

ISSN 2451-2001

Z E S Z Y T Y

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO
UNIwersYTETU JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

ROK 2025 · TOM 34

CZĘŚĆ 2 (Nauki medyczne i o zdrowiu,
nauki ścisłe i przyrodnicze)



POD REDAKCJĄ
Wojciecha Trybusa

Z E S Z Y T Y

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO
UNIwersytetu JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

F A S C I C L E S

OF STUDENT SCIENTIFIC MOVEMENT
THE JAN KOCHANOWSKI UNIVERSITY IN KIELCE



Z E S Z Y T Y

STUDENCKIEGO RUCHU NAUKOWEGO
UNIwersYTETU JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH

ROK 2025 · TOM 34

CZĘŚĆ 2 (Nauki medyczne i o zdrowiu,
nauki ścisłe i przyrodnicze)

POD REDAKCJĄ
Wojciecha Trybusa



Redaktor naczelny: dr hab. prof. UJK Stanisław Cygan

Z-ca redaktora naczelnego: dr Tomasz Łączek

Sekretarz redakcji: dr Janusz Krywult

Członkowie Zespołu Redakcyjnego

dr Janusz Krywult

dr Joanna Rogalska

mgr Marzena Sochacka

mgr Marcin Walczak

dr Aneta Węgierek-Ciuk

dr hab. prof. UJK Artur Zieliński

dr Wojciech Trybus

Recenzenci

dr Janusz Krywult (UJK)

dr Joanna Rogalska (UJK)

dr Wojciech Trybus (UJK)

dr Aneta Węgierek-Ciuk (UJK)

dr hab. prof. UJK Artur Zieliński (UJK)

dr Ewa Trybus (UJK)

Tłumaczenie

BERSAIL Sp. z o.o.

36-002 Jasionka, Jasionka 954E

Opracowanie redakcyjne, korekta i układ typograficzny

P.U. COMPUS

ul. Kopalnia 27, Starachowice, www.compus.net.pl

Projekt logo

Krzysztof Stefaniuk

Copyright © by Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce 2025

ISSN 2451-2036

Wydawca

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

ul. Żeromskiego 5, 25-369 Kielce

Centrum Nauki i Kultury UJK

ul. Ślaska 15, 25-328 Kielce

tel. +41 349 78 95

FASCICLES

OF STUDENT SCIENTIFIC MOVEMENT
THE JAN KOCHANOWSKI UNIVERSITY IN KIELCE

YEAR 2025 · VOLUME 34

PART 2 (Medical and health sciences,
natural sciences)

EDITED BY
Wojciecha Trybusa



Chief Editor: Stanisław Cygan, prof. (UJK)
Deputy Chief Editor: Tomasz Łączek, PhD
Secretary of the Editing Office: Janusz Krywult, PhD

Members of the Editorial Team

Janusz Krywult, PhD
Joanna Rogalska, PhD
Marzena Sochacka, MA
Marcin Walczak, MA
Aneta Węgierek-Ciuk, PhD
Artur Zieliński, PhD
Wojciech Trybus, PhD

Review

Janusz Krywult, PhD (UJK)
Joanna Rogalska, PhD (UJK)
Wojciech Trybus, PhD (UJK)
Aneta Węgierek-Ciuk, PhD (UJK)
Artur Zieliński, prof. (UJK)
Ewa Trybus, PhD (UJK)

Translation

BERSAIL Sp. z o.o.
36-002 Jasionka, Jasionka 954E

Publication and copy Editor, proof-reading, typesetter

P.U. COMPUS
ul. Kopalniana 27, Starachowice, www.compus.net.pl

Project design

Krzysztof Stefaniuk

Copyright © by Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce 2025

ISSN 2451-2036

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
Amelia Korbel	
Detergenty a środowisko: ukryte zagrożenia	13
Klaudia Kubicka	
Mangan – niezbędny pierwiastek w diecie psów i kotów	19
Anna Mazur, Michał Mazur	
Monitoring pyłów zawieszonych PM10 i PM2,5 w Rzeszowie	27
Daniela Zielińska, Alicja Nowak	
Wpływ promieniowania UVA na uszkodzenia DNA oraz zaburzenia cyklu komórkowego fibroblastów ludzkich VH10 z zastosowaniem filtrów SPF.....	39
Zuzanna Śliwa, Weronika Matyjanek	
Charakterystyka <i>Betta splendens</i> i życie w nano-akwarium.....	47
Marcin Ziętał	
Jaskinia Raj – geoturystyczna perła województwa świętokrzyskiego.....	55

Contents

Introduction	12
Amelia Korbel Detergents and the Environment: Hidden Threats	13
Klaudia Kubicka Manganese – An Essential Element in the Diet of Dogs and Cats	19
Anna Mazur, Michał Mazur Monitoring of Suspended Particulate Matter PM10 and PM2.5 in Rzeszów	27
Daniela Zielińska, Alicja Nowak The Impact of UVA Radiation on DNA Damage and Cell Cycle Disturbances in Human VH10 Fibroblasts with the Use of SPF Filters.....	39
Zuzanna Śliwa, Weronika Matyjanek Characteristics of <i>Betta splendens</i> and Life in a Nano Aquarium	47
Marcin Ziętał Raj Cave – A Geotourism Gem of the Świętokrzyskie Voivodeship	55

Wprowadzenie

Oddaję w ręce Czytelników kolejny, 34 numer „Zeszytów Studenckiego Ruchu Naukowego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach”. Część 2 poświęcona naukom medycznym i o zdrowiu oraz naukom ścisłym i przyrodniczym prezentuje różnorodne tematy badawcze podejmowane przez młodych naukowców z Politechniki Rzeszowskiej oraz z różnych kierunków studiów Wydziału Nauk Ścisłych i Przyrodniczych Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, co świadczy o rosnącym zaangażowaniu środowiska studenckiego w działalność naukowo-badawczą.

Prezentowane prace obejmują różnorodną tematykę z zakresu chemii, biologii, geografii oraz ochrony środowiska.

Zapraszam do lektury, która nie tylko ukazuje aktualne wyniki badań, ale również inspirowanie do dalszych poszukiwań naukowych i refleksji nad współczesnymi wyzwaniami cywilizacyjnymi.

Mam nadzieję, że jest to inspiracja dla przyszłych badaczy do zaangażowania się w prace badawcze, by rozwijać swoje pasje, zdobywać doświadczenie i realnie wpływać na otaczający świat.

Wojciech Trybus

Introduction

I am pleased to present to the Readers the 34th issue of the *Student Scientific Movement Journal of the Jan Kochanowski University in Kielce*. Part II, devoted to medical and health sciences as well as the exact and natural sciences, features a wide range of research topics undertaken by young scholars from the Rzeszow University of Technology and from various study programmes within the Faculty of Exact and Natural Sciences at the Jan Kochanowski University in Kielce. This reflects the growing commitment of the student community to scientific and research activities.

The papers collected in this volume address diverse issues in the fields of chemistry, biology, geography, and environmental protection.

I would like to invite you to engage with this volume, which not only presents current research findings but also serves as a source of inspiration for further scholarly inquiry and reflection on the contemporary challenges of our civilization.

I sincerely hope that it will encourage future researchers to engage in academic work, develop their passions, gain valuable experience, and make a meaningful contribution to shaping the world around them.

Wojciech Trybus



AMELIA KORBEL

Studentka I roku chemii, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe „Kalcyt”
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
First-year chemistry student, first-cycle studies
“Kalcyt” Scientific Circle
Jan Kochanowski University in Kielce

Detergenty a środowisko: ukryte zagrożenia

Detergents and the Environment: Hidden Threats

Abstract: Surfactants are classified as anionic, cationic, nonionic, and amphoteric. They exhibit wetting, dispersing, foaming, washing, cleaning, and emulsifying properties. They are present, among others, in detergents, shampoos, and cleaning and washing agents. Biodegradation of detergents is a process in which microorganisms break down the chemical components of detergents into simpler substances, including carbon dioxide and water. The compounds contained in detergents impede the penetration of oxygen and light into water, leading to algal growth. This, in turn, results in the death of aquatic organisms and leads to eutrophication, i.e., the gradual pollution of water bodies. This paper addresses the problem of the occurrence of detergents in the environment, with particular emphasis on aquatic ecosystems.

Keywords: surfactants, biodegradation, toxicity, water treatment, water eutrophication

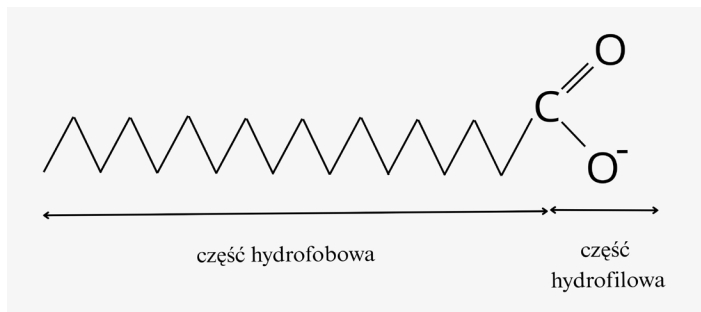
Wstęp

Codziennie wykorzystujemy detergenty do mycia naczyń, prania, sprzątania, czy higieny osobistej. Kojarzą się one z czystością, jednak w rzeczywistości po użyciu są odprowadzane do kanalizacji i trafiają do zbiorników wodnych, powodując ich zanieczyszczenie. Niniejszy artykuł przybliży postać detergentów i przedstawia ukryte zagrożenia związane z ich stosowaniem, wskazując alternatywne rozwiązania, bardziej przyjazne środowisku.

Substancje powierzchniowo czynne – podział i budowa

Substancje powierzchniowo czynne (SPC), inaczej surfaktanty, należą do grupy związków amfipatycznych. Mają asymetryczną strukturę molekularną (Kowalska 2009:

25). Skupiają się na granicy rozdziału faz, prostopadle do powierzchni granicznej, częścią hydrofilową do fazy wodnej, a przeciwnie częścią hydrofobową, a przy tym tworzą warstwę adsorpcyjną. Część hydrofilowa, polarna, rozpuszczalna w wodzie, składa się najczęściej z grupy karboksylowej z jednowartościowym kationem np. $-\text{COONa}$, grupy aminowej $-\text{NH}_2$ lub grupy polioksyetylenowej $-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n$. Część hydrofobowa, niepolarna, rozpuszczalna w cieczach niepolarnych, jest pochodzenia węglowodorowego i składa się z łańcuchów alifatycznych prostych, rozgałęzionych lub skondensowanych z pierścieniem (Totczyk 2005: 628).



Rycina 1. Budowa cząsteczki mydła.

Wraz ze wzrostem właściwości hydrofobowych cząsteczki wzrastają właściwości toksyczne substancji powierzchniowo czynnych.

Substancje powierzchniowo czynne można podzielić ze względu na ich budowę chemiczną. W zależności od rodzaju grupy hydrofilowej wyróżnia się:

- anionowe substancje powierzchniowo czynne (ASPC),
- kationowe substancje powierzchniowo czynne (KSPC),
- amfoteryczne substancje powierzchniowo czynne,
- niejonowe substancje powierzchniowo czynne (NSPC).

Anionowe substancje powierzchniowo czynne zawierają najwięcej liniowych alkilobenzenosulfonianów (LAS) $\text{R}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3\text{Na}$. Głównie z powodu łatwiejszej biodegradowalności zastąpiły one rozgałęzione alkilobenzenosulfoniany (ABS) $\text{R}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_3\text{H}$. W *niejonowych substancjach powierzchniowo czynnych* przeważają etoksylaty alkoholi (AEO) $\text{R}-(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$ i alkilofenoloetoksylany (APE). Około 80% APE stanowią etoksylaty nonylofenolu (NPE) $\text{C}_{15}\text{H}_{24}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ o długich łańcuchach związków oksyetylenowanych, które ulegają szybkiemu rozpadowi na nonylofenole (NP), di-etoksylaty i etoksykarboksylaty. Pozostałe 20% stanowią etoksylaty oktylofenolu (OPE), które ulegają łatwemu rozpadowi na oktylofenole (OP), czyli oktynofenolowe związki oksyetylenowane o krótszym łańcuchu (mono-, di-, tetraoksyetylenowane) i oktylofenolowe związki etylenokarboksylowane. NPE i OPE są mniej toksyczne dla organizmów wodnych niż ich produkty powstałe w biodegradacji (Kida, Koszelnik 2015: 285).

