ISSN 2451-2001

ZESZYTY

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO UNIWERSYTETU JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

ROK 2022 · TOM 31

CZĘŚĆ 2 (Nauki ścisłe i przyrodnicze, medyczne i o zdrowiu, rolnicze oraz inżynieryjno-techniczne)

POD REDAKCJĄ
Anety Węgierek-Ciuk

ZESZYTY

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO
UNIWERSYTETU JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

FASCICLES

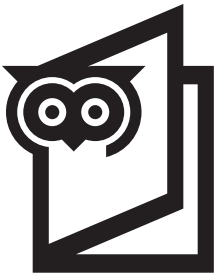
OF STUDENT SCIENTIFIC MOVEMENT
THE JAN KOCHANOWSKI UNIVERSITY IN KIELCE

ZESZYTY

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO UNIWERSYTETU JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

ROK 2022 · TOM 31

CZĘŚĆ 2 (Nauki ścisłe i przyrodnicze, medyczne i o zdrowiu, rolnicze oraz inżynieryjno-techniczne)



POD REDAKCJĄ
Anety Węgierek-Ciuk

Redaktor naczelny: dr hab. prof. UJK Stanisław Cygan
Z-ca redaktora naczelnego: dr Tomasz Łączek
Sekretarz redakcji: dr Janusz Krywult

Członkowie Zespołu Redakcyjnego:
dr Marcin Szplit
dr Janusz Krywult
dr Joanna Rogalska
mgr Marzena Sochacka
dr Michał Stachura
mgr Marcin Walczak
Dr Aneta Węgierek-Ciuk
dr hab. prof. UJK Artur Zieliński

Recenzenci:
dr Janusz Krywult
dr Aneta Marek
dr hab. prof. UŁ Zbigniew Rdzany
dr Joanna Rogalska
dr Michał Stachura
dr Aneta Węgierek-Ciuk
mgr Dariusz Wieczorek
dr hab. prof. UJK Artur Zieliński

Tłumaczenie
Biuro Tłumaczeń KMK
01-381 Warszawa, ul. Powstańców Śląskich 1/45

Opracowanie redakcyjne, korekta i układ typograficzny
Wydawnictwo Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach

Projekt logo
Krzysztof Stefaniuk

Copyright © by Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce 2022

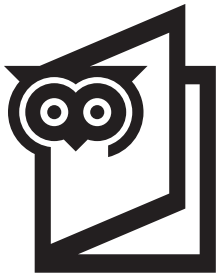
ISSN 2451-2001

Wydawca
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
ul. Żeromskiego 5, 25-369 Kielce
Centrum Nauki i Kultury UJK
ul. Śląska 15, 25-328 Kielce
tel. +41 349 78 95

FASCICLES

OF STUDENT SCIENTIFIC MOVEMENT THE JAN KOCHANOWSKI UNIVERSITY IN KIELCE

YEAR 2022 · VOLUME 31 PART 2 (NATURAL SCIENCES, MEDICAL AND HEALT SCIENCES, AGRICULTURAL SCENCES, TECHNOLOGY AND ENGINEERING)



EDITED BY
Aneta Węgierek-Ciuk

Chief Editor: Stanisław Cygan, PhD
Deputy Chief Editor: Tomasz Łączek, PhD
Secretary of the Editing Office: Janusz Krywult, PhD

Members of the Editorial Team:
Marcin Szplit, PhD
Janusz Krywult, PhD
Joanna Rogalska, PhD
Marzena Sochacka, MA
Michał Stachura, PhD
Marcin Walczak, MA
Aneta Węgierek-Ciuk, PhD
Artur Zieliński, PhD

Recenzenci:
Janusz Krywult, PhD
Aneta Marek, PhD
Zbigniew Rdzany
Joanna Rogalska, PhD
Michał Stachura, PhD
Aneta Węgierek-Ciuk, PhD
Dariusz Wieczorek, PhD
Artur Zieliński, PhD

Translator:
Biuro Tłumaczeń KMK
01-381 Warszawa, ul. Powstańców Śląskich 1/45

Publication and copy Editor, proof-reading, typesetter:
Publishing House of Jan Kochanowski University in Kielce

Projekt design:
Krzysztof Stefaniuk

Copyright © by Jan Kochanowski University in Kielce 2022

ISSN 2451-2001

Publisher
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
ul. Żeromskiego 5, 25-369 Kielce
Centrum Nauki i Kultury UJK
ul. Śląska 15, 25-328 Kielce
tel. +41 349 78 95

Spis treści

Wprowadzenie 11

Karolina Gałek, Zanik Jeziora Aralskiego jako skutek antropopresji 13

Kornecka Kamila, Czynniki wpływające na wzrost rozpełzły szczepów Proteus mirabilis 23

Wiktoria Krakowiak, Wpływ koraliny na promieniowrażliwość komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 i komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10 31

Krzysztof Kyzioł, Pozasłoneczne układy planetarne. Wyznaczanie ekosfer wybranych gwiazd 43

Aleksandra Leszczyk, Ewolucja doliny środkowej Pilicy okolic Fryszerki koło Tomaszowa Mazowieckiego od czasu zaniku lądolodu zlodowacenia Odry 57

Damian Litwin, Znaczenie dworca autobusowego w komunikacji Kielc 67

Anna Miążek, Problem występowania mikroplastiku w kosmetykach 81

Iga Moskalik, **Jadwiga Cempura**, Charakterystyka wtrąceń niemetalicznych w stopach na osnowie żelaza 89

Katarzyna Ochałek, **Magda Penar**, Postawa chorych wobec łysienia plackowatego a determinanty środowiska życia 101

Patrycja Półrolnik, Szkodliwe praktyki w epoce wiktoriańskiej a zdrowie człowieka 109

Filip Stanisławski i Ewelina Chyla, Wpływ palmatyny na promieniowrażliwość komórek niedrobnokomórkowego raka płuc – A549 121

Grzegorz Wesołowski, Dane cenzurowane – jak odtworzyć ukrytą informację statystyczną? 131

Contents

Introduction 12

Karolina Gałek, The disaster of the Aral Sea as the effect of anthropopressure 13

Kornecka Kamila, Factors affecting the swarming growth of Proteus mirabilis colonies 23

Wiktoria Krakowiak, The effect of coraline on radiosensitivity of MDA-MB-231 breast cancer cells and VH10 human fibroblast cells. 31

Krzysztof Kyzioł, Extrasolar planetary systems. Finding habitable zones around selected stars 43

Aleksandra Leszczyk, Evolution of the Middle Pilica Valley, the area of Fyszerka near Tomaszów Mazowiecki from the time of disappearance of the ice sheet of the Oder Glaciation 57

Damian Litwin, The importance of the bus station to communication in Kielce . . . 67

Anna Miążek, The problem of the presence of microplastics in cosmetics 81

Iga Moskalik, **Jadwiga Cempura**, The characteristics of non-metallic inclusions in iron-based alloys 89

Katarzyna Ochałek, **Magda Penar**, The attitude of patients towards alopecia areata (spot baldness) versus environmental determinants 101

Patrycja Półrolnik, Harmful practices in the Victorian era and human health 109

Filip Stanisławski, Ewelina Chyla, The effect of palmatine on the radiosensitivity of small cell lung cancer cells – A549 121

Grzegorz Wesołowski, Censured data – how to recreate hidden statistical information? 131

Wprowadzenie

Szanowni Państwo, przed Wami 31 tom Zeszytów Studenckiego Ruchu Naukowego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Pozycja składa się tradycyjnie z dwóch części. Pierwsza z nich mieści teksty dotyczące nauk humanistyczno-społecznych a jej redaktorem jest dr Tomasz Łączek. Autorami drugiej części są studenci różnych kierunków z zakresu nauk ścisłych i przyrodniczych, nauk medycznych i nauk o zdrowiu, nauk rolniczych oraz inżynieryjno-technicznych. Autorzy zamieszczonych w drugiej części tomu prac reprezentują pięć uczelni wyższych w Polsce co wskazuje na to, że możliwości publikacyjne w Zeszytach Studenckiego Ruchu Naukowego przykuwają uwagę studentów - adeptów, chcących podzielić się swoją wiedzą oraz własnymi wynikami badań. Nie byłoby tych prac bez udziału i poświęcenia opiekunów Studenckich Kół Naukowych, którzy niosą przysłowiowy „kaganek oświaty" oraz wspierają młodych naukowców.

Niniejszy tom – część II mieści ciekawy zakres tematyczny, począwszy od zagadnień biologicznych, poprzez fizykę, chemię, biotechnologię, geografię, pielęgniarstwo, filologię angielską skończywszy na metalurgii.

Mocno wierzę w to Drogi Czytelniku, że niniejsza lektura zabierze Cię do niesamowitego świata nauki, gdzie kręte ścieżki badawcze ulegają spełnieniu. Mam także nadzieję, że pozycja ta będzie inspiracją do dalszych poszukiwań, bo przecież tyle jeszcze jest do odkrycia.

Gorąco zachęcam do lektury obydwu części.

Aneta Węgierek-Ciuk

Introduction

Ladies and Gentlemen, you are looking at Volume XXXI of the Notebooks of the Student Scientific Association of Jan Kochanowski University in Kielce. This work is traditionally composed of two parts. Part one contains texts on humanities and social sciences, and its editor is Tomasz Łączek, Ph.D. The authors of part two are students of different majors, i.e., exact, natural, medical, health, agricultural as well as engineering and technical sciences. The authors of articles contained in part two represent five universities in Poland, which proves that the possibility of publishing articles in the Notebooks of the Student Scientific Association attract students – adepts wishing to share their knowledge and their own research results. These articles would not have been written without the participation and sacrifice of the tutors of Student Scientific Associations, who spread the light of education and support young scientists.

This volume – Part II, covers a range of interesting subjects, starting from Biology, to Physics, Chemistry, Biotechnology, Geography, Nursing, English Philology, and to Metallurgy.

I strongly believe, Dear Reader, that this volume will take you to the wonderful world of science, where the winding research paths lead to the achievement of goals. I also hope that this volume will be an inspiration for further research, because still so much remains to be discovered.

I encourage you with all my heart to read both parts.

Aneta Węgierek-Ciuk

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

KAROLINA GAŁEK
Studentka II roku turystyki i rekreacji, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe Turystyki „Bez Nazwy"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Students of the second year of Tourism and Leisure, first cycle studies
"No Name" Student Scientific Association of Tourism
Jan Kochanowski University of Kielce

Zanik Jeziora Aralskiego jako skutek antropopresji

The disaster of the Aral Sea as the effect of anthropopressure

Abstract: One of the most illustrative examples of the harmful effect of humans on the environment is the fast disappearance of the Aral Sea. In the sixties of the 20th century, this closed-drainage lake located in Uzbekistan and Kazakhstan ranked fourth among the lakes with the largest surface areas in the world. In that period, the ecological balance of this water region was drastically disturbed by changing the courses of rivers supplying it – the Amu Darya and the Syr Darya, and considerable water intake from them, for the purpose of water supply to newly established cotton plantations. The consequence of this action was not only a drastic decrease of its surface area, but also the economic crisis and serious health consequences among people living at nearby areas. Currently, the surface area of this lake is 80% smaller than 50 years ago (2009), and it is still shrinking. If the situation does not improve, it may ultimately lead to the complete disappearance of this water region..

Keywords: Aral Sea, South-West Asia, the Amu Darya, the Syr Darya, degradation

Wprowadzenie

W ciągu ostatnich stuleci w środowisku naturalnym zaszły ogromne zmiany. Mają one podłoże zarówno naturalne, jak i antropogeniczne. Ponadto oddziałują na wszelkie ekosystemy na Ziemi. Dotyczą one wielu zbiorników wodnych na całym świecie. Jednymi z najdelikatniejszych i najbardziej podatnych na tego typu zmiany są ekosystemy jeziorne (Choiński 2007).

Według Bajkiewicz-Grabowskiej i Mikulskiego (2008) jezioro to „naturalny zbiornik śródlądowy stanowiący wypełnione wodą zagłębienie terenu o brzegach ukształtowanych pod wpływem falowania i prądów wodnych, charakteryzujący się stosunkowo powolną wymianą wody". Z kolei jezioro reliktowe autorzy ci definiują jako zbiorni-

ki wodne, które „stanowią część dawnego morza lub rozległego jeziora". Specyfika ich szczególnego narażenia na negatywne oddziaływanie wiąże się z mnogością czynników, które są w stanie zachwiać równowagę w ekosystemie jeziornym. Należy uwzględnić nie tylko zagrożenia naturalne, takie jak niekontrolowany rozwój fitoplanktonu, bądź ekspansję gatunków obcych, ale także czynniki ryzyka związane z działalnością człowieka, np. nadmierne nawożenie pól uprawnych, powodujące spływ powierzchniowy środków chemicznych do zbiorników wodnych, wylesianie, a także rozwój przemysłu, który prowadzi do zanieczyszczania akwenów.

Obiekt, cel i metody badań

Obiektem analizy jest Jezioro Aralskie – zbiornik wodny znajdujący się na terenach północnego Kazachstanu oraz południowego Uzbekistanu. Na podstawie datowania izotopami uranu ustalono, że powierzchnia, w której później zgromadziły się wody tego akwenu, powstała pod koniec plejstocenu. Depresja była okresowo zalewana przez powodzie, a następnie wysuszana. Utworzona niecka wypełniła się w późniejszym okresie wodą z Amu-Darii (Micklin 2010). Przyczyną zdecydowanego zwiększenia rozmiarów zbiornika była zmiana kierunku przepływu Syr-Darii, która miała miejsce ok. 10 tysięcy lat temu. Ulegał on od tego momentu silnym zmianom powierzchni, czyniąc Jezioro Aralskie czwartym największym jeziorem na świecie, z powierzchnią ponad 66 tysięcy km^2 (Izhitskiy i in. 2016). Tym samym było to ok. 2,7% powierzchni wszystkich jezior na świecie (obliczenia własne na podstawie: Choiński 2000). Porównując dane z obecną powierzchnią Polski, zajęłoby to niemal 20% jej terytorium. Zmiana klimatu, który stawał się bardziej wilgotny i cieplejszy, wywołała szybsze topnienie lodowców i lądolodów w epoce holocenu. Doprowadziło to do przenoszenia większych ilości wody przez rzeki Amu-Daria i Syr-Daria (Bielecki 2010). W pewnym momencie jezioro połączyło się nawet z Morzem Kaspijskim, ponieważ jego wody przelały się przez dział wodny ww. zbiorników wodnych (Micklin 2010). Pod względem wielkości zlewni jezioro to znajduje się na 2 miejscu na Ziemi (rys. 1), z wielkością 1,62 mln km^2, za powierzchnią zlewni Morza Kaspijskiego, która jest równa 3,73 mln km^2 (Choiński 2000).

Rys. 1. Zlewnia Jeziora Aralskiego (Micklin 2007)

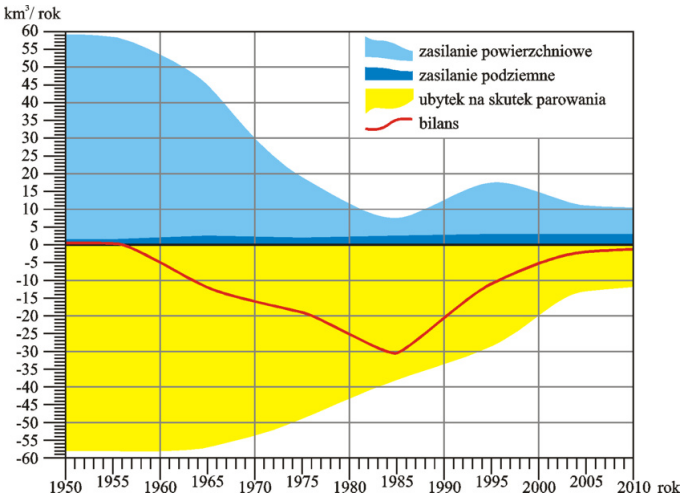
Ponadto jest to jezioro o dużej ilości wysp (ponad 1000), których łączna powierzchnia wynosi 2 345 km^2 (Choiński 2000). Zatem wskaźnik uwyspienia w roku 2000 sięgał 6,9% (obliczenia własne na podstawie Choiński 2000).

Wyniki badań

Pod koniec I wojny światowej władze Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich (ZSRR) podjęły decyzję, na mocy której tereny ówczesnych: Kazachskiej SRR, Uzbeckiej SRR oraz Turkmeńskiej SRR miały zostać przekształcone w pola bawełny. Aby plan ten mógł się powieść, potrzebne było stałe nawodnienie terenów, które zostały wyodrębnione na pustyni Kara-kum. W tym celu wzdłuż Amu-Darii i Syr-Darii wybudowano system kanałów nawadniających. Budowa niezgodna z zasadami sztuki hydrologicznej spowodowała, że większość wody z rzek wysychała, zanim dotarła do pól bawełny. Przyjmuje się, iż tylko do roku 1960 było to od 20 do 50 km^3 wody. Niemniej Uzbecka SRR jeszcze w 1 połowie XX wieku stała się największym producentem i eksporterem bawełny (rys. 2) na świecie (https://pl.wikipedia.org/wiki/Jezioro_Aralskie).

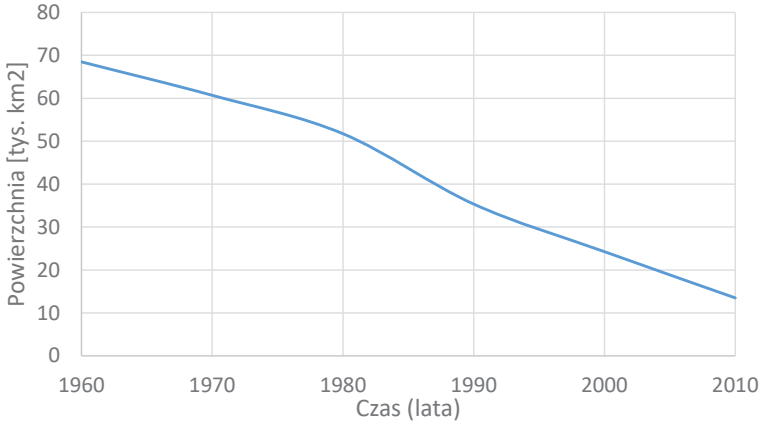
Rys. 2. Plantacja bawełny w Uzbekistanie
źródło: https://zpe.gov.pl/pdf/PKm1NkeYl

Nieszczelne kanały nawadniające spowodowały nadmierny odpływ wody z rzek. Budowane niezgodnie z zasadami sztuki hydrologicznej były powodem wsiąkania milionów litrów wody w ziemię, zanim dotarła do plantacji. Woda dostarczana przez rzeki do jeziora nie zdołała uzupełniać takiego ubytku. Doprowadziło to do drastycznego zmniejszania powierzchni akwenu, począwszy od lat 60. (ryc. 4 i 5). Tylko w latach 1960–1987 powierzchnia zmalała o 40% (Micklin 1988), zaś w zaledwie 49 lat (1960–2009) – ubyło 80% jego objętości. Ponadto z powodu zmiany klimatu oraz silnego pustynnienia ubytek wody wskutek parowania przewyższył dostawy wody (zarówno powierzchniowe, jak i podziemne), co przełożyło się na ujemny bilans wodny (rys. 3).

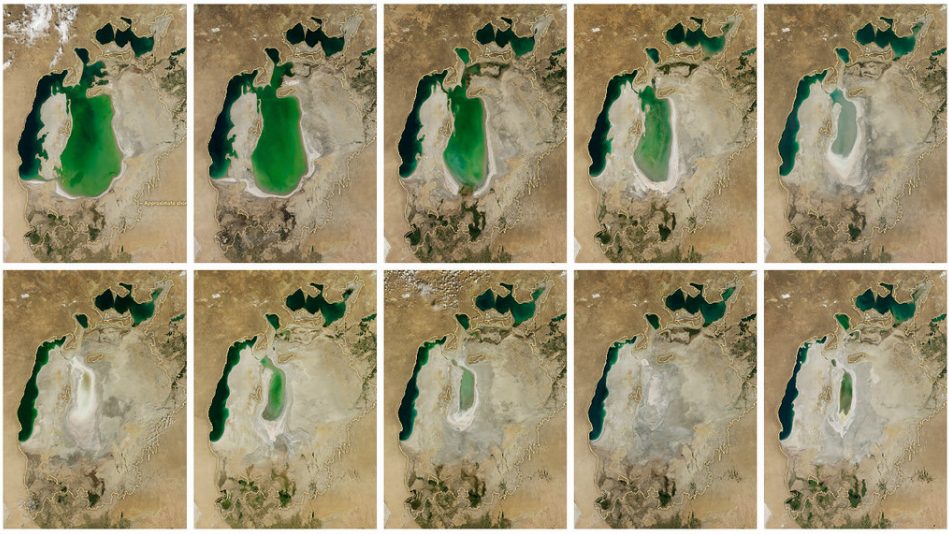


Rys. 3. Udział dostaw wody, ubytek oraz bilans wodny Jeziora Aralskiego na przestrzeni lat 1950-2010 (źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Jezioro_Aralskie)

Spowodowało to nie tylko problemy polegające na zubożeniu ekosystemu, który był miejscem bytowania wielu gatunków zwierząt i roślin, ale także wywołało problemy gospodarcze. Obniżający się poziom wód był istotnym utrudnieniem, a w późniejszym okresie uniemożliwił prawidłowe funkcjonowanie portów (rys. 4 i 5), które niegdyś pełniły rolę ośrodków rybołówstwa w regionie. Oddalenie wody od centrów zamieszkania ludzi doprowadziło do masowych migracji, a także zwiększenia stopy bezrobocia.

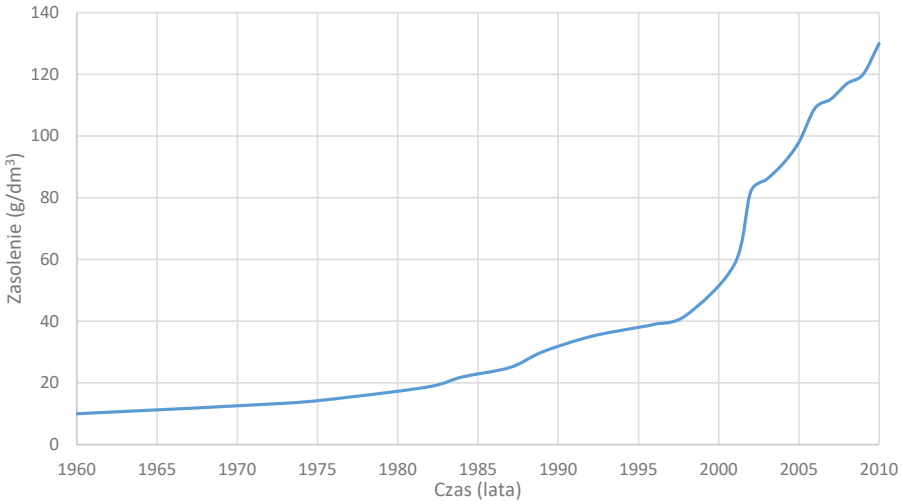


Rys. 4. Zmiany powierzchni Jeziora Aralskiego na przestrzeni lat 1960-2010
(opracowanie własne na podstawie Gaybullaev, Chen, Gaybullaev 2012)



Rys. 5. Zmiany powierzchni Jeziora Aralskiego w latach 2000-2018
(źródło: https://www.flickr.com/photos/145061502@N07/32982395945)

Kolejną zauważalną różnicą między ww. latami jest zmiana zasolenia akwenu (rys. 7). W latach 60. XX wieku średnie zasolenie było równe ok. 10 g/dm^3. Wtedy to teren zbiornika oraz delty rzek go zasilających były różnorodne pod względem flory i fauny. Należy wspomnieć, iż woda zmieniająca stan z ciekłego w gazowy paruje jako czysty monotlenek diwodoru, bez rozpuszczonych w roztworze cząsteczek. W związku z tym ubywające H_2O powodowało wzrost stężenia chlorku sodu (stanowiącego podstawowy składnik m.in. soli kuchennej) w „roztworze" – co spowodowało silny wzrost zasolenia Jeziora Aralskiego. W roku 2009 sięgało ono 130% zasolenia sprzed 49 lat, czyli 130 g/dm^3. Jest to wielkość zatrważająca, która pokazuje, w jaki sposób dochodzi do degradacji środowiska poprzez zaburzenie gospodarki wodnej oraz dostaw wody naturalnymi drogami (dopływy rzeczne). Większe stężenie soli w wodzie spowodowało zubożenie flory i fauny oraz zamieranie wielu gatunków roślin i zwierząt bytujących w jeziorze oraz na terenach przyległych. Zwiększyło się także zasolenie gleb, na których osiadały cząsteczki soli z obniżającego swój poziom akwenu. Skutkiem tego jest nie tylko ich wyjałowienie oraz zmniejszenie powierzchni terenów nadających się do wykorzystania w rolnictwie, ale także powstawanie burz piaskowych i solno-pyłowych, co z kolei wpływa na istotne utrudnienie funkcjonowania na pobliskich terenach i przyczynia się do powstawania wielu schorzeń.



Rys. 7. Zmiany zasolenia wód Jeziora Aralskiego na przestrzeni lat 1960-2010 (opracowanie własne na podstawie Gaybullaev, Chen, Gaybullaev 2012)

Klęska jeziora odbiła się także na zdrowiu mieszkańców okolic tego obszaru. Wspomniane burze piaskowe i solno-pyłowe oraz zanieczyszczenia w glebie (sól, środki ochrony roślin i pestycydy dostające się do niego na drodze dyfuzji oraz spływu powierzchniowego, m.in. DDT) (Nalepa i Sochala 2011), który jest bardzo trwałym związkiem chemicznym, praktycznie nierozkładalnym) istotnie zwiększyły ilość przypadków chorób. Oprócz zaburzeń układu oddechowego, jak gruźlica i astma, zauważono większą zachorowalność na anemię, a także padaczkę (ze względu na oddziaływanie toksyn na układ nerwowy) oraz zapalenie żołądka. Według naukowców z National Geographic Society zanieczyszczenia i pyły przyczyniają się także do poważnych zmian w materiale genetycznym osób zamieszkujących obszary w pobliżu Jeziora Aralskiego, które skutkują zwiększonym ryzykiem zachorowania na choroby nowotworowe. Ponadto zwiększyła się śmiertelność wśród noworodków i niemowląt. Częstszym zjawiskiem są również martwe urodzenia i deformacje płodów. Może to mieć związek ze wspomnianym dichlorodifenylotrichloroetanem (DTT), którego długotrwałe oddziaływanie na organizm ludzki może skutkować częstszymi poronieniami, bądź zmniejszeniem płodności (www.biologhelp.pl)

Co istotne, nie tylko wymienione wyżej składowe są możliwymi przyczynami zwiększonej zachorowalności wśród miejscowej ludności. Ogromnym zagrożeniem jest także opuszczone laboratorium biologiczne na Wyspie Odzyskania, gdzie od końca lat 40. XX wieku hodowano i przechowywano najgroźniejsze patogeny na ziemi, m.in. cholerę i wąglik. Od 2001 roku, w związku z ciągłym obniżaniem poziomu wody, wyspa zyskała połączenie z lądem, natomiast znajdujący się na jej terenie opuszczony obiekt wojskowy stał się narażony na niekontrolowane wtargnięcie osób postronnych. Szacuje się, iż ilość niezabezpieczonego odpowiednio materiału byłaby w stanie unicestwić życie na naszej planecie.

Rys. 8. Opuszczone laboratorium biologiczne Aralsk 7 na Wyspie Odrodzenia,
źródło: https://www.smartage.pl/aralsk-7-opuszczone-laboratorium-na-wyspie-odrodzenia/

Wnioski

Efekt działań człowieka w rejonie Jeziora Aralskiego uzmysławia nam, jak wiele szkód potrafi uczynić niewłaściwa gospodarka zasobami naturalnymi oraz chęć rozwoju gospodarczego nieuwzględniające podtrzymania równowagi środowiska. Mimo prób odwrócenia procesu wysychania tego akwenu (przez m.in. budowę zapór) wydaje się niemożliwe, aby udało się zrekompensować straty, jakie poczyniono w ekosystemie. Ma to przełożenie nie tylko na obecne otoczenie, ale również na daleką przyszłość, np. biorąc pod uwagę degradację materiału genetycznego miejscowej ludności oraz szerzące się schorzenia. Należy podkreślić, iż próba rozwoju gospodarczego jednego obszaru poskutkowała gwałtownym wzrostem bezrobocia oraz klęską gospodarczą terenów znajdujących się w relatywnie niedalekiej odległości od obszarów, na których wybudowano kanały nawadniające. Tragedia ta powinna skłonić społeczeństwo, rządy państw oraz duże przedsiębiorstwa do większej uważności w kontekście ochrony środowiska oraz planowania przyszłych inwestycji. Być może pozwoli to zminimalizować w jak największym stopniu ich zły wpływ na ekosystem.

Bibliografia:

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z. (2008), *Hydrologia ogólna*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 81-86.

Bielecki R. (2010), *Jezioro Aralskie – największa katastrofa ekologiczna minionego stulecia.* „Studia Geographica", 1, s. 6-13.
Choiński A. (2007), *Limnologia fizyczna Polski.* Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
Choiński A. (2000), *Jeziora kuli ziemskiej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
Gaybullaev B., Chen S., Gaybullaev D. (2012), *Changes in water volume of the Aral Sea after 1960*. "Applied Water Science" 2, s. 285-291.
Izhitskiy A. S., Zavialov P. O., Sapozhnikov P. V., Kirillin G. B., Grossart H. P., Kalinina O. Y., Zalota A. K., Goncharenko I. V., Kurbaniyazov A. K. (2016), *Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins,* "Scientific Reports" 6, 23906.
Micklin P. (1988), *Desiccation of the Aral Sea: A water management disaster in the Soviet Union*. "Science" 241, s. 1170-1176.
Micklin P. (2007), *The Aral Sea disaster.* The Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35, s. 47-72, https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140120.
Micklin P. (2010), *The past, present and future Aral Sea,* https://doi.org/10.1111/j.1440--1770.2010.00437.x.
Micklin P. (2016), *The future Aral Sea: hope and despair.* Environmental Earth Sciences, DOI: 10.1007/s12665-016-5614-5.
Nalepa T., Sochala C. (2011), *Wpływ bojowych środków biologicznych (BSB) na ludzi i ich środowisko naturalne,* „Wiedza Obronna" 4, s. 3-17.
cawater-info.net (dostęp: 1.03.2022).
https://www.flickr.com/photos/145061502@N07/32982395945 (dostęp: 30.04.2022).
https://pl.frwiki.wiki/wiki/Lac#Histoire_de_la_d%C3%A9finition (dostęp: 15.03.2022).
https://www.smartage.pl/aralsk-7-opuszczone-laboratorium-na-wyspie-odrodzenia/
(dostęp: 17.03.2022).
https://pl.wikipedia.org/wiki/Jezioro_Aralskie (dostęp: 25.03.2022).
Itrich M., www.ziemianarozdrozu.pl (dostęp: 17.03.2022).
Nowakowska M., www.igimag.pl (dostęp: 17.03.2022).
reliefweb.int (dostęp: 17.03.2022).
www.bezdroza.pl (dostęp: 01.03.2022).
www.national-geographic.pl (dostęp: 28.02.2022).
www.britannica.com (dostęp: 13.03.2022).
www.wikipedia.pl (dostęp: 03.02.2022).
https://zpe.gov.pl/pdf/PKm1NkeYl (dostęp: 21.03.2022).

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

KORNECKA KAMILA
Studentka II roku biotechnologii, studia II stopnia
Studenckie Koło Naukowe Biotechnologów „Mikroby"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the second year of Biotechnology, second cycle studies
"Microbes" Student Scientific Association of Biotechnologists
Jan Kochanowski University of Kielce

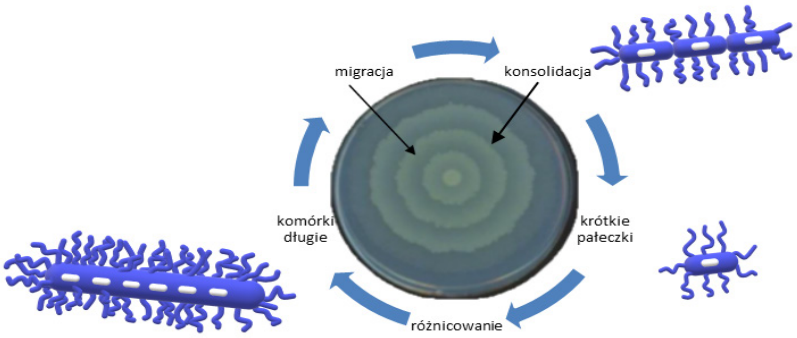
Czynniki wpływające na wzrost rozpełzły szczepów Proteus mirabilis

Factors affecting the swarming growth of Proteus mirabilis colonies

Abstract: Proteus mirabilis is an opportunistic pathogen causing urinary tract and respiratory tract infections and bacteriemy. The greatest threat is the colonisation of the urinary tract during long--term catheterisation. It is suggested that these bacteria, thanks to their capacity to swarm on the hard surface of the catheter, can get to upper organs and cause infections. Relevance of the swarming activity of P. mirabilis cells as a virulence factor is little known. This prevents effective treatment of patients. The article describes factors necessary for the swarming activity and those that control this process.

Keywords: Proteus mirabilis, swarming growth, swarming growth control.

Proteus mirabilis jest Gram-ujemną bakterią zaliczaną do patogenów oportunistycznych. Powoduje głównie infekcje dróg moczowych związane z długotrwałym cewnikowaniem. Jest znana ze zdolności wzrostu na powierzchniach stałych. W warunkach laboratoryjnych, w trakcie wzrostu na podłożu stałym, tworzy charakterystyczne uporządkowane pierścienie (Clemmer i Rather 2007). Wynika to z cyklicznie powtarzającego się zjawiska różnicowania się komórek pływających (ang. *swimmer cells*) w silnie urzęsione komórki długie (ang. *swarmer cells*), zdolne do aktywnej migracji (Rysunek 1) (Clemmer i Rather, 2007).



Rysunek 1. Schemat wzrostu rozpełzłego (ang. swarming phenomenon) Proteus mirabilis

źródło: Opracowanie własne na podstawie schematu Różalski i in. 2007, fot. Schaffer i Pearson 2015.

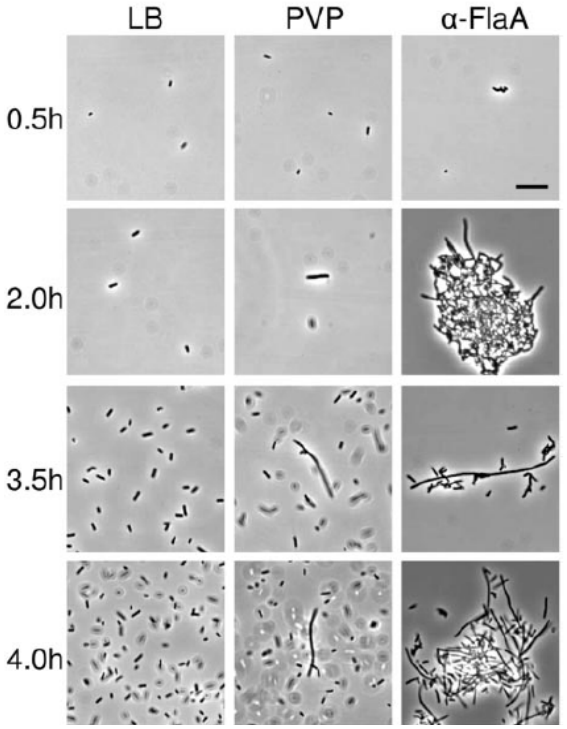
Migracja komórek jest procesem przejściowym i trwa około 1–2 h w 37°C. Po tym czasie komórki wracają do formy wegetatywnej i ruch ustaje w procesie konsolidacji. Konsolidacja była uważana za stan spoczynku komórek. Obecnie wiadomo, że w tym czasie bakterie są bardziej aktywne metabolicznie niż w czasie migracji, a także ogólna ekspresja genów jest wyższa. Po okresie konsolidacji komórki krótkie różnicują się z powrotem do komórek długich i cykl rozpoczyna się od nowa. Może się on powtarzać wiele razy, co spowoduje powstanie wyraźnie zarysowanych tras, które reprezentują okres rojenia i konsolidacji (Matsuyama i in. 2000).

W niniejszej pracy przedstawiono czynniki, które są niezbędne w czasie różnicowania i rojenia się komórek bakterii *Proteus miribilis,* oraz te, które ten proces regulują.

Wymagania środowiskowe konieczne do różnicowania się komórek

Hodowle bakterii *P. mirabilis* na różnego rodzaju podłożach, pozwoliły zaobserwować zjawisko rojenia jedynie na płytkach z dodatkiem agaru w stężeniu 1,5–2,0%. Podobnie jak u bakterii *Vibrio parahaemolyticus* proces ten można powiązać ze zjawiskiem zahamowania rotacji wici w lepkim podłożu (Morgenstein i in. 2010). Z dotychczasowych badań można wnioskować, że zarówno stałe podłoże jak i mutacje występujące w genach kodujących białka wici oraz wiązanie wici przez przeciwciała występujące w pożywce są impulsem do różnicowania się komórek pływających w komórki zdolne do migracji

(Belas i Suvanasuthi, 2005). Dla potwierdzenia tej teorii Belas i Suvanasuthi hodowali *P. mirabilis* w bulionie LB, bulionie LB z dodatkiem środka zagęszczającego – 15% PVP oraz w bulionie LB z dodatkiem króliczej surowicy odpornościowej przeciwko α-FlaA (Belas i Suvanasuthi 2005). Bakterie przekształciły się z krótkich komórek pływających w komórki długie tylko na podłożu z dodatkiem PVP i z dodatkiem surowicy (Fot. 1) (Belas i Suvanasuthi 2005). Stężenie agaru w podłożu także ma wpływ na jakość różnicowania się i rojenia komórek. Na płytkach o stężeniu agaru od 0,75% kolonie bakteryjne tworzą cienkie błony na powierzchni. W stężeniach od 1% do 2,5% agaru widoczne były zarysy stref roju i konsolidacji, które wraz ze wzrostem stężenia ulegały zwężeniu. Przy stężeniu 4% agaru komórki *P. mirabilis* nie wykazują zdolności do wzrostu rozpełzłego i nie migrują poza punkt inokulacji (Little i in., 2019)



Rysunek. 1 Zdjęcie hodowli Proteus mirabilis w bulionie LB (lewa kolumna), bulionie LB z dodatkiem 15% PVP (środkowa kolumna) i bulionie LB z dodatkiem króliczej surowicy odpornościowej przeciwko α-FlaA (prawa kolumna)

źródło: Belas i Suvanasuthi (2005).

Drugim czynnikiem, który ma kontakt z powierzchnią i ma wpływ na wzrost rozpełzły, jest lipopolisacharyd (LPS), który jest częścią błony zewnętrznej u bakterii Gram-ujemnych (Little i in. 2019). Podczas różnicowania się komórek, w kontakcie z powierzchnią stałą LPS przechodzi szereg zmian biochemicznych. Komórki długie posiadają więcej lipopolisacharydu o długim łańcuchu bocznym, a komórki krótkie więcej lipopolisacharydu z krótkimi łańcuchami bocznymi (Judith i in. 1979). Dodatkowo kontakt antygenu O z powierzchniami stałymi prowadzi do aktywacji kaskady genów kodujących wici, które są wymagane w ruchu komórek (Morgenstein i in. 2010). Potwierdzają to badania m.in. na mutantach posiadających zaburzenia w ekspresji genu *waaL*, który jest częścią LPS, oraz genu *ugd*, kodującego enzym dehydrogenazę urydynodifosforanowo-glukozową. Mutacje te prowadzą do zaburzeń w biosyntezie LPS i w konsekwencji do wywołania stresu w otoczce komórkowej, a w efekcie zaburzają szlaki odpowiedzialne za rozpoznanie gęstości powierzchni oraz wydłużanie i migrację komórek bakterii (Inoue i in. 2007).

Podczas wzrostu rozpełzłego na stałych powierzchniach ruch komórek bakterii ułatwia kwaśny polisacharyd powierzchniowy – cmf (ang. *colony migration factor*) (Różalski i in., 2007). Czynnik ten jest prawdopodobnym składnikiem zewnątrzkomórkowego śluzu, którym otoczone są bakterie podczas wzrostu. Nie ma on wpływu na proces różnicowania się komórek, jednak jest on niezbędny do efektywnego poruszania się bakterii, bo zmniejsza napięcie powierzchniowe komórek (Gygi i in. 1995). Porównanie szczepów dzikich i mutantów cmf pozwala stwierdzić, że u tych drugich pierścienie formowane w czasie migracji są rozmieszczone gęściej niż u szczepu dzikiego (Rather 2005). Produkcja tego śluzu jest zależna od gęstości komórek, dlatego jest on uważany za jeden z czynników inicjujących różnicowanie komórek (Toguchi i in. 2000). Dodatkowo śluz jest doskonałym środowiskiem dla cząsteczek sygnałowych wykorzystywanych do komunikowania się komórek między sobą. Cząsteczkami takimi mogą być polisacharydy powstające w trakcie syntezy antygenu O, polisacharydy otoczkowe – CPS lub glikolipidy. Sprzężone czynniki Cmf-CPS mogą zapewnić podstawę do migracji komórek, stabilizując kontakt między komórkami (Rahman i in. 1999).

Komunikacja komórkowa

Potocznie nazywana komunikacja pomiędzy komórkami bakterii to nic innego jak wydzielanie do środowiska niewielkich chemicznych cząsteczek – autodinduktorów. Ścisła nazwa tego zjawiska to *quorum sensing*, sygnalizator zagęszczenia. System ten bierze udział w regulacji ekspresji genów w zależności od gęstości komórek bakterii. Związki wydzielane przez bakterie, po osiągnięciu progowego stężenia, zmieniają ekspresję genów i tym samym regulują funkcjonowanie całej populacji (Myszka i Czaczyk 2010).

