowiskowej i leczenia domowego, aby zminimalizować potrzebę hospitalizacji przymusowej i zwiększyć udział pacjenta w terapii [11].

Zaawansowane dyrektywy psychiatryczne

Pacjenci mogliby sporządzać dokumenty określające ich preferencje dotyczące leczenia na wypadek nawrotu choroby, zwiększając tym samym autonomię nawet w sytuacjach kryzysowych [12].

Wzmocnienie kontroli sądowej

Kluczowe znaczenie ma efektywna i szybka kontrola sądowa nad decyzjami o leczeniu przymusowym, zapewniająca realną ochronę praw pacjentów [13].

Podsumowanie

Przymusowe leczenie psychiatryczne jest środkiem skrajnym, który może być konieczny dla ochrony życia i zdrowia, ale zawsze wiąże się z ryzykiem naruszenia praw jednostki. Wymaga więc precyzyjnych regulacji, ścisłej kontroli sądowej oraz praktyki klinicznej opartej na minimalizacji szkody i poszanowaniu godności pacjenta.

Bibliografia

1. Ustawa z dnia 19 sierpnia 1994 r. o ochronie zdrowia psychicznego (Dz.U. 2022 poz. 2123).
2. Konwencja o Ochronie Praw Człowieka i Podstawowych Wolności, sporządzona w Rzymie dnia 4 listopada 1950 r. (Dz.U. 1993 nr 61 poz. 284).
3. Konwencja ONZ o Prawach Osób Niepełnosprawnych, przyjęta 13 grudnia 2006 r. (Dz.U. 2012 poz. 1169).
4. United Nations, Principles for the Protection of Persons with Mental Illness and the Improvement of Mental Health Care, GA Res 46/119 (MI Principles), 1991.
5. Beauchamp T.L., Childress J.F., *Principles of Biomedical Ethics*, 8th ed., Oxford University Press, 2019.
6. Gillon R., “Ethics needs principles—four can encompass the rest—and respect for autonomy should be ‘first among equals’”, *Journal of Medical Ethics* 29 (2003): 307–312.
7. Szasz T., *Psychiatry: The Science of Lies*, Syracuse University Press, 2008.

8. Bloch S., Reddaway P., *Psychiatric Terror: How Soviet Psychiatry Is Used to Suppress Dissent*, Basic Books, 1977.
9. Thornicroft G., *Shunned: Discrimination against People with Mental Illness*, Oxford University Press, 2006.
10. Szafraniec K., "Hospitalizacja psychiatryczna bez zgody pacjenta – aspekty prawne i etyczne", *Prawo i Medycyna* 2015/17(4): 63–75.
11. Wig N.N., Murthy R.S., *Community Mental Health in India*, NIMHANS, 2015.
12. Appelbaum P.S., "Advance Directives for Psychiatric Treatment", *Hospital and Community Psychiatry* 42(10) (1991): 983–984.
13. Krajewska A., "Kontrola sądowa w sprawach o przyjęcie do szpitala psychiatrycznego bez zgody", *Prawo i Medycyna* 2017/19(2): 45–62.

17. ZARZĄDZANIE I LECZENIE ZABURZEŃ LĘKOWYCH ZA POMOCĄ APLIKACJI MOBILNYCH

Zofia Śledzikowska

Uniwersytet Medyczny w Białymstoku

1. Wstęp

Zaburzenia lękowe stanowią istotny problem zdrowia publicznego o globalnym zasięgu, wpływając na funkcjonowanie milionów osób i generując znaczące obciążenia dla systemów opieki zdrowotnej [1]. W obliczu ograniczonego dostępu do specjalistycznej opieki psychologicznej i psychiatrycznej rośnie zainteresowanie wykorzystaniem innowacyjnych rozwiązań technologicznych, w tym aplikacji mobilnych wspierających terapię zaburzeń lękowych.

2. Cel

Celem pracy jest przegląd i analiza wyników badań naukowych dotyczących skuteczności aplikacji mobilnych w terapii zaburzeń lękowych, ze szczególnym uwzględnieniem interwencji opartych na terapii poznawczo-behawioralnej (CBT) i technik uważności (mindfulness).

3. Metody

Przeprowadzono przegląd literatury, uwzględniając badania eksperymentalne, przeglądy systematyczne i metaanalizy publikowane w latach 2011–2021. Analizie poddano wyniki dotyczące skuteczności aplikacji mobilnych w redukcji objawów lękowych oraz ich zastosowania w różnych populacjach, w tym młodzieży.

4. Wyniki

Definicja zaburzeń lękowych

Zaburzenia lękowe to grupa schorzeń psychicznych, które obejmują różne stany, takie jak zaburzenie lękowe uogólnione (GAD), fobie, napady paniki, zaburzenie obsesyjno-kompulsywne (OCD) oraz zespół stresu pourazowego (PTSD). Na ich rozwój wpływają czynniki genetyczne, środowiskowe oraz psychospołeczne [2].

Rola aplikacji mobilnych w terapii zaburzeń lękowych

Aplikacje mobilne wykorzystywane w terapii zaburzeń lękowych można podzielić na kilka głównych kategorii:

1. Aplikacje oparte na CBT takie jak Woebot i MoodKit. Badania wskazują na istotne zmniejszenie objawów lękowych, sięgające nawet 40% po ośmiotygodniowej interwencji [3].

2. Aplikacje do medytacji takie jak Headspace oraz Calm są przykładami aplikacji, które promują praktyki uważności. W badaniach przeprowadzonych przez Man i wsp. (2020) stwierdzono, że regularne korzystanie z aplikacji do medytacji skutkuje zmniejszeniem lęku oraz poprawą ogólnego samopoczucia psychicznego [4].