Substancje powierzchniowo czynne można podzielić również ze względu na ich biodegradację:

- miękkie substancje powierzchniowo czynne,

- twarde substancje powierzchniowo czynne.

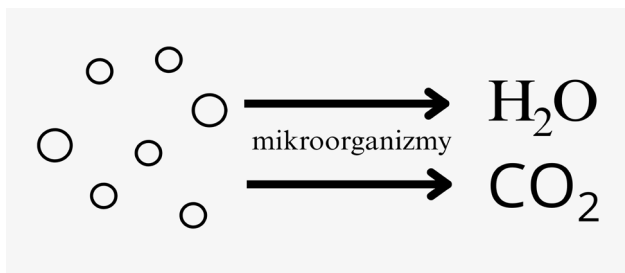
Miękkie substancje powierzchniowo czynne ulegają rozkładowi biochemicznemu. *Twarde substancje powierzchniowo czynne* pozostają w tej samej postaci w wodzie zanieczyszczając ją (Totczyk 2005: 629).

SPC w produktach codziennego użytku

Substancje powierzchniowo czynne mają właściwości zwilżające, dyspergujące, pianotwórcze, myjące, piorące i emulgujące, przez co znacznie ułatwiają wykonywanie codziennych czynności. Są stosowane niemal we wszystkich rodzajach przemysłu oraz gospodarstwach domowych. Największa ilość *SPC* znajduje się w ściekach pochodzących z zakładów wytwarzających detergenty i środki kosmetyczne – od kilkuset do kilku tysięcy g/m³. W ściekach pralniczych zawartość *SPC* wynosi ponad 300 g/m³, natomiast w ściekach komunalnych dochodzi do 20 g/m³ (Kowalska 2009: 25). *SPC* występują w detergentach, szamponach, środkach czyszczących, myjących, piorących, są stosowane w obróbce tkanin, celulozy, papieru, farb i tworzyw sztucznych (Kida, Koszelnik 2015: 285) oraz jako składnik pomocniczy w budownictwie, drogownictwie, górnictwie i rolnictwie.

Biodegradacja detergentów

Biodegradacja detergentów to proces, w którym mikroorganizmy rozkładają chemiczne składniki detergentów na prostsze substancje (Kaida i inni 2021: 3).



Rycina 2. Biodegradacja detergentów.

Wyższa temperatura, dostępność tlenu, odpowiednia wilgotność i pH oraz źródło węgla, będące pożywieniem dla mikroorganizmów, przyspieszają biodegradację.

Podczas tego procesu zachodzi biodegradacja:

- pierwotna biodegradacja,
- całkowita biodegradacja.

W *pierwotnej biodegradacji* zachodzi wstępny rozkład cząstek i utrata właściwości *SPC*, takich jak aktywność powierzchniowa, zdolność do tworzenia piany i właściwo-

ści toksyczne w stosunku do organizmów wodnych. W *całkowitej biodegradacji* zachodzi rozkład substancji na prostsze związki organiczne, takie jak alkohole, aldehydy, czy kwasy karboksylowe, które następnie są przekształcane w substancje nieorganiczne, takie jak dwutlenek węgla i woda oraz siarczany i azotany, jeśli były zawarte w SPC (Totczyk 2005: 629; Kaida i inni 2021: 3).

Toksyczność detergentów

SPC przedostają się do środowiska i przyczyniają się do jego skażenia, a w szczególności zbiorników wodnych i gleby. Powodują pienienie wód, zabierają dostęp tlenu, działają jako emulgatory substancji hydrofobowych oraz zwiększają rozpuszczalność mikro-zanieczyszczeń, które przenikają do organizmów żywych (Kowalska 2009: 25).

Toksyczność detergentów zależy od ich rodzaju. Najbardziej toksyczne są detergenty kationowe przy stężeniu 50 mg/l, a najmniej toksyczne są detergenty niejonowe przy stężeniu do 40 mg/l. Stężenie 1 ppm może znacznie zmniejszyć napowietrzanie wody, co stanowi przeszkodę w samooczyszczaniu się wód przez mikrobiologiczne przemiany związków organicznych, do których potrzebna jest duża ilość tlenu. Kiedy brakuje tlenu dochodzi do beztlenowego rozkładu związków organicznych, czyli gnicia. Powstaje nieprzyjemny zapach i *siarkowódór*, który przy stężeniu mniejszym niż 1 mg/l jest bardzo toksyczny dla ryb. Może doprowadzić to do uduszenia ryb i obumierania ikry. Siarkowódór przyczynia się do przemiany chlorofilu w feofitynę u roślin wyższych, która później zanika i następuje zbielenie (Rejman 2007: 42).

Fosforany i azotany są składnikami odżywczymi dla glonów i powodują ich szybki wzrost. Glony szybko obumierają i opadają na dno zbiornika. Przy odpowiedniej ilości tlenu przekształcają się w związki nieorganiczne, które są źródłem materiału odżywczego. Im więcej substancji organicznych, które ulegają rozkładowi, tym większe jest zużycie tlenu. Wtedy powstaje denny osad, który powoli rozkłada się w procesach beztlenowych (Rejman 2007: 42).

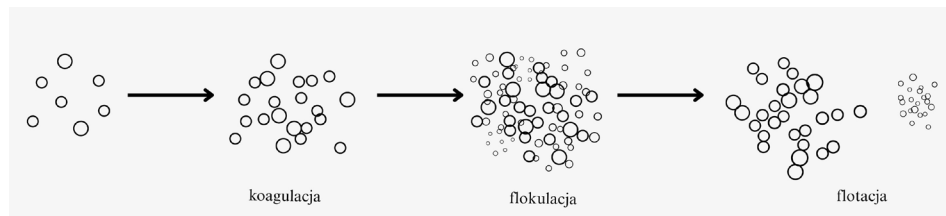
Amoniak bardzo dobrze rozpuszcza się w wodzie. Wodny roztwór amoniaku ma właściwości zasadowe. Sole amonowe rozkładają się w wodzie, wydzielając wolny amoniak. Mniej szkodliwie działają na ryby niż wolny amoniak, ale dają podobny skutek (Rejman 2007: 42).

Stosowane w detergentach *barwniki* powodują zmianę barwy ścieków, ograniczają wykorzystywanie wody do celów przemysłowych i w gospodarstwach domowych, zabierają dostęp światła, co utrudnia asymilację roślin wodnych, samooczyszczania się wód i rozprzestrzenianie się ikry (Rejman 2007: 42).

Detergenty w środowisku wodnym a proces uzdatniania wód

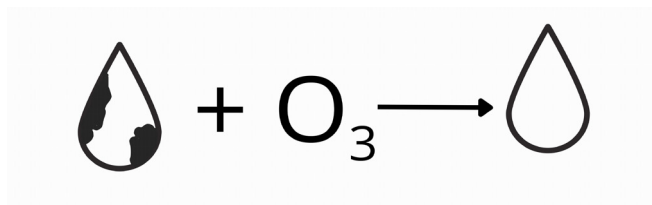
Detergenty są niebezpieczne dla środowiska wodnego. Ich składniki, takie jak *fosforany* czy *azotany*, zabierają dostęp tlenu i światła do wody oraz powodują wzrost glonów, co powoduje eutrofizację wód (Joseph i inni 2021: 4). Aby zapobiec skażeniu zbiorników wodnych dokonuje się *uzdatniania wód*. Można tego dokonać za pomocą *fizykoche-*

micznego oczyszczania. Wykonuje się wtedy koagulację, flokulację, a następnie flotację rozpuszczonym powietrzem. *Koagulacja* powoduje, że małe cząsteczki destabilizują się w zawiesinie, a następnie gromadzą się i tworzą zgrupowane kłaczk. *Flokulacja* pomaga w tworzeniu się spójnych kłaczków, a *flotacja* umożliwia oddzielenie tych kłaczków od cieczy (Moharir i inni 2020: 575).



Rycina 3. Fizykochemiczne oczyszczanie wody.

Jednak najlepszym sposobem na oczyszczanie wód z detergentów jest *ozonowanie*. *Ozon* jest doskonale rozpuszczalny w wodzie i jest silnym utleniaczem, więc utlenia związki zawarte w detergentach i powstają produkty pośrednie, z którymi ozon również reaguje. Większy efekt oczyszczania można uzyskać poprzez połączenie ozonu z innymi utleniaczami, takimi jak nadtlenek wodoru, promieniowanie UV lub katalizator (Joseph i inni 2021: 6).



Rycina 4. Ozonowanie wody.

Eutrofizacja wód

Eutrofizacja to jedno z poważniejszych zagrożeń dla współczesnego środowiska (Smoroń 2012: 181). Występuje w wodach powierzchniowych: morzach, rzekach oraz jeziorach. Jest to proces zanieczyszczania wód powodowany dostawianiem się do zbiorników wodnych m.in. detergentów, które zawierają duże stężenia związków, takich jak *fosforany* i *azotany*, które są bardzo szkodliwe. Gromadzą się w wodzie oraz zabierają dostęp tlenu i światła do wody oraz powodują wzrost glonów, przez co organizmy wodne obumierają (Singh 2018: 1656).

Eutrofizacja składa się z kilku etapów:

- zanieczyszczanie wód, wzrost składników odżywczych, fitoplanktonów, glonów, roślin wyższych oraz obumarłych szczątków roślin i zwierząt,

- spowalnianie procesu fotosyntezy, obumieranie roślin wodnych, emisja szkodliwych gazów np. siarkowodoru oraz zmiana składu i wyglądu wód,
- ograniczenie ilości tlenu, światła, gorsza jakość i zmiana odczynu wody,
- obumieranie organizmów tlenowych, wzrost osadów dennych, całkowite wyschnięcie zbiorników wodnych (Szewczyk 2015: 68).

Podsumowanie

Codziennie wykorzystywane detergenty dostają się do środowiska. Ich *biodegradacja* zachodzi przez mikroorganizmy, które rozkładają składniki na prostsze związki. *Detergenty* są niebezpieczne szczególnie dla środowiska wodnego. Zawarte w nich substancje powierzchniowo czynne przedostają się do zbiorników wodnych. Przyczynia się to do *eutrofizacji*, podczas której dochodzi m.in. do ograniczenia dostępu światła i tlenu do wody oraz obumierania roślin wodnych i organizmów żywych, a w końcu do wyschnięcia zbiorników wodnych. Aby temu zapobiec przeprowadza się proces *uzdatniania wód*, stosując ozonowanie, które daje najlepszy efekt oczyszczenia wód z detergentów. Natomiast powstawanie zanieczyszczeń można zmniejszyć dzięki edukacji ekologicznej, uświadamiającej, że problem jest poważny, używaniu mniejszej ilości mydła, żelu pod prysznic, czy płynu do mycia naczyń, stosowaniu naturalnych środków czystości takich jak ocet, soda oczyszczona, czy mydło szare.