Jednym z sygnałów, które zaliczają się do czynników regulujących wzrost rozpełzły, jest putrescyna. W biosyntezie tego związku biorą udział m.in. dwa enzymy: SpeA i SpeB, które wspólnie przekształcają argininę w putrescynę (Morgenstein i in. 2010). Utrata jednego z nich prowadzi do opóźnienia różnicowania się komórek *P. mirabilis* o około 2–3 godz. (Sturgill i Rather 2004). Mimo, że mutanty pozbawione genów kodu-

jących powyższe białka wykazują opóźnienie w inicjacji wzrostu rozpełzłego, dodanie niewielkich ilości putrescyny do podłoża przywraca prawidłowe funkcjonowanie komórek (Sturgill i Rather 2004). Nie jest w pełni poznany mechanizm działania tego związku, jednak wiadomo, że nie wszystkie mutanty reagują na egzogenną putrescynę. Wstępne badania pokazują, że zapotrzebowanie na putrescynę następuję po wzmożonej ekspresji wici. U podwójnego mutanta pozbawionego genów *speA*/*speC* ekspresja rzęsek jest aktywowana w sposób prawidłowy. Dlatego wnioskuje się, że putrescyna może regulować geny odpowiedzialne za wydłużanie komórek (Morgenstein i in. 2010).

Drugim sygnałem, który ma wpływ na różnicowanie się komórek *P. mirabilis*, jest glutamina. W czasie hodowli na pożywce minimalnej *P. mirabilis* nie jest w stanie przekształcać swoich komórek pływających w komórki długie. Dodanie glutaminy do podłoża umożliwia inicjację różnicowania się komórek (Allison i in. 1993). Kolonie na takich pożywkach nie tworzą jednak koncentrycznych pierścieni, jakie są widoczne na pożywkach bogatych. Dokładny mechanizm działania glutaminy nie jest do końca poznany. Dodatkowo może on być różny u poszczególnych szczepów, ponieważ wyizolowano szczep, który nie reaguje na dodanie glutaminy na podłożu minimalnym (Morgenstein i in. 2010).

Trzecim sygnałem wpływającym na rojenie się komórek są kwasy tłuszczowe. Mogą one służyć jako sygnały regulujące wzrost rozpełzły *P. mirabilis*. W badaniach przeprowadzonych przez Liaw i in. (2004) dowiedziono, że niektóre z kwasów (np. kwas oleinowy) wspomagają proces rojenia, a niektóre (np. kwas mirystynowy, kwas laurynowy, kwas palmitynowy i kwas stearynowy) hamują ten proces (Liaw i in. 2004). Mechanizm, jaki wykorzystują bakterie do regulowania rojenia za pomocą kwasów tłuszczowych, nie jest jednoznaczny. Niektóre z nich (np. kwas mirystynowy, kwas palmitynowy i kwas laurynowy) hamowały migrację poprzez szlak zależnego od białka sygnałowego RsbA, a kwas stearynowy hamował proces migracji niezależnie od RsbA (Liaw i in. 2004).

Geny odpowiedzialne za wzrost rozpełzły

Jednym z ważniejszych czynników, które regulują wzrost rozpełzły, jest operon kodujący flagellinę (białko budujące rzęskę) klasy I, zbudowany z genów *flhDC*. Poziom ekspresji tego operonu silnie wzrasta podczas różnicowania się komórek krótkich w komórki wydłużone o zwiększonej liczbie rzęsek. Natomiast populacje komórek bakterii ze sztuczną nadekspresją *flhDC* migrowały znacznie szybciej (Furness i in. 1997). Wpływ na ten operon ma wiele czynników, które przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Czynniki wpływające na wzrost rozpełzły Proteus mirabilis. Źródło: Opracowanie własne na podstawie (Morgenstein, Szostek, i in., 2010; Rather, 2005).

Gen	**Regulacja wzrostu rozpełzłego**
lrp	Mutacja w tym genie powoduje brak możliwości wydłużenia się komórek oraz hamuje ekspresje genów *flaA*
ppa	Mutacja tego genu powoduje obniżenie poziomu transkrypcji genów *flhDC* i *lrp*
Geny *umoA, umoB, umoC, umoD*	Mutacje w tych genach skutkują obniżeniem poziomu ekspresji genu *flhDC,* Mutacja w genie *umoD* skutkuje całkowitą utratą roju, a mutacje w *umoA* i *umoC* mają nieznaczny wpływ na rojenie
Geny *mrp*	Hamują ekspresję genu *flhDC*, aktywują ekspresję genów kodujących fimbrie
wosA	Nadekspresja tego genu zwiększa poziom ekspresji *flhDC*, w zależności od punktu w cyklu roju. Poziom *flhDC* wzrastają też w hodowli płynnej, jednak w mniejszym stopniu
rsmA	Nadekspresja tego genu hamuje wzrost rozpełzły i różnicowanie się komórek przez wpływ na stabilność mRNA w komórkach, a silna nadekspresja powoduje całkowite zahamowanie wzrostu *P. mirabilis*. RsmA może oddziaływać z systemem Rcs
disA	Nadekspresja tego genu hamuje różnicowanie komórek i wzrost rozpełzły oraz blokuje syntezę mRNA genów należących do 2 i 3 klasy. Nie wpływa na ekspresję genu *flhDC*. Ale nadekspresja disA w szczepie z nadekspresją *flhDC* dalej skutkuje całkowitym zahamowaniem wzrostu
lon	Mutacja w tym genie powoduje powstanie komórek długich w podłożu płynnym oraz wzrost ekspresji genu *flhD*C
System regulatorowy *Rcs*	System Rsc hamuje ekspresję genów *flhDC*

Naturalne substancje hamujące wzrost Proteus mirabilis

Jedną z substancji, która była badana pod kątem wpływu na wzrost rozpełzły, jest resweratrol (3,5,4-trihydroksy-trans-stilben). Jest to naturalny związek z grupy izoflawonoidów wytwarzany przez rośliny. Można go znaleźć także w winach czerwonych i winogronach oraz w orzeszkach ziemnych. Wykazano, że związek ten ma działanie przeciwzapalne, przeciwwirusowe, przeciwutleniające i antyproliferacyjne. W przepro-

wadzonych badaniach zaobserwowano, że resweratrol hamował wzrost rozpełzły przy stężeniu wynoszącym 15μg/ml, a w przypadku stężenia 60μg/ml całkowicie blokował migrację *P. mirabilis* (Wang i in. 2006).

Drugą z substancji jest 10'(Z), 13'€-heptadekadienylohydrochinon (HQ 17-2), który został wyizolowany z drzewa lakowego *Rhus succedanea*. Po przebadaniu zaobserwowano, że substancja ta hamowała wzrost rozpełzły już przy stężeniu 36,3μM i nie wpływała na w żaden sposób na wzrost komórek bakteryjnych. Znaleziono także zależność pomiędzy inhibicją wzrostu rozpełzłego przez ten związek i obecnością genu *rsbA* (Liu i in. 2012).

Podsumowanie

Wiedza na temat wzrostu rozpełzłego przez ostatnie kilka lat bardzo się poszerzyła. Można to zawdzięczać coraz nowszym technologiom analitycznym oraz możliwości dokładniejszego sekwencjonowania genomów. Jednak nadal widać ogromne braki w poszczególnych kwestiach. Pewnym jest, że kluczową rolę we wzroście rozpełzłym ma ekspresja genów regulowanych przez operon *flhDC*. Istnieje też kaskada genów, które wpływają dodatnio na te geny (*lrp, umo, wosA*) oraz te, które wpływają ujemnie (*Rcs*, *RppAB, mrp, rsmA, lon, disA*). Oprócz czynników indukowanych przez same komórki bardzo wiele czynników środowiskowych wpływa na wzrost rozpełzły – od odpowiedniego podłoża, przez cząstki sygnałowe i odpowiednie zagęszczenie komórek, po naturalne substancje hamujące ruch bakterii.

Zważywszy na to, że wzrost rozpełzły jest jednym z istotnych czynników warunkujących chorobotwórczość *P. mirabilis*, racjonalne wydaje się podejście mające na celu pełne zrozumienie molekularnych mechanizmów zjawiska. Wiedza ta może w przyszłości być wykorzystana w celu projektowania nowoczesnych metod terapeutycznych, które mogłyby zastąpić coraz mniej skuteczne antybiotyki.

Bibliografia:

Belas, R., Suvanasuthi, R. (2005), The ability of Proteus mirabilis to sense surfaces and regulate virulence gene expression involves fliL, a flagellar basal body protein. *Journal of Bacteriology*, *187*(19), 6789-6803.

Clemmer, K.M., Rather, P.N. (2007), Regulation of flhDC expression in Proteus mirabilis. *Research in Microbiology*, *158*(3), 295-302.

Clive Allison, Hsin-Chih Lai Daniel Gygi, C. H. (1993), Cell differentiation of Proteus mirabilis is initiated by glutamine, a specific chemoattractant for swarming cells. *Molecular Microbiology*, *8*(1), 53-60.

Furness, R.B., Fraser, G.M., Hay, N.A., Hughes, C. (1997). Negative feedback from a Proteus class II flagellum export defect to the flhDC master operon controlling cell division and flagellum assembly. *Journal of Bacteriology*, *179*(17), 5585-5588.

Gygi, D., Rahman, M.M., Lai, H.C., Carlson, R., Guard-Petter, J., Hughes, C. (1995), A cell-surface polysaccharide that facilitates rapid population migration by differentiated swarm cells of Proteus mirabilis. *Molecular Microbiology*, *17*(6), 1167-1175.

Inoue, T., Shingaki, R., Hirose, S., Waki, K., Mori, H., Fukui, K. (2007), Genome-wide screening of genes required for swarming motility in Escherichia coli K-12. *Journal of Bacteriology*, *189*(3), 950-957.

Armitage, J.P., Smith, D.G., Rowbury,R.J. (1979), Alterations in the cell envelope composition of Proteus mirabilis during the development of swarmer cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, *584*(3), 389-397.

Liaw, S. J., Lai, H. C., Wang, W. B. (2004), Modulation of swarming and virulence by fatty acids through the RsbA protein in Proteus mirabilis. *Infection and Immunity*, *72*(12), 6836-6845.

Little, K., Austerman, J., Zheng, J., Gibbs, K.A. (2019), Cell shape and population migration are distinct steps of proteus mirabilis swarming that are decoupled on high-percentage agar. *Journal of Bacteriology*, *201*(11), 1-15.

Liu, M.C., Lin, S. Bin, Chien, H.F., Wang, W.B., Yuan, Y.H., Hsueh, P.R., Liaw, S.J. (2012), 10′(Z),13′(E)-Heptadecadienylhydroquinone Inhibits Swarming and Virulence Factors and Increases Polymyxin B Susceptibility in Proteus mirabilis. *PLoS ONE*, *7*(9), 1-11.

Matsuyama, T., Takagi, Y., Nakagawa, Y., Itoh, H., Wakita, J., Matsushita, M. (2000), Dynamic aspects of the structured cell population in a swarming colony of Proteus mirabilis. *Journal of Bacteriology*, *182*(2), 385-393.

Morgenstein, R.M., Clemmer, K.M., Rather, P.N. (2010), Loss of the waaL O-antigen ligase prevents surface activation of the flagellar gene cascade in Proteus mirabilis. *Journal of Bacteriology*, *192*(12), 3213-3221.

Morgenstein, R.M., Szostek, B., Rather, P.N. (2010), Regulation of gene expression during swarmer cell differentiation in Proteus mirabilis. *FEMS Microbiology Reviews*, *34*(5), 753-763.

Myszka, K., Czaczyk, K. (2010), Mechanizm quorum sensing jako czynnik regulujący wirulencję bakterii gram-ujemnych. *Postepy Higieny i Medycyny Doswiadczalnej*, *64*, 582-589.

Rahman, M.M., Guard-Petter, J., Asokan, K., Hughes, C., Carlson, R.W. (1999), The structure of the colony migration factor from pathogenic Proteus mirabilis. A capsular polysaccharide that facilitates swarming. *Journal of Biological Chemistry*, *274*(33), 22993-22998.

Rather, P.N. (2005), Swarmer cell differentiation in Proteus mirabilis. *Environmental Microbiology*, *7*(8), 1065-1073.

Różalski, A., Kwil, I., Torzewska, A., Baranowska, M., Stączek, P. (2007), Bakterie z rodzaju Proteus – cechy i czynniki chorobotwórczości Proteus bacilli : Features and virulence factors. *Postepy Hig Med Dosw.*, *61*, 204-219.

Sturgill, G., Rather, P.N. (2004). Evidence that putrescine acts as an extracellular signal required for swarming in Proteus mirabilis. *Molecular Microbiology*, *51*(2), 437-446.

Toguchi, A., Siano, M., Burkart, M., Harshey, R.M. (2000), Genetics of swarming motility in Salmonella enterica serovar Typhimurium: Critical role for lipopolysaccharide. *Journal of Bacteriology*, *182*(22), 6308-6321.

Wang, W.B., Lai, H.C., Hsueh, P.R., Chiou, R.Y.Y., Lin, S. Bin, Liaw, S.J. (2006), Inhibition of swarming and virulence factor expression in Proteus mirabilis by resveratrol. *Journal of Medical Microbiology*, *55*(10), 1313-1321.

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

WIKTORIA KRAKOWIAK
Studentka II roku biologii; studia doktoranckie
Studenckie Koło Naukowe Radiobiologów „Curie"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the second year of Biology, doctorate studies
"Curie" Student Scientific Association of Radiologists
Jan Kochanowski University of Kielce

Wpływ koraliny na promieniowrażliwość komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 i komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10

The effect of coraline on radiosensitivity of MDA-MB-231 breast cancer cells and VH10 human fibroblast cells.

Abstract: Protoberberine alkaloids are the final products of amino acid metabolism and they are isolated from plants. Currently, attempts are made to synthesise the above compounds in laboratories, at the same time changing their structure to achieve better biological properties. This was the case of coraline, the structure of which resembles that of berberine, but its molecule is completely flat. Coraline has been proven to have anti-cancer properties. Due to these properties, it seems that coraline could act as a radiosensitising agent in anti-cancer therapies. There are very few reports of coraline's possible effect in combination with UV radiation on healthy cells and cancer cells. In order to test the effect of coraline in combination with UVC radiation on MDA-MB-231 breast cancer cells and VH10 skin fibroblasts, an apoptosis test and a test showing cell decomposition in cell cycle were performed using flow cytometry. The results obtained so far point out to significant differences between respective tests.

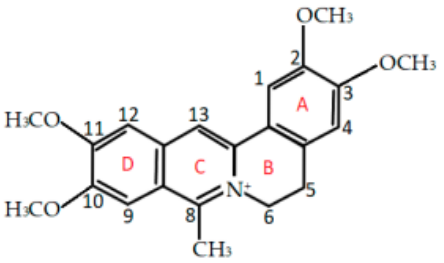
Keywords: protoberberine alkaloids, radiosensitising agent, UVC radiation, flow cytometry.

Wprowadzenie:

Alkaloidy są to organiczne zasadowe związki chemiczne o cyklicznej budowie, które zawierają w swojej budowie strukturalnej azot. Są to metabolity wtórne, wytwarzane przez organizmy żywe takie jak bakterie, grzyby czy rośliny, które są powszechnie obecne w przyrodzie. Alkaloidy są bardzo zróżnicowane pod względem budowy i każdy z nich ma odmienne właściwości farmakologiczne. Oprócz tego, wykazują się charak-

terystyczną aktywnością biologiczną i korelacją struktura–aktywność (Grycova 2007). Wynika to z wiązania się do kwasów nukleinowych, co aktualnie jest obszarem badań na pograniczu biologii i chemii. Pośród wielu alkaloidów pochodzenia roślinnego najbardziej rozprzestrzenioną grupą są te, które mają w swojej budowie strukturalnej szkielet izochinolinowy. Jedną z grup posiadających taką budowę są alkaloidy protoberberynowe. Wykazują się szeroką aktywnością zarówno pod kątem biologicznym, jak i chemicznym. Ich działanie obejmuje hamowanie syntezy DNA, biosyntezy białek, zmniejszanie przepuszczalności błony komórkowej, jak i rozprzęganie fosforylacji oksydacyjnej. Procesy te prawdopodobnie warunkują występowanie toksycznych właściwości protoberberyn skierowanych przeciwko bakteriom, grzybom, owadom czy też innym roślinom. Interakcje tych związków z DNA oraz hamowanie działania odwrotnej transkryptazy mogą być odpowiedzialne za inhibicję rozwoju fagów i innych wirusów. Protoberberyny są szkodliwe dla owadów przez ich interakcje z neuroreceptorami, hamowanie ATPazy i wiązanie z mikrotubulami. Ponadto alkaloidy protoberberynowe mają hamujący wpływ na biosyntezę katecholamin (Bhadra 2010).

Jedną z syntetycznych protoberberyn jest koralina. Wykazuje wiele różnorodnych właściwości farmakologicznych i biologicznych. Ma działanie bakteriobójcze, przeciwnowotworowe oraz przeciwbiałaczkowe. Koralina jest związkiem chemicznym, która przy węglu ósmym szkieletu protoberberynowego ma dołączoną grupę metylową (Gatto 1996). W przeciwieństwie do palmatyny i berberyny ma częściowo nasycone wiązania w pierścieniu organicznym, co powoduje, że ma płaską strukturę. Związek ten jest proponowany do leczenia białaczek limfocytowych. Oprócz tego, hamuje działanie enzymów takich jak metylotransferazę tRNA i odwrotną transkryptazę wirusów RNA powodujących nowotwory. Koralina wykazuje również selektywną cytotoksyczność w odniesieniu do niektórych linii komórek nowotworowych w podobnym stopniu jak przy białaczkach (Pilch 1997). Zasugerowano, że główną rolę w przeciwbiałaczkowych właściwościach koraliny odgrywa jej zdolność do interkalacji z DNA, ponieważ dzięki temu usuwa i zmienia działanie bakteriofaga PM-2 DNA. Koralina działa także toksycznie na topoizomerazy Topo-I i Topo-II. Tak samo jak palmatyna i berberyna powoduje pod wpływem promieniowania uszkodzenia DNA w genie pBR322 (Ihmels 2006). Zauważono również, że pod wpływem promieniowania ultrafioletowego właściwości przeciwnowotworowe koraliny są wyraźnie zwiększone, co w rezultacie prowadzi do wywołania zależnego od kinazy II punktu kontrolnego fazy S oraz do apoptozy komórek niezależnej od białka p53, które aktywuje mechanizmy naprawcze DNA. Dalsze badania wykazały, że uwrażliwienie komórek nowotworowych koraliną na promieniowanie ultrafioletowe, objawiające się silną indukcją apoptozy, jest powiązane z aktywacją kinazy p38 MAP i szlaku białka X związanego z BCL-2 (Węgierek-Ciuk 2021).



Rycina 1. Wzór strukturalny koraliny. (*Źródło: Węgierek-Ciuk, 2021)*

Ze względu na wyżej wymienione właściwości alkaloidy protoberberynowe mogą być wykorzystane w fotochemioterapii. Koralina jest jednym z najbardziej obiecujących promieniouwrażliwiaczy pośród protoberberyn. Terapia fotodynamiczna (PDT) jest uznawana za mało inwazyjną i nietoksyczną strategię leczenia wielu schorzeń, w tym także nowotworów. Jednakże PDT jest tylko skuteczną metodą terapii w przypadku nowotworów bez przerzutów. Dzięki temu fotochemioterapia, która łączy w sobie właściwości chemioterapeutyczne i właściwości promieniouwrażliwiające leku, może zapewnić zdecydowanie lepsze możliwości w leczeniu nowotworów.

Promieniowanie UVC, które zostało wykorzystane do badań, jest nazywane nadfioletem dalekim o długości fali od 100–180nm. To promieniowanie praktycznie nie występuje w środowisku naturalnym, ponieważ jest ono pochłaniane przez atmosferę. Promieniowanie UVC jest używane w fotochemioterapii razem z UVA i UVB, ponieważ ma charakter fotochemiczny. Przy zbyt dużej ekspozycji organizmu człowieka na promieniowanie UVC może dojść do stanów zapalnych rogówki czy spojówki czy nawet do rozwoju nowotworu oka.

Cel pracy

Eksperyment miał na celu zbadanie właściwości promieniouwrażliwiających koraliny względem komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 oraz komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10 potraktowanych promieniowaniem UVC. W celu zbadania wpływu koraliny na komórki potraktowane promieniowaniem UVC wykonano test apoptozy oraz test pokazujący rozkład komórek w poszczególnych fazach cyklu komórkowego. Badania wykonano za pomocą cytometrii przepływowej. Badano wpływ dwóch różnych stężeń substancji na komórki napromieniane, jak i na te nietraktowane promieniowaniem UVC. Celem było również porównanie wpływu koraliny i jej właściwości promieniouwrażliwiających na komórki nowotworowe i komórki prawidłowe.

Materiały i metody

Do badań wykorzystano dwie linie komórkowe: linię komórkową nowotworu piersi MDA-MB-231 oraz linię prawidłową fibroblastów skóry VH10. Hodowlę komórkową MDA-MB-231, jak i VH10 prowadzono w pożywce Dulbecco, która jest zmodyfikowaną wersją Eagle Medium (DMEM). Pożywki tych dwóch linii różniły się jednak zawartością glukozy. W celu odpowiedniego wzrostu komórek VH10 zawartość glukozy w pożywce została zwiększona do 4,5g/ml. W przypadku MDA-MB-231 do prawidłowego wzrostu wystarczyła standardowa ilość glukozy 1g/ml. DMEM w przypadku obu linii zawierał również aminokwasy (L-glutaminę) oraz antybiotyk.

Wysiewano na szalki $5*10^5$ komórek MDA-MB-231 i VH10 na 5 ml hodowli, po czym zostawiano je na 2 dni w inkubatorze, aby osiągnęły odpowiednią konfluencję w celu prowadzenia dalszych badań. Następnie do odpowiednich szalek dodawano koralinę w stężeniach 5 µm/ml i 25 µm/ml. Ważne było, aby chronić koralinę przed światłem, ponieważ związek ten jest wysoce światłoczuły, dlatego też dodawano go w ciemności. Inkubowano komórki 24h w inkubatorze, po czym traktowano je promieniowaniem UVC o mocy 100 J/s (czas napromieniania: 84s). Po napromienieniu komórki ponownie inkubowano przez 24h. Po upływie tego czasu odpowiednio przygotowywano komórki do badania oraz analizy przebiegu cyklu komórkowego jak i poziomu apoptozy komórek.

Cykl komórkowy jest to ciąg procesów, które zachodzą w komórkach i prowadzą do jej podziału. Dzieli się on na poszczególne fazy: G1, S i G2, czyli tak zwaną interfazę, gdzie komórka przygotowuje się do podziału oraz fazę M, w której zachodzi właściwy podział komórki – kariokinez (podział jądra komórkowego) i cytokineza (podział cytoplazmy). W celu zbadania cyklu komórkowego, komórki muszą być odpowiednio wcześniej przygotowane. W przypadku obu linii komórkowych protokół przeprowadzenia eksperymentu był taki sam. W pierwszym etapie komórki odrywano trypsyną od dna szalki, a następnie przenoszono zawiesinę do probówek i wirowano w wirówce (900obr./10min). Zlewano nadsącz i przemywano komórki dwukrotnie PBSem, przy czym po każdym przemyciu je wirowano. Następnie, po ostatnim wirowaniu zlewano nadsącz, a następnie mieszając osadzone komórki w probówce na vortexie dodawano powoli 3 ml zimnego 80%-owego etanolu w celu utrwalenia komórek. Potem inkubowano je w 4ºC przez godzinę. Po upływie tego czasu, komórki zwirowywano i przemywano PBSem. Kolejno, zlewano nadsącz i zawieszono komórki w 300 µl 1-krotnie stężonego jodku propidyny, po czym przenoszono zawiesinę do probówek cytometrycznych dodając 10 µl enzymu RNAzy. Następnie, inkubowano komórki przez 30 minut w 37ºC w ciemności. Po upływie tego czasu próbki badawcze były gotowe do analizy na cytometrze przepływowym.

Kolejnym wykonanym testem był test apoptozy. Apoptoza jest to programowana śmierć komórki, przy której budowa morfologiczna komórki ulega daleko idącym zmianom. Test ten ma za zadanie podzielić komórki na cztery populacje: komórki żywe, komórki wczesno apoptotyczne, komórki późnoapoptotyczne i komórki nekrotyczne. Dzięki temu można określić jaki wpływ ma koralina na śmiertelność komórek i ich strukturę. Wyodrębnienia danych populacji komórek jest możliwe dzięki dodaniu aneksyny V (A) sprzężonej z barwnikiem fluorescencyjnym i jodku propidyny (PI). W przypadku tego eksperymentu zamiast jodku propidyny dodano barwnik AAD-7, który ma te same

właściwości co PI, ale przy badaniu na cytometrze daje inny kolor po wzbudzeniu. Jest to spowodowane obecnością koraliny, która wytwarza ten sam kolor co PI i na histogramie nakładałyby się te dwa związki, a dzięki użyciu AAD-7 uniknięto tego problemu. W celu odpowiedniego przygotowania komórek do badania apoptozy odrywano komórki od szalki, po czym zawiesinę przelewano do probówki. Następnie, zawiesinę komórek wirowano w wirówce (900 obr./min) i zlewano nadsącz. Dodawano 3 ml PBSu i wirowano kolejny raz. Po ponownym wylaniu nadsączu, do każdej probówki z komórkami dodawano 100 µl Binding Bufor i mieszano zawiesinę na vortexie. Kolejnym etapem było przenoszenie 100 µl zawiesiny komórek do probówek cytometrycznych, do których dodawano 5 µl aneksyny i 5 µl AAD-7. Ponownie mieszano zawiesinę, po czym inkubowano komórki 15 minut w ciemności. Po upływie tego czasu można było zacząć analizę na cytometrze. Poddawano analizie 20 000 komórek z zawiesiny.

Cytometria przepływowa jest jedną z podstawowych technik analitycznych wykorzystywanych do prowadzenia badań przeżywalności komórek oraz dystrybucji komórek w cyklu komórkowym. Umożliwia również badania cyklu mitotycznego komórek nowotworowych czy diagnostykę niektórych chorób autoimmunologicznych. Cytometria pozwala na pomiar rozproszonego światła lub fluorescencji odpowiednio naświetlonych komórek. Dzięki rejestrowaniu światła rozproszonego przez detektory cytometr może określić parametry komórki, takie jak wielkość, kształt czy ziarnistość, a następnie odpowiednio je posegregować. Wyniki pomiarów są przedstawiane w postaci histogramu lub tabeli. W eksperymencie użyto cytometru przepływowego typu BD LSR II.

Wyniki

Wyniki badań zostały przedstawione w poniższych tabelach. Zestawione zostały wyniki z obu testów osobno dla każdej linii komórkowej. Przeprowadzono 3 niezależne powtórzenia dla każdej z prób badawczych, co pozwoliło na przeanalizowanie wpływu koraliny na komórki nowotworowe MDA-MB-231 i komórki prawidłowe VH10.

Tabela 1. Przeżywalność komórek nowotworowych MDA-MB-231 w poszczególnych próbach badawczych

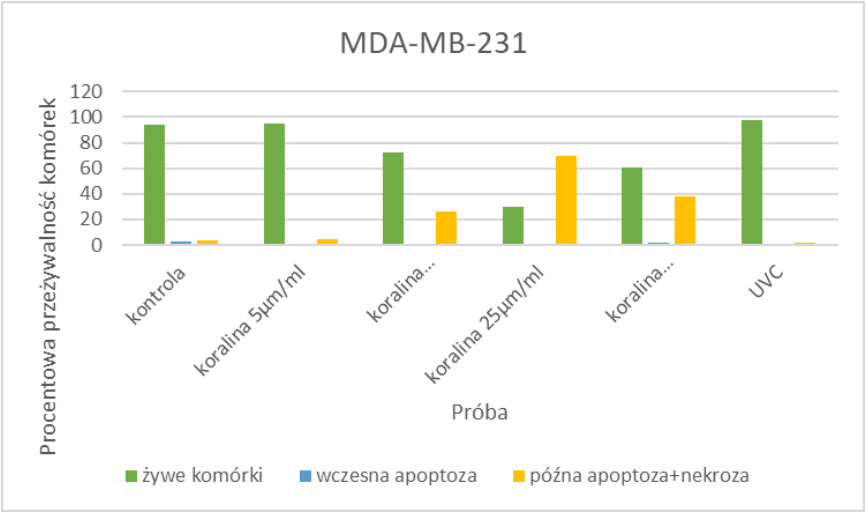
Próba	**Q1**	**Q2**	**żywe komórki**	**wczesna apoptoza**	**późna apoptoza+nekroza**
kontrola					
1	1,1	1,9	95,8	1,2	3
2	2	1,8	94,7	2,5	3,8
3	1,5	2	92	4,5	3,5
Przeżywalność	1,53+/-0,45	1,9+/-0,1	94,17+/-1,96	2,73+/-1,66	3,43+/-0,4
koralina 5µm/ml					
1	3,3	0,9	95,5	0,3	4,2

2	3,2	1	95,4	0,4	4,2
3	3	1,3	95	0,7	4,3
Przeżywalność	3,17+/-0,15	1,07+/-0,21	95,3+/-0,26	0,47+/-0,21	4,23+/-0,06
koralina 5µm/ml+UVC					
1	9,6	16,8	72	1,6	26,4
2	10	17,1	71,4	1,5	27,1
3	9	17,4	73	0,6	26,4
Przeżywalność	9,53+/-0,5	17,1+/-0,3	72,13+/-0,81	1,23+/-0,55	26,63+/-0,4
koralina 25µm/ml					
1	64,4	5,2	30,2	0,1	69,6
2	64,6	5,3	29,9	0,1	69,9
3	64	5	30,9	0,1	69
Przeżywalność	64,33+/-0,31	5,17+/-0,15	30,33+/-0,51	0,10	69,5+/-0,46
koralina 25µm/ml+UVC					
1	15,5	20,2	62,6	1,7	35,7
2	16,9	20,9	60,5	1,7	37,8
3	17,3	22,5	58,5	1,7	39,8
Przeżywalność	16,57+/-1,18	21,2+/-1,18	60,53+/-2,05	1,70	37,77+/-2,05
UVC					
1	0,6	1	98,2	0,2	1,6
2	0,9	1,1	97,7	0,3	2
3	1,1	1,2	97,3	0,4	2,3
Przeżywalność	0,87+/-0,25	1,1+/-0,1	97,73+/-0,45	0,3+/-0,1	1,97+/-0,35

Źródło: badania własne

Wyniki badań z testu apoptozy odnoszące się do komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 zostały przedstawione w tabeli 1. Średnie wyniki przeżywalności komórek z poszczególnych prób zostały przedstawione poniżej na wykresie 1. Wartości odchyleń standardowych nie są duże, co oznacza, że pomiędzy powtórzeniami nie było dużych różnic w wynikach. Można zauważyć, że najmniejsza ilość komórek żywych była w próbie, gdzie dodano koralinę o stężeniu 25 µm/ml bez napromieniania UVC. W tej próbie również była największa ilość komórek w późnej apoptozie i nekrozie. W próbie z dodaną koraliną o stężeniu 25 µm/ml i potraktowanych promieniowaniem UVC również duży udział był komórek późnoapoptotycznych i nekrotycznych. Zwiększona ilość tej populacji była również zauważalna w próbie z dodaną koraliną o stężeniu 5 µm/ml i napromienionych UVC. W próbie, która została potraktowana tylko promieniowaniem UVC nie zauważono wzrostu populacji komórek w późnej apoptozie i nekrozie w porównaniu do kontroli. Taki wynik potwierdza, że koralina zwiększa promieniowrażliwość komórek nowotworowych MDA-MB-231 na działanie promieniowania UVC.

Wykres 1. Średnia przeżywalność komórek nowotworowych MDA-MB-231 w poszczególnych próbach



Źródło: badania własne

Tabela 2. Przeżywalność komórek prawidłowych VH10 w poszczególnych próbach badawczych

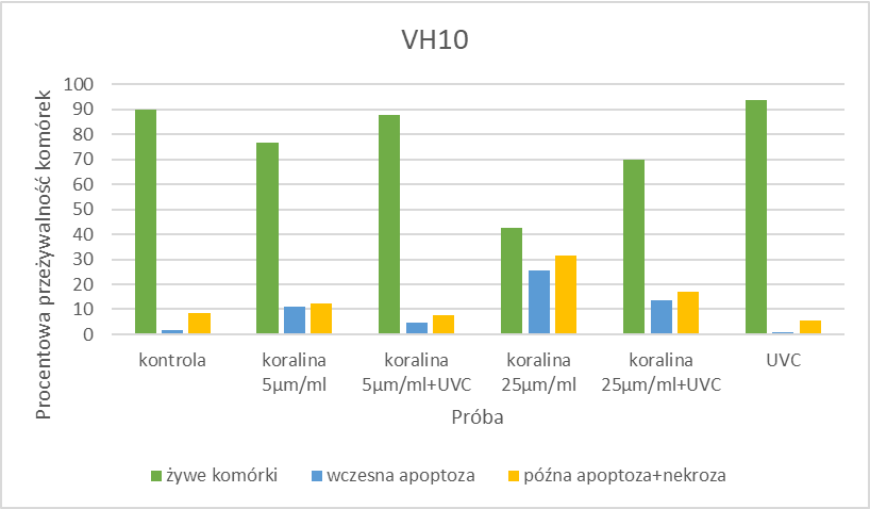
Próba	Q1	Q2	żywe komórki	wczesna apoptoza	późna apoptoza +nekroza
kontrola					
1	4,3	3,6	90,4	1,8	7,9
2	4,8	3,6	89,8	1,8	8,4
3	5,2	3,4	89,7	1,6	8,6
Przeżywalność	4,77+/-0,45	3,53+/-0,12	89,97+/-0,38	1,73+/-0,12	8,3+/-0,36
koralina 5µm/ml					
	2,7	9,4	76,3	11,6	12,1
2	3,2	9,6	75,8	11,3	12,8
3	3,9	8,3	77,4	10,5	12,2
Przeżywalność	3,27+/-0,6	9,1+/-0,7	76,5+/-0,82	11,13+/-0,57	12,37+/-0,38
koralina 5µm/ml+UVC					
1	2,9	4,6	88	4,5	7,5
2	3,2	4,5	87,5	4,8	7,7
3	3,8	4,2	87,4	4,5	8
Przeżywalność	3,3+/-0,46	4,43+/-0,21	87,63+/-0,32	4,6+/-0,17	7,73+/-0,25

koralina 25µm/ml					
1	5,1	26,4	43,2	25,3	31,5
2	5,7	25,9	42,6	25,7	31,6
3	6,3	25,5	42,6	25,6	31,8
Przeżywalność	5,7+/-0,6	25,93+/-0,45	42,8+/-0,35	25,53+/-0,21	31,63+/-0,15
koralina 25µm/ml+UVC					
	4,7	12,2	69,6	13,5	16,9
2	5,1	12,2	69,1	13,6	17,3
3	5,7	10,6	70,5	13,2	16,3
Przeżywalność	5,17+/-0,5	11,67+/-0,92	69,73+/-0,71	13,43+/-0,21	16,83+/-0,5
UVC					
1	3,4	1,8	94,1	0,8	5,2
2	4	1,7	93,4	0,8	5,7
3	4,1	1	94,3	0,6	5,1
Przeżywalność	3,83+/-0,38	1,5+/-0,44	93,93+/-0,47	0,73+/-0,12	5,33+/-0,32

Źródło: badania własne

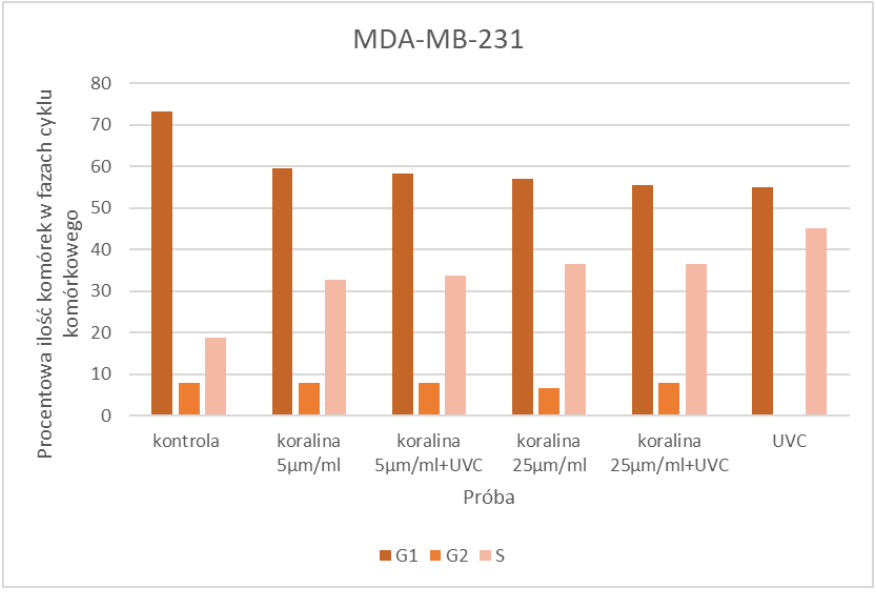
W przypadku komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10 wyniki z testu apoptozy zostały zestawione w tabeli 2. Średnie wartości przeżywalności komórek zostały zestawione poniżej, na wykresie 2. Tak samo jak i w przypadku komórek MDA--MB-231, wartości odchyleń standardowych nie były duże, także nie było dużej różnicy w wynikach pomiędzy poszczególnymi próbami w różnych powtórzeniach. W przypadku VH10 najwięcej komórek w późnej apoptozie i nekrozie było w próbie z dodaną koraliną o stężeniu 25 µm/ml. W tej próbie również największa była populacja komórek we wczesnej apoptozie, natomiast najmniej było komórek żywych w porównaniu do innych prób. Próba z dodaną koraliną o stężeniu 25 µm/ml i potraktowana promieniowaniem UVC była druga pod względem zwiększonej ilości komórek w populacji późnoapoptocznej i nekrotycznej. Jednakże można stwierdzić w przypadku komórek prawidłowych, że dodanie do nich koraliny powodowało zwiększenie populacji komórek w późnej apoptozie i nekrozie. Próby, gdzie oprócz dodania koraliny były traktowane również promieniowaniem UVC, miały mniejszą ilość komórek w późnej apoptozie i nekrozie niż próby z samą dodaną koraliną. Świadczy to o tym, że koralina nie uwrażliwia komórek prawidłowych na działanie promieniowania UVC i sama jest bardziej szkodliwa dla komórek niż w połączeniu z promieniowaniem. Zaskakującym wynikiem jest to, że próba poddana tylko promieniowaniu UVA miała najmniejszą liczebność komórek znajdujących się we wczesnej apoptozie i najwyższą wartość komórek żywych.

Wykres 2. Średnia przeżywalność komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10 w poszczególnych próbach



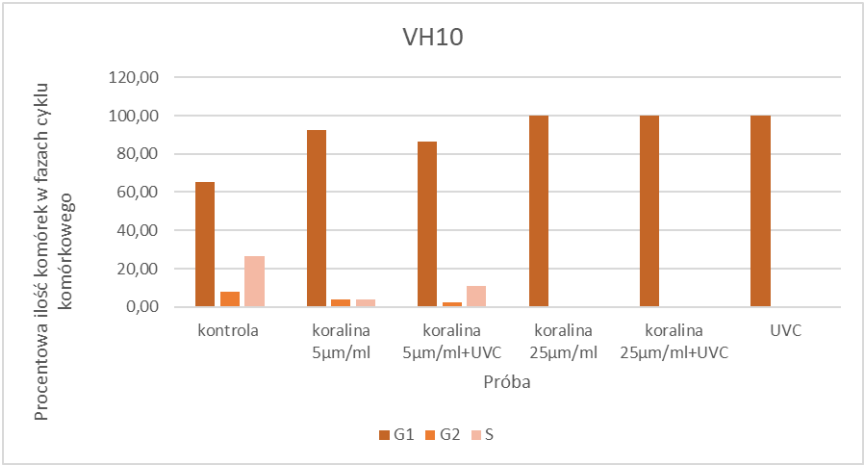
Źródło: badania własne

Wykres 3. Średnia procentowa ilość komórek w fazach cyklu komórkowego w poszczególnych próbach – komórki nowotworowe MDA-MB-231



Źródło: badania własne

Wykres 4. Średnia procentowa ilość komórek w fazach cyklu komórkowego w poszczególnych próbach – komórki prawidłowe VH10



Źródło: badania własne

Dystrybucję komórek w poszczególnych fazach cyklu komórkowego przedstawiono na wykresie 3. dla komórek nowotworowych MDA-MB-231 i na wykresie 4. dla komórek prawidłowych VH10. Histogramy uzyskane na cytometrze przepływowym zostały poddane analizie w programie ModFit, dzięki czemu uzyskano procentowe wartości ilości komórek w poszczególnych fazach cyklu komórkowego. Na wykresach pokazano uśrednione wartości procentowego udziału komórek w fazach G1, G2 i S. W przypadku MDA-MB-231 (wykres 3.) można zauważyć, że zmniejszyła się ilość komórek w fazie G1, a zwiększyła w fazie S cyklu komórkowego po zastosowaniu koraliny bez względu na jej stężenie. Największy wzrost zauważono jednak w próbie, gdzie dodano koralinę o stężeniu 25 µm/ml i potraktowano promieniowaniem UVC. W przypadku próby, gdzie tylko napromieniono komórki, zauważono zastopowanie komórek w cyklu w fazie S interfazy. W odniesieniu do komórek prawidłowych VH10 (wykres 4.), można stwierdzić, że dodanie koraliny o stężeniu 25 µm/ml hamuje je w cykl komórkowym i komórki nie mają możliwości podziału. Tak samo jest w przypadku, gdy potraktujemy je promieniowaniem UVC. W próbach, gdzie użyto koraliny o stężeniu 5 µm/ml, dalej komórki ulegają podziałowi, jednakże jest znaczne zmniejszenie ilości komórek w fazie S i G2 cyklu komórkowego, co świadczy o hamującym wpływie koraliny na podziały komórek prawidłowych.