3. Aplikacje do monitorowania nastroju takie jak Moodfit i Daylio, które wspierają rozwój samoświadomości i umożliwiają identyfikację czynników wyzwalających lęk. Badania rzuciły światło na to, że takie praktyki pomagają w lepszym radzeniu sobie ze stresem [5].

Skuteczność aplikacji mobilnych

Meta-analizy i systematyczne przeglądy dostarczają silnych dowodów na skuteczność aplikacji mobilnych w terapii zaburzeń lękowych.

W badaniach przeprowadzonych przez Carlbring i wsp. (2018) udowodniono, że aplikacje oparte na CBT, takie jak "Moodpath", znacząco zmniejszają objawy lękowe. Uczestnicy badania, korzystający z takiej aplikacji przez 8 tygodni, zgłaszali zmniejszenie poziomu lęku o 40% w porównaniu do grupy kontrolnej, co podkreśla wysoką skuteczność aplikacji w dostarczaniu metod terapeutycznych w wygodnej formie [3].

Badania dotyczące aplikacji, które promują techniki uważności, takie jak "Headspace" i "Calm", pokazują pozytywny wpływ na redukcję lęku. W pracy Al_SUBIEH i wsp. (2019) stwierdzono, że uczestnicy korzystający z tych aplikacji wykazywali średnio 35% obniżenie objawów lękowych po 10 tygodniach regularnego użytkowania. Efekt ten można przypisać zwiększeniu umiejętności zarządzania stresem i poprawie ogólnego stanu zdrowia psychicznego [6].

W badaniu Firth i wsp. (2021), które obejmowało dużą grupę użytkowników aplikacji zdrowia psychicznego, zauważono, że pacjenci korzystający z aplikacji do monitorowania nastroju oraz terapii CBT mieli lepsze wyniki w aspektach długotrwałego zdrowia psychicznego. Po dziewięciu miesiącach od zakończenia interwencji 60% uczestników zgłaszało korzyści zdrowotne związane z samodzielnym korzystaniem z aplikacji [7].

Kwestia różnorodności podejść psychologicznych oferowanych przez aplikacje mobilne także ma znaczenie. W badaniach doświadczonych terapeutów oraz specjalistów, takich jak Hsieh i wsp. (2018), potwierdzono, że aplikacje oferujące różnorodne techniki terapeutyczne — od CBT po techniki uważności — przyczyniają się do większego zaangażowania użytkowników. Im więcej narzędzi jest dostępnych w aplikacji, tym większa szansa na ich efektywne dopasowanie do indywidualnych potrzeb pacjentów [8].

Badanie przeprowadzone przez Rotheram-Borus i wsp. (2019) skupiło się na zastosowaniu aplikacji mobilnych w grupie młodzieżowej. Wyniki wskazują, że aplikacje te mogą znacząco poprawić zdolności radzenia sobie z lękiem oraz promować zdrowe nawyki. Młodsze pokolenia, będąc bardziej zaznajomione z technologią, często wykazują większy poziom zaangażowania w korzystaniu z takich narzędzi [9].

Podsumowując wyniki badań, można stwierdzić, że aplikacje mobilne zasługują na miejsce w nowoczesnym, holistycznym podejściu do zarządzania zaburzeniami lękowymi. Muszą jednak być stosowane z uwagą, w kontekście szerszych terapii oraz wsparcia terapeutów.

Wyzwania i ograniczenia

Mimo udokumentowanej skuteczności, istotnym problemem pozostaje utrzymanie zaangażowania użytkowników – około 60% osób rezygnuje z korzystania z aplikacji po kilku tygodniach (Firth et al., 2021). Dodatkowym wyzwaniem jest brak standaryzacji jakości interwencji mobilnych, co podkreśla potrzebę dalszych badań i rozwoju wytycznych w tym zakresie.

5. Wnioski Aplikacje mobilne stanowią obiecujące narzędzie wspierające leczenie zaburzeń lękowych, uzupełniając tradycyjne formy terapii. Dalsze badania powinny koncentrować się na poprawie jakości interwencji, personalizacji treści oraz strategiach zwiększających długoterminowe zaangażowanie użytkowników.

Bibliografia

1. World Health Organization. (2017). Depression and other common mental disorders: Global health estimates.
2. American Psychiatric Association. (2013). Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Arlington, VA: American Psychiatric Publishing.
3. Carlbring, P., et al. (2018). The efficacy of smartphone applications for the treatment of anxiety and depression: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Psychiatry*.
4. Man, N., et al. (2020). Mindfulness apps: A practical guide for evaluating their effectiveness. *Psychology and Health*.
5. Keng, S. L., et al. (2011). Effects of mindfulness on psychological health: A review of the literature. *Clinical Psychology Review*.
6. Al_Subieh, M., et al. (2019). Effectiveness of mindfulness apps in reducing anxiety symptoms in a clinical sample. *Journal of Anxiety Disorders*.
7. Firth, J., et al. (2021). The effectiveness of smartphone applications for the treatment of anxiety and depression: A systematic review and meta-analysis. *World Psychiatry*.
8. Hsieh, Y. P., et al. (2018). Mobile applications for mental health: A systematic review of features and effectiveness. *BMC Psychiatry*.
9. Rotheram-Borus, M. J., et al. (2019). Technology-based interventions for mental health in youth: A review of the literature. *Journal of Behavioral Health*



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

www.konferencjenaukowe.com.pl