Literatura:

- Joseph C., Farm Y., Taufiq-Yap Y., Panga C., Nga J., Li Puma G., *Ozonation treatment processes for the remediation of detergent wastewater: A comprehensive review*, „Journal of Environmental Chemical Engineering” 2021.
- Kaida H., Syed M., Shukor M., Othman A., *Biodegradation of Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS): A Mini Review*, „BSTR” 2021, s. 1-6.
- Kida M., Koszelnik P., *Występowanie ftalanów i substancji powierzchniowo czynnych w środowisku*, „Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury” 2015, s. 279-298.
- Kowalska I., *Usuwanie anionowych substancji powierzchniowo czynnych w procesie wymiany jonowej*, „Ochrona środowiska” 2009, s. 25-29.
- Moharir S., Patni P., Datar A., Suryawanshi T., *Study of Treatment of Laundry Wastewater*, „JETIR” 2020, s. 574-591.
- Rejman A., *Bioindykacja i oddziaływanie na organizmy żywe ścieków przemysłu włókienniczego*, „Problemy Ekologii” 2007, s. 41-46.
- Singh D., *Eutrophication in Water By Detergents*, „IJARASEM” 2018, s. 1656-1663.
- Smoroń S., *Zagrożenie eutrofizacją wód powierzchniowych wyżyn lessowych małopolski*, „Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie” 2012, s. 181-191.
- Szewczyk A., *Przegląd metod określania eutrofizacji wód powierzchniowych*, „Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2015, s. 67-75.
- Totczyk G., *Usuwanie niejonowych substancji powierzchniowo czynnych w procesie koagulacji*, „Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN” 2005, s. 627-637.



KLAUDIA KUBICKA

Studentka III roku chemii, studia licencjackie
Studenckie Koło Naukowe Kalcyt
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Third-year chemistry student, first-cycle studies
“Kalcyt” Scientific Circle
Jan Kochanowski University in Kielce

Mangan – niezbędny pierwiastek w diecie psów i kotów

Manganese – An Essential Element in the Diet of Dogs and Cats

Abstract: Dry and wet pet food is often treated by owners as the primary source of nutrition for dogs and cats. Therefore, it is important that such food contains appropriate amounts of trace elements, including manganese. Manganese participates in metabolic processes and contributes to the protection of the circulatory system. Although it plays an essential role in the animal organism, long-term exposure to inappropriate concentrations of this element may pose risks to health. The aim of the study was to determine the manganese content in popular dry and wet pet foods available on the Polish market. The research involved mineralisation of sixteen prepared samples, followed by manganese determination using atomic absorption spectrometry (AAS). The results show that manganese was detected in only 62.5% of the samples, while the average Mn content in wet and dry food was 17.8 mg/kg and 49.0 mg/kg, respectively.

Keywords: manganese, cat, dog, wet and dry food, AAS

Wprowadzenie

Badania przeprowadzone na próbie 1000 dorosłych mieszkańców Polski wykazują, że aż 52,1% posiada co najmniej jednego psa i 39% posiadają co najmniej jednego kota (Centrum Badawczo-Rozwojowe Biostat; 2024). Zadaniem opiekunów zarówno psów, jak i kotów jest dostarczanie odpowiedniej ilości pokarmu swoim pupilom. Najczęściej podawanymi pokarmami jest sucha i mokra karma. Powinna ona zapewniać odpowiednią ilość energii poprzez dostarczenie białka, tłuszczu, kwasów tłuszczowych, składników mineralnych i witamin niezbędnych do zapewnienia zdrowia i długotrwałego życia (Berwid-Wójtowicz i in. 2019). Suche karmy dla psów różnią się wielkością i kształtem w zależności od wielkości czworonoga, natomiast dla kotów są to praktycznie takie same

małe kawałki. Karma powinna być podawana w mniejszej ilości, ze względu na małą zawartość wody. Według specjalistów spożywanie wyłącznie suchej karmy może prowadzić do chronicznego odwodnienia organizmu, a w konsekwencji do zakwaszenia organizmu i pH moczu (Karasińska, Schwenzer, Wojtaś, 2023). Mokre karmy zarówno dla psów, jak i kotów zbytnio nie różnią się, są to zazwyczaj kwadratowe kawałeczki lub poszarpany kurczak w sosie lub galarecie. Zaleca się podawać ją w większych ilościach, ponieważ zawiera ona duże ilości wody oraz jest nisko kaloryczna. Szczególnie stosowana jest u zwierząt mających braki w użębieniu lub chorujących na choroby przyzębia.

Występowanie i znaczenie pierwiastków śladowych w suchych i mokrych karmach dla psów i kotów

Badania wykazują, że występuje 26 pierwiastków niezbędnych do prawidłowego rozwoju zwierząt. Wśród nich występuje 15 pierwiastków śladowych, do których należy między innymi mangan (Underwood; 1981). Jest on pierwiastkiem pospolitym, występuje między innymi w wodzie, powietrzu oraz w pożywieniu (Zawadzki i in. 2006). Mimo różnych dróg pozyskiwania danego pierwiastka dla zwierząt najważniejsze jest, aby dostarczyć go wraz z pożywieniem. Mangan pozyskiwany z jedzenia jest wchłaniany z jelit i transportowany do wątroby (Takeda, 2003).

Znaczenie manganu dla zdrowia psów i kotów

Mangan występuje w większości tkanek, jest on mikroelementem niezbędnym dla organizmu zwierząt. Jest on składnikiem licznych enzymów, uczestniczy w procesach antyoksydacyjnych oraz w metabolizmie węglowodanów i lipidów. Jedną z jego najważniejszych funkcji jest wpływ na prawidłowe funkcjonowanie układu kostno-stawowego (Barski, Spodniewska, 2014; Mirowski, 2024). Dodatkowo jony Mn^{2+} pełnią funkcję ko-faktora wewnątrzmitochondrialnej dysmutazy podtlenkowej, której zadaniem jest ochrona układu krążenia przez rodnikami nadtlenkowymi i hydroksylowymi (Zawadzki i in., 2008). Z racji odgrywania tak ważnych funkcji w organizmie zwierząt jego niedobór jest niebezpieczny dla zdrowia czworonożnych pupili. Powoduje zaburzenia rozwojowe prowadzące do deformacji kości, wynikające z niskiej zawartości pierwiastka w okresie płodowym. Również skutkiem niskiego stężenia manganu w organizmie matek jest chondrodysplazja u nowo narodzonych zwierząt (Mirowski, 2024). Niedobór Mn występujący w diecie może zwiększać podatność na funkcje padaczkowe oraz wpływać na homeostazę manganu w mózgu (Takeda, 2003). Skutkuje to również zmniejszeniem siły skurczu komórek mięśnia sercowego (Zawadzki i in., 2008). Jednak mimo funkcji pełnionych przez mangan oraz zagrożeń spowodowanych jego zbyt niskim stężeniem jego nadmiar również może być toksyczny dla organizmu zwierząt. Wyższe stężenie manganu w organizmie zwierząt zaburza metabolizm tłuszczu, jak i również może powodować uszkodzenie wątroby. Dodatkowo powoduje obniżenie zawartości żelaza w wątrobie i trzustce (Mirowski, 2024). Przewlekłe narażenie na związki manganu prowadzi do uszkodzenia wolnorodnikowego komórek układu pozapiramidowego, co z kolei prowa-

dzi do objawów zespołu parkinsonoidalnego. Dodatkowo narażenie na wyższe stężenia mogą działać promiażdżycowo, u zwierząt świadczą o tym mutacje w komórkach ściany tętnic. Niewiele zwiększone dawki manganu różniące się od normy w tkankach prowadzą do zaburzeń metabolicznych co może skutkować rozwojem chorób układu krążenia (Zawadzki i in., 2008).

Cel pracy

Ze względu na ważne funkcje pełnione przez mangan oraz problemy wynikające z jego niewłaściwej podaży w diecie czworonogów – celem pracy było zbadanie zawartości manganu w próbkach mokrych i suchych karm dla psów i kotów z wykorzystaniem atomowej spektrometria absorpcyjnej (ASA).

Badane próbki i metodyka badań

Tabela 1 przedstawia opis próbek wykorzystywanych w badaniach. Karmy były wybierane losowo, z uwzględnieniem różnorodności półek jakościowych. Pierwsze osiem karm są to karmy z wysokiej półki, zawierające wysoką zawartość mięsa, natomiast kolejne 4 próbki są to karmy z niskiej półki. Ostatnie karmy są dla szczeniąt i kociąt.

Tabela 1. Opis badanych próbek karm.

L.p.	Opis karmy	Opakowanie	Wilgotność według opakowania [%]	Wilgotność zbadana [%]	Zawartość Mn opisana na opakowaniu [mg/kg]
1	Sucha karma dla psa z kurczakiem i ziołami. Niska zawartość zbóż	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	10,00	5,74	36
1.1	Mokra karma dla psa z kurczakiem i wątróbką	Saszetka wyściełona aluminium	87,00	85,38	-
1.2	Mokra karma dla psa, pasztet z kurczaka aromatyzowany ziołami	Puszka	77,00	79,07	2
1.3	Mokra karma dla psa z kurczakiem i warzywami	Plastikowe opakowanie	77,00	73,96	-
2	Sucha karma dla kotów z kurczakiem i łososiem. Niska zawartość zbóż	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	6,00	4,90	40

L.p.	Opis karmy	Opakowanie	Wilgotność według opakowania [%]	Wilgotność zbadana [%]	Zawartość Mn opisana na opakowaniu [mg/kg]
2.1	Mokra karma dla kotów z kawałkami mięsa z kurczaka i makreli z ryżem w sosie aromatyzowanym rozmarynem	Saszetka wyściełona aluminium	87,00	85,34	-
2.2	Mokra karma z kawałkami kurczaka i łososiem	Puszka	85,00	84,78	-
2.3	Mokra karma z kurczakiem, wołowina i tarniną	Plastikowe opakowanie	74,00	75,93	-
3	Sucha karma dla psa z kurczakiem	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	9,00	6,27	5
3.1	Mokra karma dla psa z kurczakiem	Puszka	81,50	80,64	2
4	Sucha karma dla kotów z kurczakiem i warzywami	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	6,00	4,46	7,5
4.1	Mokra karma dla kotów z kurczakiem w sosie	Saszetka wyściełona aluminium	81,50	80,26	2
5	Sucha karma dla szczeniąt i ich matek hipoalergiczna, bez zbóż z jagnięciną	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	10,00	3,50	45
5.1	Mokra karma dla szczeniąt bez zbóż z filetem z jagnięciny	Saszetka wyściełona aluminium	83,00	84,77	0,7
6	Sucha karma dla kociąt hipoalergiczna ze świeżym kurczakiem i indykiem w sosie	Klasyczne opakowanie wyściełone aluminium	10,00	4,48	65
6.1	Mokra karma bez zbóż z filetem z kurczaka w galarecie z łososiem, marchewką oraz rozmarynem	Saszetka wyściełona aluminium	82,00	87,41	4

Źródło: opracowanie własne.

Doświadczenie zostało wykonane w 4 etapach, przedstawionych szczegółowo poniżej. Plan badań obejmował:

1. Przygotowanie mokrych i suchych karm do analizy.
2. Mineralizację próbek za pomocą mineralizatora wspomaganej promieniowaniem mikrofalowym.
3. Oznaczanie Mn za pomocą atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA).
4. Analiza i interpretacja wyników badań.

Przygotowanie mokrych i suchych karm do analizy

Na początku sucha i mokra karma była ucierana za pomocą moździerza, aby uzyskać jednorodną frakcję. Zbadano wilgotność wszystkich próbek wykorzystując wagosuszar-kę RADWAG MAC 50/1.



Rycina 1. Etapy przygotowania próbek do analizy: ucieranie próbki suchej i mokrej karmy w moździerzu, mineralizacja w zamkniętym systemie wspomaganej mikrofalami. Źródło własne – fot. Klaudia Kubicka.