Wnioski

Zarówno test apoptozy, jak i dystrybucja komórek w poszczególnych fazach cyklu komórkowego zostały wykonane w trzech niezależnych powtórzeniach dla obu linii komórkowych – MDA-MB-231 i VH10. W przypadku komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 z otrzymanych wyników z testu apoptozy jasno wynika, że koralina uwrażliwia je na działanie promieniowania UVC, o czym świadczy zwiększona ilość komórek w późnej apoptozie i nekrozie. Można również zauważyć, że lepiej uwrażliwia na działanie promieniowania koralina w stężeniu 25 μm/ml. W przypadku komórek prawidłowych VH10 wyniki nie wskazują jednoznacznie na promieniouwrażliwiający charakter koraliny, ponieważ zaskakujące jest to, że próby, w których dodano samą koralinę miały większą ilość komórek późnoapoptotycznych i nekrotycznych niż te, do których dodano koralinę i potraktowano promieniowaniem UVC. Wynika z tego, że koralina w skojarzeniu z promieniowaniem UVC działa toksycznie na komórki nowotworowe, nie powodując przy tym uszkodzeń komórek prawidłowych co w odniesieniu do guza nowotworowego jest bardzo dobrym wynikiem, ponieważ fotochemioterapia z użyciem koraliny mogłaby zniszczyć komórki nowotworowe guza oszczędzając przy tym komórki zdrowe, znajdujące się na marginesie guza. Odnosząc się do cyklu komórkowego można łatwo zauważyć, że zastosowanie koraliny i promieniowania UVC hamuje podziały komórek prawidłowych VH10 i powoduje zatrzymanie w cyklu w fazie G1. W przypadku komórek nowotworowych MDA-MB-231, zwiększyła się ilość komórek w fazie S cyklu komórkowego w próbach, gdzie zastosowano koralinę i promieniowanie UVC. W celu lepszego zrozumienia otrzymanych wyników potrzeba jest przeprowadzenia dalszych badań.

Bibliografia

Grycova L., Dostal J., Marek R. (2007), *Quaternary protoberberine alkaloids*. Phytochemistry 68: 150-75.

Bhadra K., Kumar G.S. (2010), *Therapeutic potential of Nucleic Acid-Binding Isoquinoline Alkaloids: Binding Aspects and Implications for Drug Design.,* Wiley.

Gatto B., Sanders M.M., Yu C., Wu H.Y., Makhey D., La-Voie E.J., Liu L.F. (1996), *Identification of topoisomerase I as the cytotoxic target of the protoberberine alkaloid coralyne*., Cancer Res. 56:2795-2800.

Pilch D.S., Yu C., Makhey D., LaVoie E.J., Srinivasan A.R., Olson W.K., Sauers R.R., Breslauer K.J., Geacintov N.E., Liu L.F. (1997), *Minor groove-directed and intercalative ligand-DNA interactions in the poisoning of human DNA topoisomerase I by protoberberine analogs*., Biochemistry 36: 12542-2553.

Ihmels H., Salbach A. (2006), *Efficient photoinduced DNA damage by coralyne*., Photochem. Photobiol. 82:1572-1576.

Węgierek-Ciuk A., Arabski M., Ciepluch K., Brzóska K., Lisowska H., Czerwińska M., Stępkowski T., Lis K., Lankoff A. (2021), *Coralyn radiosensitizes A549 cells by upregulation of CDKN1A expression to attenuate radiation induced G2/M block of the cell cycle.,* Int. J. Mol. Sci., 22, 5791.

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

KRZYSZTOF KYZIOŁ
Student II roku fizyki technicznej, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe Astronomów „Kwazar"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the second year of Technical Physics, first cycle studies
"Quasar" Student Scientific Association of Astronomers
Jan Kochanowski University of Kielce

Pozasłoneczne układy planetarne. Wyznaczanie ekosfer wybranych gwiazd

Extrasolar planetary systems. Finding habitable zones around selected stars

Abstract: The article presents the problem of determining star's ecosphere and an initial selection of planets in terms of possible appearance of life on them. The first part of the paper presents the method of detecting exoplanets and introduces key notions necessary to understand the mathematical model of star's ecosphere determination. The last but most important parts of the article concerned the used of the presented methods in determining the boundaries of ecosphers of the studied stars.

Key words: exoplanet, effective temperature, radiation force, transit, stars

Wstęp

Ziemia przez tysiące lat była traktowana jako uprzywilejowany obiekt we Wszechświecie, przyznawano jej centralne położenie. Pogląd ten utrzymywał się długo i został obalony dopiero w 1543 r., kiedy to wydano drukiem dzieło Mikołaja Kopernika *De revolutionibus orbium coelestium*. Teoria ta całkowicie zmieniła postrzeganie Wszechświata, w którym Ziemia nie zajmuje już wyjątkowej pozycji. W oparciu o zasadę kopernikańską swoje poglądy formułował włoski filozof Giordano Bruno, który twierdził, że gwiazdy są ciałami niebieskimi podobnymi do Słońca i podobnie jak ono otoczone są przez planety, które krążą dookoła nich. Jest to historycznie pierwsza wzmianka o pozasłonecznych planetach.

Wraz z rozwojem astronomii pogląd o istnieniu egzoplanet zaczęło podzielać wielu naukowców. W XX wieku zdawano już sobie sprawę, że nie można znaleźć logicznych argumentów, by podtrzymać tezę, iż układ planetarny wokół Słońca jest jedynym we Wszechświecie. Przełom nastąpił dopiero w 1992 r., kiedy wyniki swoich obserwacji ogłosił polski astronom Aleksander Wolszczan. Zaobserwował on dwie planety w pobliżu pulsara PSR B1257+12 [16]. W kolejnych latach w pobliżu tego pulsara odkryto kolejną planetę [9].

Odkrycia Wolszczana wzbudziły nadzieje na istnienie wielu układów planetarnych w pobliżu pulsarów, które okazały się jednak złudne, gdyż do tej pory odkryto jedynie 6 planet krążących wokół pulsarów na ponad 4000 odnalezionych egzoplanet [22]. Natomiast obiekty te obserwowane są w pobliżu innych typów gwiazd, co z kolei wymaga stosowania alternatywnych metod badawczych.

Metody detekcji egzoplanet

Bezpośrednie obserwacje egzoplanet są możliwe tylko w nielicznych przypadkach. Z tego powodu odnalezienie planety wokół gwiazdy wymaga zastosowania bardziej zaawansowanych metod, jak metoda tranzytów, fotometrii światła odbitego oraz emitowanego, mikrosoczewkowania grawitacyjnego, czy chociażby metody pomiarów prędkości radialnych.

1. Metoda tranzytów

Metodę tę stosujemy, gdy planeta przechodzi przed tarczą gwiazdy z punktu widzenia obserwatora. Obserwacja tranzytu jest możliwa w przypadku, gdy inklinacja i orbity planety jest zbliżona do kąta prostego. Uściślając, tranzyt możemy zaobserwować, gdy podczas dolnej koniunkcji planety iloczyn jej odległości od gwiazdy $r(t_c)$ oraz cosinusa inklinacji jej orbity jest nie większy od sumy promienia gwiazdy R_* oraz promienia planety R_p, otrzymując [2]:

$$r(t_c)\cos i \leq R_* + R_p \tag{1}$$

Gdy planeta przechodzi przed tarczą gwiazdy obserwuje się spadek jasności tej gwiazdy. Jest on stosunkowo niewielki, lecz przy pomocy precyzyjnych przyrządów możliwy jest jego pomiar. Gdy spadek obserwowanej jasności gwiazdy powtarza się cyklicznie, oznacza to, że wokół gwiazdy krąży egzoplaneta. Metoda tranzytów jest szczególnie skuteczna w przypadku dużych planet krążących blisko danej gwiazdy, ponadto umożliwia wyznaczenie rozmiarów planety, gdy średnica gwiazdy oraz promień orbity planety są znane. Przy pomocy tej metody zaobserwowano większość znanych egzoplanet (do tej pory aż 3780) w ramach misji Kepler.

2. Fotometria światła emitowanego oraz odbitego

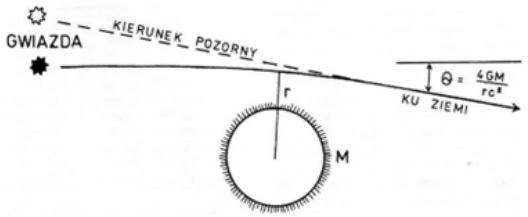
Planety nie emitują promieniowania z zakresu światła widzialnego, lecz jedynie odbijają część światła docierającego do ich powierzchni emitowanego przez gwiazdę. Podczas ruchu planety po orbicie wokół gwiazdy ilość promieniowania odbitego przez planetę i docierającego do obserwatora zmienia się cyklicznie. Dlatego mamy możliwość rozróżnienia poszczególnych faz planety [11]. Egzoplanety znajdujące się w pobliżu gwiazd są jednak niezwykle oddalone od Ziemi i obserwacja ich faz nie jest możliwa w większości przypadków, nawet przy pomocy najnowocześniejszych teleskopów. Zmiany jasności obserwowane, gdy planeta jest w różnych fazach są jednak na tyle duże, że jesteśmy w stanie zarejestrować je przy pomocy urządzeń fotometrycznych. Ponieważ zmiany jasności powtarzają się w regularnych odstępach, w pobliżu badanej gwiazdy można stwierdzić obecność planety. Przy wykorzystaniu tej metody zaobserwowano kilka planet przy użyciu teleskopów COROT oraz Kepler.

3. Mikrosoczewkowanie grawitacyjne

Jak przewiduje Ogólna Teoria Względności (OTW), trajektoria fotonów w pobliżu silnego źródła pola grawitacyjnego ulega zmianie. Tor fotonu po przejściu w pobliżu masywnego ciała ulega odchyleniu o kąt θ (patrz Rys. 1), którego wartość wyrażana jest równaniem [7]:

$$\theta = \frac{4GM_*}{rc}\,2 \tag{2}$$

gdzie, M_* - masa gwiazdy, r - odległość promienia świetlnego od źródła w miejscu ugięcia, $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s - prędkość światła w próżni;



Rysunek 1. Odchylenie wiązki promieniowania w polu grawitacyjnym ciała o masie M.

Źródło: Rysunek pochodzi z pracy T. Jarzębowskiego [7].

Gdy na linii pomiędzy obserwowaną gwiazdą a Ziemią znajdzie się inna gwiazda, nazywana gwiazdą soczewkującą, to fotony emitowane przez obserwowaną gwiazdę ulegają odchyleniu w polu grawitacyjnym gwiazdy soczewkującej. W efekcie odnotowujemy zauważalne, nawet kilkukrotne zwiększenie jasności obserwowanej gwiazdy.

W przypadku gwiazd, dla których znane są średnice, masy oraz odległości od Ziemi, jesteśmy w stanie precyzyjnie przewidywać efekty liniowego ułożenia tych gwiazd z Ziemią i zmiany jasności w oparciu o OTW. Może się jednak zdarzyć, że przewidywania te odbiegają od rzeczywistych obserwacji. Dzieje się tak, gdy w pobliżu gwiazdy

soczewkującej znajdują się inne ciała niebieskie, które możemy utożsamiać z planetami obiegającymi daną gwiazdę. Odchylanie promieni świetlnych w polu grawitacyjnym egzoplanet jest jednak efektem na tyle subtelnym, że do jego zaobserwowania konieczne jest spełnienie warunku, aby promienie świetlne przebiegały bardzo blisko danej planety, co zachodzi jednak stosunkowo rzadko.

Statystycznie możemy odnotować to zjawisko raz do roku na około 100 tysięcy obserwowanych gwiazd.

Metoda mikrosoczewkowania grawitacyjnego została zastosowana na szeroką skalę w projekcie OGLE (The Optical Gravitational Lensing Experiment). Jak do tej pory tą metodą odkryto 129 egzoplanet [20].

4. Metoda pomiarów prędkości radialnych gwiazd

Jest to jedna z najskuteczniejszych metod wykrywania egzoplanet, przy pomocy której odkryto

915 takich obiektów. Polega ona na precyzyjnych obserwacjach zmian położenia gwiazdy w czasie. Oczywiście pomiarów tych nie można prowadzić metodami bezpośrednimi, z uwagi na ogromne odległości dzielące gwiazdy od Ziemi. Pomiarów dokonuje się w oparciu o analizę widmową promieniowania emitowanego przez gwiazdę. Należy pamiętać, że w przypadku, gdy w pobliżu gwiazdy znajduje się planeta, to oba ciała krążą wokół wspólnego środka masy [10]. W ramach tego cyklicznego ruchu raz prędkość radialna gwiazdy wzrasta, a raz maleje. Zmiany te można obserwować poprzez pomiary długości fal docierających do obserwatora w oparciu o zjawisko Dopplera. Prędkość radialną v_r możemy opisywać poniższym równaniem, nie uwzględniając efektów relatywistycznych, co ma uzasadnienie w przypadku typowych prędkości radialnych gwiazd (ok. 10 – 100 m/s) [10].

$$vr \approx \frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} c \tag{3}$$

gdzie, λ_{obs} – mierzona przez obserwatora długość fali promieniowania emitowanego przez gwiazdę, λ_0 – długość tej samej fali, której źródło nie porusza się względem obserwatora;

Ekosfera gwiazdy

Poprzez ekosferę gwiazdy rozumiemy obszar wokół niej, w którym możliwe jest występowanie na powierzchni planety wody w stanie ciekłym [13]. Położenie egzoplanety w obszarze ekosfery jest kluczowym warunkiem, który musi zostać spełniony przy poszukiwaniu śladów życia na jej powierzchni. O możliwości istnienia życia na danej

planecie decyduje również wiele innych czynników, jak np. skład atmosfery, rodzaj gwiazdy, w pobliżu której się znajduje planeta, a także jej rozmiary [4]. Również granice samego obszaru ekosfery gwiazdy są niejednoznaczne i silnie zależą od przyjętego modelu planety.

Większość współcześnie przyjmowanych modeli opiera się na planetach skalistych, o podobnych do Ziemi rozmiarach i składzie atmosfery. Granice ekosfery wyznacza się na podstawie skrajnych wartości temperatury, przy których możliwe jest występowanie wody w stanie ciekłym (ok. $273K - 373K$). W przyjmowanych modelach znaczny wpływ na granice tego obszaru mają naturalnie występujący efekt cieplarniany oraz stopień pochłaniania promieniowania przez atmosferę planety.

Samo położenie planety w obszarze ekosfery pobliskiej gwiazdy nie świadczy wcale o występowaniu życia na tej planecie. Jednak kryterium to pozwala na wstępną selekcję planet i poddanie dalszym obserwacjom tych obiektów, które znajdują się w tym obszarze [13]. Na tych egzoplanetach poszukuje się znaków, które mogą świadczyć o możliwości występowania na nich życia (tzw. biosygnatur), którymi są przeważnie obecność tlenu (O_2), metanu (CH_4), czy dwutlenku węgla (CO_2). Ważnym parametrem egzoplanet znajdujących się w obszarze ekosfery gwiazdy jest ESI (z ang. Earth Similarity Index), który określa podobieństwa danej planety do Ziemi uwzględniając przy tym takie parametry jak masa, promień, temperatura powierzchniowa planety oraz strumień promieniowania docierającego do planety. ESI przyjmuje wartości od 0 do 1.

Kluczowym elementem przy rozpatrywaniu możliwości istnienia życia na danej planecie jest rodzaj gwiazdy, wokół której krąży. Wystąpienie warunków umożliwiających podtrzymanie egzystencji na planecie jest możliwe tylko w pierwszym okresie życia gwiazdy [14], kiedy to w jej wnętrzu zachodzą reakcje przemiany wodoru w hel. Przy założeniu, że biosfery egzoplanet formują się podobnie jak na Ziemi, okres ten musi być stosunkowo długi. Z uwagi na to ukształtowanie się inteligentnej formy życia wokół gwiazd o masach przekraczających dwie masy Słońca $M_* > 2M_\odot$ jest praktycznie niemożliwe [14], gdyż okres przemian wodoru w hel jest zbyt krótki. Gdy masa gwiazdy jest mniejsza niż 0,8 mas Słońca, $M_* < 0{,}8M_\odot$, również nie spodziewamy się zaobserwowania na planecie w pobliżu gwiazdy znaków życia, gdyż efekty grawitacyjne prowadzą do synchronizacji obrotu planety wokół własnej osi oraz obiegu planety po orbicie wokół gwiazdy.

Model wyznaczania granic ekosfery

Najprostszy model wyznaczania granic ekosfery opiera się na założeniu, że zarówno gwiazdę jak i planetę możemy traktować jako ciała doskonale czarne. Zgodnie z prawem Stefana Boltzmanna strumień energii wypromieniowanej przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu wyraża się wzorem:

$$\Phi = \sigma T^4 \tag{4}$$

gdzie, $\sigma \approx 5{,}6704 \times 10^{-8}\,\mathrm{W/m^2K^4}$. Mając powyższą zależność na uwadze, można wyrazić całkowitą energię wypromieniowaną przez gwiazdę w jednostce czasu L_* równaniem [3]:

$$L_* = 4\pi R_*^{\,2}\sigma T_*^{\,4}, \tag{5}$$

oraz przez podobną zależność można określić całkowitą energię wypromieniowaną przez planetę w jednostce czasu:

$$L_{pe} = 4\pi R_p^{\,2}\sigma T_p^{\,4} \tag{6}$$

Planeta będzie pozostawała w stanie równowagowi termodynamicznej, jeżeli całkowita energia pochłaniana przez nią w jednostce czasu będzie równa całkowitej energii wypromieniowanej w jednostce czasu:

$$L_{pp} = L_{pe} \tag{7}$$

Przyjmując, że szybkość pochłaniania promieniowania gwiazdy przez planetę jest równa:

$$L_{pp} = \frac{L_*}{4\pi \mathrm{a}^2}\,\pi R_p^{\,2} = L_* \frac{R_p^{\,2}}{(2\mathrm{a})^2} \tag{8}$$

gdzie, a – odległość planety od gwiazdy, następnie podstawiając wyznaczone wartości L_{pe} oraz

Lpp do równania (7) otrzymujemy:

$$4\pi R_p^{\,2}\sigma T_p^{\,4} = L_* \frac{R_p^{\,2}}{(2a)^2} \tag{9}$$

Przekształcając powyższe wyrażenie otrzymujemy zależność określającą odległość planety od gwiazdy w stosunku do panującej temperatury na powierzchni planety.

$$a = \sqrt{\frac{L_*}{16\pi\sigma}}\,T_p^{\,-2} \tag{10}$$

Na podstawie powyższego równania można stwierdzić, że w przyjętym modelu temperatura panująca na planecie krążącej wokół gwiazdy zależy jedynie od mocy promieniowania gwiazdy L_* oraz odległości a planety od niej. Graniczne wartości obszaru ekosfery gwiazdy wyznaczane są przez skrajne wartości temperatury, przy których możliwe jest występowanie ciekłej wody na powierzchni planety.

Współcześnie przyjmowane w publikacjach naukowych modele są jednak o wiele bardziej złożone i uwzględniają efekty atmosferyczne (w szczególności efekt cieplarniany). Powszechnie stosowanym jest model zaproponowany przez J.F. Kastinga [8], w którym przy wyznaczaniu granic ekosfery kluczową rolę odgrywają przyjęte założenia,

co do modelu planety. W przytoczonym modelu przyjęto planetę o masie oraz rozmiarach zbliżonych do Ziemi. Z kolei atmosfera planety według wspomnianego modelu składa się głównie z azotu (N_2) oraz tlenu (O_2), a rolę gazów cieplarnianych pełnią dwutlenek węgla (CO_2) oraz para wodna (H_2O) [1]. Dla tego modelu graniczne wartości strumienia energii niesionej przez promieniowanie na jednostkę powierzchni zostały określone przez Underwooda w 2003 r. [6]:

$$S_{inner} = 4{,}19 \times 10^{-8} T_{eff}{}^2 - 2{,}139 \times 10^{-4} T_{eff} + 1{,}268 \quad (11)$$

$$S_{outer} = 6{,}19 \times 10^{-9} T_{eff}{}^2 - 1{,}319 \times 10^{-5} T_{eff} + 0{,}2341 \quad (12)$$

Z powyższych równań wynikają następujące zależności określające granice obszaru ekosfery danej gwiazdy:

$$r_{inner} = \sqrt{\frac{L_*}{S_{inner}}}, \quad r_{outer} = \sqrt{\frac{L_*}{S_{outer}}} \quad (13)$$

gdzie moc promieniowania gwiazdy L_* jest wyrażona jako wielokrotność mocy promieniowania Słońca, a promienienie sfer ograniczających obszar ekosfery gwiazdy są wyrażone w jednostkach astronomicznych (1AU) [5].

Warto przy tym dodać, że wyznaczone na podstawie tego modelu obszary ekosfer gwiazd są większe, niż przy modelu opierającym się na założeniu, że gwiazda oraz planeta promieniują jak ciała doskonale czarne.

Moc promieniowania gwiazdy

Jak wynika z równań (13), moc promieniowania gwiazdy (w literaturze określana również mianem jasności energetycznej gwiazdy) wyrażona jako wielokrotność mocy promieniowania Słońca jest kluczowym parametrem, którego znajomość jest niezbędna do określenia rozmiarów ekosfery danej gwiazdy. Na pierwszy rzut oka postawiony problem może wydawać się dosyć skomplikowany, gdyż z definicji mocy promieniowania gwiazdy (patrz Rów. 5) do jej wyznaczenia konieczna jest znajomość temperatury efektywnej oraz promienia gwiazdy.

Temperaturę efektywną gwiazdy można oszacować z dużą dokładnością, dokonując analizy jej widma. Z kolei bezpośrednie wyznaczenie promienia gwiazdy przysparza wielu trudności. Oznacza to, że jasność energetyczną gwiazdy należy wyznaczyć przy wykorzystaniu alternatywnych metod. Rozwiązanie okazuje się zaskakująco proste. Wykorzystuje się w tym celu zależność wiążącą jasności energetyczne dwóch gwiazd z ich jasnościami absolutnymi. W przypadku, gdy za punkt odniesienia obierzemy Słońce, posługujemy się następującym równaniem [12]:

$$M_* - M_\odot = -2{,}5 \log \frac{L_*}{L_\odot} \quad (14)$$

Jasność absolutna Słońca jest wielkością znaną i wynosi $M_{\odot} = 4{,}83^{m}$. Natomiast jasność absolutna M_{*} dla większości gwiazd nie jest jednak znana. W takim przypadku należy się posłużyć zależnością, wynikającą bezpośrednio ze wzoru Pogsona, wykorzystując jasność obserwowaną gwiazdy (m_{*}) oraz jej odległość od Ziemi (D_{*}) wyrażoną w parsekach, przyjmującą następującą postać [15]:

$$M_{*} = m_{*} + 5 - 5 \log D_{*} \tag{15}$$

W oparciu o równanie (14) i (15) można w prosty sposób wyznaczyć moc promieniowania gwiazdy w postaci wielokrotności mocy promieniowania Słońca:

$$L_{*} = 10^{0{,}4(5 \log D_{*} - m_{*} - 0{,}17)} L_{\odot} \tag{16}$$

Opisana powyżej metoda jest niezwykle przydatna przy wyznaczaniu ekosfer wokół gwiazd.

Temperatura efektywna gwiazdy

Kolejnym kluczowym parametrem niezbędnym do wyznaczenia obszaru ekosfery jest temperatura efektywna gwiazdy. Poprzez temperaturę efektywną *Teff* rozumiemy temperaturę, jaką miałaby gwiazda, gdyby promieniowała ona jak ciało doskonale czarne.

W praktyce możemy jednak utożsamiać temperaturę efektywną z rzeczywistą temperaturą powierzchni gwiazdy, a w zasadzie jej fotosfery. Temperaturę efektywną gwiazdy szacuje się w oparciu o jej typ widmowy.

Podstawowe właściwości atomów, takie jak ich stopień jonizacji czy stopień wzbudzenia, zależą ściśle od temperatury. Zmiany właściwości atomów znajdują odzwierciedlenie w obserwowanym widmie gwiazdy, które objawiają się w postaci linii absorpcyjnych lub emisyjnych w zakresie światła widzialnego. Przykładowo temperaturze 30 000 K odpowiadają linie zjonizowanego helu, temperaturze 10 000 K silne linie wodoru, a temperaturze 4000 K linie metali neutralnych. Uwzględniając różnice pomiędzy obserwowanymi widmami, wprowadzono klasyfikację widmową gwiazd, w której wyróżniono kilka głównych klas widmowych [12] (patrz Tabela 1).

Tabela 1. Klasy widmowe gwiazd.

Klasa widmowa	Temperatura efektywna
O	$\sim 30000K$
B	$\sim 20000K$
A	$\sim 10000K$
F	$\sim 7000K$
G	$\sim 5500K$
K	$\sim 4000K$
M	$\sim 3200K$

Źródło: Tabela opracowana w oparciu o książkę L. Ostera *„Astronomia współczesna”* [12].

Dokładniejsze określenie typu widmowego uzyskuje się poprzez dodanie cyfry (od 0 do 9) po literze oznaczającej klasę widmową. Informacje, które można otrzymać na podstawie klasy widmowej, są jednak niewystarczające i konieczne jest wprowadzenie oddzielnego kryterium. W tym celu przypisuje się gwiazdom klasy jasności [15], reprezentowane przez kolejne liczby rzymskie (od I do VI). Typ widmowy, na który składa się zarówno klasa widmowa, jak i klasa jasności, stanowi pakiet ważnych informacji o gwieździe i umożliwia wyznaczenie ekosfery.

Wyznaczanie ekosfer wybranych gwiazd

W tym punkcie wyznaczymy ekosfery kilku gwiazd z odkrytymi układami planetarnymi, w oparciu o metody zaprezentowane w punktach poprzednich. Wybrane gwiazd i wielkości je charakteryzujące są przedstawione w Tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe wielkości charakteryzujące rozpatrywane gwiazdy.

Gwiazda	T_{eff}	m_*	D_*	L_*	S_{inner}	S_{outer}
Kepler-102	~4800 K	$12{,}07^m$	104 pc	$0{,}137L$	1,207	0,313
Kepler-62	~4900 K	$13{,}75^m$	304 pc	$0{,}25L$	1,226	0,318
Chalawan	~5900 K	$5{,}03^m$	14,1 pc	$1{,}654L$	1,465	0,372

Źródło: Tabela opracowana w oparciu o strony internetowe [17], [18], [19] oraz własne rachunki

1. Kepler-102

Kepler-102 jest gwiazdą położoną w gwiazdozbiorze Lutni. Jest to obiekt ciekawy z uwagi na jego układ planetarny, który stanowi aż pięć planet. W Tabeli 3. są zaprezentowane podstawowe informacje o tych planetach.

Tabela 3. Układ planetarny wokół Keplera-102, $M_{\oplus}$ - masa Ziemi

Nazwa planety	**Typ**	**Masa**	**Promień orbity**	**Mimośród**
Kepler-102 b	Skalisty	$4{,}3M_{\oplus}$	0,0552 AU	0,0
Kepler-102 c	Skalisty	$3M_{\oplus}$	0,067 AU	0,0
Kepler-102 d	Superziemia	$3{,}8M_{\oplus}$	0,0862 AU	0,0
Kepler-102 e	Superziemia	$8{,}93M_{\oplus}$	0,1162 AU	0,0
Kepler-102 f	Skalisty	$5{,}2M_{\oplus}$	0,1655 AU	0,0

Źródło: Tabela opracowana na podstawie katalogu egzoplanet NASA [20].

Wszystkie powyższe planety zostały odkryte metodą tranzytów w latach 2013-2014 [20]. Warto również zauważyć, że wymienione planety krążą blisko gwiazdy po orbitach kołowych.

Powróćmy jednak do samej gwiazdy i jej parametrów.

Kepler-102 jest gwiazdą typu widmowego K3 V, co oznacza, że jego temperaturę efektywną szacuje się na około 4800 K.

Jasność obserwowana tejże gwiazdy wynosi $12{,}07^{m}$, zatem Kepler-102 nie jest widoczny okiem nieuzbrojonym. Z kolei jego odległość od Ziemi jest równa ok. 104 pc (patrz Tabela 2).

Znając podstawowe wielkości opisujące tę gwiazdę, można przystąpić do wyznaczenia mocy promieniowania gwiazdy oraz granicznych wartości strumienia energii niesionej przez promieniowanie (S_{outer} oraz S_{inner}), wykorzystując do wyznaczenia granic ekosfery model Kastinga. Należy w tym celu skorzystać z równań (11), (12) oraz (16).

Otrzymane wartości są zaprezentowane w Tabeli 2. Dysponując wartościami z tej tabeli można przystąpić do wyznaczenia granic ekosfery, co będzie zwieńczeniem naszych rozważań. W tym celu należy skorzystać z równania (13).

Tabela 4. Granice ekosfery wokół badanych gwiazd

Gwiazda	r_{inner}	r_{outer}
Kepler-102	0,34 AU	0,66 AU
Kepler-62	0,45 AU	0,89 AU
Chalawan	1,06 AU	2,11 AU

Źródło: Opracowanie własne.

Porównując wyznaczone granice ekosfery Keplera-102 (patrz Tab. 4.) do rozmiaru orbit planet krążących wokół niego należy stwierdzić, że żadna z planet tego układu nie znajduje się w granicach ekosfery. Rozmiar największego promienia orbity jest ponad dwukrotnie mniejszy niż wewnętrzny promień ekosfery. Oznacza to, że dalsze badania w poszukiwaniu znaków życia na tych planetach są bezcelowe.

2. Kepler-62

Kepler-62 jest gwiazdą położoną w gwiazdozbiorze Lutni. Wokół tej gwiazdy krąży pięć planet [20], które tworzą znany układ planetarny zaprezentowany w Tablicy 5.

Tabela 5. Układ planetarny wokół Keplera-62

Nazwa planety	**Typ**	**Masa**	**Promień orbity**	**Mimośród**
Kepler-62 b	Superziemia	$9M_{\oplus}$	0,0553 AU	0,0
Kepler-62 c	Skalisty	$4M_{\oplus}$	0,0929 AU	0,0
Kepler-62 d	Gorący neptun	$14M_{\oplus}$	0,12 AU	0,0
Kepler-62 e	Superziemia	$36M_{\oplus}$	0,427 AU	0,0
Kepler-62 f	Superziemia	$35M_{\oplus}$	0,718 AU	0,0

Źródło: Tabela opracowana na podstawie katalogu egzoplanet NASA [20].

Wszystkie te planety zostały odkryte w 2013 r. metodą tranzytów [20]. Postępowanie przy wyznaczaniu ekosfery Keplera-62 jest analogiczne jak w poprzednim podrozdziale, dlatego pominięcie szczegółowego opisu działań jest zasadne. Bazując na wielkościach

umieszczonych w Tabeli 2. można wyznaczyć rozmiary ekosfery wokół Keplera-62 (Tab. 4) metodą analogiczną do zaprezentowanej w punkcie poprzednim.

Pamiętając, że nasze rozważania mają jedynie charakter przybliżony należy stwierdzić, że w granicach ekosfery Keplera-62 znajdują się dwie egzoplanety - Kepler-62 e, który znajduje się w pobliżu wewnętrznej powierzchni ekosfery, oraz Kepler-62 f. Ponadto obie te planety mają budowę skalistą, co czyni je wspaniałymi kandydatkami do przeprowadzenia dalszych badań nad możliwością istnienia życia na ich powierzchniach.

3. Chalawan (47 Ursae Majoris)

Chalawan, znany także jako 47 Ursae Majoris, jest gwiazdą położoną w gwiazdozbiorze Wielkiej Niedźwiedzicy. Wokół 47 Ursae Majoris krążą trzy planety, tworząc tym sposobem układ planetarny. Podstawowe informacje dotyczące tych planet można odnaleźć w Tabeli 6.

Tabela 6. Układ planetarny wokół Chalawana, M_{ζ} - masa Jowisza

Nazwa planety	Typ	Masa	Promień orbity	Mimośród
47 Ursae Majoris b	Gazowy olbrzym	$2{,}53M_{\zeta}$	2,1 AU	0,03
47 Ursae Majoris c	Gazowy olbrzym	$0{,}54\ M_{\zeta}$	3,6 AU	0,1
47 Ursae Majoris d	Gazowy olbrzym	$1{,}64\ M_{\zeta}$	11,6 AU	0,16

Źródło: Tabela opracowana w oparciu o katalog egzoplanet NASA [20].

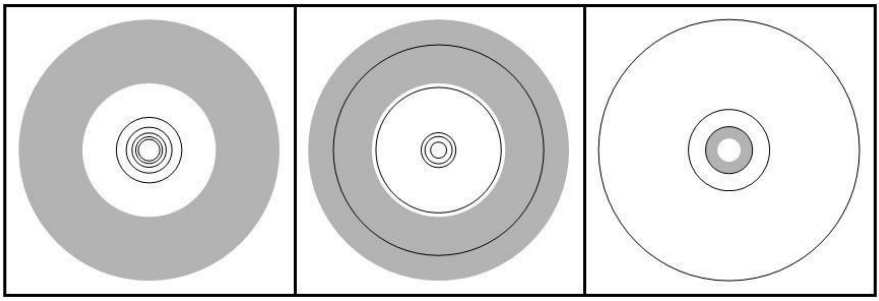
Co ciekawe, wszystkie z wymienionych planet zostały odkryte przy pomocy metody pomiarów prędkości radialnych. Warto również podkreślić, że ich orbity mają kształt eliptyczny, gdyż ich mimośrody są różne od zera.

Powracając do wyznaczania ekosfery gwiazdy, należy skorzystać z wielkości z Tabeli 2., na podstawie których zostały oszacowane rozmiary ekosfery (patrz Tab. 4.). Jedna z planet (47 Ursae Majoris b) leży w pobliżu zewnętrznej granicy ekosfery, a inne znajdują się w obszarach znacznie od niej oddalonych. Żadna z nich nie może być jednak klasyfikowana jako zamieszkiwalna z uwagi na fakt, że wszystkie z planet krążących wokół tej gwiazdy są gazowymi olbrzymami.

Podsumowanie

Wyznaczanie ekosfery gwiazdy jest niezwykle przydatnym narzędziem umożliwiającym wstępną selekcję planet pod względem możliwości występowania na nich życia. Przy wykorzystaniu podstawowych zależności fizycznych stosowanych w astronomii udało nam się wyróżnić dwie planety krążące wokół Keplera-62, na których panują warunki niewykluczające możliwości istnienia życia w formie znanej na Ziemi (patrz Rys.

2). Do dnia 6 grudnia 2021 r. wytypowano 59 planet, na których możliwe jest utrzymanie życia. W Tabeli 7. zebrano istotne informacje o kilku z nich, których podobieństwo do Ziemi jest największe.



Kepler-102 Kepler-62 Chalawan

Rysunek 2. Graficzne przedstawienie układów planetarnych występujących wokół badanych gwiazd, gdzie kolorem szarym zaznaczono obszar ekosfery, a okręgi symbolizują orbity egzoplanet. Zaczynając od lewej możemy zaobserwować układ planetarne wokół Keplera-102, Keplera-62 oraz Chalawana. Poszczególne części rysunku nie są przedstawione w tej samej skali.

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7. Planety zbliżone do Ziemi, na których istnienie życia jest najbardziej prawdopodobne.

Nazwa planety	M_p	R_p	T_{surf}	**ESI**
Teegarden's Star b	$\geq 1{,}05M_\oplus$	$\sim 1{,}02R_\oplus$	~ 298 K	0,95
TOI-700 d	$\sim 1{,}57M_\oplus$	$1{,}14R_\oplus$	~ 278 K	0,93
Kepler-1649 c	$\sim 1{,}20M_\oplus$	$1{,}06R_\oplus$	~ 303 K	0,92
TRAPPIST-1 d	$0{,}39M_\oplus$	$0{,}78R_\oplus$	~ 296 K	0,91

Źródło: Tabela opracowana w oparciu o stronę internetową Uniwersytetu Portoryko w Arecibo [21].

Literatura

Deshpande R., Domagal-Goldman S., Eymet V., Kasting J.F., Kopparapu R.K., Mahadevan S., Meadows V., Ramirez R., Robinson T.D., Terrien R.C. (2013), *Habitable zones around main-sequence stars: new estimates*, ApJ, Vol 765, nr 2.

Gaudi B.S., Wright J.T. (2012), *Exoplanet Detection Methods*, arXiv.org, *https://arxiv.org/abs/1210.2471*.

Gelino D.M., Kane S.R. (2012), *The Habitable Zone Gallery*, PASP, 124, s. 323-328.

Gonzalez G. (2005), *Habitable zones in the Universe*, Orig. Life Evol. Biosph, 35, s. 555– 606.

Kane S.R., Hinkel N.R. (2013), *On the habitable zones of circumbinary planetary systems*, ApJ, Vol 762, Nr 1.

Jones B.W., Underwood D.R., Sleep P.N. (2004), *The evolution of habitable zones during stellar lifetimes and its implications on the search for extraterrestrial life*, Int. J. Astrobiol., Vol 2, Nr 4.

Jarzębowski T. (1996), *Fotony w polu grawitacyjnym Słońca*, Urania, Nr 9(657), s. 226-232.

Kasting J.F., Reynolds R.T, Whitmire D.P. (1993), *Habitable Zones around Main Sequence Stars*, Icarus, Vol 101, Nr 1, s. 108-128.

Konacki M., Wolszczan A. (2003), *Masses and orbital inclinations of planets in the PSR B1257+12 system*, ApJ, Vol 591, Nr 2.

Kozłowski S. (2004), *Wyznaczanie parametrów pozasłonecznych układów planetarnych*,
UZ, Wydział Fizyki i Astronomii.

Lichawska-Cieślar A. (2016), *Neutrino*, Instytut Fizyki UJ, Nr 32, s. 6-12.

Oster L. (1986), *Astronomia współczesna*, Wyd. III, PWN, s. 174-192.

Ramirez R.M. (2018), *A More Comprehensive Habitable Zone for Finding Life on Other Planets*, Geosciences, 8(8), 280.

Różyczka M. (2006), *Ekosfery Gwiazdowe*, Kosmos, Tom 55, Nr 4 (273), s. 381-388.

Rybka E. (1983), *Astronomia ogólna*, Wyd. VII, PWN, s. 342-359.

Ziołkowski K. (1992) *Odkrycie pozasłonecznego układu planetarnego*, Urania, Nr 3(603), s. 78-79.

https://en.wikipedia.org/wiki/47 Ursae Majoris (dostęp: 19.02.2022).

https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler-62 (dostęp: 19.02.2022).

https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler-102 (dostęp: 19.02.2022).

https://exoplanets.nasa.gov/discovery/exoplanet-catalog/ (dostęp: 19.02.2022).

https://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog (dostęp: 19.02.2022).

https://www.urania.edu.pl/wiadomosci/poszukiwanie-planet-krazacych-wokol-pulsarow
(dostęp: 4.02.2022).

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

ALEKSANDRA LESZCZYK
Studentka I roku geografii, studia II stopnia
Koło Naukowe Młodych Geografów „Geoholicy"
Uniwersytet Łódzki
Student of the first year of Geography, second cycle studies
"Geoholics" Scientific Association of Young Geographers
The University of Łódź

Ewolucja doliny środkowej Pilicy okolic Fryszerki koło Tomaszowa Mazowieckiego od czasu zaniku lądolodu zlodowacenia Odry

Evolution of the Middle Pilica Valley, the area of Fyszerka near Tomaszów Mazowiecki from the time of disappearance of the ice sheet of the Oder Glaciation

Abstract: The paper presents the evolution of the Middle Pilica Valley near Fryszerka. Terrain conditions were presented and three morphogenetic cycles were discussed, i.e. glacial, periglacial and Holocene cycles, which affected the topography of this form. The Pilica created here alluvial and flood terraces, forming a quite even valley bottom diversified with an old river bed and the terrace monadnock. Based on the terrain survey and literature data, the geological structure and geomorphology of this part of the Pilica Valley was discussed. The close relationship between the geological structure of this area and the current topography was indicated.

Key words: river valley, river valley forms, Middle Poland.

Wprowadzenie

Omawiany fragment doliny Pilicy charakteryzuje się znaczną georóżnorodnością. Podlega on ciągłym przemianom rzeźby. W swojej złożonej historii geologicznej obszar ten w plejstocenie znajdował się kilkakrotnie w zasięgu lądolodów skandynawskich. Miały one ogromny wpływ na kształtowanie doliny Pilicy okolic Fryszerki.

W pracy przedstawiony zostanie okres ostatnich 150 tysięcy lat, tj. obejmujący schyłek zlodowacenia Odry (ze stadiałem Warty), czas zlodowacenia Wisły oraz holocen. Te trzy etapy można łączyć z następującymi cyklami morfogenetycznymi:

- glacjalnym (ok. 145 000–130 000 lat temu),
- peryglacjalnym (ok. 110 000–11 700 lat temu), w którym intensyfikacja pewnych procesów miała miejsce zwłaszcza w plenivistulianie (ok. 70 000–17 050 lat temu) i późnym vistulianie (17 050–11 700 lat temu), oraz

- związanym z klimatem umiarkowanym (11 700 lat temu – po współczesność). Na rozwój doliny Pilicy oraz przyległych do niej obszarów w okolicach Fryszerki znaczący wpływ miało także podłoże przedczwartorzędowe. Przebieg doliny predysponowany jest tutaj uskokiem tektonicznym Żądłowice-Domaniewice (Kłoda 1993). Od Inowłodza do Mysiakowiec ma ona prostolinijny bieg. Występowanie skał jurajskich w podłożu miało również znaczenie w kształtowaniu się doliny.

Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie czwartorzędowej ewolucji doliny Pilicy okolic Fryszerki koło Tomaszowa Mazowieckiego na podstawie zebranych w terenie danych oraz kwerendy literatury. Prawidłowe rozpoznanie elementów rzeźby terenu badanego obszaru jest kluczowe do zrozumienia morfogenezy tej części doliny Pilicy oraz pozwoli wysnuć wnioski dotyczące wpływu poszczególnych cykli morfogenetycznych na kształtowanie form terenu.