Mineralizacja próbek w zamkniętym systemie mineralizacji wspomaganej mikrofalami

Następnie za pomocą wagi analitycznej odważono dokładnie około 0,2000 g suchej karmy i 0,5000 g mokrej karmy. Do wszystkich próbek karm dodano 4 cm³ stężonego kwasu azotowego (V) i 2 cm³ perhydrolu, objętości kwasu były podane w przepisie udostępnionym przez oprogramowanie mineralizatora (Multiwave 3000, Anton Paar). Po wszystkich przygotowaniach próbki umieszczono w naczyniach teflonowych i poddano mineralizacji (ryc. 1)

Oznaczenie manganu z wykorzystaniem metody ASA (atomowa spektrometria absorpcyjna)

Metoda ASA – atomowa spektrometria absorpcyjna (ryc. 2) jest to metoda analityczna służąca do wykrywania jakościowego i ilościowego pierwiastków w próbkach ciekłych. Zasada pomiaru opiera się na zjawisku absorpcji promieniowania o określonej długości fali (w nm) przez wolne atomy metali. W badaniach wykorzystano technikę płomieniową, długość fali 279,5 nm. Przed pomiarami sporządzona była krzywa wzorcowa z odpowiednimi stężeniami badanego pierwiastka (w przedziale 0,1-5 mg/l).

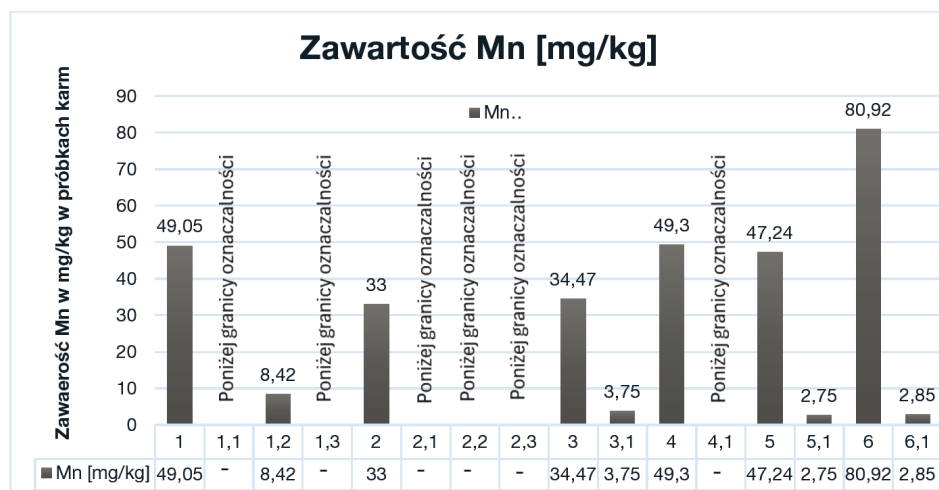


Rycina 2. Pomiary z wykorzystaniem techniki atomowej spektrometrii absorpcyjnej. Źródło własne – fot. Klaudia Kubicka.

Wyniki i ich interpretacja

Wyniki z badań zostały przedstawione na wykresie (ryc. 3). Próbkę w których zawartość pierwiastka występowała poniżej granicy oznaczalności oznaczone są „-”.

Ilość oznaczonego manganu mieściła się w przedziale 2,75 – 80,92 mg/kg. Najwyższą zawartością Mn cechowała się próbka nr 6: 80,92mg/kg i jest to sucha karma dla kociąt. Natomiast najniższą oznaczalną wartość zawierała próbka nr 5: 2,75mg/kg i jest to sucha karma dla szczeniąt. Obie karmy pochodzą z tej samej firmy. We wszystkich badanych suchych karmach dla psów i kotów był oznaczony mangan, a jego średnia zawartość wynosiła 49 mg/kg. Natomiast w przypadku karm mokrych tylko w 40% próbkach zawartość pierwiastka była wykrywalna, a średnia wartość wynosiła 17,77 mg/kg. Wyni-



Rycina 3. Wykres przedstawiający zawartość manganu w badanych próbkach.
Źródło: opracowanie własne

ka z tego, że zawartość pierwiastka w mokrych karmach jest prawie 3 razy niższa od zawartości Mn w suchym pożywieniu.

Zalecane zawartości manganu w karmach dla psów wynoszą 0,58 – 0,65 mg /100g suchej masy, natomiast dla kotów około 0,5 - 0,67 mg/100g suchej masy. Przedział wynika z różnorodności zapotrzebowania na energię. Prawnie najwyższa dopuszczalna dawka wynosi 17 mg/100g (Berwid-Wójtowicz i in., 2019). Dla lepszego porównania danych przeliczyłam podane wyżej zalecane wartości Mn na mg/kg suchej masy. Po obliczeniach otrzymałam następujące wartości dla psa: 5,8-6,5 mg/kg, dla kota 5-6,7 mg/kg oraz najwyższa dopuszczalna dawka: 170 mg/kg. Z badań wynika, że żadna karma nie mieści się w przedziale zalecanych wartości, jak i również zawartość manganu nie przekracza najwyższej prawnie dozwolonej dawki. W 50% zbadanych karm dla psa i 62,5% karm dla kotów pierwiastek występował poniżej granicy oznaczalności lub miał niższe stężenie od zalecanej zawartości.

Możemy również zauważyć, że na jedenastu opakowaniach karm (zawartości są wypisane w tabeli 1) była opisana zawartość Mn, jednak mimo opisanej zawartości w jednej z próbek występował on poniżej granicy oznaczalności ($LOQ_{\text{suche karmy}} = 5,25 \text{ mg/kg}$, $LOQ_{\text{mokre karmy}} = 2,1 \text{ mg/kg}$), a w 80% doświadczalna zawartość była wyższa niż na opakowaniu z czego w próbce nr 4 zawartość była prawie 6,6 razy większa od zawartości podanej przez producenta.

Ze względu na małą liczbę badań odnośnie biodostępności manganu z karm dla zwierząt oraz braku informacji na temat wchłanianości Mn z wód pitnych nie możemy jednoznacznie stwierdzić, czy karmy są w stanie zapewnić odpowiednią ilość manganu.

Wnioski

Mangan jest bardzo ważnym mikroelementem w organizmie psów i kotów. Wchodzi on w skład między innymi enzymów oraz wpływa na prawidłowe funkcjonowanie układu kostno-stawowego. Jednak nieodpowiednia dawka zarówno zbyt niska, jak i zbyt wysoka stanowi zagrożenie dla naszych czworonogów. Niedobór może powodować deformacje kości u nowonarodzonych kociąt i szczeniąt, jak i również powodować zmniejszenie siły skurczu komórek mięśnia sercowego. Nadmiar może gromadzić się w mózgu co z kolei prowadzi do objawów zespołu parkinsonoidalnego. Również może zaburzyć metabolizm tłuszczu i doprowadzić do zmniejszenia zawartości żelaza w trzustce i wątrobie. Z badań wynika, że tylko w 62,5% karm występuje mangan powyżej granicy oznaczalności ($LOQ_{\text{suche karmy}} = 5,25 \text{ mg/kg}$, $LOQ_{\text{mokre karmy}} = 2,1 \text{ mg/kg}$). Jednak jego zawartości bardzo różnią się od podawanych przez producenta, co dodatkowo budzi naszą niepewność. Jednak, aby dowiedzieć się czy karmy są bezpieczne dla naszych zwierząt i są w stanie zapewnić odpowiednią zawartość manganu w organizmie psów i kotów należałoby przeprowadzić większą ilość badań, również z udziałem zwierząt.

Bibliografia

1. Barski D., Spodniewska A. 2014 „Toksykologia weterynaryjna” Olsztyn, 106-10
2. Berwid-Wójtowicz S. 2019, Głowacka M., Przeździecki M., Wilczak J., Ziemińska A.M. „Wytyczne żywieniowe dotyczące pełnoporcjowych i uzupełniających karm dla kotów i psów”, 5-20
3. Centrum Badawczo-Rozwojowe „Zwierzęta domowe Polaków” Biostat; 2024
4. Kraśńska K., Schwenzer B. i Wojtaś J. 2023 „Sucha Karma w diecie kota”, tom 4, 87
5. Mirowski A. 2024 „Znaczenie manganu dla młodego bydła”, 106-107
6. Szczepaniak W. 2002 „Metody instrumentalne w analizie chemicznej”
7. Takeda A. 2003 „Manganese action in brain function”, 79-87
8. Underwood E.J. 1981 „The incidence of trace element deficiency diseases”
9. Zawadzki M., Gać P., Poręba R., Andrzejak R. 2008 „Zmiany w układzie sercowo-naczyniowym zwierząt poddawanych intoksykacji związkami manganu”, 387-393
10. Zawadzki M., Wielkoszyński T., Pawlas K., Januszewska L., Tyrpień K. 2006 „Wpływ przewlekłej ekspozycji na mangan na aktywność enzymów antyoksydacyjnych związanych z glutationem w wątrobach szczurów – doniesienia wstępne”, 158-159
11. Źródło internetowe <https://psiechrupki.pl/pl/blog/Jakie-korzysci-zdrowotne-niesie-za-soba-mokra-karma-dla-psow/5?srsId=AfmBOoqMfj0H19ZhNBGB11MbE6J1sqr4xc3QTEGP6ekXPDiejb6wDqgy> (06.06.2024)



ANNA MAZUR, MICHAŁ MAZUR

Studenci I roku inżynierii środowiska, studia II stopnia
Studenckie Koło Naukowe Studentów XVAC Politechniki Rzeszowskiej
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
First-year environmental engineering students, second-cycle studies
HVAC Students' Scientific Circle
Rzeszow University of Technology

Monitoring pyłów zawieszonych PM₁₀ i PM_{2,5} w Rzeszowie Monitoring of Suspended Particulate Matter PM₁₀ and PM_{2.5} in Rzeszów

Abstract: The primary sources of urban air pollution are anthropogenic emissions originating from the residential–municipal sector, transport, and industry. This article discusses the health consequences of exposure to selected air pollutants. Suspended particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5} are of particular significance for monitoring air quality and safeguarding public health. The assessment of air quality in Rzeszów was based on concentration data for these particulates recorded in 2024 and obtained from the Chief Inspectorate of Environmental Protection, as well as on the authors' own measurements conducted in 2025. The analysis revealed substantial exceedances of permissible particulate matter standards during the winter months, along with a distinct difference in concentrations between PM_{2.5} and PM₁₀. These findings underscore the persistence of the problem and highlight the need to encourage residents to undertake actions aimed at reducing these pollutants, in line with the methods presented in the article.

Keywords: air pollution, smog, low emissions, pollution-related diseases, clean air

Wstęp

Zanieczyszczenia powietrza stanowią poważne zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi już od wielu lat. Jest to wciąż aktualny problem, z którym boryka się cała Polska, a szczególnie miasta. W przypadku Rzeszowa, jak i całego województwa podkarpackiego, główne źródło zanieczyszczeń stanowi emisja antropogeniczna, pochodząca z sektora bytowo-komunalnego, transportu oraz kilku rodzajów przemysłu (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2024; 33). Emitowane do atmosfery zanieczyszczenia w postaci różnych związków nie pozostają obojętne dla zdrowia i życia mieszkańców. Szkodliwe pyły czy związki gazowe wpływają negatywnie na układ oddechowy i układ krwio-

nośny, co przekłada się na pogorszenie stanu zdrowia, a w niektórych przypadkach może prowadzić do śmierci. Istotne jest więc ciągle monitorowanie stężeń różnych zanieczyszczeń występujących w powietrzu.

Celem artykułu jest przedstawienie stopnia zanieczyszczenia powietrza w mieście Rzeszów na podstawie pomiarów stężeń PM_{2,5} oraz PM₁₀, a także omówienie źródeł ich występowania i szkodliwego wpływu na zdrowie ludzkie. W tym celu przeanalizowano dane pochodzące ze strony Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska oraz wykonano własne pomiary stężeń pyłów zawieszonych.

Zanieczyszczenia powietrza i ich wpływ na zdrowie

Zanieczyszczenia powietrza są to wszelkiego rodzaju substancje w postaci ciał stałych, gazów oraz cieczy, które nie występują naturalnie w powietrzu, a także substancje występujące naturalnie, lecz w stężeniach znacznie wyższych (Kalda, Kwaśniak, Sokolan 2017; 174). Do najczęściej występujących zanieczyszczeń powietrza należą:

- pyły zawieszone PM_{2,5} oraz PM₁₀,
- tlenki azotu NO_x,
- ozon troposferyczny O₃,
- tlenek węgla CO,
- ditlenek siarki SO₂,
- benzen C₆H₆.

Jednymi z najniebezpieczniejszych zanieczyszczeń są pyły zawieszone PM_{2,5} i PM₁₀, czyli drobne cząsteczki o rozmiarach odpowiednio poniżej 2,5 i 10 mikrometrów. Pył zawieszony PM_{2,5} to w głównej mierze pył wtórny oraz bardzo drobne cząstki węgla w postaci węgla elementarnego oraz organicznego. Prekursorami pyłów wtórnych są głównie tlenki siarki i tlenki azotu (Zarząd Województwa Podkarpackiego; 39). W skład pyłów mogą także wchodzić niektóre metale ciężkie, takie jak: kadm, arsen, nikiel, a także wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) (Kowalska 2020; 73). Ze względu na rozmiar mikrocząsteczki pyłów wnikają do naczyń krwionośnych, górnych dróg oddechowych i płuc w konsekwencji prowadząc do problemów z oddychaniem, zaostrzenia reakcji alergicznych oraz do rozwoju chorób układu krążenia i chorób układu oddechowego. Pył zawierający WWA ma silne działanie rakotwórcze (Kostrz, Satora 2017; 91-92). Wśród wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych najczęściej występującym związkiem jest benzo(a)piren, z tego względu jest on wykorzystywany w analizach środowiskowych jako wskaźnik całkowitej zawartości WWA w powietrzu. Ponadto związek ten jest kumulowany przez organizm wywierając działanie kancerogenne, mutagenne i genotoksyczne (ze względu na właściwości interkalacji do DNA) (Kostrz, Satora 2017; 92-93). Czynnikiem rakotwórczym są również metale ciężkie (Kostrz, Satora 2017; 91-92). Tlenki azotu, a szczególnie ditlenek azotu NO₂, także wpływają szkodliwie na zdrowie ludzkie, ponieważ wnikając głęboko do dróg oddechowych wywołują szereg objawów w zależności od stężenia i czasu ekspozycji. Ditlenek azotu indukuje stany zapalne dróg oddechowych, nasila objawy astmy i przewlekłej obturacyjnej choroby płuc (POChP), jak również może prowadzić do obrzęku płuc a w konsekwencji do rozerwania pęcherzyków płucnych. Ditlenek siarki wpływa na kwaso-

wość górnych dróg oddechowych, co może wywołać stany zapalne. W wysokich stężeniach utrudnia samooczyszczanie układu oddechowego i powoduje zwężenie dróg oddechowych (Kleczkowski 2020; 181-183). Ozon troposferyczny O_3 jest zanieczyszczeniem wtórnym występującym w dolnej warstwie atmosfery i charakteryzującym się silnym zapachem. Krótkotrwały wpływ ozonu na organizm powoduje podrażnienie błon śluzowych, oczu i płuc, z kolei długotrwała ekspozycja może spowodować obrzęk płuc oraz nieodwracalne zmiany układu oddechowego (Kostrz, Satora 2017; 92). Tlenek węgla (popularnie określany czadem) wywiera silne działanie toksyczne, ograniczając dostarczanie hemoglobiny do komórek organizmu. Przy krótkotrwałej ekspozycji odpowiada za bóle głowy i nudności, natomiast długotrwałe jego działanie wywołuje omdlenia i śpiączkę, a w skrajnych przypadkach może prowadzić nawet do śmierci. Jest szczególnie niebezpieczny, ponieważ w przeciwieństwie do innych omawianych gazów nie posiada zapachu (Kleczkowski 2020; 179-180). Wszystkie zanieczyszczenia w połączeniu z wysoką wilgotnością powietrza i brakiem wiatru przyczyniają się do powstawania smogu, szczególnie w miastach. W zależności od pory roku mogą występować dwa rodzaje smogu: zimowy (londyński) pochodzący najczęściej z niskiej emisji, czyli z indywidualnych źródeł ciepła, a także smog letni (fotochemiczny), na który wpływa zwiększony ruch drogowy i promieniowanie słoneczne (Kleczkowski 2020; 64-65). Smog niezależnie od pory roku negatywnie wpływa na zdrowie człowieka, a szczególnie wrażliwe na jego działanie są dzieci, osoby w podeszłym wieku, astmatycy czy osoby z chorobami układu oddechowego i układu krążenia (Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej).

Źródła zanieczyszczeń powietrza w mieście Rzeszów

Stan powietrza w Rzeszowie najbardziej uzależniony jest od emisji liniowej pochodzącej z transportu oraz emisji powierzchniowej, która pochodzi z sektora bytowo-komunalnego. Wpływ ma także emisja punktowa pochodząca ze zlokalizowanych na terenie miasta zakładów przemysłowych, ciepłowniczych i energetycznych. Zanieczyszczenia pochodzące z transportu w zdecydowanej mierze stanowią pyły, tlenki azotu oraz benzen. Pyły powstają poprzez ścieranie się nawierzchni, klocków hamulcowych, a także przez zły stan techniczny pojazdów. Tlenki azotu i benzen pochodzą natomiast ze spalania paliw, a emitowane do atmosfery dostają się przez rury wydechowe. Największe stężenia tych zanieczyszczeń występują przy ruchliwych ulicach. Stężenia zanieczyszczeń liniowych w Rzeszowie są jednymi z najwyższych na podkarpaciu. Sektor bytowo-komunalny odpowiada za tzw. niską emisję w mieście, która generuje wysokie stężenie zarówno pyłu zawieszonego PM2,5 i PM10, jak również benzo(a)pirenu. Indywidualne źródła ciepła, określane również niską emisją (Proszak-Miąsik, Nowak, Rynek Instalacyjny 2019, s. 18-22), wykorzystywane przez mieszkańców Rzeszowa są często zasilane paliwami stałymi, niekiedy też użytkownicy urządzeń spalają śmieci, co istotnie przekłada się na ilość emitowanych zanieczyszczeń do atmosfery. Niska jakość paliw, niesprawne instalacje, nieprawidłowa eksploatacja, czy urządzenia o niskiej sprawności przyczyniają się do zwiększonej emisji zanieczyszczeń, co jest specyficzne dla sezonu grzewczego. W Rzeszowie zlokalizowanych jest także wiele zakładów o różnym charakterze: ener-

getycznym, ciepłowniczym, przemysłowym. Do największych zakładów należą: PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Elektrociepłownia Rzeszów, Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego PZL Rzeszów S.A., ICN Polfa Rzeszów S.A. oraz Zakład Metalurgiczny WSK Rzeszów. Wg danych z 2024 roku Rzeszów klasyfikuje się w czołówce miast odpowiadających za największe emisje punktowe występujące w województwie podkarpackim (Kalda, Kwaśniak, Sokolan 2017; 174, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska 2024; 33). Istotnym aspektem wpływającym na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w powietrzu jest położenie miasta. Rzeszów znajduje się w dolinie, co przekłada się na częstsze tworzenie się zastoisk powietrza, a także powoduje inwersje temperatury, która zatrzymuje zanieczyszczenia przy powierzchni. Dodatkowo takie położenie skutkuje zwiększoną ilością dni, w których występuje mgła, mróz, a także słabsze wiatry. Przekłada się to wszystko na wysokość stężeń zanieczyszczeń w powietrzu oraz częstsze występowanie smogu (Kalda, Kwaśniak, Sokolan 2017; 173).

Ocena jakości powietrza w Rzeszowie

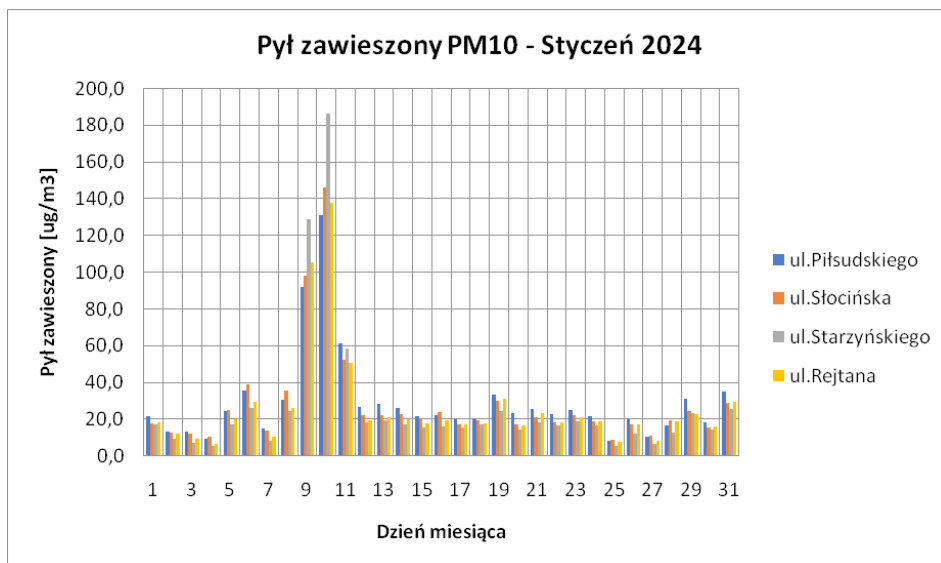
Materiał i metody badań

W Rzeszowie najpowszechniejszymi zanieczyszczeniami powietrza są pyły zawieszone PM₁₀ i PM_{2.5}. W związku z tym dokonano analizy stężeń tych zanieczyszczeń na podstawie danych pochodzących z pomiarów przeprowadzonych w 2024 roku w 4 stacjach pomiarowych w mieście, które znajdują się odpowiednio przy ulicach: Piłsudskiego, Słocińskiej, Starzyńskiego oraz Rejtana. Dane te zostały zaczerpnięte ze strony Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i stały się podstawą do wykonania wykresów obrazujących stężenie pyłu zawieszonego PM_{2,5} oraz PM₁₀ dla każdej pory roku (ryciny 1-8).

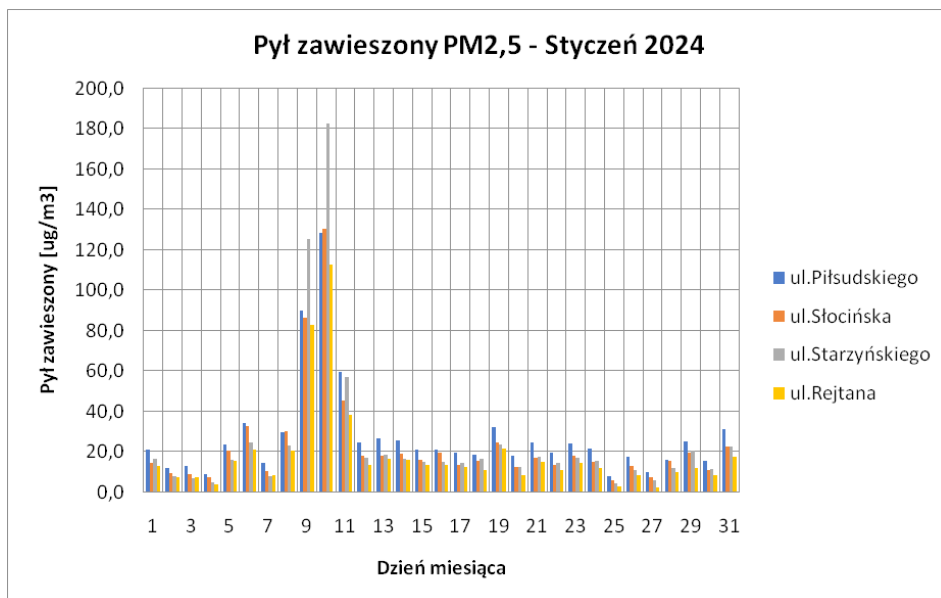
Wykonano także indywidualne pomiary stężeń PM_{2,5} i PM₁₀ za pomocą miernika Mini Particle Counter w dniu 6 marca 2025 roku w pobliżu stacji pomiarowych zlokalizowanych przy ulicach Starzyńskiego i Piłsudskiego odpowiednio o godzinie 10 i 11. Dokonano porównania otrzymanych wartości z wynikami pomiarów ze stacji zlokalizowanych przy tych samych ulicach w dniu 6 marca 2024 roku w tych samych godzinach (ryciny 9 i 10).