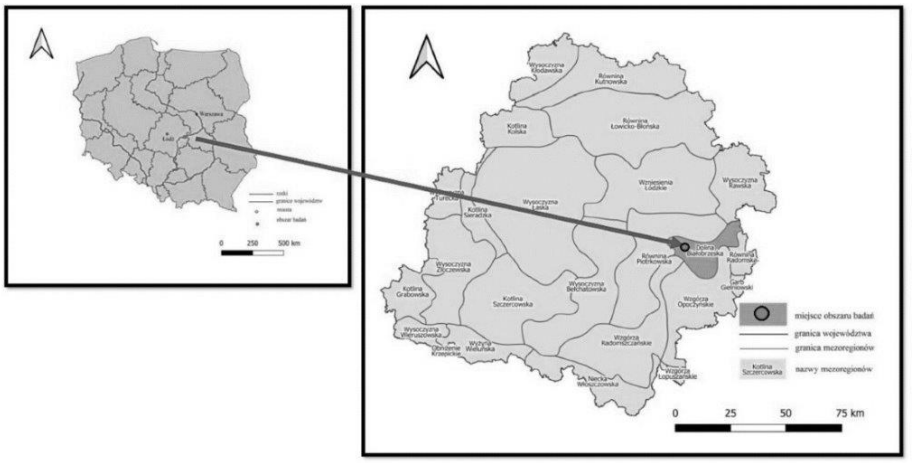
Metody badań, wykorzystane materiały

Metody badań użyte do poznania ewolucji doliny Pilicy okolic Fryszerki obejmowały prace terenowe oraz prace kameralne. W czasie prac terenowych wykonano 15 ręcznych sond do głębokości 3-4 m wzdłuż linii prostej z kierunku NW do SE, od dna doliny do poziomu wysoczyznowego. Wiercenia miały na celu rozpoznanie osadów budujących poszczególne formy terenu oraz ich ocenę granulometryczną. Wyniki prac w terenie posłużyły do opracowania przekroju geologicznego przez dolinę Pilicy w okolicach Fryszerki i Zakościela oraz wykreślenia mapy geologicznej badanego obszaru. Do wykonania mapy geologicznej, poza wierceniami, użyto mapy topograficznej, arkusz Inowłódz 123.43 w skali 1:25 000 (Mapa 1986) oraz mapy NMT, udostępnionej na portalu www.geoportal.gov.pl. Na potrzeby wyrysowania przekroju geologiczny przez dolinę Pilicy wygenerowany został profil hipsometryczny z Geoportalu, który pokrywa się z linią wierceń. Do szczegółowego poznania warunków geologicznych, geomorfologicznych, hydrogeologicznych, charakterystyki osadów budujących obszar badań oraz poznania podłoża przedczwartorzędowego wykorzystano mapy oraz objaśnienia do map Państwowego Instytutu Geologicznego, artykuły, książki, monografie oraz opracowanie regionalne (Kłoda 1993; Turkowska 2001, 2006; Szumański 1983; Formowicz R., Ptak B. 2015; Falkowski T., Ostrowski P. 2010; Chowaniec J. i inni. 2017; Brodziński I. i inni 2004).

Obszar badań

Obszar badań położony jest w Polsce Środkowej, we wschodniej części regionu łódzkiego w ujęciu Turkowskiej (2006). Według regionalizacji fizycznogeograficznej Kondrackiego (2011) teren badań leży w mezoregionie Dolina Białobrzeska (Rys. 1).

Obejmuje on dolinę środkowej Pilicy od Fryszerki do Zakościela. Pilica jest rzeką drugiego rzędu, należącą do dorzecza Wisły. Jej źródła znajdują się w miejscowości Pilica (woj. śląskie, pow. zawierciański). Dolina na badanym terenie ma przebieg prostolinijny, o kierunku SW do NE, ma też charakter przełomu rzecznego. Rzędne dna doliny Pilicy na badanym obszarze wynoszą od 144,9 m.n.p.m. do 143,6 m n.p.m.



Rys. 1. Położenie obszaru badań na tle podziału administracyjnego Polski oraz mezoregionów fizycznogeograficznych wg. J. Konradrackiego (2011)

Koryto Pilicy na analizowanym odcinku rozcina dojrzałą wysoczyznę poglacjalną, częściowo zdenudowaną. Podłoże dna doliny stanowią piaskowce jury środkowej (Falkowski, Ostrowski 2010). Według Kłody (1993) dolina Pilicy na badanym obszarze wcięta jest w zdenudowaną, przekształconą w warunkach peryglacjalnych, wysoczyznę wodnolodowcową na południu oraz wysoczyznę morenową na północy. Obszary wodnolodowcowe urozmaicone są polami wydmowymi oraz głęboko wciętymi dolinkami bocznymi Pilicy (Kłoda 1993).

Obszar badań znajduje się w całości w strefie staroglacjalnej, związanej z lądolodem Warty (Turkowska, 2006). Obecnie przyjmuje się, że mieliśmy wówczas do czynienia ze zlodowaceniem Odry i stadiałem Warty w jego obrębie (Lindner i Marks 2012; Marks i in. 2016). W czasie tego zlodowacenia dolina Pilicy na analizowanym obszarze pełniła rolę jednej z „prowadnic" dla lobu Rawki, Pilicy i Luciąży, kierując strumienie lodowe z NE ku SW (Wachecka-Kotkowska 2015).

Na tle jednostek geologicznych podłoża podkenozoicznego obszar położony jest w antyklinorium kujawskim, powstałym w trakcie orogenezy alpejskiej (Turkowska 2001, 2006; Żeleźniewicz 2011). Pokrywę osadową tej jednostki w okolicach Inowłodza tworzą utwory jury środkowej (Kłoda 1993). Jednostką niższego rzędu znajdującą się na obszarze badań jest antyklina Inowłodza (Ziomek 2008). W rejonie badań stwierdzony został uskok przesuwczy Żądłowice-Domaniewice, o przebiegu SW-NE, którego istnienie wykorzystała dolina Pilicy (Kłoda 1993).

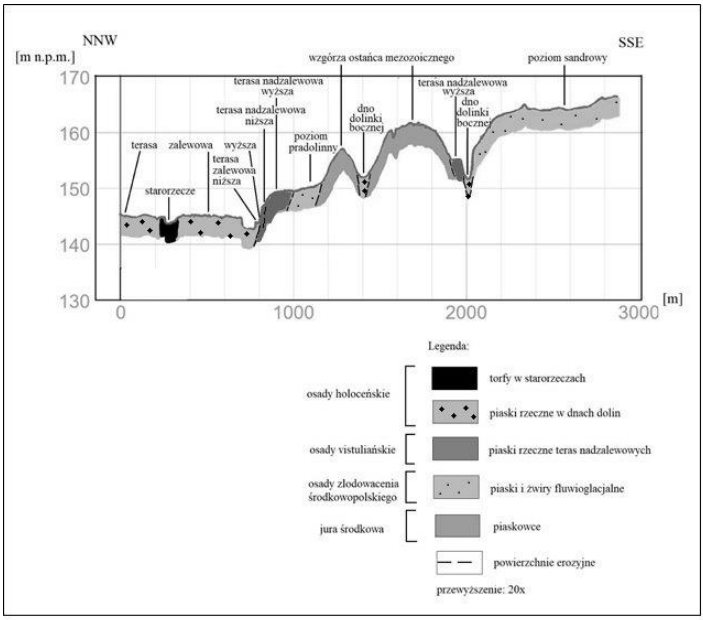
Wyniki badań geologicznych

Najstarsze osady występujące powierzchniowo i rozpoznane na obszarze badań to drobnoziarniste piaskowce jury środkowej (Kłoda 1993). Budują one ostańce mezozoiczne, które przykryte są cienką (0,5 metra) warstwą piasków wodnolodowcowych (Rys. 2). Osady te przylegają również bezpośrednio do stoków doliny Pilicy o ekspozycji południowej.

Piaski i żwiry wodnolodowcowe, pochodzące ze stadiału Warty, zlodowacenia Odry, a tworzące powierzchnię sandrową, rozcięte są doliną Pilicy w okolicach Fryszerki. Wśród tych utworów przeważa frakcja piasków drobnoziarnistych z domieszkami piasków średnich, grubych i żwirów w części stopowej profilu. W głębszych partiach profilu występują piaski gruboziarniste oraz żwiry z piaskami średnio- i drobnoziarnistymi. Piaski różnoziarniste budują poziom pradolinny Pilicy, mający formę półki o szerokości 245 metrów rozcinającej powierzchnię wodnolodowcową.

Terasy nadzalewowe Pilicy, pochodzące z czasu zlodowacenia Wisły, zbudowane są z piasków, żwirów oraz mułków. Terasę nadzalewową wysoką tworzą drobnoziarniste piaski z domieszką żwirów drobno- i średnioziarnistych oraz mułków. Terasa nadzalewowa niska zbudowana jest z piasków średnioziarnistych, jasnożółtych (Kłoda 1993). Cechą charakterystyczną teras nadzalewowych Pilicy jest ich asymetryczność. Terasa nadzalewowa wysoka występująca po południowej stronie Pilicy, na wysokości 149,3 m n.p.m., czyli 4,8 metrów ponad dno doliny, jest szeroka na 730 metrów i ma formę płatu. Terasa nadzalewowa niska stanowi wąską na 45 metrów listwę przylegająca do zboczy doliny. Znajduje się ona na wysokości 147 m n.p.m., czyli 2,5 m powyżej dna doliny (Rys. 2). Piaskowce jurajskie uniemożliwiły wykształcenie się nadzalewowych teras rzecznych po północnej stronie doliny.

Terasy zalewowe tworzą współczesne, holoceńskie, dno doliny o szerokości 800 metrów, znajdujące się na wysokości od 144,9 m n.p.m. do 143,6 m n.p.m.. Tworzą je piaski den dolinnych oraz torfy w starorzeczach (Rys. 3). Terasa zalewowa wyższa, tworząca równię zalewową, zbudowana jest z drobnych piasków z domieszką piasków średnich i namułów rzecznych. W osadzie zidentyfikowano utlenione związki żelaza, które mogą być związane z wahaniem poziomu wód, jak i wpływem podłoża podczwartorzędowego, i występowania syderytów tuż obok dna doliny. Rzeźba terasy zalewowej wyższej jest urozmaicona formami wklęsłymi i wypukłymi. Na równinie zalewowej widoczne jest zagłębienie po małym paleomeandrze o szerokości 110 metrów, wypełnione silnie uwodnionym torfem i murszem. Na terasie zalewowej wyższej występuje również ostaniec erozyjny terasy nadzalewowej, zbudowany z piasków, żwirków i mułków. Terasa zalewowa niższa tworzy wąską 15 metrową półkę występującą po południowej stronie dna doliny Pilicy na wysokości 143,6 m n.p.m.. Tworzą ją piaski drobnoziarniste z piaskami średnimi i grubymi (Rys. 2).



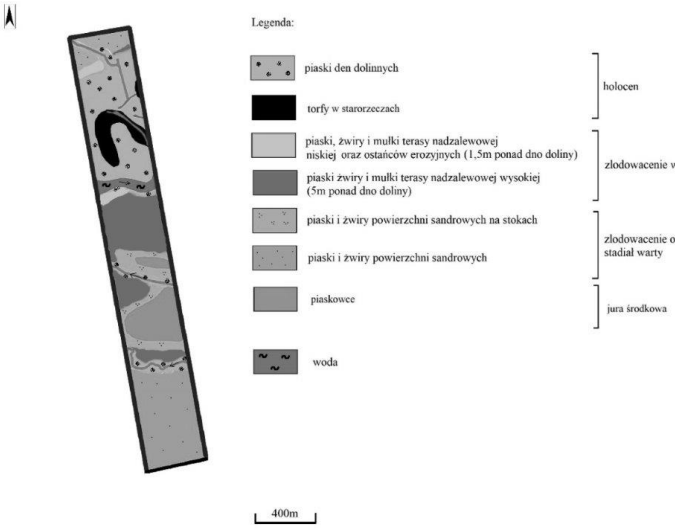
Rys.2 Przekrój geologiczny przez dolinę środkowej Pilicy w okolicach Fryszerki i Zakościela, wraz z elementami dolinnymi (opracowanie własne)

Etapy rozwoju doliny

Rozwój doliny Pilicy okolic Fryszerki podzielić można na trzy główne etapy. Pierwszym będzie morfogeneza glacjalna w czasie zlodowacenia Odry, stadiału Warty (145 000–130 000 lat temu). Etap ten obejmuje powstanie wysoczyzny morenowej oraz równiny wodnolodowcowej (Turkowska 2006; Czubla 2015; Wachecka-Kotkowska 2015) (Rys. 3, 4). Równina ta była usypywana na przedpolu czoła lądolodu w wyniku akumulacji wód lodowcowych (Kłoda 1993). Zmienna dynamika wód lodowcowych dostarczała materiał o różnej frakcji. Odpływ marginalny wód lodowcowych u schyłku stadiału Warty przyczynił się do powstania warciańskiego poziomu pradolinnego Pilicy, który rozcina powierzchnię sandrową.

Drugim okresem jest zlodowacenie północnopolskie (110 000–11 700 lat temu), które znacząco kształtujące rzeźbę doliny Pilicy w warunkach morfogenezy peryglacjalnej. U schyłku vistulianu wyróżnia się okres plevivistulianu, oraz późny vistulian związany z wycofaniem się lądolodu północnopolskiego (Starkel 1999). Warunki peryglacjalne panujące w okresie zlodowacenia północnopolskiego, pobudziły intensywną akumulację rzeczną w dolinie Pilicy (Kłoda 1993). W okresie plenivistuliańskim Pilica miała charakter rzeki roztokowej, obciążonej znaczną ilością materiału na skutek intensyfikacji procesów stokowych, denudacji oraz braku lub skąpej roślinności. Powstała wówczas

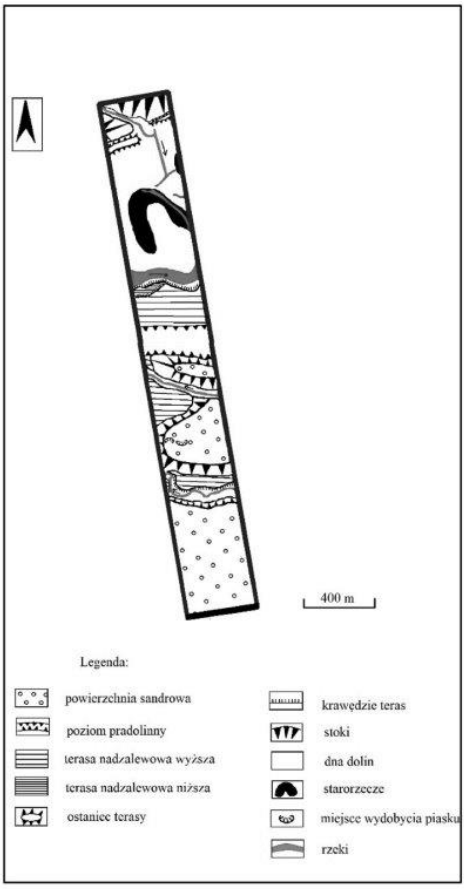
akumulacyjno-erozyjna terasa nadzalewowa wysoka (Rys. 3, 4). Okres późnego vistulianu charakteryzował się niestabilnością klimatyczną, manifestującą się naprzemiennym występowaniem okresów zimnych (najstarszy dryas, starszy dryas i młodszy dryas) i ciepłych (kamion, bölling i alleröd) (Dzieduszyńska 2016). Ocieplenie na początku późnego vistulianu skutkowało erozyjną tendencją rzeki. Nastąpiło rozcięcie plenivistuliańskiego dna doliny (Turkowska 1988, Petera 2002; Wachecka-Kotkowska 2004). Okres chłodu w młodszym dryasie spowodował kolejne ożywienia procesów morfodynamicznych i utworzenie terasy nadzalewowej niskiej. Rozcięcie erozyjne poziomu terasy nadzalewowej niskiej miało miejsce na przełomie vistulianu i holocenu (około 11 700 PB) (Turkowska 1988, Wachecka-Kotkowska 2004; Dzieduszyńska 2016).



Rys. 3 Mapa geologiczna okolic Fryszerki i Zakościela, opracowanie własne

W holocenie, w warunkach klimatu umiarkowanego, dominowały procesy akumulacyjne, które doprowadziły do utworzenia współczesnej równi zalewowej. Szeroka terasa zalewowa wyższa powstała na skutek działalności Pilicy o rozwinięciu meandrującym które wytworzyło się w okresie preborealnym (Zwoliński i in. 2008). Ślady meandrowania koryta Pilicy są dziś widoczne w formie zarastających starorzeczy, których rozwój zakończył się wraz przekształcaniem środowiska przyrodniczego przez człowieka i zmianami hydrologicznymi rzek (Szumański 1983).

Zwiększenie różnic w przepływach ekstremalnych Pilicy, na skutek działalności człowieka w holocenie, spowodowało zdziczenie rzeki i utworzenie terasy zalewowej niższej (Falkowski, Ostrowski 2010). Rzeka meandrująca deponująca głównie drobne piaski, zmieniła rozwinięcie na rzekę roztokową, niosącą różnofrakcyjny materiał. Taki typ rozwinięcia koryta rzecznego obserwujemy w dolinie Pilicy do dziś (Rys. 3, 4).



Rys.4. Szic geomorfologiczny okolic Zakościela i Fryszerki, opracowanie własne (na podstawie Kłoda 1993 - zmienione)

Poza czynnikami klimatycznymi, które wpłynęły na przebieg i charakter procesów morfodynamicznych kształtujących rzeźbę doliny Pilicy okolic Fryszerki, niezwykle ważne w rozwoju form terenu było podłoże przedczwartorzędowe. Obecność piaskowców środkowojurajskich w podłożu oraz uwarunkowania tektoniczne tego obszaru w dużym stopniu warunkowało przebieg procesów morfogenetycznych. Płytkie zaleganie tych skał, bardziej odpornych na erozję rzeczną, wpłynęło na asymetryczny rozwój teras rzecznych i zdeterminowało istnienie przełomowego charakteru doliny okolic Fryszerki. Uskok tektoniczny predysponuje prostolinijny bieg doliny rzecznej.

Wnioski

Dolina Pilicy, taka jaką ją obecnie obserwujemy w rejonie Fryszerki, ma charakter poligenetyczny. Powstała ona na przestrzeni ostatnich 150 000 lat na skutek oddziaływania wielu procesów, które miały miejsce w kilku cyklach morfogenetycznych.

Podczas zaniku lądolodu Odry w stadiale Warty powstała wysoczyzna morenowa, równina sandrowa oraz poziom pradolinny Pilicy. Terasy nadzalewowe powstały podczas zlodowacenia Wisły w strefie ekstraglacjalnej, w której dominowały warunki peryglacjalne. Współczesne dno doliny powstało w holocenie w warunkach klimatu umiarkowanego.

Podłoże przedczwartorzędowe miało duży wpływ na rozwój doliny Pilicy. Uwarunkowało ono jej prostolinijny bieg na odcinku od Inowłódza do Mysiakowiec, asymetryczność teras rzecznych oraz przełomowy charakter doliny.

Dolina Pilicy w rejonie Fryszerki to forma złożona, dlatego jej ewolucja powinna być rozpatrywana nawet w dłuższym okresie czasu.

Bibliografia

Brodziński I., Gałka M., Wilk S., Lis J., Pasieczna A., Tomassi-Morawiec H., Gabryś-Godlewska A., Kowalik J., Spiżewski R. (2004), Objaśnienia do mapy geośrodowiskowej Polski 1:50 000, arkusz Rzeczyca (668), Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Chowaniec J., Czebreszuk J., Filar S., Guzik M., Herbich P., Hoc R., Honczaruk M., Jóźwiak K., Karwik A., Krawczyk J., Lidzbarski M., Łusiak R., Mikołajów J., Nidental M., Olesiuk G., Pasierowska A., Piasecka A., Prażak J., Przytuła E., Razowska-Jaworak L., Sadurski A., Serafin R., Skrzypczyk L., Starościak A., Szelewicka A., Szydło M., Śliwiński Ł., Trnawska E., Warumzer R., Węglarz D., Wiśniowski Z., Witczak S. (2017), Informator PSH – Główne Zbiorniki Wód Podziemnych w Polsce, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Czubla P. (2015), Eratyki fennoskandzkie w osadach glacjalnych Polski i ich znaczenie badawcze, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Dzieduszyńska D. (2016), Znaczenie zimnych okresów późnego vistulianu w rozwoju rzeźby regionu łódzkiego, „Folia Geographica Physica" 15: 17-24.

Falkowski T., Ostrowski P. (2010), Rzeźba Doliny Pilicy pomiędzy Inowłodzem a Domaniewicami i jej związek z budową geologiczną podłoża aluwiów, Polska Akademia Nauk w Krakowie, s. 53-63.

Formowicz R., Ptak B. (2015), Mapa geośrodowiskowa Polski (II) Plansza A, Arkusz Rzeczyca (668), Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Kłoda P. (1992), Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, Arkusz Rzeczyca (668), Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Kłoda P. (1993), Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, Arkusz Rzeczyca (668), Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Kondracki J. (2011), Geografia regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 468.

Kostrzewski A., Zwoliński Z., Andrzejewski L., Florek W., Mazurek M., Niewiarowski W., Podgórski Z., Rachlewicz G., Smolska E., Stach A., Szmańca J., Szpikowski J. (2008), Współczesna ewolucja rzeźby młodoglacjalnej Niżu Polskiego w: Starkel L., Kostrzewski A., Kotaba A., Krzemień K.(red.), Współczesne przemiany rzeźby Polski, Stow. Geomorf. Pol., IGiGP UJ, IGiPZ PAN, Kraków.

Kwolek A. (1986), Mapa topograficzna, 123.43 Inowłódz, Główny Geodeta Kraju, Rzeszów.

Lindner L., Marks L. (2012), O podziale klimatostratygraficznym kompleksu środkowopolskiego w plejstocenie Polski, „Przegląd Geologiczny", 60, 1.
Mapa topograficzna w skali 1:25 000, arkusz Inowłódz 123.43 (1986), Wyd. Okręgowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne, Rzeszów.
Marks L., Dzierżek J., Janiszewski R., Kaczorowski J., Lindner L., Majecka A., Makos M., Szymanek M., Tołoczko-Pasek A., Woronko B. (2016), Quaternary stratigraphy and palaeogeography of Poland, Acta Geol. Pol., 66, 3.
Petera J. (2002), Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna, Acta Geographica Lodziensia" 83, 1-164
Starkel L. (1999), Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze, PWN, Warszawa.
Szumański A. (1983), Paleochannels of large meanders in the river valley of the Polish lowland, "Quarternary Studies in Poland" 4, Poznań.
Turkowska K, (1988). Rozwój dolin rzecznych w późnym czwartorzędzie na Wyżynie Łódzkiej. Acta Geogr. Lodz., 59.
Turkowska K. (2001), Budowa geologiczna i rzeźba terenu, w: S. Liszewski (red.), Zarys monografii województwa łódzkiego, ŁTN, 51-60.
Turkowska K. (2006), Geomorfologia regionu łódzkiego, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 238.
Wachecka-Kotkowska L. (2004), Ewolucja Doliny Luciąży – uwarunkowania klimatyczne i lokalne, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź, s. 161.
Wachecka-Kotkowska L. (2015), Rozwój rzeźby obszaru między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem w czwartorzędzie, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 128
Ziomek J. (2008), Budowa geologiczna Łodzi i regionu, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 78. 34.
Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P., Konon A., Oszczypko N., Ślączka A., Żaba J., Żytko K. (2011), Regionalizacja tektoniczna Polski, Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław.

Spis ilustracji

Rys. 1. Położenie obszaru badań na tle podziału administracyjnego oraz mezoregionów fizycznogeograficznych wg. J. Konradrackiego (2011)
Rys. 2. Przekrój geologiczny przez dolinę środkowej Pilicy w okolicach Fryszerki i Zakościela, wraz z elementami dolinnymi (opracowanie własne).
Rys. 3. Mapa geologiczna okolic Fryszerki i Zakościela, opracowanie własne
Rys. 4. Szic geomorfologiczny okolic Zakościela i Fryszerki, opracowanie własne (na podstawie Kłoda 1993 – zmienione)

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

DAMIAN LITWIN
Student II roku turystyki i rekreacji, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe Turystki „Bez Nazwy"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the first year of Tourism and Leisure, first cycle studies
"No Name" Student Scientific Association of Tourism
Jan Kochanowski University of Kielce

Znaczenie dworca autobusowego w komunikacji Kielc
The importance of the bus station to communication in Kielce

Abstract: In the contemporary world, communication plays a fundamental role in how society functions. The aim of this paper is to evaluate the importance of the Bus Station in Kielce. Literature on communication was analysed and SWOT method was developed. If was found that the location of the bus station in the city centre of Kielce is its strong point. It ensures a convenient network of connections in different directions on the maps of Poland and Europe. Furthermore, its location close to the train station is also very favourable. However, there is no direct underground or overground passage between the bus station and the train station. The Bus Station in Kielce with 98 bus lines is the largest road communication hub in the region. Its modern and unusual shape makes it stand out among all bus stations in Poland.

Key words: bus station, Kielce, communication, passenger traffic

Wstęp

Rozrastająca się obszarowo sieć osadnicza powoduje powiększanie się odległości miejsca zamieszkania do miejsca pracy, nauki i miejsc zaspokajających potrzeby socjalne i kulturalne (Szczerbiuk 2014). Mobilność i potrzeby za nią idące mogą być zaspokajane poprzez transport o charakterze indywidualnym oraz publicznym.

Mając na uwadze fakt, że turystyka jest bardzo dynamicznie rozwijającą się gałęzią gospodarki (Gołembski 2002), dobra organizacja komunikacyjna jest ważnym fundamentem całego procesu ruchu turystycznego. Ważnym elementem jest umiejętność osiągania kompromisów pomiędzy celami społecznymi, gospodarczymi i środowiskowymi oraz dokonywania odpowiednich wyborów (Ejdys 2014). Dobrze rozwinięta sieć komunikacyjna może w pozytywny sposób wpływać na zwiększenie jakości życia mieszkańców, a także pozytywnie wpływać na atrakcyjność turystyczną danego regionu.

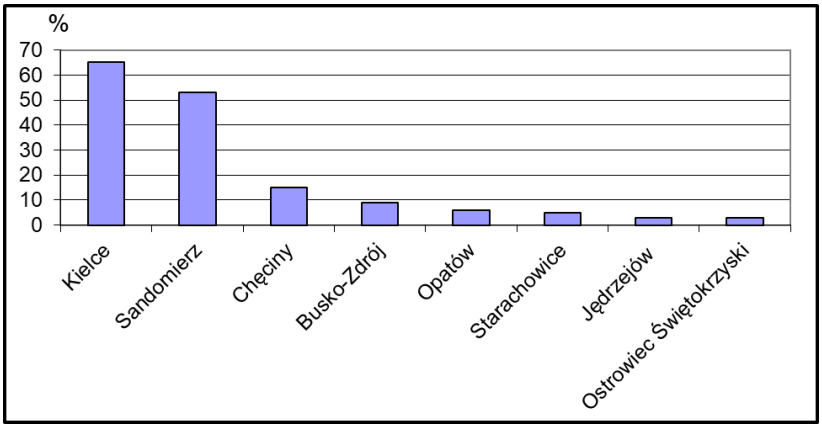
Kielce to niemal 200-tysięczne miasto wojewódzkie usytuowane na Wyżynie Kieleckiej (Solon i in. 2018, Janeczko i Zieliński 2016). Kielce są jedynym miastem na prawach powiatu w województwie świętokrzyskim (Tab. 1). Obecnie są one ważnym regionalnym ośrodkiem administracyjnym, naukowym, historycznym i kulturowym (Tomiczková i Zieliński 2021).

Poza tym pełnią również funkcję głównego ośrodka docelowego oraz węzłowego w zakresie dystrybucji ruchu turystycznego (Bauer i in. 2013). W opinii turystów są one najbardziej atrakcyjnym miastem województwa świętokrzyskiego (Rys. 1).

Tabela 1. Podstawowy podział administracyjny województwa świętokrzyskiego pod względem liczbowym

Liczba jednostek administracyjnych	
miasta na prawach powiatu	1
Powiaty	13
Gminy	102
Miasta	45

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z portalu Bank Danych Lokalnych



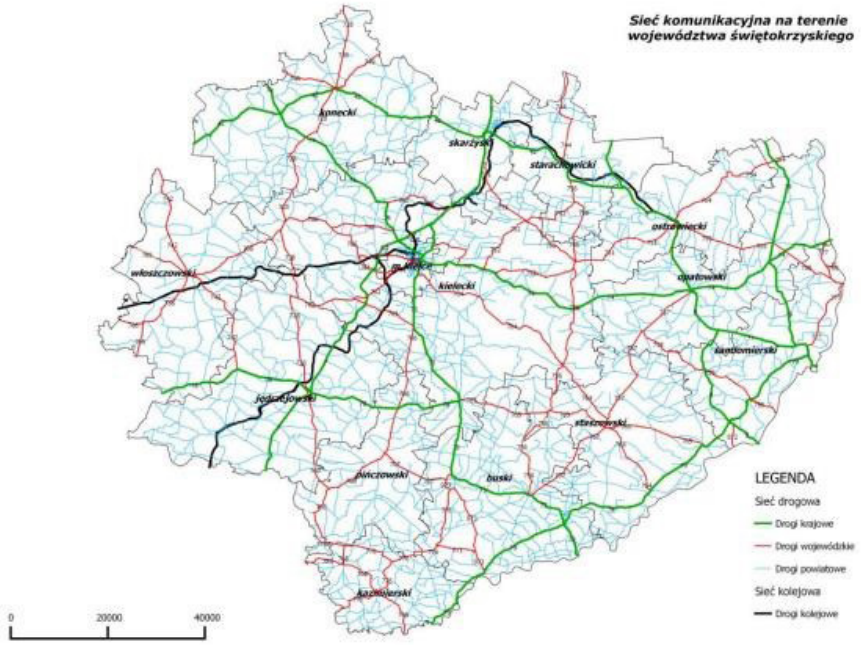
Rys. 1. Najatrakcyjniejsze miasta województwa świętokrzyskiego wg Zielińskiego i Dziarmagi (2017)

Zarówno sieć komunikacyjna kolejowa jak i drogowa posiada jest bardzo rozwinięta, a jej zasięg obejmuje całe województwo (Rys. 2). Transport kolejowy w obrębie województwa dysponuje 10 zelektryfikowanymi liniami o całkowitej długości około 730 km, a 270 km spośród nich to trakcje o znaczeniu państwowym. Niestety obiekt ten obecnie nie jest w najlepszej kondycji i oczekuje na przebudowę.

Dworzec Autobusowy w Kielcach jest najbardziej istotnym węzłem komunikacyjnym w województwie świętokrzyskim. Drogową sieć komunikacyjną stanowią drogi publiczne:

- krajowe (około 750 km),
- wojewódzkie (1070 km),
- powiatowe (około 5700 km),
- gminne (5850 km).

(Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Województwa Świętokrzyskiego, 2014).



Rys. 2. Sieć komunikacyjna drogowa oraz kolejowa na terenie województwa świętokrzyskiego

Źródło: Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Województwa Świętokrzyskiego (Sejmik Województwa Świętokrzyskiego, 2014)

Cel i metody pracy

Celem pracy jest ocena znaczenia Dworca Autobusowego w Kielcach pod względem organizacji komunikacji w zakresie połączeń regionalnych i wychodzących poza obręb województwa.

Pracę oparto na analizie literatury, planów pochodzących od instytucji zajmujących się komunikacją w mieście (np. Zarząd Transportu Miejskiego w Kielcach). Część danych otrzymano bezpośrednio od kierownictwa Dworca Autobusowego w Kielcach, które zostały uzyskane w tracie wywiadu. Przeanalizowane zostały sieci połączeń konkurenta podmiotu badawczego- Dworzec Świętokrzyskiego Zrzeszenia Transportu i Usług. Pozyskane zostały także dane pochodzące z Głównego Urzędu Statystycznego oraz zastosowano ujęcia tabelaryczne.

Rys historyczny obiektu badań

Historia Kieleckiego Dworca Autobusowego, takim jakiego go znamy obecnie, sięga roku 1968 (Janicka i Myśliński 2020). Wtedy to w Biurze Projektów MIASTOPROJEKT rozpoczęto prace koncepcyjne nad projektem nowego dworca autobusowego. Działanie to uzasadnił dynamiczny rozwój miasta, a także znaczący wzrost liczby pasażerów. Wówczas już w planach było połączenie podziemne dworców PKS oraz PKP. Szybko zrezygnowano z tego pomysłu. Powodem była nienajlepsza koniunktura ekonomiczna miasta oraz kryzys gospodarczy Polski. Odczuwalny był także brak materiałów budowlanych na rynku. Niestety koncepcja ta do tej pory nie doczekała się realizacji.

Prace budowlane dworca zostały ukończone w roku 1984 i na ten sam rok datuje się otwarcie dworca PKS. Największym mankamentem był fakt, że nie udało się wtedy uruchomić zaplanowanej wcześniej instalacji ruchomych schodów, łączącej obydwa poziomy pasażerskie.

Do momentu zamknięcia w roku 2018 dworzec wyposażony w 12 głównych stanowisk i zapewniał odjazd 144 autobusów na godzinę. Wszystko to było możliwe dzięki separacji komunikacji pieszej i kołowej, czyli braku zetknięcia się drogi pasażera z drogą pojazdów mechanicznych – podróżni nie musieli przechodzić w miejscu ruchu autobusów, aby dostać się na drugą stronę jezdni, bądź w dowolne miejsce. Umożliwiały to zarówno tunele biegnące pod peronami, jednokierunkowy ruch kołowy oraz nowoczesna forma dworca w kształcie koła. Przeprowadzona analiza popularności kursów z roku 2013 wskazała, że największą ilością cieszyły się kursy do Końskich i Ostrowca Świętokrzyskiego (Tab. 2). W przypadku pierwszego z tych miast ma to związek z niedostatkiem połączeń kolejowych.

Tabela 2. Najbardziej obciążone kierunki regionalne w roku 2013

Kierunek	Liczba kursów w ciągu doby
Końskie	63
Ostrowiec Św.	39
Stąporków	36
Łopuszno	28
Łukowa	24
Strawczyn	23

źródło: Plan transportowy Gminy Kielce oraz gmin przyległych tworzących wspólną komunikację zbiorową, 2013

Od 1990 roku PKS (Polska Komunikacja Samochodowa), czyli ówczesny właściciel dworca, przeszedł przemianę. Z wielkiego państwowego przedsiębiorstwa został rozbity na setki małych podmiotów własności prywatnej lub państwowej. Część podlegających jej budynków została wyniszczona, a tylko nieliczne zachowały się w dobrym stanie. Doprowadziło to do wpisania w 2011 roku obiektu do rejestru zabytków. Była to ostatnia próba ratowania starego dworca PKS przed rozbiórką, która zakończyła się fiaskiem. Sam upadek PKS powiązany jest bezpośrednio z rozwojem mniejszych firm przewozowych. Obciążenia dotykające takie przedsiębiorstwa były nieporównywalnie mniejsze, co z pewnością skutecznie ograniczało niezbędne fundusze potrzebne do utrzymania. Skutkiem tego było odkupienie przez miasto dworca w 2016 roku. Ogłoszony został konkurs na projekt renowacji dworca. Wpłynęło 9 ofert. zwycięska okazała się nowoczesna wizualizacja kieleckiego biura Marcin Kamiński Bartosz Bojnarowicz Architekci (Ryc. 3). Całkowite koszty realizacji projektu wyniosły 246 mln złotych. 184 mln złotych pochodziło z dofinasowania z Funduszy Europejskich – było to 85% kwoty całkowitej.

Rys. 3. Zwycięska wizualizacja projektu

źródło:https://kielce.naszemiasto.pl/tak-bedzie-wygladal-kielecki-dworzec-pks-poprzebudowie/ar/c3-3956204 (dostęp 17.03.2022)

Charakterystyka obiektu badań

Dworzec Autobusowy w Kielcach zlokalizowany jest w centrum miasta (Ryc. 4). Obiekt ten oddano do użytku 27 sierpnia 2020 roku. Zaś 1 września 2020 wyruszył pierwszy inauguracyjny kurs. Od tego momentu zaczął on funkcjonować pod nową nazwą „Dworzec Autobusowy w Kielcach".

Fot. 4. Zdjęcie dworca Autobusowego w Kielcach (fot. D. Litwin 2022)

Wcześniej wspomniana lokalizacja to ogromny atut. Znacząco ułatwia to komunikację i pozwala pasażerom łatwo przedostać się do wybranego miejsca. Mieszkańcy pracujący w pobliżu oraz osoby korzystający z atrakcji nocnego życia (ulica Sienkiewicza, Rynek, Hotel Grand) mają zapewniony niezbędny środek transportu. Innymi obiektami w pobliżu zajmującymi się przewozami pasażerskimi są dworzec PKP oraz mniejszy Dworzec BUS (Rys. 5).

Rys. 5. Lokalizacja dworców w Kielcach (Kolor czerwony - Dworzec Autobusowy, kolor zielony - Dworzec PKP, kolor niebieski - Dworzec BUS)

źródło: opracowanie własne na podstawie https://www.panstwaswiata.pl/polska/mapa/kielce/ (dostęp 19.03.2022)

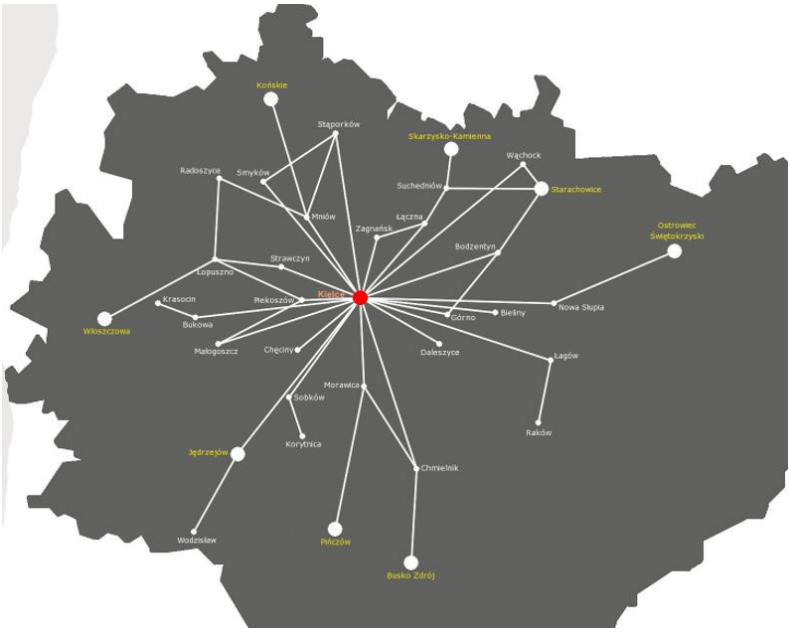
W sąsiedztwie obiektu badań znajduje się dworzec PKP (Rys. 6). Wspomniane dworce dzieli odległość około 350 m. Niestety przemieszczanie się pomiędzy tymi obiektami nie jest łatwe.

Pomimo niewielkiej odległości podróżni z bagażami muszą pokonać podwójne światła. Budynek dworca PKP jest przestarzały, a jego bryła i wnętrze nie są funkcjonalne.

Rys. 6. Zdjęcie dworca PKP (fot. D. Litwin 2022)

Trzecim węzłem komunikacyjnym obok Dworca Autobusowego w Kielcach i Dworca PKP jest Dworzec Świętokrzyskiego Zrzeszenia Transportu i Usług (Rys. 7). Znajduję się on przy ulicy Żelaznej 18. Jego popularna nazwa to Dworzec BUS. Oferuje on połączenia głównie w obrębie województwa świętokrzyskiego (Rys. 8), jak również do województw sąsiednich tj. małopolskiego, mazowieckiego, lubelskiego. Możemy dojechać do takich miast jak Kraków, Lublin, Radom oraz Szydłowiec. Budynek tego dworca oraz jego zaplecze pozostawia wiele do życzenia. Dojazd do stanowisk dla kierowców prowadzący przez nienajlepszej jakości wąską drogę brukową jest uciążliwy.

Rys. 7. Zdjęcie dworca BUS przy ul. Żelaznej (fot. D. Litwin 2022)



Rys. 8. Zasięg połączeń autobusowych z Dworca BUS w obrębie województwa świętokrzyskiego, źródło: http://www.busy-kielce.pl/ , dostęp 17.03.2022

Wyniki badań

Dworzec Autobusowy w Kielcach ma podpisane obecnie 54 umowy z przewoźnikami. 12 z nich to przewoźnicy międzynarodowi tacy jak np. SINDBAD, Ideal-Travel, Lux-Reisen Łódź, czy też Forsage Auto. Linie obsługujące ruch międzynarodowy realizują połączenia do państw takich jak: Białoruś (Mińsk), Czechy (Praga), Francja, Niemcy, Ukraina, Węgry (Budapeszt), Włochy (Vittoria). Najpopularniejszym kierunkiem podróży była wcześniej

Ukraina, jak i same miasta ukraińskie t.j. Chersoń, Czerkasy, Kamieniec Podolski, Kijów, Lwów oraz Mariupol. Aktualnie kursy są większości zawieszone z racji występującego tam zagrożenia – panująca wojna.

Koszty użytkowania dworca nie są wygórowane dla większości przewoźników (Tab. 3). Jednak funkcjonowanie firm przewozowych w okresie pandemii stanęło pod znakiem zapytania. Szukając oszczędności rezygnowali z współpracy. Sama pandemia COVID-19, której pierwszą falę datujemy na 2019 rok, sprawiła że ponad 90% przedsiębiorstw odczuło w kontekście gospodarczym jej negatywne działanie. Samo uderzenie w zwalniającą już wtedy gospodarkę podkreśliła znacząco ten kryzys. Władze państwa stanęły przed wyzwaniem jej odbudowy, a przedsiębiorstwa ratowania własnej działalności – utrzymania się na rynku.