Wyniki

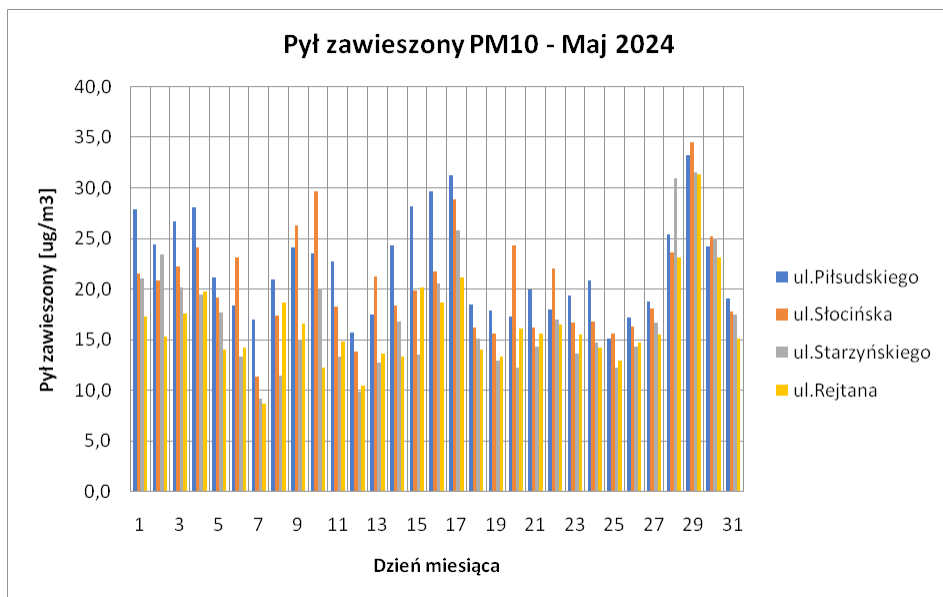
Rycina 1. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 dla miasta Rzeszów w styczniu 2024 r.



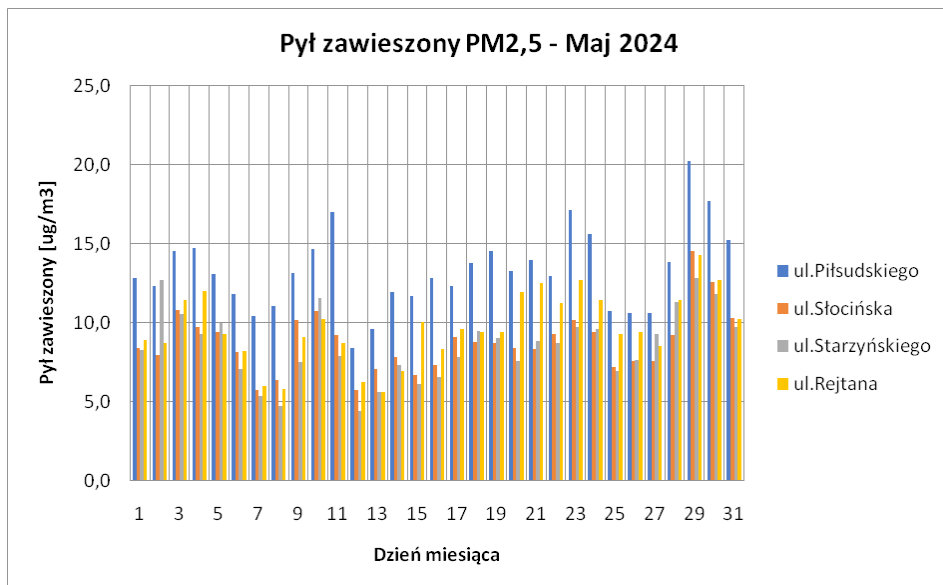
Rycina 2. Stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 dla miasta Rzeszów w styczniu 2024 r.



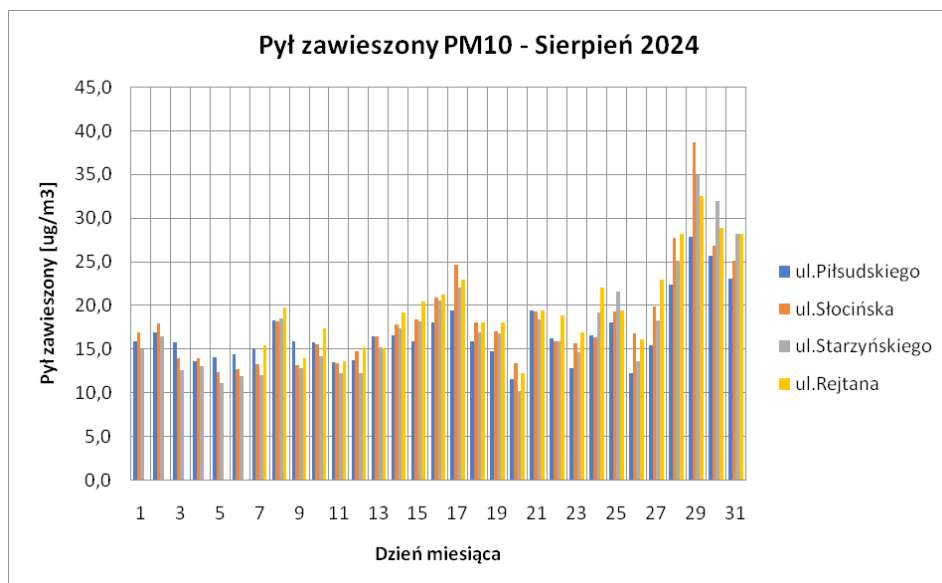
Rycina 3. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 dla miasta Rzeszów w maju 2024 r.



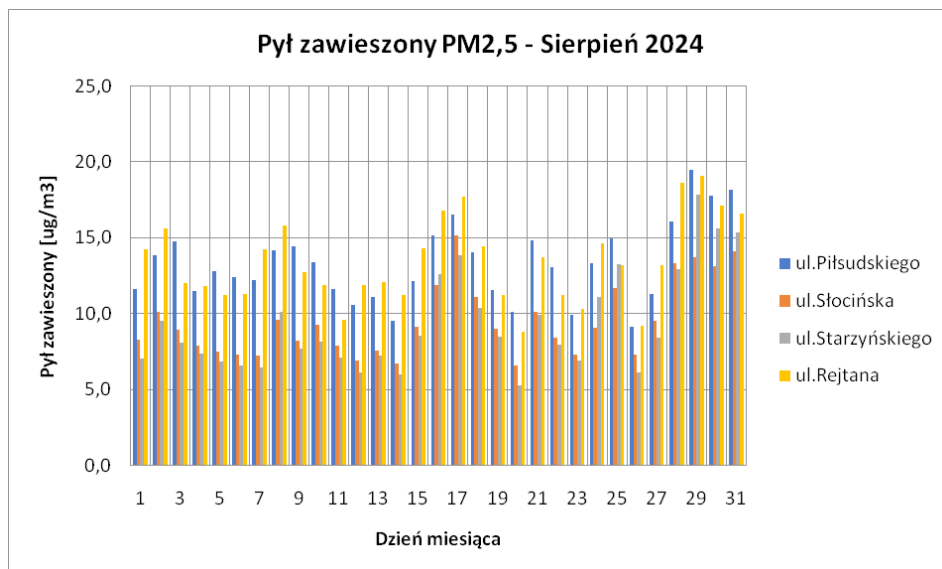
Rycina 4. Stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 dla miasta Rzeszów w maju 2024 r.



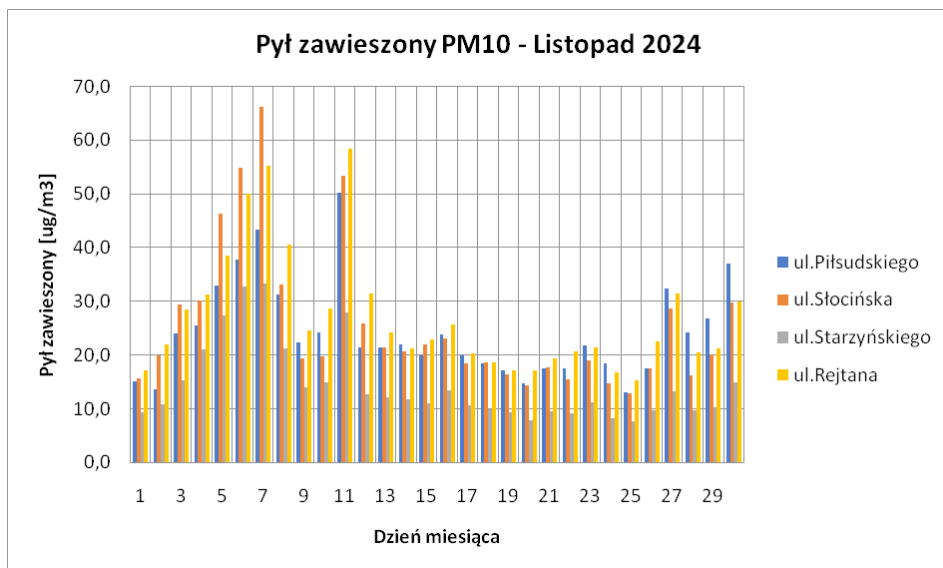
Rycina 5. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 dla miasta Rzeszów w sierpniu 2024 r.



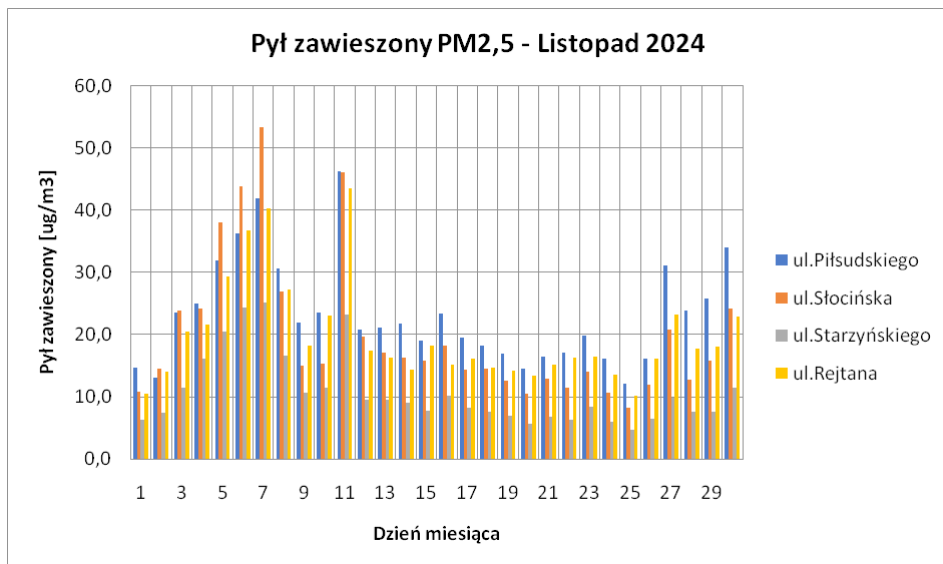
Rycina 6. Stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 dla miasta Rzeszów w sierpniu 2024 r.



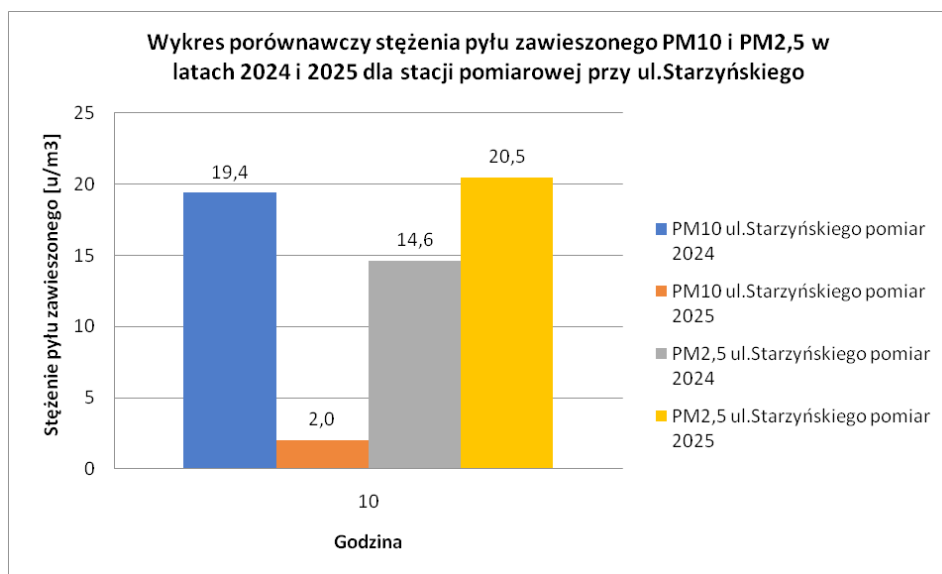
Rycina 7. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 dla miasta Rzeszów w listopadzie 2024 r.



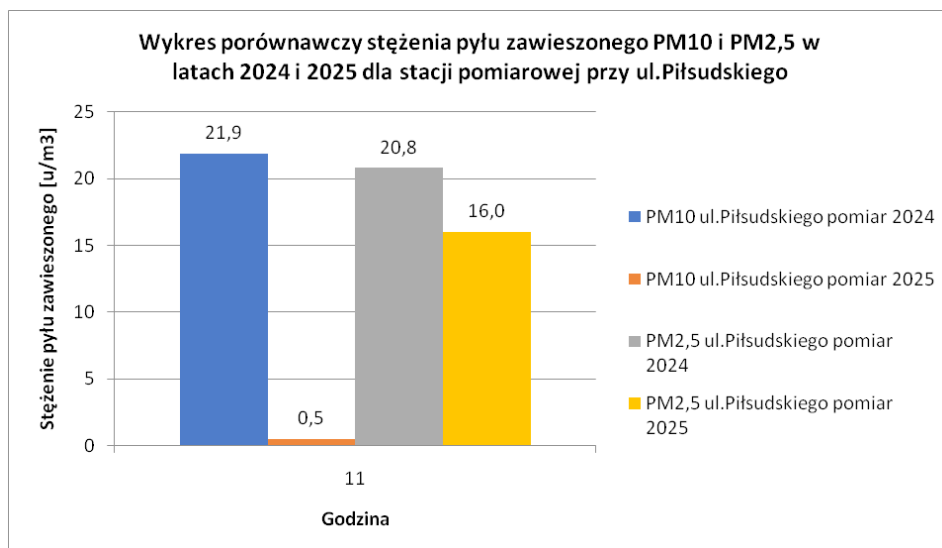
Rycina 8. Stężenie pyłu zawieszonego PM2,5 dla miasta Rzeszów w listopadzie 2024 r.



Rycina 9. Porównanie stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w latach 2024 i 2025 dla stacji pomiarowej przy ul. Starzyńskiego.



Rycina 10. Porównanie stężenia pyłu zawieszonego PM10 i PM2,5 w latach 2024 i 2025 dla stacji pomiarowej przy ul. Piłsudskiego.



Analiza wyników

W celu prawidłowej interpretacji wyników pomiarowych odniesiono się do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, które przedstawiono na rycinie 11.

Rycina 11. Dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń w powietrzu.

Nazwa substancji	Okres uśredniania wyników pomiarów	Poziom dopuszczalny $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dopuszczalna częstość przekraczania poziomu dopuszczalnego w roku kalendarzowym	Margines tolerancji $\mu\text{g}/\text{m}^3$					Termin osiągnięcia poziomu dopuszczalnego
				2010	2011	2012	2013	2014	
Benzen (C_6H_6)	rok kalendarzowy	5	-	0	0	0	0	0	2010
Dwutlenek azotu (NO_2)	1 godzina	200	18 razy	0	0	0	0	0	2010
	rok kalendarzowy	40	-	0	0	0	0	0	2010
Dwutlenek siarki (SO_2)	1 godzina	350	24 razy	0	0	0	0	0	2005
	24 godziny	125	3 razy	0	0	0	0	0	2005
Tlenek węgla (CO)¹⁾	8 godzin	10 000	-	0	0	0	0	0	2005
Pył PM_{10}²⁾	24 godziny	50	35 razy	0	0	0	0	0	2005
	rok kalendarzowy	40	-	0	0	0	0	0	2005
Pył $\text{PM}_{2,5}$³⁾	rok kalendarzowy	25	-	4	3	2	1	1	2015
	rok kalendarzowy	20⁴⁾	-	0	0	0	0	0	2020
Ołów (Pb)	rok kalendarzowy	0,5⁵⁾	-	0	0	0	0	0	2005

Analizując wykresy dla stężeń pyłu PM_{10} można zauważyć, że w styczniu 2024 r. wystąpiło 3 dni, w których dobowy dopuszczalny poziom $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, został przekroczony na wszystkich czterech stacjach. Dnia 10 stycznia poziom ten został przekroczony prawie trzykrotnie. W maju i sierpniu nie zaobserwowano przekroczenia dopuszczalnego dobowego poziomu stężeń zanieczyszczeń. W listopadzie również wystąpiły 3 dni, w ciągu których dopuszczalne stężenie pyłu PM_{10} zostało przekroczone, natomiast nie na wszystkich stacjach. W przypadku pyłu $\text{PM}_{2,5}$ Rozporządzenie określa roczny dopuszczalny poziom (rycina 11), natomiast Światowa Organizacja Zdrowia przyjęła dobowy dopuszczalny poziom, który wynosi $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Normy jakości powietrza w Polsce). Analizując sporządzone wykresy dla pyłu $\text{PM}_{2,5}$ można zauważyć, że dopuszczalny poziom stężenia zanieczyszczeń został przekroczony w ciągu kilku dni na wszystkich stacjach, zarówno w styczniu, jak i w listopadzie. W maju i w sierpniu nie odnotowano przekroczenia norm. Z przedstawionych danych wynika, że stężenia zanieczyszczeń PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ były zdecydowanie wyższe w miesiącach zimowych, niż w miesiącach letnich. Jest to efekt występowania w Rzeszowie smogu typu zimowego „Londyńskiego”, który spowodowany jest głównie przez niską emisję z budynków jednorodzinnych, wykorzystujących źródła ciepła na paliwa stałe. W lecie natomiast zanieczyszczenia pyłowe są najczęściej skutkiem ruchu drogowego w mieście. Analizując także pomiary z dnia 6 marca 2024 i 2025 roku można zauważyć, że stężenie pyłu PM_{10} w roku 2024 było zdecydowanie wyższe, natomiast stężenie pyłu $\text{PM}_{2,5}$ było na podobnym poziomie na obydwu ulicach. Stężenie godzinowe, jak i dzienne pyłów jest bardzo zmienne, a wynika to z temperatury, wilgotności, ruchów powietrza czy natężenia ruchu. Różnica w stężeniach wynika także z faktu, że PM_{10} obejmuje większy zakres cząstek, niż $\text{PM}_{2,5}$. Pył $\text{PM}_{2,5}$

stanowi zazwyczaj od kilkunastu do kilkudziesięciu procent zawartości pyłu PM10, pochodzi on głównie z procesów spalania oraz przemian w powietrzu. Częstki wchodzące w skład pyłu PM10 pochodzą dodatkowo z ruchu drogowego, przemysłu oraz unoszenia się pyłu i kurzu z dróg, placów czy chodników. Dodatkowo częste inwersje temperatury i tworzenie się zastoisk powietrza w Rzeszowie wpływa na kumulowanie się pyłu PM10.

Wnioski

Analiza przedstawionych danych jednoznacznie wskazuje, że problem zanieczyszczeń powietrza w Rzeszowie jest nadal aktualny. Aby przeciwdziałać degradacji jakości powietrza, stosuje się różne strategie, w tym ograniczanie emisji z transportu, przemysłu i energetyki, odnawialne źródła energii oraz promowanie ekologicznych technologii. Wg wyników badań pogorszenie jakości powietrza w mieście było symptomatyczne dla okresu grzewczego. Jednym z rozwiązań tego problemu jest program „Czyste powietrze” polegający na dotowaniu wymiany źródła ciepła z kotłów na paliwo stałe na pompy ciepła. Program działa od 2019 roku. Na początku 2025 roku został wstrzymany ze względu na wprowadzane zmiany. Ponowny nabór wniosków rozpoczął się 31 marca 2025 roku i będzie trwał do 30 czerwca 2027 roku.

Bibliografia

- Kalda G., Kwaśniak K., Sokolan J., 2017, *Analiza źródeł zanieczyszczeń Miasta Rzeszowa*. „Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury”, s. 167-180.
- Kleczkowski P. 2020, *Smog w Polsce*. Warszawa.
- Kowalska F., 2020, *Zanieczyszczenie powietrza istotnym zagrożeniem dla zdrowia mieszkańców polskich miast*. „Refleksje. Pismo naukowe studentów i doktorantów WNPiD UAM”, s. 73.
- Kostrz M., Satora P., 2017, *Związki odpowiedzialne za zanieczyszczenie powietrza*. „Inżynieria ekologiczna”, s. 89-95.
- Proszak-Miąsik D., Nowak K., *Metody ograniczania niskiej emisji w zabudowie miejskiej*, Rynek Instalacyjny, 2019, t. 6, s 18-22.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu, wraz z późniejszymi zmianami, Dz.U. 2012 poz. 1031
- Czyste powietrze <https://czystepowietrze.gov.pl/wazne-komunikaty/zmiany-w-programie-czyste-powietrze-sa-konieczne> (dostęp: 11.03.2025)
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Poziomy dopuszczalne zanieczyszczeń w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi i ochronę roślin, terminy ich osiągnięcia oraz okresy, dla których uśrednia się wyniki pomiarów* https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/content/annual_assessment_air_acceptable_level (dostęp: 11.03.2025)
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, *Roczna ocena jakości powietrza w województwie podkarpackim, raport wojewódzki za rok 2023* <https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/rwms/publications/card/2008> (dostęp: 11.03.2025)
- Normy jakości powietrza w Polsce <https://ochronapowietrza.lubelskie.pl/normy-jakosci-powietrza/> (dostęp: 11.03.2025)

System prognozowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń powietrza <http://smog.imgw.pl/content/health> (dostęp: 11.03.2025)

Zarząd Województwa Podkarpackiego, *Program ochrony powietrza dla strefy miasto Rzeszów – aktualizacja z uwagi na stwierdzone przekroczenia poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM10 i poziomu dopuszczalnego pyłu zawieszonego PM2,5 wraz z rozszerzeniem związanym z osiągnięciem krajowego celu redukcji narażenia i z uwzględnieniem poziomu docelowego benzo(a)pirenu oraz z Planem Działań Krótkoterminowych* https://bip.wfosigw.rzeszow.pl/images/POP_miasto_Rzesz%C3%B3w.pdf?utm_source=chatgpt.com (dostęp: 11.03.2025)

Zintegrowana Platforma Edukacyjna Ministerstwa Edukacji Narodowej, *Zanieczyszczenia powietrza* <https://zpe.gov.pl/a/zanieczyszczenia-powietrza/D5txt358T> (dostęp: 11.03.2025)



Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2025, tom 34, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2025, volume 34, part 2

DANIELA ZIELIŃSKA, ALICJA NOWAK

Studentki III roku biotechnologii, studia I stopnia
Studenckie Koło Naukowe Radiobiologów „Curie”
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Third-year biotechnology students, first-cycle studies
“Curie” Radiobiologists’ Scientific Circle
Jan Kochanowski University in Kielce

Wpływ promieniowania UVA na uszkodzenia DNA oraz zaburzenia cyklu komórkowego fibroblastów ludzkich VH10 z zastosowaniem filtrów SPF

The Impact of UVA Radiation on DNA Damage and Cell Cycle Disturbances in Human VH10 Fibroblasts with the Use of SPF Filters

Abstract: UVA radiation, accounting for approximately 95% of the ultraviolet radiation reaching the Earth’s surface, penetrates deeply into the skin, accelerating photoaging and increasing the risk of skin cancer. The aim of this experiment was to investigate the effects of UVA radiation on human VH10 fibroblasts in vitro with the application of SPF filters, assessing alterations in the cell cycle, levels of apoptosis, and DNA damage. It was hypothesised that SPF filters with different protection factors would effectively mitigate the adverse effects of UVA radiation in fibroblasts. The results demonstrated that UVA damages the DNA of VH10 fibroblasts, inducing apoptosis and necrosis, whereas SPF filters—particularly those with higher sun protection factors—provided effective protection.