Tabela 3. Koszty obciążające przewoźników korzystających z Dworca Autobusowego w Kielcach

Usługa	Koszt
Parking autobusu ponad 30 osób	300 zł netto
Parking autobusu do 30 osób	200 zł netto
Umieszczenie rozkładu jazdy lub jego zmianę	60 zł netto
Promocja multimedialna - informacja głosowa	1 zł netto

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych uzyskanych od kierownictwa Dworca Autobusowego w Kielcach

Na początku 2022 roku najwięcej kursów dziennych o charakterze lokalnym odbywa się do następujących miejscowości: Szałas, Końskie, Łopuszno, Stąporków, Chmielnik (Tab. 4). Przedstawione w tabeli wartości stanowią zarówno konkretne linie połączenia do tych miejscowości, a także jako jeden z przystanków do innego miejsca. Warto zwrócić uwagę na to, że w porównaniu do 2013 roku liczba kursów do Końskich jest mniejsza (wtedy 63, a teraz liczba połączeń stanowi 35 kursów w dni powszednie oraz 19 kursów weekendowych).W zakresie regionalnym zauważono brak połączeń realizujących połączenia bezpośrednie do 2 miast powiatowych tj. Kazimierzy Wielkiej oraz Staszowa. Do Staszowa realizowane są kursy z sąsiedniego dworca Bus (10 połączeń). Inaczej sprawa wygląda w przypadku Kazimierzy Wielkiej – odjazdy realizowane są z ul. Żytniej, a ich ilość jest naprawdę niewielka (2 połączenia). Do Jędrzejowa z Dworca Autobusowego w Kielcach można się dostać tylko jedną linią. Zdecydowanie więcej połączeń realizowanych jest tam z Dworca BUS (11 połączeń). Jeśli chodzi o inne miasta powiatowe poza Końskimi – warto wyróżnić Pińczów (15 połączeń), Busko Zdrój (11 połączeń) oraz Ostrowiec Świętokrzyski (13 połączeń). Do pozostałych stolic powiatów tj. Opatowa, Sandomierza, Skarżyska Kamiennej, Starachowic, Włoszczowy ilość kursów jest mniejsza niż 10.

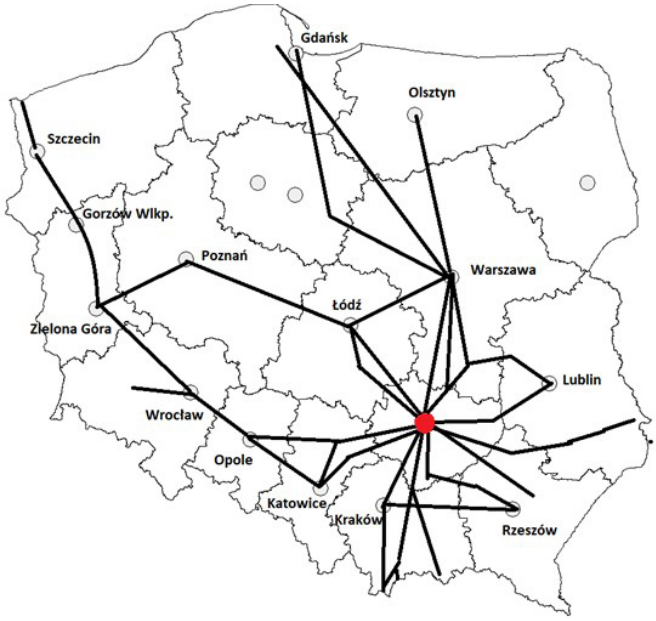
Tabela 4. Największa liczba połączeń realizowanych z Dworca Autobusowego w Kielcach w 2022 roku

Miejscowości	Liczba kursów w ciągu doby (kursy weekendowe)
Szałas	38 (13)
Końskie	35 (19)
Łopuszno	29 (9)

Chmielnik	24 (11)
Stąporków	20 (8)

Źródło: opracowanie własne na podstawie bieżących rozkładów jazdy

Zasięg kursów międzywojewódzkich obejmuje co najmniej 10 stolic województw (Rys. 9). Poza tym realizowane są kursy do wielu popularnych miejscowości. Z tego szerokiego grona warto wyróżnić połączenia do takich miejscowości jak: Zakopane, Biłgoraj, Zamość, Krynica Zdrój oraz Świnoujście.



Rys. 9. Połączenia z Kielc do miast wojewódzkich oraz innych miast, (źródło: opracowanie własne na podstawie mapy Polski http://geografia24.pl/wp-content/uploads/2021/04/Wojewodztwa-miasta-wojewodzkie.png (dostęp 02.04.2022)

Na dworcu brakuje miejsc do ładowania urządzeń elektronicznych. Aktualnie panująca moda na nie sprawia, że jest to uciążliwe dla pasażerów oczekujących na dalszą podróż. Z drugiej strony ilość udogodnień jest wystarczająca, np. salonik prasowy, punkt gastronomiczny, czy też szafki bagażowe. W porównaniu do pobliskiego dworca PKP toalety oddane do dyspozycji pasażerów są bezpłatne. Długi czas oczekiwania na podróż może umilić także Mediateka z strefą VR, gdzie możemy zagrać na konsoli lub wybrać tradycyjne gry planszowe, poczytać książkę oraz odsłuchać audiobooka.

Dworzec z pewnością odgrywa znaczącą role w komunikacji Kielc, a przeprowadzone badania (Tab. 5) stwarzają możliwość dokonania oceny i znaczenia Dworca Autobusowego w Kielcach przez analizę SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats).

Tabela 5. Analiza SWOT znaczenia dworca autobusowego w komunikacji Kielc

MOCNE STRONY 1. Lokalizacja w centrum miasta - jeden z symboli miasta 2. Nowoczesna i bezpieczna bryła, której wewnętrzne zagospodarowanie daje podróżnym wiele możliwości. 3. Znacznie wyższa ilość i zakres kursów regionalnych, ponadregionalnych i międzynarodowych od Dworca BUS.	**SŁABE STRONY** 1. Brak bezpośredniego połączenia podziemnego i nadziemnego z dworcem PKP 2. Brak linii do 2 miast powiatowych 3. Brak ogólnodostępnych gniazdek do ładowania urządzeń mobilnych.
SZANSE 1. Poszerzenie oferty o kolejne miejsca na mapie Polski, województwa (wszystkie miasta powiatowe, wojewódzkie). 2. Przejęcie przewoźników Dworca Bus. 3. Wybudowanie połączenia między Dworcem Autobusowym w Kielcach, Dworcem PKP .	**ZAGROŻENIA** 1. Sytuacja epidemiologiczna (na świecie) jako przyczyna odwoływania linii (umów z przewoźnikami). 2. Konkurencja pobliskiego Dworca Bus.

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Dworzec w Kielcach pełni istotną rolę w komunikacji miasta Kielce i posiada szeroki zakres połączeń (98 linii) pod względem regionalnym, międzywojewódzkim (np. Szczecin, Rzeszów, Wrocław) oraz międzynarodowym. Działanie Dworca Autobusowego w Kielcach jest także chaotyczne, ponieważ brakuje pewnych połączeń lokalnych (Staszów, Kazimierza Wielka). Realizuje on połączenia do 10 miast powiatowych. Zakres jego połączeń na wschód sięga wschodniej Ukrainy, a na zachód Niemiec. Dość silnym konkurentem podmiotu badawczego jest mniejszy Dworzec BUS, który realizuje połączenia w obrębie województwa świętokrzyskiego, a także sąsiednich województw. Istotnymi mankamentami są brak połączenia podziemnego lub nadziemnego z Dworcem PKP, które ułatwiłoby komunikacji, a także brak miejsc do ładowania na terenie Dworca Autobusowego w Kielcach. Przy obecnych trendach należy uznać to za rażący element zagospodarowania wnętrza. Nowoczesny design i wysoki współczynnik bezpieczeństwa sprawia, że Dworzec Autobusowy w Kielcach jest znanym punktem na mapie Kielc, a także regionu świętokrzyskiego. Z racji wsparcia ze środków Funduszy Europejskich dworzec ten powinien realizować pewien program. Kolokwialnie mówiąc po 5 latach od jego oddania będzie mógł on „zarabiać". Wtedy możemy spodziewać się pewnych zmian w aspekcie ekonomicznym jego działania.

Bibliografia

Bauer M., Dźwigoń W., Pyzik M., Rudnicki A., Szarata A. (2013), *Plan transportowy Gminy Kielce oraz gmin przyległych tworzących wspólna komunikację zbiorową*, Gmina Kielce – Zarząd Transportu Miejskiego, s. 33.

Ejdys S. (2014), *Optymalizacja miejskiego transportu zbiorowego na przykładzie miasta Olsztyna*, rozprawa doktorska, s. 5.

Gołembski G. (2002), *Kompendium wiedzy o turystyce*, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Janicka D., Myśliński K. (2020), *Kielecki odjazd dworzec autobusowy*, Broszura ZTM w Kielcach, s. 1, 7-21.

Sejmik Województwa Świętokrzyskiego (2014), *Plan Zrównoważonego Rozwoju Publicznego Transportu Zbiorowego Województwa Świętokrzyskiego*, s. 32-39.

Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorczyk I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P.,

Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski Sł., Ziaja W. (2018), *Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data,* Geographia Polonica. Volume 91, Issue 2, pp. 143-170.

Szczerbaciuk Z. (2014), *Publiczny transport drogowy uwarunkowania i prognozy funkcjonowania, „Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe"* 15 nr 4, s. 4, 16.

Tomiczková J., Zieliński A. (2021), *Potencjał turystyczny miasta Kielce*, Słupskie Prace Geograficzne (w druku).

Zieliński A., Dziarmaga D. (2017), *Atrakcyjność turystyczna miast w opinii turystów,*

Turystyka w badaniach geograficznych, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Turystyki i Języków Obcych" Warszawa, Seria Turystyka i Rekreacja, 20 (2), s. 131- 140
Zieliński A., Janeczko K., 2016, *Największe atrakcje turystyczne w województwie świętokrzyskim w opinii turystów*, „Ekonomiczne Problemy Turystyki" nr 2 (34), 297-307

Źródła internetowe

Bank Danych Lokalnych, https://dbl.stat.gov.pl/bdl/start (dostęp: 08.03.2022).
http://www.busy-kielce.pl/ (dostęp: 17.03.2022).
http://geografia24.pl/wp-content/uploads/2021/04/Wojewodztwa-miasta-wojewodzkie.png (dostęp: 02.04.2022).
https://gazeta.sgh.waw.pl/meritum/gospodarka-w-czasie-pandemii (dostęp: 07.05.2022).
http://kompub.kielce.eu/o-projekcie/ (dostęp: 08.03.2022).
https://www.panstwaswiata.pl/polska/mapa/kielce/ (dostęp: 19.03.2022).
http://www.um.kielce.pl (dostęp: 08.03.2022).

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

ANNA MIĄŻEK
Studentka I roku chemii, studia pierwszego stopnia
Studenckie Koło Naukowe „Kalcyt"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the first year of Chemistry, first cycle studies
"Calcite" Student Scientific Association of Tourism
Jan Kochanowski University of Kielce

Problem występowania mikroplastiku w kosmetykach

The problem of the presence of microplastics in cosmetics

Abstract: In recent years, interest in different topics related to the composition of cosmetics and to personal hygiene products, which contain microplastics, has increased. They constitute a dangerous source of Earth's contamination with plastic substances. Research has shown that microplastics have a negative impact on the environment and human health. Parts of microplastics used in cosmetic industry are responsible for the major part of dangerous solid waste produced by people. By defining legal standards connected with reducing the use of plastic substances in cosmetic products, producers decided to change their composition and use more ecological and natural substances, but it is still necessary to implement many, often critical changes.

Key words: microplastics, cosmetics, hazards, environmental protection, health protection

Mikroplastik – najważniejsze informacje

Mikroplastik jest powszechnym terminem w literaturze naukowej dotyczącej środowiska, odnoszącym się do cząstek plastiku w zakresie wielkości poniżej 5 mm (Leslie 2014). Termin obejmuje cząstki w zakresie mili (1-5 mm), mikro (1-999 μm) oraz nano – wielkość (1-999 nm). Źródła mikroplastiku można podzielić na pierwotne oraz wtórne, które w większości pochodzą, odpowiednio: z domowych produktów kosmetycznych i rozpadu większych fragmentów plastiku (Kang i in. 2019). Ostatnio pojawiły się doniesienia, że szeroko stosowane kosmetyki zawierają duże ilości złuszczaczy, takich jak mikrokuleczki lub mikro-złuszczacze, które są lekkomyślnie odprowadzane do ścieków i trudne do wychwycenia przez oczyszczalnie ścieków (Kang i in. 2019). Kształty cząstek plastiku, które są sprzedawane jako mikrokulki, mogą być sferyczne, ale także amorficzne. Wyglądają one podobnie do wielu mikrodrobin plastiku wykrytych w oceanach:

kulek i nieregularnie ukształtowanych fragmentów (Leslie 2014). Istnieją dwa rodzaje mikrodrobin plastiku: mikrodrobiny pierwotne, które są wytwarzane głównie w celu utylizacji – mianowicie granulki lub mikrokulki jako cząstki stałe, znajdujące się w produktach higieny osobistej, oraz wtórne mikrodrobiny plastiku, powstałe w wyniku rozpadu większych tworzyw sztucznych pod wpływem warunków środowiskowych (Andrady i in. 2011; Cole i in. 2011; Hidalgo-Ruz i in. 2012).

Mikroplastik w kosmetykach

Składniki z tworzyw sztucznych znajdują zastosowanie w przemyśle kosmetycznym i higienie osobistej w szerokiej gamie produktów. Materiały z tworzyw sztucznych to syntetyczne, niedegradowalne, nierozpuszczalne w wodzie materiały stałe, składające się z polimerów zmieszanych z dodatkami, aby nadać materiałom pożądane właściwości i funkcjonalność. Cząstki plastiku stosowane w kosmetykach są bardzo małe (zwykle nie większe niż około 1 milimetra, ale mogą mieć też kilkadziesiąt nanometrów): wiele z nich jest niewidocznych gołym okiem. Rodzaje tworzyw sztucznych stosowane w kosmetykach obejmują tworzywa termoplastyczne i termoutwardzalne, w tym silikony. W ramach tych kategorii tworzyw sztucznych w kosmetyce stosuje się wiele różnych rodzajów polimerów i kopolimerów. Funkcje tych materiałów w produktach obejmują m.in. regulację lepkości, kondycjonowanie skóry, stabilizację emulsji i wiele innych (Leslie 2014). Składniki z tworzyw sztucznych spełniają te funkcje w wielu rodzajach produktów kosmetycznych i higieny osobistej, takich jak mydła, szampony, dezodoranty, pasty do zębów, kremy przeciwzmarszczkowe, balsamy, kremy do golenia, kremy z filtrem przeciwsłonecznym, maseczki na twarz, produkty do makijażu (np. szminki lub cienie do powiek) czy nawet płyny do kąpieli dla dzieci. Omawiane tutaj tworzywa sztuczne stosowane jako składniki kosmetyków obejmują dwie główne kategorie tworzyw sztucznych, zwykle wytwarzanych z ropy naftowej: tworzywa termoplastyczne np. polietylen, polipropylen, polistyren, politetrafluoroetylen (Teflon®), polimetakrylan metylu, poliamid oraz tworzywa termoutwardzalne, m.in. poliester czy poliuretany. Te polimery są oparte na węglu i mają następującą charakterystykę (Leslie 2014):

- łańcuchy atomów węgla, takie jak polietylen, polipropylen, polistyren,
- łańcuchy heteroatomowe zawierające węgiel oraz tlen, np. polimetyloakrylan metylu, poliester lub poli(tereftalan etylenu), poliwęglan,
- łańcuchy heteroatomowe zawierające węgiel oraz azot, m.in. poliamid, poliuretan.

Plastikowe składniki obecne są w różnych produktach kosmetycznych w ilości od ułamka procenta do ponad 90% w niektórych przypadkach (Cosmetics Ingredient Review, 2012). Szacuje się, że z 275 milionów ton metrycznych odpadów z tworzyw sztucznych wytworzonych przez 192 kraje nadmorskie w 2010 roku, do oceanu trafiło od 4,8 do 12,7 miliona ton (Gago i in. 2020). Mając to na uwadze, można by oczekiwać, że na całym świecie będzie istniało zapotrzebowanie na skoordynowane działania w zakresie zarządzania odpadami plastikowymi, mające na celu zmniejszenie ilości tworzyw sztucznych wprowadzanych do środowiska morskiego. W Unii Europejskiej każde państwo członkowskie decyduje o tym, jaki protokół stosować do monitorowania mikrodrobin

przy wdrażaniu Ramowej Dyrektywy w sprawie Strategii Morskiej (MSFD). Jedynym wspólnym kryterium dla wszystkich państw członkowskich jest monitorowanie cząstek mniejszych niż 5 mm. Wartości progowe kryteriów mogą być czynnikiem decydującym o stosowanych metodach, dlatego wartości te musiałyby zostać uzgodnione między członkami Unii Europejskiej, aby następnie określić standardowe metody reagowania na to kryterium. Dyrektywa europejska 2008/56/WE (Dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej, Komisja Europejska (WE), Dyrektywa 2008/56/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiająca ramy działań w dziedzinie polityki środowiska morskiego) jest kluczowym elementem działań Europy na rzecz ochrony mórz i oceanów. Dyrektywa wzywa wszystkie regiony i podregiony morskie UE do osiągnięcia „dobrego stanu środowiska" (GES) (Gago i in. 2020). Francja jako pierwsze państwo członkowskie UE wprowadziła ograniczenie stosowania mikroplastiku w niektórych produktach kosmetycznych i do pielęgnacji ciała, tzw. produktach spłukiwanych do złuszczania lub oczyszczania. O francuskim zakazie poinformowano Komisję zgodnie z dyrektywą 2015/1535, która wymaga od państw członkowskich UE notyfikowania „wszelkich projektów przepisów technicznych" w celu oceny skutków proponowanych regulacji na rynku. Francja notyfikowała również projekt Światowej Organizacji Handlu (WTO) zgodnie z art. 10 ust. 6 Porozumienia w sprawie barier technicznych w handlu (Porozumienie TBT). W obu notyfikacjach zakaz stosowania mikroplastików w spłukiwanych produktach kosmetycznych – produktach, które są spłukiwane natychmiast po użyciu – uzasadniono odniesieniem do międzynarodowych i europejskich zobowiązań dotyczących stanu środowiska morskiego. Inne państwa członkowskie ogłosiły podobne przepisy. Ponadto państwa niebędące członkami UE, takie jak: Stany Zjednoczone, Kanada, Korea Południowa i Nowa Zelandia, zgłosiły lub wprowadziły już w życie przepisy zakazujące stosowania mikroplastiku w niektórych produktach kosmetycznych (Kentin, Kaarto 2018). Wybitnym i powszechnie cytowanym przykładem dobrowolnego zarządzania przez firmy jest Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO), która ma duży wpływ na rozwój systemów zarządzania środowiskowego i norm na całym świecie (Thompson i in. 2002). Przykładem tego jest decyzja Cosmetics Europe z 2015 r. Europejskie stowarzyszenie branżowe przemysłu kosmetycznego i higieny osobistej zaleciło w niej swoim członkom zaprzestanie do 2020 roku stosowania syntetycznych mikrogranulek wykorzystywanych do złuszczania i oczyszczania, które nie ulegają biodegradacji w środowisku wodnym. Zalecenie to opiera się na dobrowolnych inicjatywach podjętych już przez poszczególne firmy członkowskie Cosmetics Europe. Oprócz wiążących praw i krajowych regulacji prawnych, należy również wspomnieć, że rządy, firmy i różne organizacje społeczeństwa obywatelskiego stosują szereg dobrowolnych działań w celu zmniejszenia liczby produktów konsumenckich zawierających mikrogranulki (Gago i in. 2020).

Metody oznaczeń i badań mikroplastiku w kosmetykach

Aby zająć się tym problemem, konieczne jest znalezienie źródła skażenia oraz mechanizmu jego powstawania, do czego pierwszym krokiem jest detekcja i identyfikacja mikroplastiku w różnego rodzaju próbkach. Obiecujące strategie obejmują metody

spektroskopowe i termoanalityczne. Dwie metody spektroskopii oscylacyjnej, spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) i spektroskopia Ramana są wykorzystywane do wykrywania mikroplastiku (MP). Dodatkowo połączenie z oprogramowaniem do wyszukiwania cząstek lub detektorem z matrycą ogniskową (FPA) umożliwiają niezawodne określanie liczby cząstek mikroplastiku w próbkach środowiskowych. W ostatnich latach do wykrywania mikroplastiku zaadaptowano różne techniki termoanalityczne, takie jak piroliza (Py), analiza termograwimetryczna (TGA) i różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC). Wszystkie metody termoanalityczne opierają się na pomiarze zmian fizycznych lub chemicznych polimeru poddanego obróbce termicznej. Podczas gdy DSC mierzy różnice w strumieniu ciepła spowodowane przemianami fazowymi polimeru, TGA-MS opiera się na wykrywaniu określonych produktów degradacji termicznej. Za pomocą etapu separacji metodą chromatografii gazowej możliwa jest ulepszona detekcja związków markerowych, umożliwiając bardziej czułą detekcję mikroplastiku, nawet w złożonych matrycach. Zakres uzyskanych informacji analitycznych oraz złożoność metod wzrastają według kolejności TGA-DSC < TGA-MS < Py-GC-MS/TED-GC-MS. Wyniki są porównywalne z wynikami otrzymanymi dzięki metodom spektroskopowym (FT – IR, Raman), ale wszystkie techniki mają inne zalety i ograniczenia (Dierkes i in. 2021).

Najpopularniejszym kierunkiem badań mikroplastiku w kosmetykach były jak do tej pory badania dotyczące mikrokulek plastikowych. Przykładem takich badań jest artykuł *Analysis of microbeads in cosmetics products in the United Arab Emirates*, który ukazał się w czasopiśmie „Environmental Pollution" w 2019 r. Rana Zeeshan Habib wraz z współautorami w celu analizy mikrokulek obecnych w kosmetykach wykorzystali 37 marek peelingów do ciała. Badacze zastosowali metodę spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT – IR) w celu określenia składu mikrogranulek pozyskanych z każdego produktu. Dzięki uzyskanym widmom zidentyfikowali rodzaj materiału, z którego wykonane były kulki, i jak się okazało – był to głównie polietylen. Po zastosowaniu metody termoanalizy, poprzez spopielenie pozostałych mikrokulek, wykazano również, że występowały w nich mikrokrystaliczna celuloza, żel i pumeks krzemionkowy oraz kopolimer etylenowo-akrylowy. Kulki charakteryzowały się stabilnością i trwałością. Wykorzystane metody analityczne pozwoliły określić chemiczne i fizyczne właściwości mikrokulek, ale też ich wielkość oraz kształt. Tego typu badania przyczyniły się do rozpowszechnienia wiedzy o poważnym problemie i wprowadzenia zakazu stosowania w wielu krajach mikrokulek plastikowych w produktach kosmetycznych.

Mikroplastik i jego wpływ na środowisko

Narażenie na mikroplastik jest możliwe w różnych siedliskach: w zbiornikach wodnych, do których trafiają ścieki, a w tym w rzekach (obecne w zawiesinie rzecznej), wodzie morskiej i osadach morskich, glebie, powietrzu (Leslie 2014). Większość zanieczyszczeń tworzywami sztucznymi w morzu pochodzi ze źródeł lądowych, a nie z samego morza (ONZ 2012) (Gago i in. 2020).

Wiadomo, że toksyczność cząstek zależy od ich rozmiaru i kształtu, ale może również zależeć od specyficznego składu chemicznego mikroplastiku (polimer, monomer, dodatki, możliwe sorbowane zanieczyszczenia) (przegląd w Leslie i in. 2011). Ze względu na niską gęstość mikrokulki unoszą się na powierzchni wody, następnie stają się cięższe z powodu kolonizacji mikroalgami i innymi epibiontami, powoli schodzą wzdłuż słupa wody i docierają do osadów dennych (Isobe i in. 2015). Konsekwencją stosowania mikroplastiku w kosmetykach jest emitowanie ich do środowiska ze ściekami. W większości części świata emitowany mikroplastik jest bezpośrednio transportowany do wód powierzchniowych, ale emisja może również odbywać się poprzez oczyszczone ścieki lub wykorzystanie osadów ściekowych na gruntach rolnych, składowiskach odpadów lub zrzucanie osadów ściekowych do morza. Wyrzucane po użyciu produktu mikrodrobiny plastiku stają się potencjalnie dostępne do akumulacji przez ogromną liczbę gatunków i mogą być transportowane na duże odległości. Wiele dowodów wskazuje, że mikrodrobiny plastiku (w tym bardzo drobne cząstki plastiku o rozmiarach nano) mogą mieć wyraźny negatywny wpływ na systemy biologiczne reprezentujące szeroką różnorodność poziomów taksonomicznych, gdy poziom narażenia przekracza poziomy progowe (Leslie 2014). Zastosowanie mikroplastiku w higienie osobistej i produktach kosmetycznych zostało uznane za jedno z najważniejszych źródeł i dróg przez które trwałe, potencjalnie szkodliwe tworzywa sztuczne, mogą być emitowane do środowiska wodnego. Codzienne korzystanie z produktów higieny osobistej i produktów kosmetycznych prowadzi do bezpośredniego uwalniania tych cząstek plastiku do ścieków, ponieważ produkty te są w przeważającej części zmywane lub spłukiwane do kanalizacji w trakcie lub po użyciu. Zanieczyszczone osady ściekowe są czasami spalane lub składowane, a nawet stosowane na polach rolniczych jako obornik (Bhattacharya 2015). Może to spowodować uwolnienie szkodliwego mikroplastiku w różnych sferach środowiska oraz w prawie wszystkich typach siedlisk wodnych na całym świecie. W środowisku wodnym cząstki mikroplastiku są konsumowane przez różne małe organizmy, takie jak dżdżownice, obunogi i pąkle, omułki jadalne, a tym samym te tworzywa sztuczne potencjalnie mogą dostać się do różnych poziomów łańcucha pokarmowego (Bhattacharya 2015). Większe zwierzęta morskie, np. ryby są również bardzo podatne na połykanie tych mikrodrobin. Same tworzywa sztuczne lub w połączeniu z innymi zanieczyszczeniami mogą powodować różne problemy zdrowotne u ryb i innych organizmów wodnych (Kang i in. 2019).

Mikroplastik i jego wpływ na zdrowie człowieka

U ssaków zbadano wchłanianie i toksyczność kilku rodzajów nanosfer z tworzyw sztucznych. Wskazano, że drobny plastik może być transportowany u człowieka z przewodu pokarmowego do układu limfatycznego i układu krążenia, przez łożysko do nienarodzonych płodów. Dowiedziono również, że wchłaniany w płucach, podczas wdychania mikroplastik powoduje różnorodne reakcje układu odpornościowego, które wpływają na funkcjonowanie komórek organizmu (Kato i in. 2003; Wick i in. 2010). Wystarczająco długa ekspozycja na mikrodrobiny plastiku może prowadzić do uwalniania reakcji stresowych i zapalnych w różnych częściach ciała. Stwierdzono również, że drobne cząstki

plastiku mogą być przenoszone do krwioobiegu, mózgu i innych narządów (Bhattacharya 2015). Ponadto wdychanie tych maleńkich cząstek związane jest z reakcjami alergicznymi, astmą, nowotworem i chorobami serca wśród badanych osób (Bhattacharya 2015). Co więcej, te tworzywa sztuczne w mikroskali mogą działać jako medium lub wektor do gromadzenia i transportu toksycznych hydrofobowych zanieczyszczeń organicznych, czy potencjalnie szkodliwych metali (tzw. metali ciężkich) na swojej powierzchni, powodując bioakumulację zanieczyszczenia oraz zatrucia organizmów żywych (Kang i in. 2019). Powszechne rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń mikroplastikiem zyskuje coraz większą uwagę w sferze publicznej, zwłaszcza temat transferu troficznego w łańcuchu pokarmowym. Jednak wiedza na temat toksyczności mikrodrobin plastiku dla ludzi jest bardzo ograniczona i nie przeprowadzono żadnych bardziej szczegółowych badań dotyczących bezpośredniego wpływu mikrodrobin plastiku na zdrowie ludzkie.

Podsumowanie i perspektywy

Przemysł tworzyw sztucznych rozwija się w ogromnym tempie, notując wzrost roczny o 8,7% z 1,7 mln ton rocznie w 1950 roku do 359 mln ton produkowanych obecnie (Gourmelon 2015). Szacuje się, że około 30% wszystkich tworzyw sztucznych jest obecnie w użyciu, a dzięki swojej trwałości duża część z pozostałych 70% również nadal istnieje w różnych formach (często jako odpady), a część z nich ostatecznie trafia do środowiska (Geyer i in. 2017). Aby odzwierciedlić globalną skalę zjawiska podano, że 4130 ton mikrokulek mikroplastiku rocznie było zużywanych w krajach UE oraz w Szwajcarii (Gouin i in. 2015). Odpady z tworzyw sztucznych są uznawane za poważne zagrożenie dla zdrowia środowiska i ludzkości (UNEP 2016), a ich poziom w środowisku doprowadził do wniosków, że obecnie znajdujemy się w „erze plastiku" lub „plastikenu" (Baztan i in. 2017). Ze względu na ogólnoświatową obecność mikroplastiku na całym świecie, od Arktyki po Antarktydę, zanieczyszczenie nim jest prawdopodobnie jednym z najczytelniejszych przykładów oddziaływań środowiskowych związanych z globalizacją (Andrady 2011). Plastikowe składniki w kosmetykach nie mogą być poddane recyklingowi, ponieważ (przez małą wielkość) po zakończeniu użytkowania trafiają do ścieków (opakowania i inne plastikowe przedmioty o dużych rozmiarach , które można przetworzyć i ponownie wykorzystać surowiec. Istnieją duże możliwości zmniejszenia wpływu mikroplastiku na środowisko na etapie projektowania kosmetycznego produktu (Niemiecka Federalna Agencja Środowiska 2000), jednak wymaga to od decydentów w firmach wyboru bardziej ekologicznych czy naturalnych składników. Zostało to już wprowadzone w przeszłości poprzez wyeliminowanie niebezpiecznych rozpuszczalników, toksycznych metali i gazów niszczących warstwę ozonową pochodzących ze środków higieny osobistej oraz gazów z receptur kosmetyków niszczących tę warstwę (Gruber 1999).

Obecnie nie wszystkie kosmetyki zawierają tworzywa sztuczne. Wiele preparatów kosmetycznych dostępnych obecnie na rynku nie zawiera żadnych toksycznych tworzyw sztucznych. Istnieją lub mogą zostać opracowane alternatywne rozwiązania, które będą spełniały funkcje podobne do tworzyw sztucznych, umożliwiając uzyskanie takich samych właściwości produktów, które pełni mikroplastik, pożądanych zarówno przez

firmy, jak i konsumentów. Przyszłe przejście na składniki niezawierające tworzyw sztucznych byłoby zgodne z ambicją Europy, by promować gospodarkę cyrkulacyjną, w której (między innymi) stosuje się eko-projektowanie. Zapobiegałoby to degradacji środowiska, doprowadziłoby do ,,zerowej ilości odpadów" i zmniejszenia wpływu na zdrowie i dobrobyt człowieka (Leslie 2014). (COM 2014, http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/).

Literatura:

Andrady A.L. (2011), *Microplastics in the Marine environment,* Mar Pollut Bull., Aug; 62 (8): 1596-1605.

Baztan J., Bergmann M., Booth A., Broglio E., Carrasuo A., Chouinard O. et al. (2017), *Breaking down the plastic age, in:* Baztan J., Jorgensen B., Pahl S., Thompson R.C., Vanderlinden J.P., *Micro 2016. Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems, From the Coastline to the Open Sea*, 177-181.

Bhattacharya P. (2016), *A review on the impacts of microplastic beads used in cosmetics,* Acta Biomedica Scientia, Jan; 3: 47-52.

Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T. S. (2011), *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, Mar Pollut Bull., Dec;* 62: 2588-2597.

Dierkes G., Lauschke T., Földi C. (2021), *Analytical methods for plastic (microplastic) determination in environmental samples.* Plastics in the Aquatic Environment – Part I, Mar; 111: 43-67.

Dyrektywa 2008/56/WE, Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej) (Dz.U. L 164 z 25.6.2008 r.) [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri-=URISERV%3Al28164] (dostęp: 15.03.2022).

Gago J., Booth A. M., Tiller R., Maest T., Larreta J. (2020), *Microplastics pollution and regulation*. Handbook of Microplastics in the Environment, Oct; 1-27.

Geyer R., Jambeck J. R., Law K.L. (2017), *Production, use and fate of all plastics ever made, Sci Adv., Jul;* 3: 1-5.

Gouin T., Avalos J., Brunning I., Brzuska K., de Graaf J., Kaumanns T. et al. (2015), *Use of micro--plastic beads in cosmetics products in Europe and their estimated emisions to the North Sea environment, Int J Appl Sci., Jan;* 141: 40-46.

Gourmelon G. (2015), *Global Plastic Production Rises, Recycling Lags*, Vital Signs., Jan; 1-7.

Gruber J.V. (1999), *Synthetic polymers in cosmetics In Goddard*, E. D. & Gruber V. (Eds.), *Principles of Polymer Science and Technology in Cosmetics and Personal Care*, New York, 217-274.

Habib R.Z., Abdoon M.M.S., Meqbaali R.M.A., Gheremedhin F., Elkashlan M. et al. (2019), *Analysis of microbeads in cosmetic products in the United Arab Emirates*, Environ Pollut., Dec; 258: 1-9.

Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. (2012), *Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification,* Environ Sci Technol., Feb; 6: 3060-3075.

Isobe A., Uchida K., Tokai T., Iwasaki S. (2015), *East Asian Seas: A hot spot of pelagic micro plastics, Mar Pollut Bull., Dec;* 2: 618-623.

Kang J., Zhou L., Duan X., Sun H., Ao Z., Wang S. (2019), *Degradation of cosmetic microplastics via functionalized carbon nanosprings. Matter, Sep;* 1 (3): 745-758.

Kato T., Yashiro T., Murata Y., Herbert D.C., Oshikawa K., Bando M. et al. (2003), *Evidence that exogenous substances can be phagouytized by alveolar epithelial cells and transported into blood capillaries*, Cell Tissue Res. Jan; 311: 47-51.

Kentin E., Kaarto H. (2018), *An EU Ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate,* Rev Eur Comp Int Environ Law., Nov; 27: 254-266.

Leslie H.A. (2014), *Review of Microplastics in Cosmetics, IVM Institute for Environmental Studie*s, Jul; 1-33. Pozyskano z: https://studylib.net/doc/5508657/review-of-microplastics-in-cosmetics

Leslie H.A., van der Meulen M.D., Kleissen F M., Vethaak A.D. (2011), *Microplastic litter in the Dutch marine environment. Providing facto and analysis for Dutch policymakers concerned with Marine micro plastic litter, IVM Institute for Environmental Studie*s, Nov; 1-97.

Roczny raport dotyczący przeglądu składników kosmetycznych za rok 2012 Cosmetic Ingredient Review *„2012 Annual Report",* pozyskano z: https://www.cir-safety.org/sites/default/files/2012%20CIR%20Annual%20Report.pdf

Sprawozdanie JRC (2014) Wskazówki techniczne dotyczące monitorowania dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej, pozyskano z: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/30681/1/lb-na%E2%80%9326113-en-n.pdf

Thompson M., Ellison S.L.R., Wood R., 2002, *Harmonized guidelines for single – laboratory validation of methods of analysis*, Pure Appl. Chem., 74(5): 835-855.

Wick P., Malek A., Manser P., Meili D., Maeder-Althaus X., Diener L. et al., 2010, *Barrier Capacity of human placenta for nanosized materials*, Environ Health Perspect., Mar; 118: 432-436.

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

IGA MOSKALIK
Studentka V roku metalurgii, studia II stopnia
Koło Naukowe Era Inżyniera,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Student of the second year of Metallurgy, second cycle studies

JADWIGA CEMPURA
Studentka IV roku zaawansowanych materiałów inżynierskich, studia II stopnia
Koło Naukowe Era Inżyniera,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Student of the first year of Advanced Engineering Materials, second cycle studies
"Engineer's Era" Scientific Association
AGH University of Science and Technology in Kraków

Charakterystyka wtrąceń niemetalicznych w stopach na osnowie żelaza

The characteristics of non-metallic inclusions in iron-based alloys

Abstract: The objective of this paper is to analyse and identify non-metallic inclusions in iron-based alloys. In studies of inclusions conducted in metallographic plants, the structure, size, colouring, shape and manner of appearance of iron-based alloys were analysed. Microstructural tests using a metallographic microscope and a scanning electron microscope were performed. In order to confirm the type of inclusion and its chemical composition, energy-dispersive X-ray spectroscopy using a scanning electron microscope (EDS) was also performed. It was found that the most common types of non-metallic inclusions in the analysed alloys are endogenic inclusions. No clear correlation between the type of alloy and the type of inclusion present in the alloy was found.

Key words: alloy steels, endogenic inclusions, metallography, EDS

Wprowadzenie

Wtrącenia niemetaliczne są to zawarte w materiale metalicznym ciała obce o charakterze niemetalicznym. Tworzą je pojedyncze związki chemiczne pierwiastków niemetalicznych z metalami oraz ich wzajemne połączenia, które różnią się od osnowy metalicznej własnościami fizyko-chemicznymi. Wtrącenia niemetaliczne występują w postaci cząstek różnego kształtu i rozmiarów, od kilku do kilkunastu μm. Wtrącenia niemeta-

liczne, ze względu na charakter ich powstawania, można podzielić na: endogeniczne i egzogeniczne [1-3].

Wtrącenia egzogeniczne (pochodzenia zewnętrznego) powstają na skutek zetknięcia się stali z czynnikami zewnętrznymi na drodze piec – wlewnica. Wtrącenia te pochodzą z materiałów ogniotrwałych, stanowiących wyłożenie pieca, rynien spustowych czy kadzi. Wtrącenia takie można często obserwować makroskopowo, w przeciwieństwie do wtrąceń endogenicznych. Należy pamiętać, że zwiększony udział wtrąceń egzogenicznych w stali świadczyć może o nieodpowiednio dobranych parametrach procesu stalowniczego. Może być także związany z uszkodzeniem maszyn wykorzystywanych w tym procesie [2, 3].

Wtrącenia endogeniczne (pochodzenia wewnętrznego) są to zanieczyszczenia powstające w kąpieli stalowniczej, na skutek zachodzących w tym procesie reakcji fizykochemicznych. Przykładem takich reakcji może być utlenianie stali w piecach stalowniczych, w kadziach, podczas spustu lub w procesie krzepnięcia. Wtrącenia endogeniczne możemy podzielić na siarczki, azotki, krzemiany, tlenki, fosforki i spinele [1-5].

Ze względu na to, że endogeniczne wtrącenia niemetaliczne są elementem mikrostruktury stali; nie można ich całkowicie usunąć w toku procesu metalurgicznego. Powoduje to, że, są one w centrum zainteresowania zarówno środowiska przemysłowego jak i naukowców. W związku z tym w niniejszym artykule opisano głównie rodzaje wtrąceń endogenicznych, ponieważ to one najczęściej występują w próbkach ze stopów na osnowie Fe.

Proces tworzenia się wtrąceń w metalu rozpoczyna się od zgrupowania dużej ilości atomów zanieczyszczeń (lokalna fluktuacja składu chemicznego), które tylko przy dostatecznej dużej objętości skupień mogą wytworzyć nową fazę. W procesie wydzielania się wtrąceń z metalu dużą rolę odgrywają zarodki krystalizacji, które poprzez obniżenie wartości energii powierzchniowej niezbędnej do wytworzenia nowej granicy międzyfazowej ułatwiają wydzielenie się wtrąceń [2-4].

Cel badań

Niniejsza praca prezentuje analizę i identyfikację wtrąceń niemetalicznych (endogenicznych) w wybranych stopach na osnowie Fe. Badania zostały wykonane w ramach projektu „Rozkręć koło z ArcelorMittal Poland" [6-7], który dedykowany jest studenckim kołom naukowym Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie. Efektem końcowym badań jest katalog wtrąceń niemetalicznych w wyrobach ze stopów na osnowie żelaza, który został finalnie wykonany przez Studenckie Koło Naukowe Era Inżyniera AGH w grudniu 2021 roku.

Materiał i metodyka badań

W ramach wykonanych badań analizie poddano stopy na osnowie Fe. Przygotowano i przeanalizowano pod względem mikrostrukturalnym ok. 30 różnych próbek (zgładów metalograficznych), z których wytypowano 8 próbek ze stopów najbardziej reprezentatywnych pod względem rodzaju, kształtu i zabarwienia wtrąceń niemetalicznych. W Tabeli 1 przedstawiono skład chemiczny badanych stali stopowych.

Tabela. 1. Skład chemiczny wybranych badanych stopów na osnowie żelaza.

Symbol stali	Skład chemiczny, % masowy													
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Nb	Ti	B	Cu	Al
DP600	0,08	1,64	0,26	0,010	0,006	0,44	0,13	0,03	0,008	-	-	-	0,05	0,047
L415MB	0,15	1,50	0,40	0,025	0,010	0,20	-	0,20	0,07	0,50	0,05	-		0,015
S235J2	0,17	1,35	-	0,024	0,024	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,037
27MnCrB5-2	0,27	1,25	0,20	0,010	0,020	0,50	-	-	-	-	-	0,003		-
30Mn5	0,28	1,05	0,38	0,023	0,015	0,04	-	-	-	-	-	-		0,064
C55	0,55	0,78	0,23	0,007	0,005	0,08	0,02	0,07	-	-	-	-	0,16	0,002
90CrV6	0,89	0,36	0,33	0,011	0,009	1,52	-	0,36	0,11	-	-	-		-
120CrMn11-10	1,34	1,28	0,08	0,015	0,009	2,39	-	0,31	0,12	-	-	-		-

źródło: opracowanie własne

Celem ujawienia niektórych wtrąceń i składników mikrostruktury wybrane próbki ze stali stopowych trawiono 4% nitalem (4ml HNO_3 + 96ml C_2H_5OH). Pozostałe ze zgładów metalograficznych były nietrawione.

Badania mikrostrukturalne wykonano przy użyciu dwóch technik. Najpierw dokonano identyfikacji wtrąceń mikroskopem metalograficznym Axiovert 200 MAT firmy Carl Zeiss przy powiększeniach obiektywu wynoszących 50x i/lub 100x. Fotografie mikrostruktury badanego materiału zarejestrowano w formie cyfrowej wykorzystując kamerę AxioCam MRc5. Następnie wykonano analizę mikrostrukturalną SEM (skaningowa mikroskopia elektronowa) badanych stopów przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego PHENOM XL. W celu potwierdzenia rodzaju wtrącenia i jego składu chemicznego zastosowano analizę EDS (spektroskopia z dyspersją energii), która daje informację dotyczącą pierwiastków znajdujących się w badanym mikroobszarze próbki, na podstawie charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego emitowanego przez dany pierwiastek. Analiza EDS została wykonana z wykorzystaniem oprogramowania Thermo-Calc 2020a opartego na bazie danych TC-SSOL5. Głębokość analizy EDS została oceniona za pomocą oprogramowania CASINO v2.4.8.1.

Wyniki badań i ich dyskusja

Na podstawie badań mikrostrukturalnych analizowanych stopów na osnowie żelaza stwierdzono, że najczęściej spotykanym rodzajem wtrąceń niemetalicznych są wtrącenia endogeniczne, które są produktem odtleniania lub odsiarczania stali. Są to najczęściej tlenki żelaza lub pierwiastków o większym powinowactwie do tlenu niż żelazo, wprowadzonych do stali w charakterze odtleniaczy (SiO_2, Al_2O_3, MnO), azotki aluminium, tytanu czy wanadu oraz siarczki, które zawsze zawierają mangan (Mn, Fe)S.

Poniżej opisano poszczególne rodzaje wtrąceń endogenicznych występujące w badanych stalach stopowych.

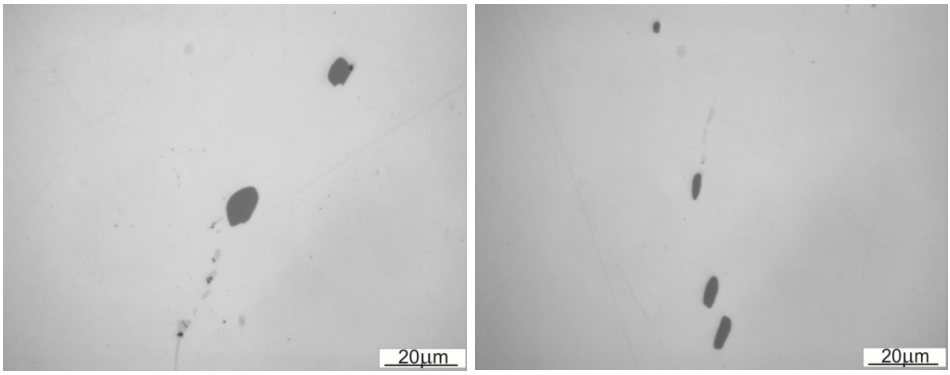
Siarczki

Pierwszym rodzajem wtrąceń endogenicznych występujących w badanych materiałach są siarczki. Są one przykładem wtrąceń odkształcalnych. W stalach bardzo często występują siarczki zarówno żelaza jak i manganu. Siarczek żelazawy (FeS) obecny w mikrostrukturze materiału znacząco pogarsza możliwość przeróbki plastycznej badanego materiału. Związane jest to z niską temperaturą rozpuszczania się tych związków w stali. Podczas przeróbki plastycznej na gorąco związki te ulegają rozpuszczeniu i w konsekwencji powodują powstanie pustek w materiale, a następnie jego zniszczenie poprzez występujące w materiale naprężenia. Zjawisko to nazywane jest kruchością stali na gorąco [3-5]. W przypadku siarczków manganu (MnS) zjawisko kruchości na gorąco już nie występuje, ponieważ mangan, poza odtlenianiem, spełnia kolejną ważną funkcję – wiąże siarkę (S) występującą w stali. Siarczek ten ma znacznie wyższą temperaturę topnienia (1620°C) od siarczku żelaza (1196°C), co powoduje, że w pierwszej kolejności tworzą się siarczki manganu, a nie siarczki żelaza [3, 5].

Na rysunkach 1, 2 i 3 pokazano wtrącenia endogeniczne, siarczki manganu występujące w stalach C55, 27MnCrB5-2 i 30Mn5.

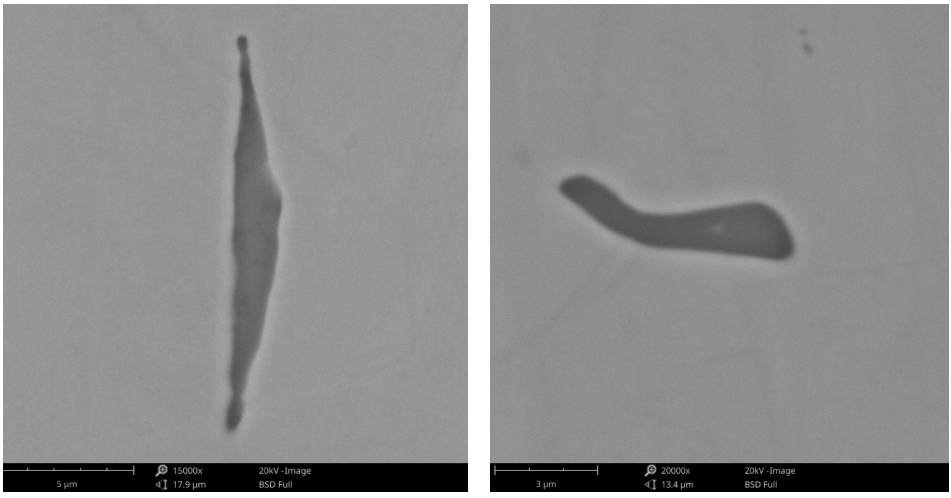
Rysunek 1 przedstawia morfologię nieodkształconych siarczków manganu. Przyjmują one kształt kulisty. Natomiast na rysunku 2 oba wtrącenia mają wydłużony kształt. Świadczy to o odkształceniu plastycznym i wydłużeniu w kierunku linii płynięcia metalu podczas przeróbki plastycznej. Rysunek 3a przedstawia dwa połączone siarczki odkształcone w dwóch różnych kierunkach, posiadają one wydłużony kształt, co świadczy o anizotropii własności materiału spowodowanej uprzednim odkształceniem materiału. Z kolei na Rysunku 3b widzimy nieodkształcony siarczek manganu, który przyjął owalny kształt.

a) C55 pow. ob. 100x b) C55 pow. ob. 100x



Rys. 1. Zdjęcia siarczków manganu w stali niestopowej C55 wykonane mikroskopem metalograficznym dla zgładu nietrawionego

a) C55 c) C55



b) ilościowa analiza EDS

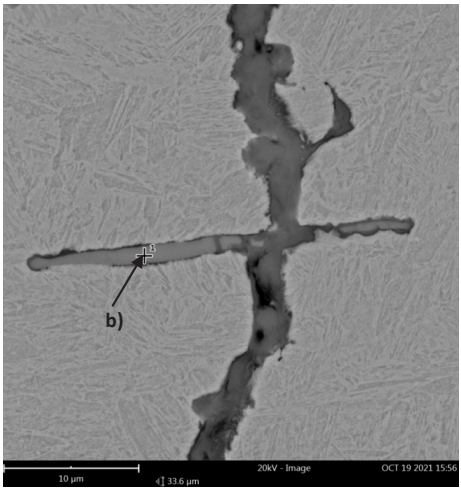
Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Mn	46,32	55,48
S	40,20	28,10
Fe	13,48	16,41

d) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Mn	43,62	52,28
S	40,28	28,18
Fe	15,29	18,63
Cr	0,80	0,91

Rys. 2 Zdjęcia siarczków manganu w stali niestopowej C55 wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dla zgładu nietrawionego

a) 27MnCrB5-2



c) 30Mn5

b) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Mn	46,05	54,41
S	46,30	34,01
Fe	7,65	11,59

d) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Mn	49,23	60,77
S	45,83	33,02
Fe	4,94	6,20

Rys. 3 Zdjęcia siarczków manganu w stali niestopowej 27MnCrB5-2 (a, b) i 30Mn5 (c, d) wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dla zgładu trawionego 4% roztworem nitalu

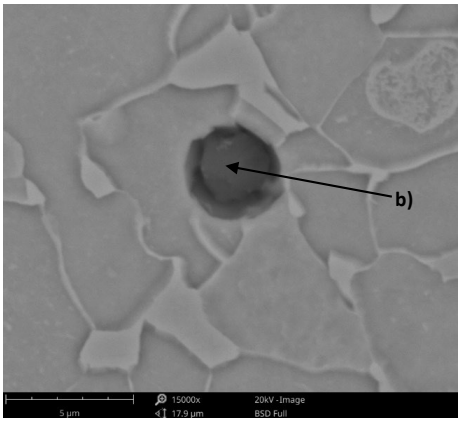
Tlenki

Fazy tlenkowe zazwyczaj sporadycznie są prostymi tlenkami. Tlenki są kruchymi wtrąceniami, powstającymi po kontakcie z atmosferą powietrza. Do najczęściej występujących wtrąceń tlenkowych zaliczamy tlenki żelaza FeO i aluminium Al_2O_3. Tlenki te ze względu na swoją kruchość pogarszają właściwości mechaniczne stali, w szczególności w warunkach obciążeń dynamicznych, a także niekorzystnie wpływają na jakość powierzchni wyrobów po przeróbce plastycznej. Odkształcalność tlenków zależy od ich rodzaju i temperatury (podobnie jak siarczków).

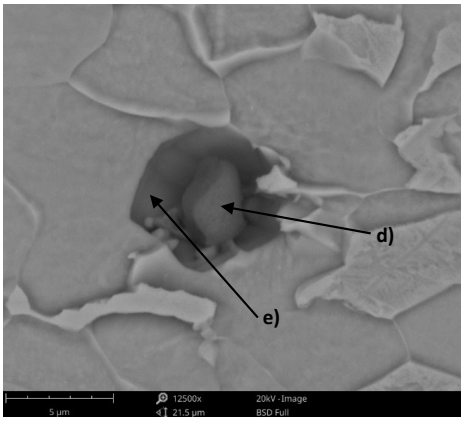
Na Rysunku 4 przedstawiono tlenki aluminium w stalach DP600. Bardzo często tlenek glinu nie odkształca się zupełnie, lecz kruszy się, tworząc pasma drobnych wydzieleń. Jest on dosyć twardym tlenkiem, dlatego może sprzyjać inicjowaniu pęknięć

w materiale, zwłaszcza zmęczeniowych oraz często może pogarszać skrawalność stali i powodować tępienie narzędzi.

a) DP600



c) DP600



b) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	**% atom.**	**% wag.**
O	53,01	37,18
Al	33,30	39,39
Mg	6,65	7,09
Fe	5,91	14,47
P	0,50	0,68
Ca	0,49	0,87
Mn	0,14	0,33

d) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
O	53,58	39,60
Al	28,86	35,97
Mg	12,92	14,51
Fe	2,39	6,16
P	0,80	1,15
Ca	0,61	1,14
S	0,60	0,89
Mn	0,23	0,60

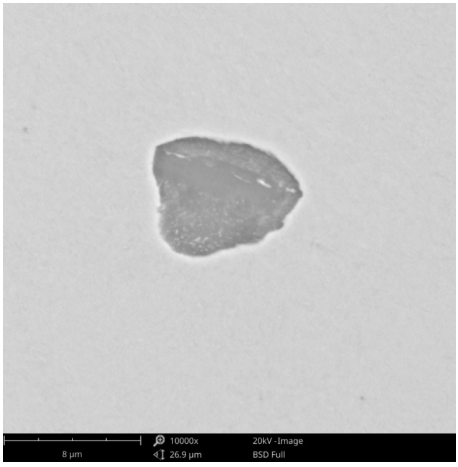
e) ilościowa analiza EDS, ujawniono tlenek Fe

Symbol pierwiastka	**% atom.**	**% wag.**
O	53,01	37,18
Al	33,30	39,39
Mg	6,65	7,09
Fe	5,91	14,47
P	0,50	0,68
Ca	0,49	0,87

Rys. 4 Zdjęcia tlenków aluminium (a, b) oraz aluminium i żelaza (c, d, e) w stali DP600 wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dla zgładu trawionego

Natomiast na rysunku 5 przedstawiono tlenki żelaza w kolejnej badanej próbce ze stali 90CrV6. Tlenki żelaza w przeciwieństwie do tlenków aluminium odkształcają się stosunkowo łatwo podczas przeróbki plastycznej na gorąco przy niższych temperaturach, a znacznie gorzej przy wyższych.

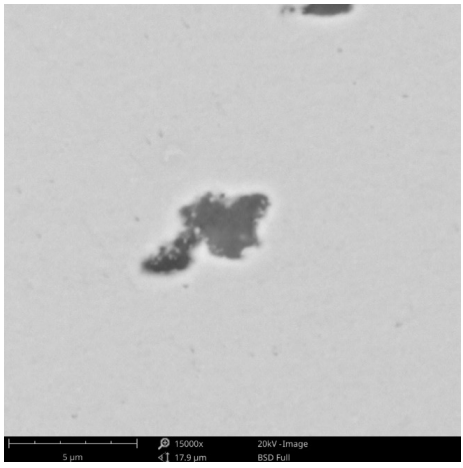
a) 90CrV6



b) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
O	63,83	33,91
Fe	35,10	65,09
Si	1,07	0,99

c) 90CrV6



d) ilościowa analiza EDS

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
O	45,44	20,92
Fe	43,78	70,37
Si	10,78	8,71

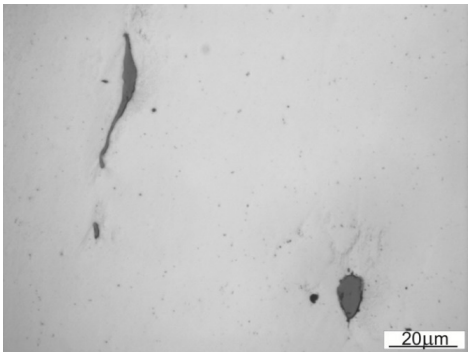
Rys. 5 Zdjęcia tlenków żelaza w stali 90CrV6 wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dla zgładu nietrawionego

Przeprowadzona analiza pokazała, że występujące w stali tlenki to z reguły złożone związki, roztwory lub mieszaniny utworzone przez pierwiastki o dużym powinowactwie do tlenu. Zazwyczaj występującymi w stali wtrąceniami tlenkowymi są tlenki aluminium, krzemiany i spinele, w skład których wchodzą głównie SiO2, Al_2O_3, MnO oraz pewna ilość FeO oraz CaO, MgO i TiO_2.

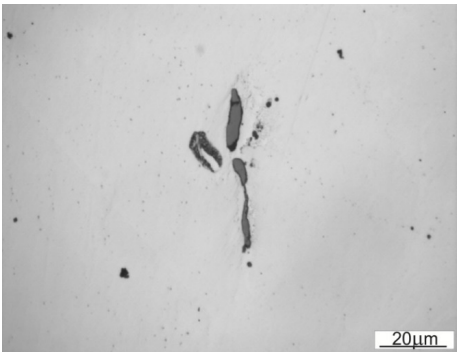
Konglomeraty siarczkowo-tlenkowe

Wpływ wtrąceń niemetalicznych na własności stali zależy nie tylko od ich rodzaju i ilości, jak już wspominano, ale również i kształtu, wielkości i równomiernego rozłożenia. Podczas obróbki plastycznej na gorąco niektóre wtrącenia wydłużają się, przyjmując kształt włókien. Bardzo często w stopach na osnowie żelaza obserwuje się zjawisko osadzania siarczków na tlenkach [5], co określa się jako konglomeraty siarczkowo-tlenkowe, których przykłady pokazano w stali 120CrMn11-10 (Rys. 6) i 90CrV6 (Rys. 7).

a) 120CrMn11-10 pow. ob. 100x

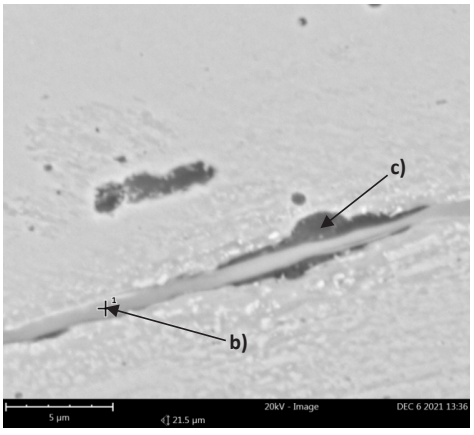


c) 120CrMn11-10 pow. ob. 100x

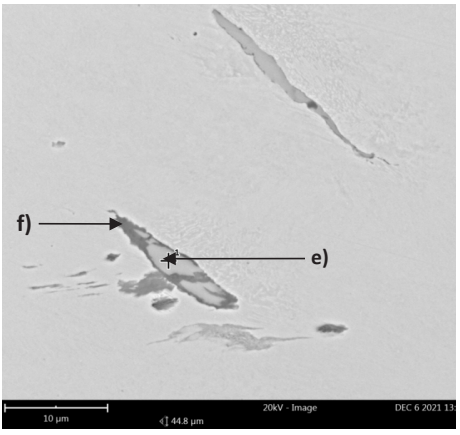


Rys. 6 Zdjęcia konglomeratów siarczkowo-tlenkowych w stali 120CrMn11-10 wykonane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla zgładu nietrawionego

a) 90CrV6



d) 90CrV6



b) ilościowa analiza EDS, ujawniono siarczek Mn

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
S	35,99	24,57
Mn	33,39	39,05
Fe	30,61	36,39

e) ilościowa analiza EDS, ujawniono siarczek Mn

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Mn	50,12	63,26
S	49,88	36,74

c) ilościowa analiza EDS, ujawniono tlenek Fe

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
Fe	45,26	67,36
O	37,71	16,08
Si	7,86	5,88
S	4,47	3,82
Mn	4,24	6,21
Cr	0,46	0,64

f) ilościowa analiza EDS, ujawniono tlenek Fe

Symbol pierwiastka	% atom.	% wag.
O	49,00	21,74
Fe	48,79	75,57
Mn	1,14	1,74
S	1,07	0,95

Rys. 7 Zdjęcia konglomeratów siarczkowo-tlenkowych w stali 90CrV6 wykonane przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego dla zgładu nietrawionego

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań mikrostrukturalnych analizowanych stopów na osnowie żelaza stwierdzono, że najczęściej spotykanym rodzajem wtrąceń niemetalicznych są wtrącenia endogeniczne, które tworzą głównie siarczki manganu i żelaza, tlenki aluminium i żelaza, węglikoazotki, konglomeraty siarczkowo-tlenkowe itp.

Efektem ostatecznym wykonanych badań jest katalog, który został stworzony na wyłączność firmy ArcelorMittal Poland. Katalog jest do wglądu w wersji elektronicznej i papierowej w siedzibie studenckiego koła naukowego Era Inżyniera na Wydziale Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej AGH w Krakowie.

Podziękowanie

Autorki niniejszego artykułu składają podziękowania pozostałym współwykonawcom projektu „Rozkręć koło z ArcelorMittal Poland" z KN Era Inżyniera oraz firmie ArcelorMittal Poland za umożliwienie realizacji niniejszego grantu. Katalog nie powstałby

bez konsultacji naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej, którzy udostępnili część materiałów do przeprowadzonych badań.

Literatura

Kędzierski Z. (2003), *Przemiany fazowe w układach skondensowanych*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
Kordziński Cz. i in. (1988), *Wtrącenia niemetaliczne w stopach żelaza*, PK, Kraków.
Przybyłowicz K. (2008), *Inżynieria stopów żelaza*, PŚ, Kielce.
Przybyłowicz K., *Metaloznawstwo* (2007), WNT, Wydanie VIII zmienione, Warszawa.
Blicharski M. (2004), *Inżynieria materiałowa*. *Stal*, WNT, Warszawa.
https://poland.arcelormittal.com/media/artykul/news/konkurs-rozkrec-kolo-z-arcelormittal-poland/ (dostęp: 20.06.2022).
http://www.era-inzyniera.agh.edu.pl/?p=945 (dostęp: 20.06.2022).

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

KATARZYNA OCHAŁEK, MAGDA PENAR
Studentki I roku pielęgniarstwa, studia II stopnia
Studenckie Koło Naukowe Pielęgniarstwa
Uniwersytet Rzeszowski
Students of the first year of Nursing, second cycle studies
Student Scientific Association of Nursing
University of Rzeszów

Postawa chorych wobec łysienia plackowatego a determinanty środowiska życia

The attitude of patients towards alopecia areata (spot baldness) versus environmental determinants

Abstract: Alopecia areata is an inflammatory disease involving non-scarring hair loss. The aetiology of hair loss is not fully known. This disease significantly decreases the quality of the patient's life. Intensification of symptoms may be caused by stress. The objective of this paper is to show relations between selected determinants of the environment and the attitude of patients towards spot baldness. The study group was composed of 176 people. The study was conducted in the years 2020-2021. Diagnostic survey method was used in the study. According to the study results, change of job was the most important factor affecting the patient's attitude towards hair loss. People suffering from alopecia areata show a negative attitude towards their own disease most often when they think about it in loneliness. Most survey subjects do not feel rejection on the part of society.

Key words: alopecia areata, determinants, life environment, attitude.

Wstęp

Łysienie plackowate należy do chorób zapalnych o niebliznowaciejącej utracie owłosienia [1]. Utrata włosów obejmuje zarówno skórę głowy, jak i okolic narządów płciowych oraz dołów pachowych. Łysienie może występować także w obrębie brwi i rzęs. Pierwotne zmiany chorobowe występują zwykle w postaci owalnych, pojedynczych ognisk utraty włosów. Stopniowo choroba może rozprzestrzenić się na całą skórę głowy lub na całe ciało. U niektórych chorych z łysieniem plackowatym występowały również zmiany paznokciowe [2]. Choroba występuje w populacji ogólnej z częstotliwością 1-2% [3]. Badania wskazują na to, iż u około 7% pacjentów ze stwierdzonym łysieniem plac-

kowatym występuje łysienie plackowate całkowite i uogólnione, z czego pierwsze z nich związane jest z zupełną utratą owłosienia na skórze głowy, a uogólnione dodatkowo obejmuje pozostałą skórę. Zarówno łysienie uogólnione, jak i całkowite są typami łysienia plackowatego o niekorzystnym rokowaniu. Do niekorzystnych czynników decydujących o rokowaniu choroby w łysieniu plackowatym zalicza się m.in.:

- wczesny początek schorzenia,
- długi okres chorowania,
- towarzyszące choroby autoimmunologiczne,
- występowanie łysienia plackowatego w rodzinie,
- zaburzenia układu nerwowego,
- współwystępowanie atopowego zapalenia skóry,
- procesy naczyniowe,
- zaburzenia gospodarki hormonalnej,
- nieprawidłowe nawyki żywieniowe (dieta uboga w żelazo),
- czynniki psychiczne [4,5].

Istotnymi czynnikami psychicznymi w patogenezie łysienia plackowatego są m.in.: trudności w określaniu uczuć (aleksytymia), neurotyzm, urazy psychiczne, lęk oraz stres [6].

Pierwsze objawy choroby mogą ujawnić się w różnych okresach życia człowieka, zarówno we wczesnym dzieciństwie, adolescencji, jak i w później dorosłości. W diagnostyce dermatologicznej łysienia plackowatego kluczową rolę odgrywają biopsja skóry oraz badanie korzenia włosa. Choroba charakteryzuje się zarówno okresami remisji, jak i nawrotów, z czego u większości przypadków występuje co najmniej jeden rzut łysienia [5].

Terapia łysienia plackowatego obejmuje podawanie chorym zarówno preparatów stosowanych ogólnie, jak i miejscowo, a także wsparcie psychologiczne i fototerapię [3]. W leczeniu ogólnym łysienia plackowatego wykorzystuje się leki z grupy glikokortykosteroidów, cyklosporyny, sulfasalazynę, metotreksat, azatioprynę oraz leczenie skojarzone za pomocą doustnych glikokortykosteroidów z terapią PUVA. Istotnym aspektem w leczeniu łysienia plackowatego jest również wsparcie psychologiczne. Celem terapii psychologicznej jest pomoc choremu w akceptacji własnej choroby oraz poprawa samooceny, uczęszczanie na psychoterapię oraz przynależność do grup wsparcia. W sytuacji zdrowotnej, gdzie pomoc psychoterapeutyczna jest niewystarczająca, może być wskazana farmakoterapia lekami przeciwdepresyjnymi [3]. W terapii łysienia plackowatego zalecane jest również wykrywanie, a następnie leczenie wszelkich ognisk zakażenia (np. zakażenia ucha środkowego, zakażenia w migdałkach) oraz stosowanie leków, suplementów diety wzmacniających organizm typu żelazo, tran. Ponadto istotną rolę w terapii łysienia plackowatego odgrywa stosowanie witamin z grupy B [7]. W sytuacji zdrowotnej chorych opornych na leczenie alternatywę stanowi transplantacja włosów lub noszenie peruki [3].

Łysienie plackowate jest chorobą, której nasilenie oraz przebieg może być uzależnione od stanu emocjonalnego chorego. Choroba wpływa na jakość życia ze względu na to, że dla wielu osób, szczególnie kobiet, wiąże się z utratą estetycznego, atrakcyjnego wyglądu. Ważne jest, aby osoby z łysieniem plackowatym mieli zapewnioną adekwatną terapię oraz wsparcie psychologiczne [1,3].

Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest ukazanie zależności pomiędzy wybranymi determinantami środowiska życia a postawą chorych wobec łysienia plackowatego na podstawie badań własnych.

Materiał i metody badań

W badanej grupie 176 osób ze zdiagnozowanym łysieniem plackowatym, większość z nich (N=163, tj. 92,6%), to mężczyźni. Co czwarty badany (N=45, tj. 25,6%) miał 18-25 lat. Najczęściej badani mieli od 26. do 35. lat (N=75, tj. 42,6%). W grupie wiekowej 36-50 lat było 27,8% osób (N=49), a nieliczni mieli powyżej 50 lat (N=7, tj. 4,0%) Badanie zostało przeprowadzone w 2020/2021 roku. Metodą badawczą był sondaż diagnostyczny, techniką – ankieta komputerowa, a narzędziem badawczym był autorski kwestionariusz ankiety.

Wyniki

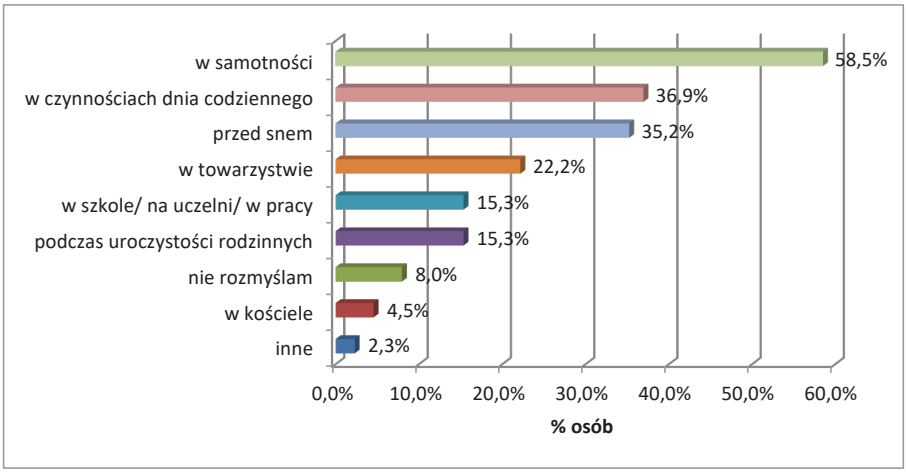
Pozytywną postawę wobec własnego łysienia prezentowały nieznacznie częściej od innych osób badani, którzy w ciągu ostatnich 6 miesięcy zmienili pracę (p=0,0213). Nie stwierdzono natomiast innych istotnych statystycznie różnic między postawą wobec własnego łysienia a sytuacjami stresowymi w ciągu ostatniego pół roku – Tab. 1.

Tabela 1. Występowanie sytuacji stresowych, a postawa wobec własnego łysienia

Wybrane sytuacje stresowe		Postawa wobec własnego łysienia						p
		pozytywna		negatywna		obojętna		
		N	%	N	%	N	%	
śmierć współmałżonka	nie	29	100,0%	93	98,9%	52	98,1%	$\chi2$=0,603; p=0,7396
	tak	0	0,0%	1	1,1%	1	1,9%	
rozwód	nie	29	100,0%	92	97,9%	52	98,1%	$\chi2$=0,614; p=0,7357
	tak	0	0,0%	2	2,1%	1	1,9%	
separacja małżeńska	nie	29	100,0%	92	97,9%	52	98,1%	$\chi2$=0,614; p=0,7357
	tak	0	0,0%	2	2,1%	1	1,9%	
rozstanie z partnerem	nie	26	89,7%	89	94,7%	48	90,6%	$\chi2$=1,283; p=0,5265
	tak	3	10,3%	5	5,3%	5	9,4%	
pobyt w więzieniu	nie	29	100,0%	94	100,0%	53	100,0%	-
	tak	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	

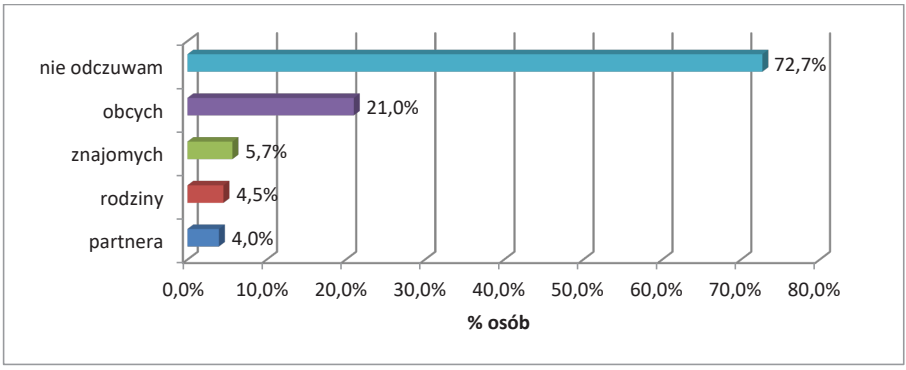
Wybrane sytuacje stresowe		Postawa wobec własnego łysienia						p
		pozytywna		negatywna		obojętna		
		N	%	N	%	N	%	
śmierć bliskiego członka rodziny	nie	28	96,6%	88	93,6%	51	96,2%	$\chi2=0,674$; $p=0,7139$
	tak	1	3,4%	6	6,4%	2	3,8%	
zranienie ciała/ choroba własna	nie	26	89,7%	91	96,8%	49	92,5%	$\chi2=2,609$; $p=0,2714$
	tak	3	10,3%	3	3,2%	4	7,5%	
zranienie ciała/ choroba osoby bliskiej	nie	27	93,1%	91	96,8%	51	96,2%	$\chi2=0,805$; $p=0,6687$
	tak	2	6,9%	3	3,2%	2	3,8%	
zawarcie małżeństwa	nie	28	96,6%	92	97,9%	53	100,0%	$\chi2=1,546$; $p=0,4617$
	tak	1	3,4%	2	2,1%	0	0,0%	
zwolnienie z pracy	nie	28	96,6%	92	97,9%	53	100,0%	$\chi2=1,546$; $p=0,4617$
	tak	1	3,4%	2	2,1%	0	0,0%	
zmiana pracy	nie	23	79,3%	82	87,2%	52	98,1%	$\chi2=7,695$; $p=0,0213$
	tak	6	20,7%	12	12,8%	1	1,9%	
powiększenie rodziny	nie	27	93,1%	89	94,7%	47	88,7%	$\chi2=1,797$; $p=0,4072$
	tak	2	6,9%	5	5,3%	6	11,3%	
wzrost konfliktów rodzinnych	nie	23	79,3%	72	76,6%	40	75,5%	$\chi2=0,156$; $p=0,925$
	tak	6	20,7%	22	23,4%	13	24,5%	
rozpoczęcie/ zakończenie nauki	nie	27	93,1%	79	84,0%	45	84,9%	$\chi2=1,542$; $p=0,4625$
	tak	2	6,9%	15	16,0%	8	15,1%	
zmiany standardów poziomu życia	nie	29	100,0%	86	91,5%	50	94,3%	$\chi2=2,785$; $p=0,2485$
	tak	0	0,0%	8	8,5%	3	5,7%	
lekki stres	nie	18	62,1%	48	51,1%	34	64,2%	$\chi2=2,756$; $p=0,2521$
	tak	11	37,9%	46	48,9%	19	35,8%	
inne	nie	26	89,7%	81	86,2%	51	96,2%	$\chi2=3,733$; $p=0,1546$
	tak	3	10,3%	13	13,8%	2	3,8%	

O łysieniu w największym stopniu badani rozmyślali w samotności (N=103, tj. 58,5%). Niektórzy badani na temat swojego łysienia rozmyślali podczas wykonywania czynności dnia codziennego (N=65, tj. 36,9%) lub przed snem (N=62, tj. 35,2%). Co piąta osoba (N=39, tj. 22,2%) myślała o problemie łysienia będąc w towarzystwie innych osób. Rzadziej badani zastanawiali się nad tym w innych sytuacjach (Rys. 1).



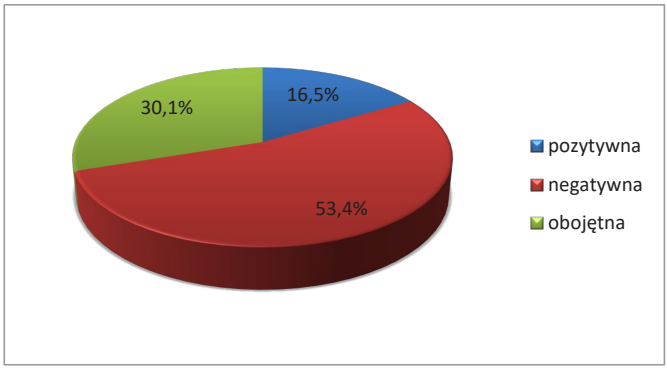
Rysunek 1. Sytuacje, w których w największym stopniu rozmyślano o łysieniu

Większość badanych (N=128, tj. 72,7%) nie odczuwała odrzucenia ze strony otoczenia. Co piąty z badanych (N=37, tj. 21,0%) odczuwał odrzucenie ze strony obcych osób, a w nielicznych przypadkach odczuwano odrzucenie ze strony znajomych, rodziny lub partnera (Rys. 2).



Rysunek 2. Osoby, ze strony których odczuwane jest odrzucenie

Pozytywną postawę wobec własnego łysienia prezentowało 16,5% osób (N=29). Najczęściej jednak (N=94, tj. 53,4%) badani prezentowali negatywną postawę wobec własnego łysienia. Obojętnie podchodziło do tego 30,1% osób (N=53) (Rys. 3).



Rysunek 3. Postawa badanych wobec własnego łysienia

Dyskusja

Stres oraz długotrwałe oddziaływanie stresorów wpływa negatywnie na stan skóry. Sytuacje te powodują zaostrzenie choroby lub powstanie nowych zmian. Łysienie plackowate, pokrzywka, łuszczyca oraz atopowe zapalenie skóry to choroby, w których sytuacje stresowe mają wpływ na ich przebieg. Pierwotny epizod łysienia plackowatego związany był z wystąpieniem uprzednio wydarzeń traumatycznych u człowieka, takich jak m.in.: utrata pracy, śmierć bliskiej osoby czy rozwód. Według badań przeprowadzonych przez Levensona ponad 60% respondentów z łysieniem plackowatym narażona była na silny stres psychiczny. U 45,6% pacjentów stres związany był z problemami występującymi w rodzinie, natomiast u 35,7% respondentów wynikał z problemów osobistych. Narażenie na długotrwały stres niesie ryzyko występowania przewlekłego przebiegu schorzenia, jakim jest łysienie plackowate [2]. Naukowcy wskazują iż rozwód rodziców powoduje u dzieci silny stres, którego następstwem są problemy emocjonalne oraz ogólne pogorszenie stanu zdrowia. Dolegliwości te obejmują, m.in. bóle brzucha, głowy, kołatanie serca, biegunki, trudności z zasypianiem, a także dermatozy. Jednym z przykładów problemów dermatologicznych występujących u dzieci rozwodzących się rodziców jest łysienie plackowate, które stanowi dodatkowy stresor w ich życiu. Dziecko doznaje wówczas dotkliwych doświadczeń nie tylko ze względu na rozstanie rodziców, ale również utratę estetycznego wyglądu [8].

Pozytywna lub negatywna postawa wobec własnej choroby może mieć związek z postrzeganiem jakości życia z chorobą. Według badań opartych na kwestionariuszu Oceny Jakości Życia SF-36 kobiety wykazują niższą jakość życia niż mężczyźni. Łysienie plackowate powoduje obniżenie poczucia własnej wartości. Chorym towarzyszą m.in. emocje, takie jak: złość, wstyd, smutek oraz brak odczuwania satysfakcji z własnego życia. Pacjenci z łysieniem plackowatym odczuwają odrzucenie ze strony otoczenia. Społeczeństwo w kontaktach z osobą łysiejącą wykazuje niejednokrotnie krytyczne postawy, ciekawość, ale i również współczucie. Chorzy niejednokrotnie nie akceptują choroby oraz wyglądu swojego ciała. Utrata włosów, szczególnie na skórze głowy jest mocno

odczuwalna przez osoby z łysieniem plackowatym, a zwłaszcza przez kobiety oraz dzieci. Łysienie dla płci żeńskiej wiąże się z utratą kobiecości, atrakcyjności oraz poczuciem odrzucenia ze strony mężczyzn. Zauważono, iż kobiety częściej akceptują łysych mężczyzn niż odwrotnie. Kobiety będące w związku partnerskim szybciej godzą się z własnym łysieniem niż kobiety nie mające partnera. Z kolei dzieci silnie odczuwają utratę włosów ze względu na dokuczliwe komentarze ze strony rówieśników. Mają one trudności z nawiązywaniem kontaktów interpersonalnych, wynikające z obawy przed wyśmianiem i odrzuceniem [9, 10]. Przewlekła, uciążliwa choroba dermatologiczna wywołuje zmęczenie oraz brak motywacji do wykonywania codziennych czynności [2]. Zdarza się, iż społeczeństwo ze względu na niedostateczny poziom wiedzy na temat schorzeń dermatologicznych nie akceptuje chorych z łysieniem plackowatym. Istnieją dwie skrajne postawy wobec ludzi z dermatozami: akceptacja lub odrzucenie. W związku z postępem medycyny estetycznej dostępne są różne metody umożliwiające poprawę wyglądu osób z łysieniem, m.in. krioterapia, mezoterapia igłowa, przeszczep włosów. Ponadto można wykorzystać różnego rodzaju tupeciki, chusty oraz peruki. Zastosowanie wymienionych metod sprawia, iż chorzy zaczynają akceptować siebie oraz swoją chorobę, co przekłada się również na akceptację ze strony otoczenia. Istnieją również poglądy wpływające na pozytywne postrzeganie łysych w społeczeństwie. Kreowanie modnego wizerunku łysych w mediach, zwłaszcza przez młodych ludzi, a ponadto utożsamianie łysej głowy z siłą i tężyzną fizyczną ma wpływ niekiedy na chęć bycia łysym [11, 12].

Wnioski

1. Zmiana pracy zawodowej jest najistotniejszym stresorem wpływającym na postawę wobec własnego łysienia.
2. Postawa negatywna jest dominującą postawą wobec własnego łysienia.
3. Samotność sprzyja rozmyślaniom o łysieniu.
4. Poczucie odrzucenia ze strony otoczenia nie jest dominujące wśród osób z łysieniem.

Piśmiennictwo

Chyl-Surdacka K.M., Gerkowicz A., Chodorowska G. (2016), *Rola witaminy D w łysieniu plackowatym*, Przegl Dermatol., 103:185-188.

Kuty-Pachecka M. (2015), *Czynniki psychologiczne i psychopatologiczne w łysieniu plackowatym*, Psychiatr. Pol., 49(5):955–964.

Łuczak M., Łuczak T., Cieścińska Cz., Czajkowski R. (2013), *Leczenie ogólne łysienia plackowatego*, Przegl Dermatol., 100:53-58.

Waśkiel-Burnat A., Rakowska A., Sikora M., Olszewska M., Rudnicka L. (2019), *Barwnikowe włosy meszkowe i włosy prosto odrastające jako jedyne trichoskopowe wskaźniki rokownicze odrostu włosów w łysieniu całkowitym i uogólnionym*, Przegl Dermatol., 106:150-158.

Kuty-Pachecka M., Stefańska K. (2014), *Aleksytymia i sposób odczuwania własnego ciała u osób z rozpoznaniem łysienia plackowatego*, Physiotherapy, 22(2):24-29.

Kmieć M.L., Broniarczyk-Dyła G. (2008), *Wpływ stresu na kondycję naszej skóry*, Dermatologia Kliniczna, 10(2):105-107.

Brzezińska-Wcisło L., Wcisło-Dziadecka D. (2011), *Choroby włosów – wczoraj*, Dermatologia Kliniczna, 13(3):167-170.

Kuźniewska Z. (2019), *Wpływ rozwodu rodziców na psychikę dziecka*, Cywilizacja i Polityka, 17(17):76-89.

Sobstyl M., Tkaczuk-Włach J., Jakiel G. (2010), *Diagnostyka hormonalna łysienia kobiet*, Przegląd Menopauzalny, 1:52–55.

Brzezińska-Wcisło L., Lis A., Kamińska G., Wcisło-Dziadecka D. (2003), *Fizjologia i patologia wzrostu i utraty włosów na głowie u człowieka*, Postępy Dermatologii i Alergologii XX, 5:260-266.

Andruczyk E., Jankowiak B. (2018), *Postawy społeczeństwa wobec osób ze schorzeniami dermatologicznymi*, Zeszyty Naukowe WSA w Łomży, 72:21-32.

Wałachowska M. (2019), *Dermatologiczna choroba przewlekła jako czynnik ryzyka wykluczenia społecznego*, Kultura i Edukacja, 1(123):263-282.

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

PATRYCJA PÓŁROLNIK
Studentka II roku filologii angielskiej, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe Anglistów „Keep Calm"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, filia w Piotrkowie Trybunalskim
Student of the second year of English Studies, first cycle studies
"Keep Calm" Scientific Associations of English Philologists.
Jan Kochanowski University of Kielce, Branch in Piotrków Trybunalski

Szkodliwe praktyki w epoce wiktoriańskiej a zdrowie człowieka

Harmful practices in the Victorian era and human health

Abstract: The society living in the Victorian era was exposed to many hazards in daily life. It was not only connected with Industrial Revolution and the related growing contamination, but also with the lack of conscience and exhaustive studies before introducing newly created products on the market. In the Victorian era, many daily-use products, but also clothes, food and habits, were harmful to the lives of users, led to diseases and often even to death. Based on source texts, the paper presents human behaviour common in the Victorian era and potential hazards related to it.

Key words: the Victorian era, society, food, daily life, poisons.

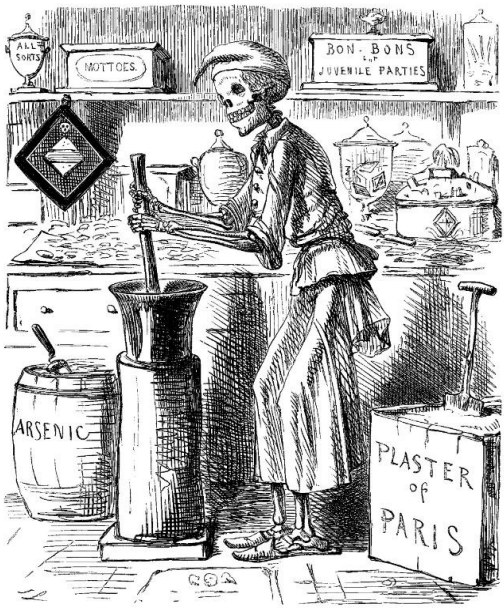
Wprowadzenie

XIX wiek był czasem wielu odkryć naukowych, industrialnej rewolucji i zmian, które zachodziły w życiu codziennym mieszkańców zarówno miast, jak i wsi. Nowe wynalazki i odkrycia wpływały na sposób wykonywania codziennych czynności, wystroju wnętrz, sposobu ubierania się, jedzenia, a także wielu innych aspektów życia. Jednak dużo z tych nowinek nie miało pozytywnego wpływu na zdrowie ich użytkowników, a także często prowadziło do choroby, a nawet śmierci. Niestety, mimo że technika i nauka prężnie się rozwijały, zaobserwowanie, że coś szkodzi zdrowiu ludzi, zajmowało wystarczająco dużo czasu, by wywołać trwałe uszczerbki na ich zdrowiu lub śmierć. Zagrożenie czyhało niemal wszędzie i z dzisiejszej perspektywy dostrzec można, że nie było możliwości, by się przed nim całkowicie ustrzec. Trucizny znajdowały się w produktach spożywanych codziennie, takich jak chleb, mleko czy herbata. Można je było

znaleźć także w kosmetykach, które chętnie były stosowane przez kobiety nieświadome płynących z tego zagrożeń.

Żywność

Wiele źródeł, również z epoki wiktoriańskiej, podaje informacje, że produkty spożywcze miały w sobie dodatkowe składniki, które negatywnie wpływały na zdrowie konsumentów. Lista fałszowanych produktów jest bardzo długa – od herbaty, poprzez chleb, po musztardę. Czasem dodanie szkodliwej substancji było nieszczęśliwym przypadkiem, innym razem przemyślaną decyzją. Wypadki zdarzały się zdecydowanie rzadziej, choć ich skutki często były opłakane. Jednym z najbardziej zapamiętanych zdarzeń były wspomniane przez Jamesa Whortona (2010: 163) [1] arszenikowe cukierki miętowe sprzedawane w Bradford w 1858 roku. Producent, William Hardaker, dodawał do cukru między innymi kredę i gips, żeby obniżyć cenę produktów. Dodatki te pozyskiwał od miejscowego aptekarza, który oddawał mu resztki pozostałe po wytwarzaniu leków. Pewnego dnia doszło do strasznej pomyłki – aptekarz wydał panu Hardakerowi pojemnik arszeniku zamiast taniego wypełniacza (Rys. 1). W konsekwencji tego przeoczenia 200 osób poważnie zatruło się arszenikiem, a 20 osób na skutek zatrucia straciło życie.



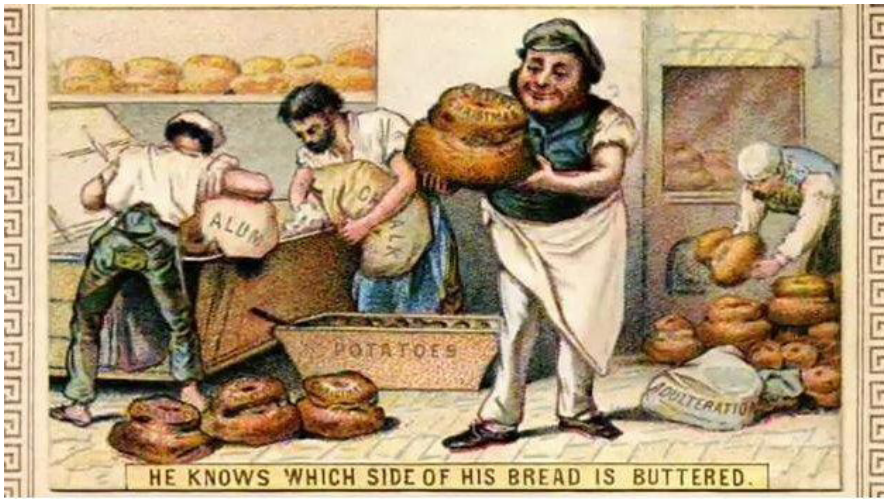
THE GREAT LOZENGE-MAKER.

A Hint to Paterfamilias.

Rys. 1. Karykatura cukiernika autorstwa Johna Leecha dla magazynu Punch, 1858, źródło: Wikipedia

Chleb

A. Hardy (2003: 337-340) [2] opisuje, że ze względu na gwałtowny napływ nowych mieszkańców do miast, a także pokusę zaoszczędzenia na mące i trudne warunki życia, do wyrobów piekarniczych dodawano zaskakujące dodatki, które zupełnie nie kojarzą się ze świeżym, pachnącym chlebem (Rys. 2). Dodatek otrębów sprawiał, że wypiekany chleb był dużo ciemniejszy niż ten ówcześnie dobrze kojarzony, biały po upieczeniu. Dlatego też piekarze wpadli na pomysł, by chleb wybielić, a także zastąpić część mąki czymś tańszym. Jednym z dodatków był gips, który okazał się świetnym wypełniaczem. Kolejnym był ałun, który poza wzrostem masy bochenka wybielał go i zachęcał konsumentów do kupna. Choć nie był tak niebezpieczny jak niektóre stosowane wtedy substancje, i on mógł wywoływać podrażnienia, poparzenia, a także powodować problemy z oddychaniem, co opisują K. Klotz i W. Weistenhöfer [3]. Najgorszą z możliwych form spożywania ałunu jest przyjmowanie go w niewielkich ilościach przez długi okres czasu – może to nawet prowadzić do uszkodzenia tkanki nerwowej.



Rys. 2. Karykatura wiktoriańskiego piekarza, autor nieznany, źródło: BBC

Mleko

P.J. Atkins [4] w artykule poświęconym oszustwom powiązanym z mlekiem opisuje, że było ono jednym z produktów, które masowo fałszowano w celu obniżenia kosztów produkcji. Standardem było odstawienie mleka na 12 godzin, następnie zebranie śmietany, a potem rozcieńczenie go wodą (dodatek wody przed 1872 rokiem w Londynie wynosił średnio 11,7%). Takie chude, rozcieńczone mleko było sprzedawane przez mleczarzy. Czasem jednak chcieli oni zatrzeć ślady swojej działalności i pomagały im w tym

różne dodatki: skrobia, by przywrócić nieco bardziej gęstą konsystencję, sok z gotowanej marchwi, by odzyskało pełny, słodki smak, kreda dla nadania koloru, a nawet miazga z mózgów cielęcych, by odtworzyć zebraną wcześniej śmietanę i umożliwić spienianie mleka. Dodatki te, choć służyły oszustwu, nie były szkodliwe dla zdrowia (poza wodą, która często była zanieczyszczona). O. Liebreich, farmakolog, w artykule opublikowanym w 1906 r. w Nature [5] wskazuje, że kwas borowy i formalina, które stosowano w charakterze konserwantów, niestety wywierały negatywny wpływ na zdrowie konsumentów. Ponad 40% próbek mleka zbadanych przez E. G. Claytona w latach 1893-98 zawierało kwas borowy. Co ciekawe, wtedy głównym zmartwieniem nie były toksyczne dodatki, które realnie wpływały na zdrowie, tylko sam fakt oszustwa.

Życie codzienne

Rys. 3. Tapeta autorstwa Waltera Crane'a z 1889 roku zatytułowana „The Peacock Garden", detal, źródło: Saint Louis Art. Museum

Wyznacznikiem statusu społecznego w epoce wiktoriańskiej nie był wyłącznie posiadany majątek. Było nim przede wszystkim zamiłowanie do nowości, akcesoriów i gadżetów, które zdawały się zalewać rynek. By zyskać uznanie swoich gości, należało na bieżąco interesować się nowinkami i wypełniać nimi swój dom. Producenci korzystający z okazji przerzucali się coraz to nowszymi pomysłami, które realizowane były bez wykonania odpowiednich testów, co zdecydowanie nie było bezpieczne.

S. Scheindlin (2005: 61) [6] w swym artykule opisuje, że charakterystyczna zieleń goszcząca w niemal każdym angielskim domu epoki wiktoriańskiej pojawiała się na róż-

nych przedmiotach, od zabawek, tapet na ścianach, farb na opakowaniach żywności, aż po odzież. Kolor ten uzyskiwano dzięki związkom arsenu, które są trujące, dlatego też odnotowano wiele przypadków zatrucia nimi. Zielony pigment często był luźno związany z powierzchnią i się osypywał, co było szczególnie szkodliwe, gdy było to na przykład opakowanie czekolady.

W 1854 roku Henry D. Littlejohn, pierwszy lekarz zdrowia publicznego w Edynburgu, w artykule dla Association Medical Journal [7] przytoczył historię dr Taylora. Alfred Taylor, zastanawiając się nad zielonymi plamami na skórce chleba, zeskrobał podejrzane fragmenty i odkrył, że jest to farba zawierająca zieleń Scheelego. Pozostałe bochenki, które kupił w tej samej piekarni, również miały pod spodem zielone plamy. Okazało się, że piekarz, od którego kupił chleb, postanowił wcześniej pomalować na zielono półkę do studzenia chleba. Gorące bochenki położone na powierzchni pomalowanej farbą rozgrzewały ją, pokrywając się trucizną. Taylor, po dokładnym zbadaniu bochenków, był przekonany, że dawka związków arsenu na jednym bochenku była wystarczająca, by zabić niemowlę.

K. Feldkamp w artykule dla Muzeum Sztuki w Saint Louis [8] pisze, że w XIX wieku ludzie uznawali niewielkie dawki związków arsenu za bezpieczne, dlatego można było znaleźć je nawet w żywności.

Rys. 4. Karykatura autorstwa Johna Leech'a pod tytułem „The Arsenic Waltz", 1862, źródło: wellcome collection

Artyści doceniali piękno zielonego pigmentu i często korzystali z niego w swych pracach. Jednym z nich był Walter Crane, twórca tapety o nazwie *The Peacock Garden* z 1889 roku (Rys. 3). Zielony tusz złuszczający się z tapet wpływał na zdrowie domowników, a panująca w pomieszczeniach wilgoć lub wysoka temperatura uwalniały toksyczne opary. Najczęściej podupadały na zdrowiu małe dzieci, choć zdarzało się, że tajemnicza choroba dotykała całe rodziny. Liczne przypadki zatruć w końcu przyciągnęły uwagę społeczeństwa, a w drugiej połowie lat 60. XX wieku lekarze połączyli tajemnicze dolegliwości z modnym wówczas pigmentem.

Osoby, które przez dłuższy czas przebywały w pomieszczeniach wytapetowanych na zielono, zaczynały poważnie chorować i podupadać na zdrowiu, tracąc wagę, apetyt, kaszląc, a gdy tylko zmieniali pokój, objawy stopniowo znikały. Objawy te przypisywano często gruźlicy, przy której zaleceniem było leżenie w łóżku w pomieszczeniu bez przeciągów i zimnego powietrza, a więc często ofiary trucizny skazane były na dalszą ekspozycję i rozwój choroby.

D. M. Alison (2015: 74-76) [9] podaje w swojej książce, że w rozłożystych fałdach krynoliny składającej się z 20 jardów materiału, znajdowało się łącznie około 900 granów, czyli w przybliżeniu 58 gramów związków arsenu (Rys. 4). Zieleń, która była tak bardzo przez wszystkich uwielbiana, była chętnie stosowana do farbowania ubrań, szczególnie tych wyjściowych. Wielką popularnością cieszyły się sztuczne wianki ozdobione zielonymi, arsenowymi liśćmi.

Łatwopalne tworzywo sztuczne

Rys. 5. Kula bilardowa wykonana z celuloidu, wyprodukowana w roku 1866, źródło: National Museum of American History

T. Palucka [10] w swojej nocie historycznej pisze, że bilard w epoce wiktoriańskiej zyskał niezwykłą popularność. Zapotrzebowanie na kule bilardowe rosło, a razem z nim cena kości słoniowej, z której były wytwarzane. Niestety, by wyprodukować dobre kule

do gry, należy wykorzystać materiał o określonej gęstości i sprężystości, dlatego stosowano tylko najlepszej jakości kość słoniową, której brakowało na rynku. Michael Phelan, współwłaściciel Phelan & Collender Company, firmy produkującej kule bilardowe, obiecał osobie, która odkryje, jakim materiałem zastąpić kość słoniową, że stanie się „obrzydliwie bogata" i zyska jego dozgonną wdzięczność. John W. Hyatt podjął się tego zadania, wykorzystując celuloid – tworzywo sztuczne, które składało się głównie (ponad 70%) z nitrocelulozy (Rys. 5). Nie potrzeba długiej analizy składu, by domyślić się, jaki był rezultat zastosowania nitrocelulozy do wykonania uderzających o siebie piłeczek – przy dobrym uderzeniu dochodziło do niewielkiego wybuchu, który sam w sobie nie był niebezpieczny, ale budził niepokój gości, którzy słysząc ten dźwięk, odruchowo sięgali po pistolety. Produkcja celuloidu była bardzo łatwa i tania, dlatego szybko znalazł on szerokie zastosowania. Świetnie sprawdzał się jako materiał do robienia guzików, grzebieni i wielu innych przedmiotów. Jednak zasadnicza wada tego tworzywa polegała na tym, że nie wymagał kontaktu z ogniem, by zacząć się palić – wystarczała wyższa temperatura. Cierpiały na tym fabryki i domy konsumentów, które stawały w płomieniach przez celuloidowe elementy.

Medycyna

Leki, choć miały za zadanie pomagać w walce z problemami zdrowotnymi, bardzo często przyczyniały się do powstawania nowych, często równie uciążliwych. Bardzo poważnym problemem XIX wieku była ilość osób uzależnionych od opium, które zalecane było na niemal każdą dolegliwość pacjentom w każdej grupie wiekowej. Ważną rolę odegrały także eksperymentalne metody leczenia różnych chorób, które niejednokrotnie doprowadzały do pogorszenia stanu zdrowia pacjentów.

Opioidy i Laudanum – lek na wszystko

Opium znane było w Londynie już od XVII wieku, a to za sprawą Thomasa Sydenhama, który, jak wspomina Encyclopaedia Britannica [11], spopularyzował swoją specjalną recepturę na przyrządzenie bazującego na nim lekarstwa, wychwalając je jako wspaniały lek niemal na wszystko. Przez 200 lat w prawie każdej aptece można było zauważyć słoje pełne rdzawej nalewki opisane jako Laudanum Sydenhamii.

W 1732 roku Thomas Dover odkrył coś jeszcze bardziej praktycznego – Dover's Powder, czyli opium w proszku połączone z ipekakuaną – rośliną, która w większej dawce wywołuje wymioty, zapobiegając przedawkowaniu opium, o czym wspomina sir William Osler (1896: 14-15) [12]. Pani Charlotte Winslow, jak podaje w artykule Michael Obladen (2015: 4-5) [13], stworzyła syrop łagodzący ból podczas ząbkowania (Rys. 6), który miał w sobie aż 65 gramów morfiny. Również wiele rodzin miało swój specjalny, przekazywany kolejnym pokoleniom, przepis na nalewkę z opium. Opioidy są substancjami silnie uzależniającymi, a uzależnione osoby zmagają się z wieloma problemami zdrowotnymi. W „The Journal of Mental Science" w 1889 roku [14] opublikowano wyznanie młodej kobiety uzależnionej od Laudanum. Opowiada ona o swoim życiu jako osoba uzależniona, która straciła wszelkie zainteresowanie światem, pojawiły się problemy

z pamięcią, a cały swój dzień spędza na kanapie, czytając powieści lub śpiąc. W roku 1821 roku popularny wówczas pisarz, Thomas De Quincey, opublikował autobiografię zatytułowaną *Confessions of an English Opium-Eater*, w której opisał swoje zmagania z nałogiem. Opioidy były bardzo tanie i powszechnie dostępne dla osób z każdej warstwy społecznej, a więc problem nadużywania tego narkotyku dotyczył każdej grupy społecznej, od artystów aż po robotników.

Rys. 6. Reklama kojącego syropu pani Winslow stworzona przez Curtis & Perkins Proprietors w 1885 roku, źródło: University of St. Augustine for Health Sciences Library

Rtęć lekiem na ospę miłosną

Rtęć również nie była substancją obcą medycynie wiktoriańskiej. Małgorzata Kłys (2010: 299) [15] pisze w swym artykule, że z Ameryki do Europy dotarła niewystępująca tam nigdy wcześniej bakteria – krętek blady, który wywołuje kiłę, chorobę przenoszoną głównie drogą płciową. W roku 1495 prawdopodobnie każde miasto europejskie miało problem z tą chorobą. W roku 1496 Giorgo Sommariva po raz pierwszy zastosował rtęć w celu leczenia kiły. W epoce wiktoriańskiej było wielu „specjalistów" zapewniających, że właśnie ich metody są najlepsze w walce z francuską chorobą. W wiktoriańskim Londynie zapotrzebowanie na leczenie było duże, gdyż szacuje się, że 20% populacji w wieku 35 lat cierpiała na tę chorobę [16]. Wszystkie sposoby, maści, syropy i kremy, bazowały na rtęci, która wpływała negatywnie nie tylko na bakterię wywołującą chorobę, lecz także na organizm osoby zarażonej. W tamtych czasach kurację rtęciową nazywano toczeniem śliny, ponieważ wierzono, że z ciała osoby chorej musi wydostać się „jad weneryczny". Odpowiednia terapia miała sprawić, że ślinianki osoby leczonej powinny wydzielać do 1,5 litra śliny. Dodatkowo, chorzy pokryci maścią rtęciową często byli umieszczani w łaźniach parowych, narażeni na wdychanie toksycznych oparów. Choć sama skuteczność rtęci w eliminacji bakterii nie była poddana wątpliwościom, to jej zastosowanie wywoływało reakcję Herxheimera. Zabite drobnoustroje uwalniały antygeny powodujące wymioty, gorączkę, dreszcze i bóle głowy. Objawy te obserwowane były

w epoce wiktoriańskiej, jednak nie powiązano ich ze stosowaniem preparatów rtęciowych.

Kosmetyki

Wyrazisty, mocny makijaż uznawany był za nieprzyzwoity i przypisywany był ulicznicom. Jednak w dobrym guście było subtelne podkreślenie naturalnej urody. Blade lico i porcelanowej barwy dłonie odróżnić miały damę od kobiet z niższych klas. M. Marsh w swej książce [17] przytacza najważniejsze, pożądane cechy urody wiktoriańskiej, które uzyskiwane były makijażem. Na białej twarzy musiały pojawić się rumieńce, czerwone usta oraz para wielkich, lśniących oczu zwieńczona trzepoczącymi rzęsami.

Belladonna w kroplach do oczu

Z pracy S. R. Reeves [18] dowiadujemy się, że bardzo ważnym elementem wyglądu wiktoriańskiej kobiety były jej oczy. W epoce wiktoriańskiej wykorzystywano bardzo inwazyjne metody na osiągnięcie magnetycznego spojrzenia. Popularnym sposobem na upiększenie spojrzenia było wkrapianie do oczu nieco perfum lub kilku kropel soku z cytryny. Substancje te bardzo mocno podrażniały gałki oczne, sprawiając, że łzawiły. To właśnie tego efektu pożądano – spojrzenie nabierało blasku. Niestety efekt uzyskany przy pomocy cytryny czy perfum utrzymywał się dosyć krótko, dlatego rozpoczęto poszukiwania czegoś, co zapewniłoby bardziej długotrwałe rezultaty. Krople na bazie belladonny (pokrzyk wilcza jagoda) szybko zyskały wielką popularność. Wkrapiano je do oczu, a zawarta w kroplach atropina sprawiała, iż źrenice nienaturalnie się rozszerzały, dzięki czemu oczy wydawały się większe. Ponadto, rozszerzone źrenice sprawiały, że wrażliwe na światło oko zachodziło łzami. Efekt zadowalał użytkowniczki, jednak długotrwałe stosowanie wyżej wymienionych metod, w tym aplikowanie atropiny, prowadziło do częściowej lub całkowitej ślepoty.

Rad w kosmetyce

Wraz z odkryciem radu przez Marię Skłodowską-Curie intensywnie poszerzał się zakres zastosowania tego pierwiastka, któremu również przypisywano niesamowite właściwości. S. R. Reeves [18] w swym artykule pisze, że w wiktoriańskiej kosmetyce wierzono, że dodatek radu do kremu zapewni skórze promienność. Specyfiki te reklamowano jako istny cud, mający odmienić wygląd i kondycję skóry, a kobiety skuszone obietnicami producenta i nieświadome możliwych skutków ubocznych, używały ich regularnie i obficie. To co firmy kosmetycznie obiecywały, niekoniecznie mijało się z prawdą, bo skóra po pewnym czasie zdawała się błyszczeć, a nawet świecić. Oczywiście dopiero upływ czasu ujawnił, jak użyty w nieodpowiedni sposób rad wyniszcza organizm. W artykule R. M. Diaz, C. Garrido Gutierrez i P. Maldonado Cid [19] opublikowanym przez Hiszpańską Akademię Dermatologii i Wenerologii opisano dolegliwości popromienne takie jak poparzenia, rozpad tkanek, tworzenie się mięsaków, a nawet deformacje kości u osób mających regularny kontakt z tym pierwiastkiem. Te problemy zdrowotne związane ze stosowaniem radu były zaobserwowane już w epoce wiktoriańskiej.

Odzież

Moda XIX wieku nie była ukierunkowana na wygodę jej użytkownika. Stroje składały się z wielu elementów, a żaden z nich nie sprawiał wrażenia wygodnego. Panujący kanon piękna nie polepszał sytuacji, ponieważ oczekiwano, by kobieta była filigranowa, z talią osy, eteryczna i omdlewająca. Nie każda została w ten sposób obdarzona przez naturę, dlatego należało ją nieco wspomóc.

Rys. 7. Wiktoriańska odzież damska z lat 80. XIX wieku, autor nieznany, źródło: Wikimedia Commons

Gorset – talia osy

W czasach wiktoriańskich wierzono, że idealna kobieca figura to taka, która swym kształtem przypomina klepsydrę. Aby osiągnąć pożądane wcięcie w talii, kobiety już od bardzo wczesnych lat życia nosiły gorsety, które sznurowano tak mocno, że normalne oddychanie stawało się niemożliwe i często dochodziło do omdleń, co opisuje w swojej pracy Susan Isaac [20]. Jednak obsesja na punkcie idealnego ciała sprawiła, iż zbyt ciasno zasznurowane gorsety były czymś na porządku dziennym. Niestety długotrwałe noszenie takiego elementu ubioru mocno deformowało sylwetkę i negatywnie wpływało na ogólną kondycję organizmu. Gorsety w większości przypadków szyto ze sztywnych materiałów oraz wzmacniano metalowymi elementami. Taka konstrukcja pięknie prezentowała się na ciele, lecz odbierała kobietom swobodę ruchów. Bardzo szybko zaczęły pojawiać się informacje o tym, jak gorsety deformują sylwetkę, zgniatając żebra i odbierają oparcie

kręgosłupa, co prowadziło do skoliozy. Ponadto ucisk, jaki wywierały na żołądek i inne organy wewnętrzne, wywoływał mdłości i kłopoty z trawieniem.

Podsumowanie

Przeprowadzona przeze mnie analiza wiktoriańskiego stylu życia wykazała, że żywność, kosmetyki a także przedmioty codziennego użytku popularne w tym czasie zawierały szkodliwe substancje, zarówno w niskich, jak i wysokich dawkach, nawet śmiertelnych. Wywoływały one powoli wyniszczające ciało choroby lub trwały, poważny uszczerbek na zdrowiu. Nieświadomość ludzi dotycząca zagrożeń płynących z zastosowania pewnych substancji potęgowała dramatyczne skutki ich użycia. Rozwijająca się medycyna czasów wiktoriańskich nie dawała możliwości wystarczającego przebadania potencjalnie szkodliwych dodatków, a o ich fatalnym działaniu świat dowiadywał się o wiele za późno. Wiele trucizn i problemów było bardzo często bagatelizowanych, zarówno przez rządy, jak i firmy dostarczające dany produkt czy usługę.

Bibliografia:

[1] Whorton C. J. (2010), *The Arsenic Century: How Britain was Poisoned at Home, Work and Play*, wyd. 1, Nowy Jork, Oxford University Press.
[2] Hardy A. (2003), *Bread and alum, syphilis and sunlight: rickets in the nineteenth century, International Journal of Epidemiology*, vol. 32, Oxford University Press.
[3] Klotz K., Weistenhöfer W., Neff F., Hartwig A., van Thriel C., Drexler H. (2017), *The Health Effects of Aluminum Exposure*, Ärzteblatt.
[4] Atkins P.J. (1991), *Sophistication Detected or, the Adulteration of the Milk Supply, 1850–1914*, Social History, vol. 16, Durham.
[5] Liebreich O. (1906), *Third Treatise on the effects of Borax and Boric Acid on the Human System,* Londyn, J. & A. Churchill.
[6] Scheidlin S. (2005), *The Duplicious Nature of Inorganic Arsenic*, http://triggered.stanford.clockss.org/ServeContent?url=http://molinterv.aspetjournals.org%2Fcontent%2F5%2F2%2F60.short (dostęp: 26.05.2022).
[7] Littlejohn D. H. (1856), *Report on Toxicology, Association Medical Journal*, https://books.google.pl/books/about/Association_medical_journal.html?id=jBVAAAAAcAAJ&redir_esc=y (dostęp: 26.05.2022).
[8] Feldkamp K. (2020), *Death on the Doorstep: Arsenic in Victorian Wallpaper*, https://www.slam.org/blog/arsenic-in-victorian-wallpaper/ (dostęp: 26.05.2022).
[9] Alison M. D. (2015), *Fashion Victims: The Dangers of Dress Past and Present*, Bloomsbury Publishing Plc.
[10] Palucka T. (2005), *Artificial Billiard Balls*. *MRS Bulletin* 30**,** 614.
[11] https://www.britannica.com/biography/Thomas-Sydenham (dostęp: 20.04.2022).
[12] Osler W. (1896), *Thomas Dover (of Dover's Powder): Physician and Buccaneer*, Baltimore, The Friedenwald Company.
[13] Obladen M. (2015), *Lethal Lullabies: A History of Opium Use in Infants, Journal of Human Lactation,* vol. 32, issue 1, SAGE Publications Inc.
[14] https://archive.org/details/1889-confessions-of-a-young-lady-laudanum-drinker/mode/2up (dostęp: 5.06.2022).

[15] Kłys M., *Z rtęcią (i…) przez stulecia*, https://ruj.uj.edu.pl/xmlui/bitstream/handle/item/157737/klys_z_rtecia_i_przez_stulecia_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y (dostęp: 25.05.2022).
[16] https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ehr.13000 (dostęp: 5.06.2022).
[17] Marsh M. (2009), *Compacts and Cosmetics: Beauty from Victorian Times to the Present*, Pen & Sword Books Ltd.
[18] Reeves, R. S., *Beauty is in the Eye of the Beholder: How Victorians Used Common Poisons to Become Drop Dead*, Molly Brown House Musem https://mollybrown.org/beauty-is-in-the-eye-of-the-beholder-how-victorians-used-common-poisons-to-become-drop-dead-gorgeous/ (dostęp: 29.04.2022).
[19] R.M. Díaz Díaz, C. Garrido Gutiérrez, P. Maldonado Cid, *Radioactive Cosmetics and Radiant Beauty,* https://www.actasdermo.org/en-radioactive-cosmetics-radiant-beauty-articulo-S1578219020302730 (dostęp: 29.04.2022).
[20] Isaac S., *The dangers of tight lacing: the effects of the corset*, Royal College of Surgeons of England https://www.rcseng.ac.uk/library-and-publications/library/blog/effects-of-the-corset/ (dostęp: 29.04.2022).

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

FILIP STANISŁAWSKI I EWELINA CHYLA
Studenci I roku biologii, studia II stopnia
Studenckie Koło Naukowe Radiobiologów „Curie"
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Students of the first year of Biology, second cycle studies
"Curie" Student Scientific Association of Radiologists
Jan Kochanowski University of Kielc

Wpływ palmatyny na promieniowrażliwość komórek niedrobnokomórkowego raka płuc – A549

The effect of palmatine on the radiosensitivity of small cell lung cancer cells – A549

Abstract: Palmatine is a is a protoberberine alkaloid belonging to protoberberine class. It is naturally present in many plants, including from the Magnoliaceae family and the Berberidaceae family. Due to its anti-oxidising and anti-inflammatory properties, it may reduce the effects of the metabolic syndrome and accompanying diseases caused by inflammation or oxidative stress. Palmatine is also a potential radiosensitising agent. This means that it may sensitise in vitro cells to the effects of radiation, which might improve the efficacy of radiotherapy. In order to study the radiosensitising properties of palmatine, A549 lung cancer cells were exposed to it and then treated with UVC radiation. The effect of palmatine on the radiosensitivity of cells was checked using an apoptosis test with the use of a flow cytometre and a clonogenic test. The obtained results show significant differences in individual experimental tests.

Key words: protoberberines, UVC radiation, flow cytometry, cell survival.

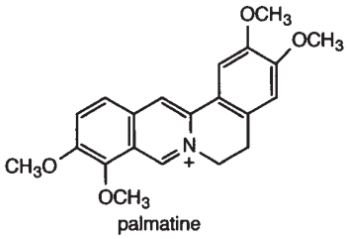
Wprowadzenie

Alkaloidy to związki organiczne o charakterze zasadowym, głównie pochodzenia roślinnego. Są najczęściej gromadzone w peryferyjnych częściach roślin, zwykle w postaci soli i nie osiągają wysokiego stężenia (Kołodziejczyk 2004). Alkaloidy roślinne są pochodnymi aminokwasów, a większość z nich należy do grupy związków heterocyklicznych, czyli związków pierścieniowych, w których przynajmniej w jednym układzie cyklicznym występuje atom niebędący węglem (Kolińska i wsp. 2016). Często jest to atom azotu.

Alkaloidy są metabolitami wtórnymi, zatem nie są niezbędne do życia rośliny. Wykazują jednak szeroki zakres działania na samą roślinę, na przykład poprzez wywoływanie u niej kwitnienia czy opadania liści. Interesujący jest jednak również wpływ, jaki alkaloidy mogą mieć na inne organizmy. Mogą bowiem pełnić funkcję zarówno atraktantów, jak i substancji odstraszających roślinożerców. Niektóre zwierzęta dość dobrze tolerują wpływ alkaloidów, natomiast dla innych mogą okazać się trujące, sprawiając tym samym, że roślina będzie bardziej konkurencyjna w swoim otoczeniu. Stanowią zatem pewien rodzaj adaptacji do środowiska, w którym żyją dane rośliny. W pewnych przypadkach wykazują także działanie stymulujące. Dla człowieka najbardziej istotny jest fakt, iż wiele ziół leczniczych, jak i nowoczesnych leków opiera się właśnie na alkaloidach (Teoh 2015, Aniszewski 2007). Niewielką część alkaloidów można znaleźć także w organizmach zwierząt, takich jak: salamandry, niektóre żaby i wije, ale także owady. U tych ostatnich jednak mają pochodzenie wtórne, czyli są pobrane wraz z pokarmem. Dzięki swoim właściwościom pełnią wówczas dla owada funkcje ochronne przed drapieżnikami. Jeśli chodzi o pozostałe zwierzęta, alkaloidy występują w jadzie albo są wydzielane na powierzchnię skóry, gdyż często są neurotoksynami, zatem ich obecność w ciele zwierzęcia mogłaby zaburzać jego funkcjonowanie (Kołodziejczyk 2004).

Alkaloidy ze względu na budowę molekularną dzieli się na kilkanaście grup. Dwie największe grupy to alkaloidy indolowe oraz izochinolinowe. Alkaloidy izochinolinowe są pochodnymi fenyloalaniny i tyrozyny. Ich podstawową cechą budowy jest pierścień izochinolinowy lub tetrahydroizochinolinowy. Z uwagi na duże zróżnicowanie można je podzielić na 8 podgrup. Podział ten wykonuje się na podstawie między innymi stopnia utlenienia czy dodatkowych pierścieni dołączonych do głównego szkieletu. Jedną z podgrup są protoberberyny, stanowiące 25% wszystkich alkaloidów izochinolinowych. Są najbardziej rozprzestrzenionymi metabolitami wtórnymi zawierającymi azot (Badal i Delgoda 2017).

Palmatyna jest naturalnie występującym przedstawicielem alkaloidów izochinolinowych, należącym do protoberberyn. Można ją znaleźć między innymi w takich roślinach, jak: Korkowiec amurski, *Rhizoma coptidis*, *Corydalis yanhusuo* jak również w występującym w Polsce berberysie zwyczajnym. Do grupy protoberberyn należy także berberyna, dlatego często można ją znaleźć w roślinach wraz z palmatyną.



Ryc. 1 Wzór strukturalny palmatyny, źródło: Imanshahidi i Hosseinzadech 2008

Rośliny zawierające palmatynę przez wieki były wykorzystywane w medycynie tradycyjnej państw takich jak: Chiny, Korea i Indie do leczenia m.in. żółtaczki, nadciśnie-

nia oraz chorób wątroby. Badania naukowe ujawniły wiele właściwości prozdrowotnych tego alkaloidu (Tarabasz i Kukula-Koch 2019).

Palmatyna wykazuje właściwości neuroprotekcyjne. Badania wykazały, że może być wykorzystywana w leczeniu choroby Alzheimera dzięki możliwości inhibicji acetylocholinoesterazy, butyrylocholinoesterazy i neuraminidazy, czyli enzymów odpowiadających za rozkład neuroprzekaźników, niezbędnych do prawidłowego przewodzenia impulsów nerwowych (Long i wsp. 2019). Działa także antydepresyjnie poprzez inhibicję enzymu MAO-A i działanie antyoksydacyjne (Tarabasz i Kukula-Koch 2019).

Palmatyna wykazuje znaczący wpływ na inhibicję wzrostu wielu nowotworowych linii komórkowych. W nowotworowych komórkach ludzkiej skóry powoduje uszkodzenia DNA i inhibicję białka Bcl-2, wywołując apoptozę i nekrozę (Ali i Ali 2014). W przypadku nowotworu jelita grubego człowieka wstrzymuje proliferację komórek poprzez obniżanie ekspresji cytokin IL-1α, IL1-β oraz IL-8 odpowiedzialnych za ich wzrost (Long i wsp. 2019). Badania również potwierdziły skuteczność palmatyny w indukowaniu apoptozy komórek nowotworu jajnika, jak również selektywność oraz zmniejszoną cytotoksyczność względem komórek prawidłowych (Johnson-Ajinwo i wsp. 2019).

Promieniowanie ultrafioletowe (UV) to forma promieniowania niejonizującego, emitowana głównie przez słońce. Fotony światła UV, będące częścią spektrum elektromagnetycznego, znajdują się między długościami fali światła widzialnego a promieniowaniem gamma. Promieniowanie UV można podzielić, ze względu na długości fali na promieniowanie UVA (315-400nm), UVB (280-315 nm) oraz UVC (100-280 nm) (D'Orazio i wsp. 2013). Promieniowanie UVC może mieć wiele różnych zastosowań, na przykład ma właściwości bakteriobójcze, natomiast może również powodować negatywne efekty jak wywoływanie nowotworu skóry. Naturalnie występujące promieniowanie UVC emitowane przez słońce jest jednak nieszkodliwe, gdyż jest blokowane przez cząsteczki ozonu i tlenu w warstwie ozonowej, tym samym nie przedostaje się do powierzchni ziemi (Ebisz i Brokowska 2015).

Radioterapia jest metodą leczenia nowotworów polegającą na wykorzystaniu promieniowania jonizującego w celu zabicia komórek nowotworowych. Promieniowanie powoduje pojedyncze (SSB) oraz podwójne (DSB) pęknięcia nici DNA, powodując zatrzymanie podziału komórkowego, oraz indukcję nekrozy i apoptozy (Gong i wsp. 2021).
Fotochemioterapia jest terapią wykorzystującą promieniowanie oraz związki fotouczulające, które razem ze światłem UV dają większą skuteczność terapii.

Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu palmatyny na promieniowrażliwość komórek niedrobnokomórkowego raka płuc A549. Porównywano wpływ promieniowania UVC pomiędzy komórkami z dodatkiem palmatyny w różnych stężeniach a komórkami bez dodatku tej substancji. Eksperyment miał na celu sprawdzenie, jak palmatyna w skojarzeniu z promieniowaniem UVC wpływa na apoptozę i nekrozę, oraz proliferację komórek A549.

Materiały i metody

Badania zostały przeprowadzone na linii komórkowej niedrobnokomórkowego raka płuc A549. Do hodowli wykorzystano pożywkę F-12, wzbogaconą w antybiotyk w celu uniknięcia zakażenia komórek. Przeprowadzono test apoptozy przy użyciu cytometru przepływowego oraz test klonogenny.

Na szalki wysiano $5 \cdot 10^5$ komórek A549 i zawieszono w 5 ml pożywki. Szalki inkubowano przez 48 h w temperaturze 37 stopni w celu namnożenia komórek. Po tym czasie do wybranych szalek dodano palmatynę w dwóch stężeniach: 5 µmol i 25 µmol, w ciemności, ze względu na światłoczułość palmatyny. Inkubowano przez 24h, po czym poddano je promieniowaniu UVC o mocy dawki 100 J/sek, a następnie ponownie poddano 24-godzinnej inkubacji. Komórki przygotowano do testu apoptozy i rozsiano do testu klonogennego.

Test apoptozy przy użyciu cytometru przepływowego

Posiane wcześniej komórki oderwano za pomocą trypsyny od dna szalek i przeniesiono do probówek. Wirowano przez 10 minut z prędkością 900/min. Zlano nadsącz i przepłukano 3 ml PBS-u, ponownie wirowano z tą samą prędkością przez 10 minut. Zlano nadsącz, a następnie dodano po 200 µl binding buffer, dziesięciokrotnie rozcieńczonego i rozpipetowano. Całość przeniesiono do probówek cytometrycznych, gdzie dodano następujące barwniki: aneksynę +PE oraz aneksynę +AAD, każdego po 5 µl.

Zwyczajowo aneksynę stosuje się w połączeniu z jodkiem propidyny, jednak ze względu na to, że palmatyna wykazuje zieloną fluorescencję, wyniki nie byłyby wiarygodne, dlatego w tym przypadku odczynnik musiał zostać zastąpiony innym, wykazującym jednak takie same właściwości. Komórki niewiążące żadnego z barwników (PE-/AAD-) są uznawane za żywe; komórki wiążące aneksynę skoniugowaną z PE (PE+/AAD-) to komórki wczesnoapoptotyczne; komórki niewiążące aneksyny +PE, ale wiążące AAD (PE-/AAD+) to komórki nekrotyczne; a komórki barwiące się obydwoma barwnikami (PE+/AAD+) są komórkami w stadium późnej apoptozy.

Szalki inkubowano przez 15 minut w ciemności. Po upływie tego czasu analizowano na cytometrze przepływowym BD LSR II.

Cytometria przepływowa jest metodą wykorzystywaną do analizy pojedynczych komórek w zawiesinie przy użyciu laserów. Ta metoda ma szerokie zastosowanie w dziedzinach immunologii, biologii molekularnej, wirusologii czy przy badaniu biologii nowotworów. Komórki przepływające przez cytometr są sortowane na podstawie rozmiaru, kształtu czy ziarnistości poprzez detektory rejestrujące światło rozproszone. Otrzymane wyniki pomiaru w postaci histogramu lub cytogramu pokazują ilości komórek w apoptozie czy nekrozie z danej próby (McKinnon 2018).

Badania zostały wykonane w trzech niezależnych próbach.

Test klonogenny

Oderwaną za pomocą trypsyny i pipetowania zawiesinę komórek przeniesiono do probówek. Wymieszano i umieszczono po 5 µl zawiesiny w komorze Burkera, gdzie policzono komórki z poszczególnych szalek. Obliczono objętość zawiesiny zawierającą 200 komórek, a następnie przygotowano odpowiednie rozcieńczenia. Na płytce sześciodołkowej wysiano po 200 komórek, na 3 ml pożywki. Komórki inkubowano w inkubatorze w temperaturze 37 stopni. Po upływie 14 dni utrwalono i wybarwiono kolonie. Po zlaniu pożywki przepłukano komórki PBS-em, dodano 3 ml metanolu na 5 minut, zlano go i pozostawiono płytkę do wyschnięcia. Po 15 minutach dodano 5% roztwór Giemsy na 10 minut. Po tym czasie zlano go i wypłukano komórki wodą destylowaną a następnie wysuszono. Tak utrwalone i wybarwione kolonie komórek zliczono i obliczono wydajność klonowania oraz przeżywalność komórek. Test wykonano trzykrotnie w niezależnych próbach.

Wyniki badań

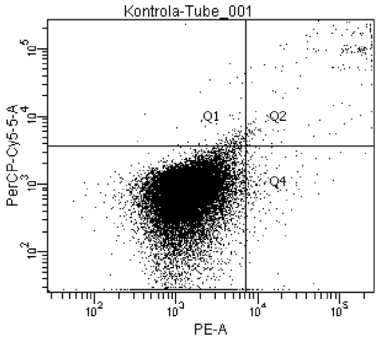
Wyniki badań, zawarte w tabeli 1, zostały uzyskane przy użyciu cytometrii przepływowej. Tabela zawiera wyniki próby kontrolnej, po napromienieniu UVC, z dodatkiem palmatyny o stężeniu 5 µmol, z dodatkiem 5 µmol palmatyny i następnie napromienionej UVC. Każda z prób badawczych została wykonana w trzech oddzielnych powtórzeniach.

Tabela 1. Przeżywalność komórek A549 w próbie kontrolnej, z UVA, z 5 µmol palmatyny, 5 µmol palmatyny + UVA, 25 µmol palmatyny oraz 25 µmol palmatyny + UVA.

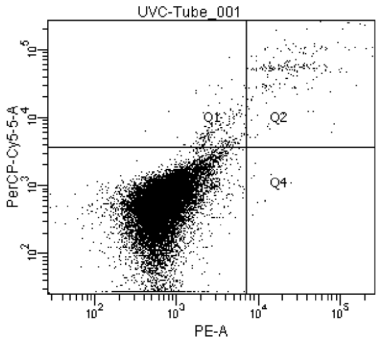
Próba	Q1	Q2	Żywe komórki	Wczesna apoptoza	Późna apoptoza + nekroza
Kontrola					
1	0.5%	1.0 %	97.5%	1.0%	1.5%
2	1.0%	0.4%	98.5%	0.0%	1.4%
3	3.4%	1.6%	94.9%	0.1%	5.0%
UVC					
1	1.0%	1.2%	97.8%	0.0%	2.2%
2	0.9%	1.3%	97.7%	0.1%	2.2%
3	1.6%	0.5%	97.8%	0.0%	2.1%
5 µmol palmatyny					
1	1.0%	1.1%	97.8%	0.1%	2.1%
2	1.2%	1.4%	97.4%	0.1%	2.6%
3	0.1%	0.7%	98.5%	0.7%	0.8%

Próba	Q1	Q2	Żywe komórki	Wczesna apoptoza	Późna apoptoza + nekroza
5 µmol palmatyny + UVC					
1	22.8%	65.6%	9.4%	2.2%	88.4%
2	3.4%	2.4%	93.9%	0.4%	5.8%
3	21.5%	64.7%	12.0%	1.8%	86.2%
25 µmol palmatyny					
1	0.9%	3.7%	95.2%	0.1%	4.6%
2	1.3%	4.1%	94.5%	0.1%	5.4%
3	1.2%	0.6%	98.1%	0.2%	1.8%
25 µmol palmatyny + UVC					
1	21.8%	67.4%	6.8%	3.9%	89.2%
2	21.3%	67.6%	6.9%	4.2%	88.9%
3	21.5%	66.9%	7.1%	4.5%	88.4%

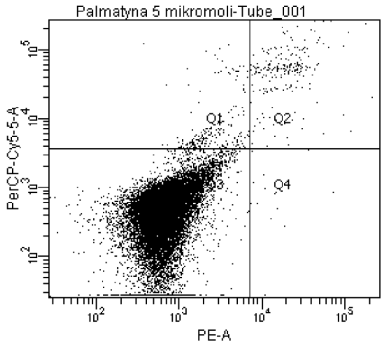
źródło: badania własne



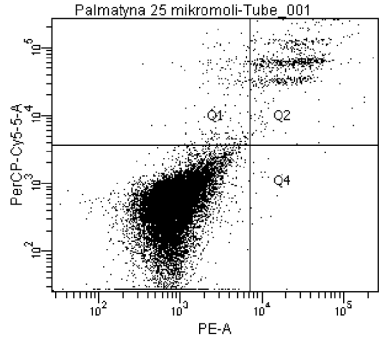
Ryc.1 Rozkład komórek A549 w próbie kontrolnej



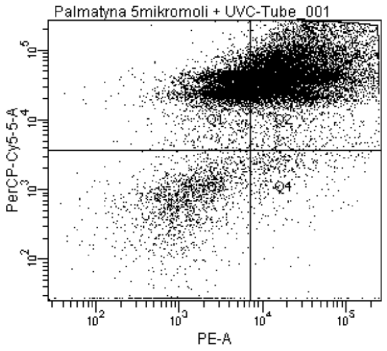
Ryc. 2 Rozkład komórek A549 w próbie z UVC



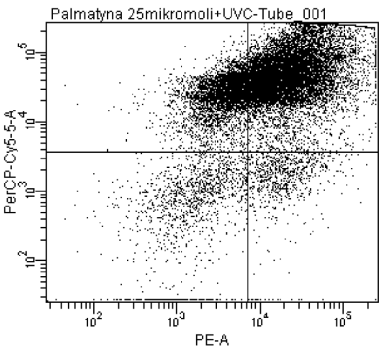
Ryc. 3. Rozkład komórek A549 w próbie z 5 µmol palmatyny



Ryc. 4. Rozkład komórek A549 w próbie z 25 µmol palmatyny



Ryc. 5. Rozkład komórek A549 w próbie z 25 µmol palmatyny + UVC



Ryc. 6. Rozkład komórek A549 w próbie z 25 µmol palmatyny + UVC

Powyższe wykresy sugerują, że palmatyna zwiększa efektywność promieniowania UVC. Widać istotne różnice w rozkładzie komórek napromienionych z dodatkiem palmatyny a pozostałymi próbami. W przypadku próby kontrolnej, jak również próby z samym promieniowaniem UVC, można zauważyć, że zdecydowana większość komórek jest w kwadrancie Q3, co oznacza, że nie weszły w procesy apoptozy i nekrozy. Próby zawierające palmatynę bez napromieniania, pokazały podobny rozkład z nieznacznym wzrostem liczby komórek w Q1 (nekroza) i Q2 (późna apoptoza). Znaczące różnice można zaobserwować w próbach, które zostały napromienione z dodatkiem palmatyny, widać znaczny spadek komórek w kwadrancie Q3 oraz wzrost komórek w Q1 i Q2, co sugeruje, że palmatyna zwiększyła działanie promieniowania na komórki i spowodowała, iż zdecydowanie większy procent komórek wszedł w procesy apoptozy i nekrozy.

Tabela. 2 Wyniki testu klonogennego

	Liczba kom.	Próba 1	PE	SF	Próba 2	PE	SF	Próba 3	PE	SF	średnia SF
Kontrola	200	114	0,57	1,00	101	0,51	1,00	95	0,48	1,00	1,00
UVC	200	137	0,69	1,20	105	0,53	1,04	97	0,49	1,02	1,09
5 µmol/ml palmatyny	200	97	0,49	0,85	100	0,50	0,99	109	0,55	1,15	1,00
5 µmol/ml palmatyny + UVC	200	75	0,38	0,66	113	0,57	1,12	109	0,55	1,15	0,97
25 µmol/ml palmatyny	200	59	0,30	0,52	58	0,29	0,57	44	0,22	0,46	0,52
25 µmol/ml palmatyny + UVC	200	94	0,47	0,82	90	0,45	0,89	82	0,41	0,86	0,86

źródło: badania własne

Podczas analizy wyników testu klonogennego należy wyliczyć wydajność klonowania (PE), oraz frakcję przeżywalności (SF). Wyniki testu klonogennego pokazały negatywny wpływ palmatyny na przeżywalność komórek nowotworowych A549, natomiast jej połącznie z UVC nie dało jednoznacznych wyników i wymaga dalszych badań.

Wnioski

Otrzymane wyniki wskazują na efekt promieniouwrażliwiający palmatyny na komórki niedrobnokomórkowego raka płuc A549.

Zaobserwowano znaczne zwiększenie ilości komórek apoptotycznych i nekrotycznych w próbach traktowanych palamtyną w skojarzeniu z promieniowaniem UVC w porównaniu do próby kontrolnej oraz do prób traktowanych tylko palmatyną oraz tylko promieniowaniem UVC.

Nie zanotowano znaczącej różnicy we właściwościach promieniouczulających palmatyny, jeśli chodzi o indukcję apoptozy pomiędzy stężeniem 5 µmol a 25 µmol palmatyny.

Nie zaobserwowano różnic między przeżywalnością komórek A549 w poszczególnych próbach przy zastosowanym stężeniu palmatyny 5 µmol.

Zanotowano różnice w przeżywalności komórek A549 po traktowaniu samą palmatyną oraz palmatyną w skojarzeniu z promieniowaniem UVC w stężeniu 25 µmol w porównaniu do kontroli oraz do samego promieniowania UVC, przy czym znaczny spadek przeżywalności zaobserwowano po samej palmatynie.

Podsumowując, palmatyna wykazuje działanie promieniouczulające w stężeniu 5 µmol i 25 µmol wobec komórek A549, jeśli chodzi o indukcję apoptozy, co może być przydatne w stosowaniu terapii łączonych w leczeniu nowotworów. Znaczny spadek przeżywalności komórek po działaniu palmatyny w stężeniu 25 µmol w porównaniu do działania palmatyny w stężeniu 25 µmol w skojarzeniu z promieniowaniem UVC nie wskazuje na właściwości promieniouczulające palmatyny, jeśli chodzi o przeżycie komórek i wymaga dodatkowych badań, potwierdzających bądź wykluczających to zjawisko.

Bibliografia

Ali D, Ali H. (2014*), Palmatine: A review of its pharmacology, toxicity and pharmacokinetics*, "Toxicological & Environmental Chemistry" 96, s. 941-950.

Aniszewski T. (2007), *Alkaloids – Secret of life, Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Application and Ecological Role*, Elsevier Science & Technology.

Badal S., Delgoda R. (2017), *Pharmacognosy, Fundamentals, Application and Strategies*, Academic Press, London.

D'Orazio J., Jarrett S., Amaro-Ortiz A. i Scott T. (2013), *UV radiation and the skin*, "International Journal of Molecular Sciences" 14(6), s. 12222-12248.

Ebisz M. i Brokowska M. (2015), *Szkodliwe oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego na skórę człowieka*, "Hygiea Public Health", 50(3), s. 467-473.

Gong L., Zhang Y., Liu C., Zhang M. i Han S. (2021), *Application of radiosensitizers in cancer radiotherapy*, "Int J Nanomedicine", 16, s. 1083-1102.

Imanshahidi M., Hosseinzadech H. (2008), *Pharmacological and Therapeutic Effects of Berberis vulgaris and its Active Constituent, Berberine*, ”Phytotherapy research” 22, s. 999-1012.

Johnson-Ajinwo O.R, Richardson A., & Li W.W. (2019), *Palmatine from Unexplored Rutidea parviflora Showed Cytotoxicity and Induction of Apoptosis in Human Ovarian Cancer Cells*, ”Toxins” 11(4), 237.

Kolińska A., Marciniak P., Adamski Z. i Rosiński G. (2016), *Alkaloidy – naturalne substancje kardioaktywne*, „Kosmos – Problemy Nauk Biologicznych” 65, s. 247-256.

Kołodziejczyk A. (2004), *Naturalne związki organiczne*, WN PWN, Warszawa.

Long J., Song J., Zhong L., Liao Y., Liu L. i Li X. (2019), *Palmatine: A review of its pharmacology, toxicity and pharmacokinetics*, ”Biochime” 162, s. 176-184.

McKinnon M.K. (2018), *Flow cytometry: an overview*, ”Curr Protoc Immunol” 120, 5.1.1-5.1.11.

Tarabasz D., Kukula-Koch W. (2019), *Palmatine: A review of pharmacological properties and pharmacokinetics*, ‘WILEY’, s. 1-18.

Teoh E.S. (2015), *Secondary Metabolites of Plants*, “Medicinal Orchids of Asia”, s. 59-73.

Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022, tom 31, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2022, volume 31, part 2

GRZEGORZ WESOŁOWSKI
Student II roku fizyki, studia II stopnia
Studenckie Koło Naukowe Neutrino
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Student of the second year of Physics, second-cycle studies
"Neutrino" Student Scientific Association
Jan Kochanowski University of Kielce

Dane cenzurowane – jak odtworzyć ukrytą informację statystyczną?

Censured data – how to recreate hidden statistical information?

Abstract: Statistical analysis is a science of collecting, processing and presenting the collected data in order to discover and describe general laws, patterns and tendencies. Various methods of statistical analysis of data enable detailed studying of phenomena and processes that are important in the area of scientific research, economy or social functioning. In the course of solving certain problems, we face the necessity to use the so-called censured data, i.e. data the exact numerical value of which is unknown. The appearance of this type of data may result from, among others, a limited character of data collection methods or random events. This article presents selected issues related to censured data and shows examples of analysis of such data with the use of statistical software.

Keywords: censoring, survival analysis, reliability analysis, TXRF, element concentration

Wprowadzenie

Dane cenzurowane (zob. Petrie 2006), inaczej dane ucięte, to dane, które z różnych powodów nie niosą pełnej informacji statystycznej. Wartość wyniku obserwacji nie jest znana, ponieważ pomiar jest ograniczony do pewnego przedziału wartości. Wynik obserwacji może być znany np. jako mniejszy bądź też jako większy niż pewna wartość liczbowa. Brak dostępności do właściwego wyniku może być spowodowany, zależnie od dziedziny i obszaru badań, np. ograniczeniem aparatury wykorzystywanej do pomiaru lub przekroczeniem limitów czasowych prowadzenia badań czy też utratą kontaktu z osobą ankietowaną lub monitorowanym pacjentem. W przypadku dysponowania zbiorem danych z cenzurowanymi obserwacjami wyzwaniem jest, jak dokonać jego analizy statystycznej, czy w pewien swoisty sposób włączyć te obserwacje do całościowej analizy, czy może pominąć fakt ich cenzurowania i rozważać je w takiej postaci, w jakiej

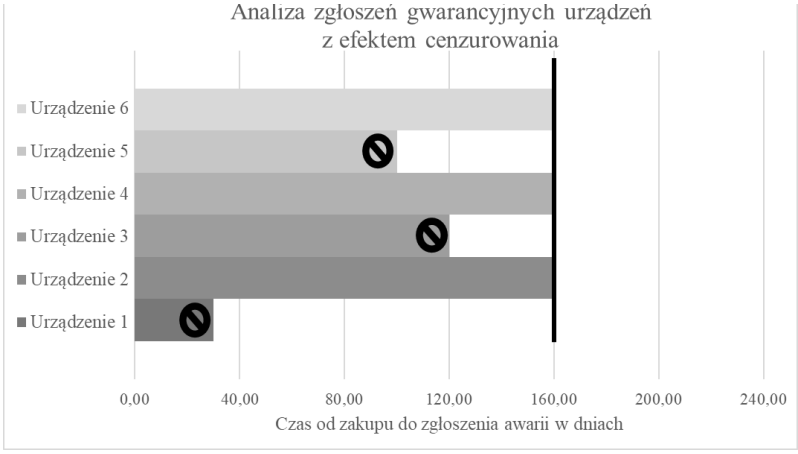
są zebrane, czy też całkowicie je odrzucić z analizy, zostawiając tym samym tylko obserwacje niecenzurowane. Problem danych cenzurowanych pojawia się w wielu badaniach związanych z różnorodnymi dziedzinach naukowymi, od nauk ścisłych, medycznych, po humanistyczne i społeczne (Helsel 2010).

Cel pracy

Celem pracy jest pokazanie wartości statystycznej ukrytej przez efekt cenzurowania w danych empirycznych. Ma to zachęcić do unikania usuwania wyników cenzurowanych z analizy statystycznej różnorakich problemów i traktowanie danych cenzurowanych jako koniecznych do uwzględnienia. W pracy omówione zostaną rodzaje i przykłady danych cenzurowanych z przykładami obszarów badań, w których mogą się takie dane pojawiać, zatem dla których analiza danych cenzurowanych będzie miała zastosowanie. Zaproponowana zostanie przystępna procedura statystycznej analizy danych cenzurowanych przy wykorzystaniu programu STATISTICA ułatwiająca opracowanie danych tego rodzaju.

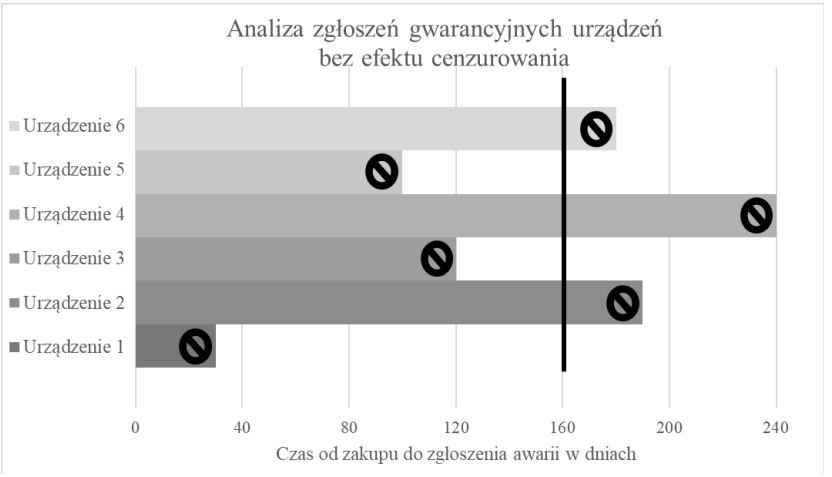
Dane cenzurowane: przykłady i rodzaje

Najprościej ideę danych cenzurowanych zrozumieć na autorskim przykładzie. Dlatego też, na rysunku 1 przedstawiono graficznie dane dotyczące analizy zgłoszeń gwarancyjnych pewnego urządzenia. Producent co 40 dni ankietuje zgłoszone osoby w sprawie stanu jego urządzenia. W informacji zwrotnej dostaje dane o uszkodzeniu urządzenia (po ilu dniach uległo awarii). Badanie to trwa 160 dni, a producent stara się ustalić w ten sposób, jak długo jego urządzenie działa bezawaryjnie. Jest to przykład zagadnienia tzw. *analizy niezawodności* (*bezawaryjności) urządzeń*.



Rys. 1. Analiza zgłoszeń gwarancyjnych z efektem danych cenzurowanych

W przypadku urządzeń 1, 3 i 5 zgłoszono uszkodzenia. Dla tych urządzeń czas bezawaryjnej pracy wynosił odpowiednio 30 dni (urządzenie 1), 120 dni (urządzenie 3) oraz 100 dni (urządzenie 5). Dla urządzeń 2, 4 oraz 6 zebrane dane informują o działaniu przez 160 początkowych dni, lecz nie wiadomo, co nastąpiło w późniejszym okresie. W dniu zakończenia badania, urządzenia jeszcze działały, zatem czas bezawaryjnej pracy był dłuższy niż 120 dni i w przypadku tych trzech urządzeń wyniki są cenzurowane. Poniżej, dla porównania, rysunek 2 z faktycznymi wartościami czasu bezawaryjnej pracy urządzeń, patrząc z perspektywy hipotetycznego „wszystkowiedzącego" obserwatora. Dla każdego urządzenia znany jest faktyczny czas bezawaryjnej pracy.



Rys. 2. Analiza zgłoszeń gwarancyjnych bez efektu cenzurowania

Celem analizy statystycznej może być wyznaczenie np. średniego czasu albo mediany bezawaryjnej pracy urządzenia. Łatwo zorientować się, że nieuwzględnienie danych cenzurowanych mocno wpływa na wartości obliczanych miar. Tymczasem zastosowanie właściwych metod statystycznych (np. dostępnych w programach statystycznej analizy danych) pozwoliłoby na odzyskanie części utraconej informacji i poprawienie dokładności wyników.

Dane cenzurowane mogą przyjmować różną formę (Petrie 2006, Helsel 2010). Wyróżnia się następujące typy cenzurowania:

- *cenzurowanie typu I* – jest to cenzurowanie ze względu na czas; eksperyment zostaje zakończony w pewnym określonym momencie przez co część danych przyjmuje pewną niedomierzoną wartość,
- *cenzurowanie typu II* – cenzurowanie ze względu na liczbę powtórzeń; eksperyment zostaje zakończony po pewnej liczbie powtórzeń.

Innym podziałem danych cenzurowanych jest podział ze względu na tzw. stronę cenzurowania:

- *cenzurowanie interwałowe* –właściwa obserwacja nie jest znana, gdy znajduje się między (albo poza) dwoma *a priori* znanymi wartościami,
- *cenzurowanie lewostronne* – właściwa obserwacja nie jest znana, gdy znajduje się poniżej pewnej wartości,
- *cenzurowanie prawostronne* – właściwa obserwacja nie jest znana, gdy znajduje się powyżej pewnej wartości.

Warto rozważyć też powody, dla których dane zostają „zniekształcone" w wyniku cenzurowania. Pierwszym jest utrata jednostki w wyniku zdarzenia losowego. Przykładem może być utrata kontaktu z właścicielem urządzenia na gwarancji, przez co producent nie dostaje informacji o aktualnym stanie urządzenia. Drugim jest zaprzestanie badania, przez co dane o aktualnym stanie obiektu badanego nie są już pozyskiwane (na przykład urządzenie psuje się po okresie objętym ankietą producenta).

Z danymi cenzurowanymi można spotkać się w wielu obszarach badań. Bodajże najbardziej znanym przykładem jest tzw. *analiza przeżycia* powszechnie stosowana w ramach nauk medycznych (Petrie 2006). Dzięki analizie przeżycia szacuje się m.in. prawdopodobieństwo przeżycia pacjenta przez określony czas w zależności od pewnych czynników np. typu leczenia czy wdrożonej procedury medycznej. Cenzorowanie wynika tu z zakończenia przeprowadzania badania grupy pacjentów po upływie określonego czasu lub z powodu wycofania się pacjenta z dalszych badań. "Ukryte" w ten sposób faktyczne dane mogą być rozpoznane w sposób jednokierunkowo obciążony. Podobny problem występuje również w analizie niezawodności w technice. W tym przypadku rolę czynnika cenzurowania może pełnić czas lub liczba zadanych powtórzeń doświadczenia, które dany przedmiot czy konstrukcja mają przetrwać. Wśród kolejnych przykładów można wymienić czas trwania małżeństw (badania mieszczące się w obszarze demografii) czy czas trwania procesów z zakresu badań ekonomicznych i społecznych.

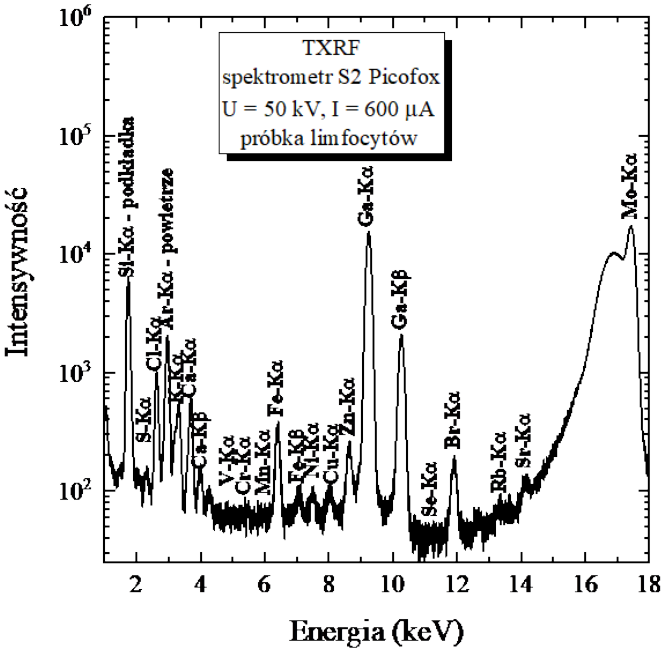
Trochę odmienne ujęcie cenzorowania związane jest z danymi, będącymi wynikami pomiarów, ograniczonymi czułością aparatury pomiarowej. Ujęcie to dotyczy szerokiego zakresu danych. Mogą być to dane chociażby z zakresu badań środowiska (np. analiza składu wody pitnej) czy też dane astronomiczne (np. emisja promieniowania rentgenowskiego w kwazarach głośnych i cichych radiowo, emisja radiowa w promieniowaniu rentgenowskim i optycznie aktywne jądra galaktyczne, detekcja neutralnego wodoru w galaktykach eliptycznych) (Helsel 2010).

Poglądowo na rysunku 3. przedstawiono przykłady obszarów badań oraz zagadnienia z tychże obszarów, w których mogą pojawiać się dane cenzurowane.

Rys. 3. Przykłady zagadnień, w których mogą pojawiać się dane cenzurowane

Cenzurowane dane pomiaru zawartości pierwiastków

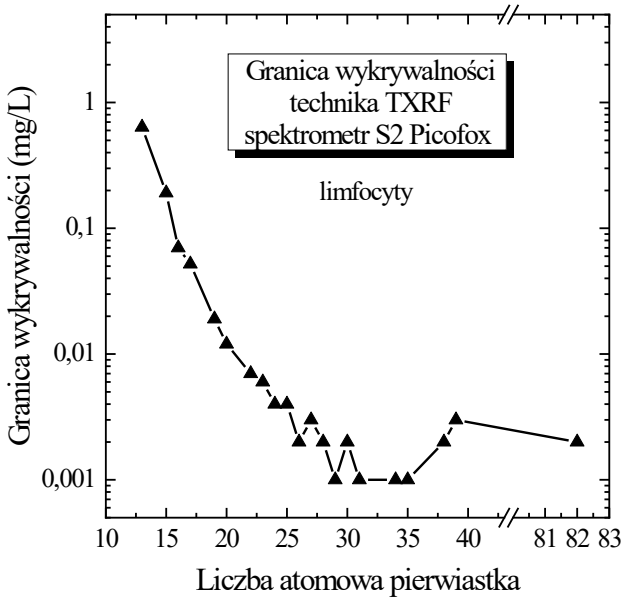
Przykładem danych cenzurowanych (w tym przypadku cenzurowanych lewostronnie) są również pomiary zawartości pierwiastków blisko granicy wykrywalności techniki pomiarowej. Jako ilustrację omówiona zostanie analiza składu pierwiastkowego próbek materiału biologicznego z wykorzystaniem techniki rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej z całkowitym odbiciem wiązki padającej (Klockenkämper R. 1997). Metoda TXRF (ang. Total reflection X-ray fluorescence spectroscopy) jest techniką spektroskopii rentgenowskiej, w której analizowaną próbkę naświetla się promieniowaniem rentgenowskim, a następnie rejestruje, w postaci widma, promieniowanie charakterystyczne emitowane przez atomy analizowanej próbki. Przykładowe widmo zarejestrowane dla próbki limfocytów krwi ludzkiej przedstawia Rysunek 4 (Kubala-Kukuś 2021). Analiza została wykonana w Instytucie Fizyki UJK z wykorzystaniem techniki TXRF (Spektrometr S2 PICOFOX, dostęp: 17.03.2022).



Rys. 4. Widmo promieniowania rentgenowskiego emitowanego przez próbkę limfocytów krwi ludzkiej wzbudzone techniką TXRF (źródło: Kubala-Kukuś 2021)

Obserwowane na widmie linie dają informację o pierwiastku obecnym w próbce (przy czym linia Si-Kα pochodzi od podkładki, na której zdeponowana jest próbka, linia Ar-Kα od atomów argonu zawartych w powietrzu, Ga-Kα jest linią pierwiastka będącego standardem wewnętrznym, a Mo-Kα jest linią promieniowania pierwotnego emitowanego z lampy rentgenowskiej). Intensywność linii jest proporcjonalna do zawartości pierwiastka w próbce. Jak widać na widmie, dla niektórych linii promieniowania charakterystycznego pierwiastka, intensywność jest na poziomie tła zarejestrowanego widma (np. V-Kα, Cr-Kα, Mn-Kα, Se-Kα). Program spektrometru, służący do analizy ilościowej i jakościowej widm promieniowania charakterystycznego emitowanego przez analizowaną próbkę, oblicza dokładną zawartość pierwiastka (C), o ile spełniony jest warunek: (gdzie jest liczbą zliczeń w linii promieniowania charakterystycznego, a – liczbą zliczeń tła, tzn. liczbą zliczeń w linii promieniowania charakterystycznego), tzn. gdy intensywność linii przekracza trzykrotność niepewności liczby zliczeń tła. Jeśli liczba zliczeń w linii promieniowania charakterystycznego nie spełnia tego warunku to szacowana jest wartość graniczna. Program szacuje wtedy ilość pierwiastka i podaje go jako wartość. Taki wynik jest wynikiem lewostronnie cenzurowanym. Zatem tło widma stanowi ograniczenie możliwości określenia zbyt małej zawartości pierwiastka. Mowa jest więc tu o granicy wykrywalności techniki pomiarowej. Na rysunku 5 przedstawiono zależność

granicy wykrywalności dla techniki TXRF realizowanej w spektrometrze S2 PICOFOX od liczby atomowej pierwiastka dla próbki limfocytów (Kubala-Kukuś 2021).

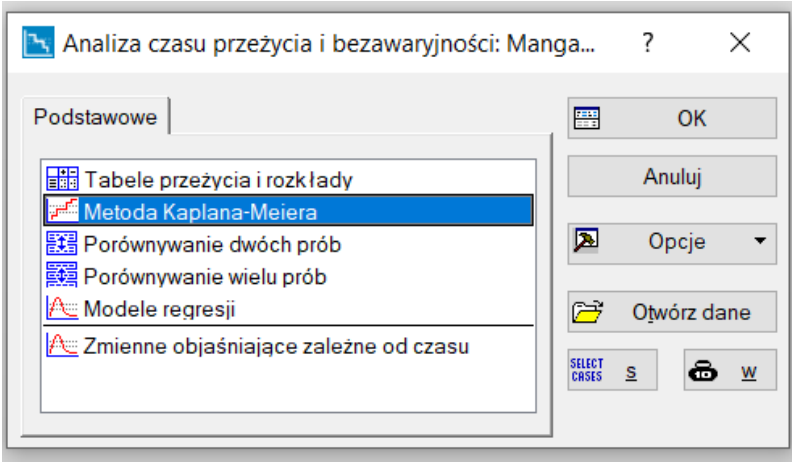


Rys. 5. Granica wykrywalności w technice TXRF w zależności od liczby atomowej pierwiastka (źródło: Kubala-Kukuś 2021)

Wartość granicy wykrywalności zależy od rodzaju pierwiastka. Ograniczenie możliwości pomiarowych skutkuje tym, że w wyniku analizy dla części próbek otrzymuje się informację o faktycznej zawartości pierwiastka, a dla pozostałych precyzyjną zostaje oszacowana tylko granica wykrywalności i wynikiem pomiaru jest informacja, że zawartość pierwiastka jest mniejsza od granicy wykrywalności.

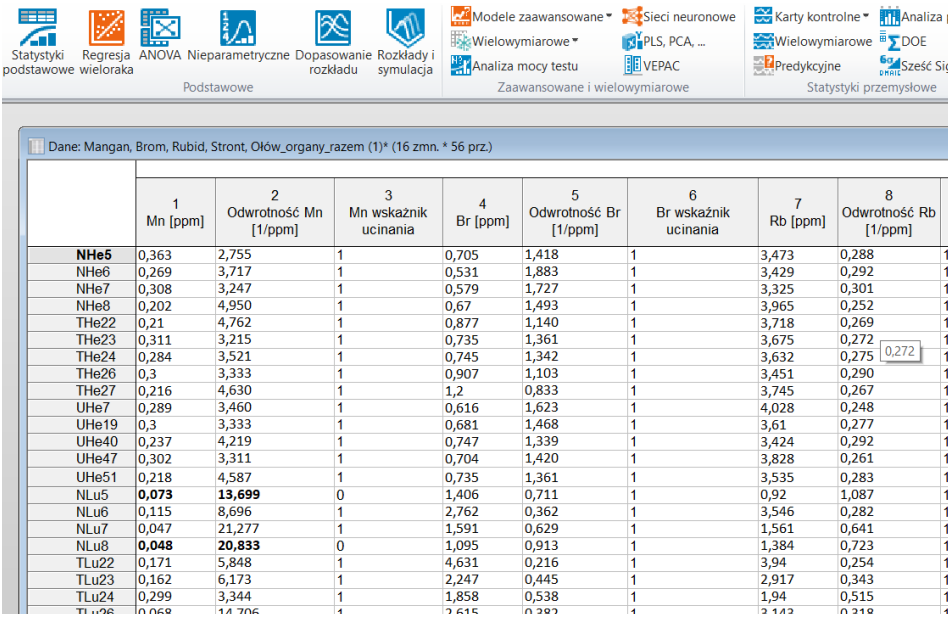
Analiza danych cenzurowanych w programie STATISTICA

W programie STATISTICA narzędzia służące do analizy danych cenzurowanych zgromadzone są w zakładce *Analiza czasu przeżycia i bezawaryjności*, której wygląd przedstawia rysunek 6 (Internetowy Podręcznik Statystyki, dostęp: 16.03.2022).



Rys. 6. Zakładka *Analiza czasu przeżycia i bezawaryjności* z narzędziami do analizy danych cenzurowanych (internetowy Podręcznik Statystyki, dostęp: 16.03.2022)

W STATISTICE zaimplementowane są takie metody statystyki jak *analiza tablic trwania życia*, *estymator Kaplana-Meiera*, *porównanie prób* czy *modele regresji* (Internetowy Podręcznik Statystyki, dostęp: 16.03.2022).

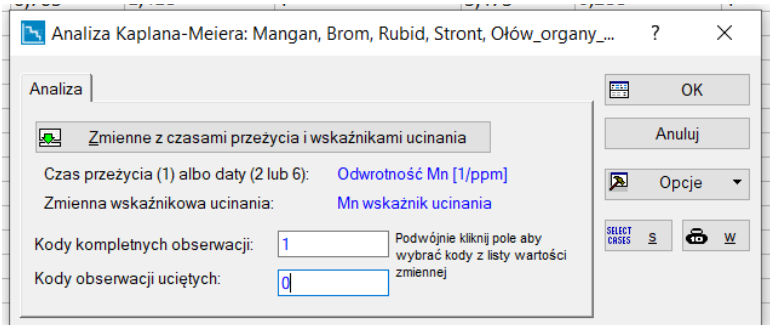


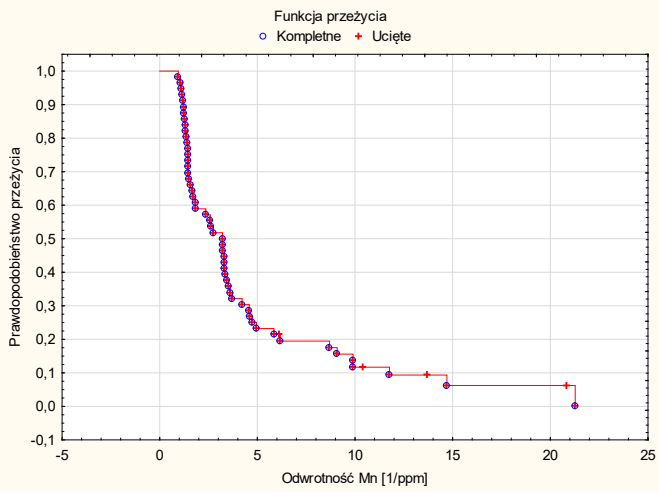
	1 Mn [ppm]	2 Odwrotność Mn [1/ppm]	3 Mn wskaźnik ucinania	4 Br [ppm]	5 Odwrotność Br [1/ppm]	6 Br wskaźnik ucinania	7 Rb [ppm]	8 Odwrotność Rb [1/ppm]	
NHe5	0,363	2,755	1	0,705	1,418	1	3,473	0,288	1
NHe6	0,269	3,717	1	0,531	1,883	1	3,429	0,292	1
NHe7	0,308	3,247	1	0,579	1,727	1	3,325	0,301	1
NHe8	0,202	4,950	1	0,67	1,493	1	3,965	0,252	1
THe22	0,21	4,762	1	0,877	1,140	1	3,718	0,269	1
THe23	0,311	3,215	1	0,735	1,361	1	3,675	0,272	1
THe24	0,284	3,521	1	0,745	1,342	1	3,632	0,275	1
THe26	0,3	3,333	1	0,907	1,103	1	3,451	0,290	1
THe27	0,216	4,630	1	1,2	0,833	1	3,745	0,267	1
UHe7	0,289	3,460	1	0,616	1,623	1	4,028	0,248	1
UHe19	0,3	3,333	1	0,681	1,468	1	3,61	0,277	1
UHe40	0,237	4,219	1	0,747	1,339	1	3,424	0,292	1
UHe47	0,302	3,311	1	0,704	1,420	1	3,828	0,261	1
UHe51	0,218	4,587	1	0,735	1,361	1	3,535	0,283	1
NLu5	**0,073**	**13,699**	0	1,406	0,711	1	0,92	1,087	1
NLu6	0,115	8,696	1	2,762	0,362	1	3,546	0,282	1
NLu7	0,047	21,277	1	1,591	0,629	1	1,561	0,641	1
NLu8	**0,048**	**20,833**	0	1,095	0,913	1	1,384	0,723	1
TLu22	0,171	5,848	1	4,631	0,216	1	3,94	0,254	1
TLu23	0,162	6,173	1	2,247	0,445	1	2,917	0,343	1
TLu24	0,299	3,344	1	1,858	0,538	1	1,94	0,515	1
TLu26	0,068	14,706	1	2,615	0,382	1	3,143	0,318	1

Rys. 7. Arkusz z danymi cenzurowanymi przygotowany do analizy w programie STATISTICA

Procedury STATISTIKI są przystosowane do analizy zmiennej czasowej, a do tego dla przypadku danych cenzurowanych prawostronnie. Dla danych cenzurowanych lewostronnie można obliczenia wykonać dla odwrotności wartości zmiennej losowej (np. odwrotność zawartości pierwiastka w analizowanej próbce). Taka transformacja zachowa zgodność estymatorów, co oznacza, że konieczne jest dysponowanie próbą o dość dużej liczebności.

Przykład takiej analizy znajduje się na rysunku 7, który przedstawia arkusz z danymi cenzurowanymi zawartości pierwiastków (Mn, Br) w organach szczurów wyznaczone z wykorzystaniem techniki TXRF. W jednej kolumnie należy podać wartości badanej zmiennej losowej, czyli czasowej lub jak w przedstawionym przykładzie zawartości pierwiastka (tu np. Mn lub Br) oraz kolumnę ze wskaźnikiem ucinania, która wskazuje, czy dana obserwacja jest kompletna (np. wartość 1) czy też cenzorowana (np. wartość 0).





Rys. 8. Okno wprowadzania danych do narzędzia *Metoda Kaplana-Meiera* (rysunek górny) oraz uzyskany wykres funkcji przeżycia (rysunek dolny)

W przedstawionym przykładzie, do analizy danych cenzurowanych, wykorzystano metodę Kaplana-Meiera (Rys. 6), służącą do rozpoznania rozkładu badanej zmiennej poprzez wyznaczenie empirycznej dekumulanty (w oprogramowaniu STATISTICA nazwanej funkcją przeżycia w związku z przeznaczeniem głównie do badań w medycynie). Funkcja ta podaje prawdopodobieństwo, że badana zmienna losowa (czasowa albo jak w przykładzie zawartość pierwiastka) przyjmuje wartość większą od zadanej liczby. Wyznaczenie funkcji przeżycia (czyli de facto rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej) pozwala wyznaczyć niezbędne miary, takie jak mediana, kwartyle czy też wartość średnią oraz odchylenie standardowe. Rysunek 8 przedstawia okno wprowadzania danych do narzędzi *Metoda Kaplana-Meiera* (rysunek górny) oraz uzyskany wykres funkcji przeżycia (rysunek dolny) otrzymane w programie STATISTICA dla odwrotności Mn w analizowanych próbkach.

Uwagi końcowe

Podstawowym wnioskiem jaki nasuwa się podczas choćby nawet pobieżnego zetknięcia z problematyką danych cenzorowanych jest zarówno konieczność, jak i możliwość włączenia danych cenzurowanych do analizy statystycznej. Ukryta informacja statystyczna może być odtworzona z wykorzystaniem odpowiednio dobranych metod i narzędzi statystyki. Należy mieć przy tym na uwadze, że wykluczanie z analizy danych cenzurowanych może powodować duże błędy i obciążenie oszacowań w analizie statystycznej danego zagadnienia. W pracy pokazano, że programy statystycznej analizy danych, np. STATISTICA, zawierają procedury służące do analizy danych cenzurowanych, a korzystanie z nich jest względnie proste przy założeniu świadomości, z jakiego typu danymi cenzurowanymi mamy do czynienia.

Na koniec należy podkreślić, że nawet metody i narzędzia statystyczne służące analizie danych cenzorowanych nie zafunkcjonują w odkrywaniu informacji ukrytej, jeśli posłużymy się pojedynczą tylko obserwacją (co zresztą dotyczy każdego badania statystycznego), ani też nie zafunkcjonują, gdy zbiór danych obejmie same obserwacje cenzorowane. Metody i narzędzia te dają pożądane rezultaty, gdy na zbiór danych składają się zarówno obserwacje cenzorowane, jak i pełne.

Podziękowania

Dziękuję za nieocenioną pomoc i wsparcie merytoryczne przy powstawaniu tejże pracy pani dr hab. prof. UJK Aldonie Kubali-Kukuś.

Bibliografia

Helsel D. (2010), *Much Ado About Next to Nothing: Incorporating Nondetects in Science*, The Annals of Occupational Hygiene, v. 54(3), p. 257–262, doi: 10.1093/annhyg/mep092

Internetowy Podręcznik Statystyki, https://www.statsoft.pl/textbook/stathome_stat.html (dostęp: 16.03.2022).

Klockenkämper R. (1997), *Total Reflection X-Ray Fluorescence Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Kubala-Kukuś A., Banaś D., Braziewicz J., Stabrawa I., Góźdź S. (2021), *Studies of element concentration in the lymphocytes, erythrocytes and plasma of healthy human donors using total reflection X-ray fluorescence technique*, Applied Spectroscopy, v. 75, p. 802–817, doi: 10.1177/0003702821993496.

Petrie A., Sabin C. (2006), *Statystyka medyczna w zarysie*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.

Spektrometr S2 PICOFOX, https://www.bruker.com/pl/products-and-solutions/elemental-analyzers/txrf-spectrometers/s2-picofox.html (dostęp: 17.03.2022).