Keywords: UVA radiation, fibroblasts, SPF, cell cycle, apoptosis

Wprowadzenie

Promieniowanie ultrafioletowe (UV), ze względu na swoje mutagenne i uszkodzające właściwości, jest określane jako potencjalny czynnik rakotwórczy, który może być inicjatorem oraz promotorem nowotworów [1]. Jeżeli chodzi o środowisko naturalne, stanowi jeden z najważniejszych czynników ryzyka raka skóry oraz innych schorzeń dermatologicznych [1]. UV dzieli się na trzy zakresy w zależności od długości fali i energii: UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) oraz UVC (100-280 nm). UVC posiada najkrótszą długość fali oraz najwyższą energię, przez co zostaje całkowicie wchłonięte przez at-

mosferę i nie dociera do powierzchni Ziemi. W rezultacie promieniowanie, które dociera do powierzchni Ziemi, składa się głównie z UVA (około 95%) oraz UVB (około 5%) [1].

Promieniowanie UVA, stanowiące 95% promieniowania, wnika głęboko w skórę właściwą, co może powodować uszkodzenia komórek, w tym fibroblastów [1]. Fibroblasty są to komórki znajdujące się w skórze właściwej, których zadaniem jest produkcja macierzy zewnątrzkomórkowej (ECM - ang. Extracellular Matrix), która pełni rolę rusztowania skóry. W odpowiedzi na uszkodzenia DNA, wywołane przez UVA, fibroblasty mogą ulegać apoptozie, czyli programowanej śmierci komórki [3]. Równocześnie dochodzi do powstawania wolnych rodników, co przyczynia się do degradacji tego typu komórek, co skutkuje fotostarzeniem, czyli przedwczesnym starzeniem się skóry [2]. Promieniowanie UVA może również zwiększać ryzyko powstawania zmian nowotworowych skóry [2].

Podstawową strategią ochrony przed promieniowaniem UVA jest ograniczenie jego szkodliwego działania na fibroblasty za pomocą różnych substancji lub kremów z filtrami UV (SPF - ang. Sun Protection Factor). SPF mierzy poziom ochrony jaką zapewnia krem przeciwśloneczny przed promieniowaniem UV. Podczas, gdy zbyt duża dawka promieniowania dotrze do skóry właściwej i fibroblasty rozpoczną proces apoptozy, skuteczna metoda przeciwdziałania szkodliwym skutkom staje się ograniczona [1].

Cel pracy

Celem eksperymentu było zbadanie wpływu promieniowania UVA na uszkodzenia DNA, apoptozę oraz cykl komórkowy fibroblastów ludzkich VH10 z zastosowaniem filtrów SPF: 15, 30 oraz 50. W celu analizy punktów końcowych zastosowano technikę cytometrii przepływowej.

Materiały i metody

Do badań wykorzystano fibroblasty ludzkie linii komórkowej VH10. Były one hodowane na pożywce Dulbecco, która jest zmodyfikowaną wersją medium Eagle (DMEM).

Doświadczenie przeprowadzono w 5 grupach eksperymentalnych:

- grupa kontrolna (C) – fibroblasty nie wystawione na promieniowanie UVA,
- grupa UVA (U) – fibroblasty wystawione na promieniowanie UVA,
- grupa z filtrem SPF 15 (SPF15) – fibroblasty wystawione na promieniowanie UVA z nałożonym filtrem SPF 15,
- grupa z filtrem SPF 30 (SPF30) - fibroblasty wystawione na promieniowanie UVA z nałożonym filtrem SPF 30,
- grupa z filtrem SPF 50 (SPF50) - fibroblasty wystawione na promieniowanie UVA z nałożonym filtrem SPF 50.

Na wieczka szalek oznaczone: SPF15, SPF30, SPF50 naniesiono warstwę filtrów SPF zgodnie z zaleceniami producenta tj. 15 minut przed ekspozycją na UVA nałożono na szalki filtry SPF (ok. 2 mg/cm²).

Tak przygotowane szalki poddano napromienieniu przez 30 minut dawką promieniowania UVA. W eksperymencie wykorzystano lampę żarówkową emitującą promieniowa-

nie UVA w zakresie długości fali od 315 nm do 380 nm o mocy 55W. Po tym czasie komórki inkubowano w temperaturze 37 °C i 5% CO₂. Po 1 h i 24 h od napromieniania przeprowadzono odpowiednio: analizę ognisk naprawczych gamma-H2AX (1h) oraz analizę cyklu komórkowego i apoptozy (24 h).

Cykl komórkowy jest serią zmian chemicznych, fizycznych i strukturalnych, które prowadzą do podziału komórki. To proces życiowy, który umożliwia wzrost i odnowę organizmu. Składa się z: interfazy (G1, S, G2) oraz fazy podziału (M). Badanie przy użyciu cytometrii przepływowej umożliwia zaklasyfikowanie badanych komórek do poszczególnych faz interfazy. Cytometria przepływowa jest techniką, która umożliwia rozróżnienie populacji komórek na podstawie detektora FSC (wielkość komórki) i SSC (granularność komórki) oraz określonych antygenów wobec których zostało skierowane specyficzne przeciwciało skoniugowane z barwnikiem fluorescencyjnym. W eksperymencie użyto cytometr przepływowy BD LSR II (BD Biosciences), który znajduje się na wyposażeniu Zakładu Biologii Medycznej Instytutu Biologii [4].

Do badań wykorzystano test gamma- H2AX, który służy do oceny wpływu potencjalnego czynnika genotoksycznego na powstawanie ognisk naprawczych DNA. Gamma – H2AX jest ufosforylowanym histonem H2AX, który występuje w miejscach dwuniciowych pęknięć DNA [5].

Test gamma – H2AX został wykonany przy pomocy cytometrii przepływowej, gdzie mierząc poziom fluorescencji w próbkach określono poziom uszkodzeń DNA.

Doświadczenie oparto także na analizie poziomu apoptozy, która jest programowaną śmiercią komórki spowodowaną zaburzeniem jej prawidłowego funkcjonowania.

W tym celu komórki barwiono zawiesiną aneksyna V/FITC i jodkiem propidyny. Aneksyna V/FITC łączy się z fosfatydyloseryną na powierzchni komórek apoptotycznych, natomiast jodek propidyny wnika do komórek z uszkodzoną błoną komórkową. Na podstawie emisji dwóch rodzajów fluorescencji następuje rozróżnienie 3 populacje komórek: wczesno apoptotyczne, późno apoptotyczne oraz nekrotyczne [4].

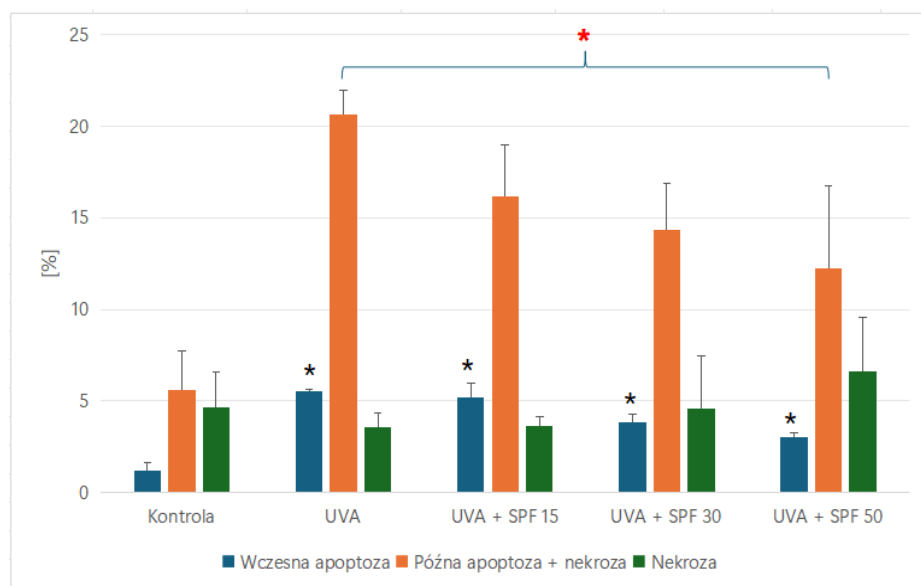
Analiza statystyczna

Statystyka została wykonana w programie Statistica 12 (Stat Soft. Inc., Tulsa, USA) - za pomocą prostych przekroi ANOVA z testem post hoc – Tukey.

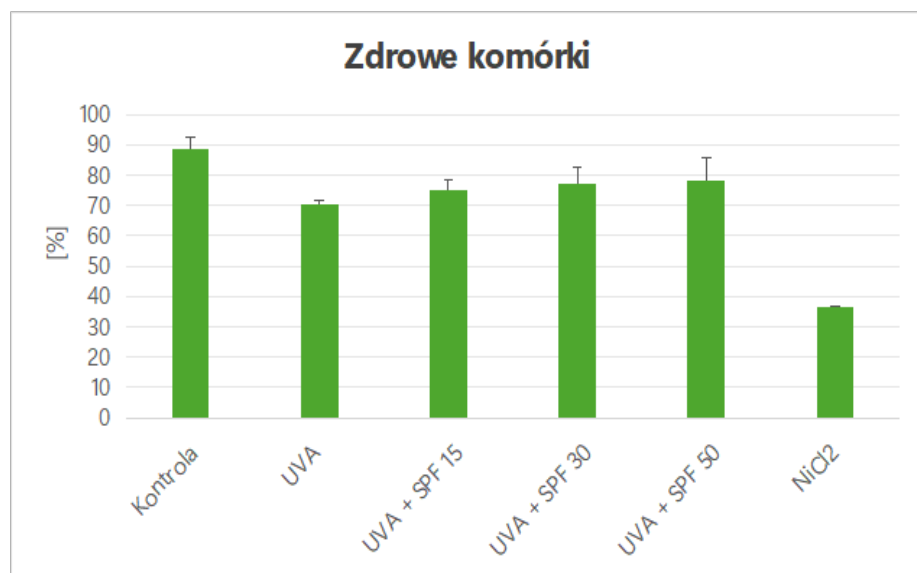
Wyniki badań

Wyniki przedstawiono na poniższych rycinach dla próby kontrolnej, dla komórek poddanych promieniowaniu UVA oraz dla prób, na które nałożono filtry SPF 15, 30, 50 i skojarzono z promieniowaniem UVA. Każdy eksperyment przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

Na rycinie 1 przedstawiono podsumowanie wpływu filtrów SPF 15, 30 i 50 na apoptozę oraz nekrozę mierzoną po 24 godzinach w fibroblastach ludzkich VH10 24 godziny po ekspozycji na promieniowanie UVA. Ekspozycja na samo promieniowanie UVA znacząco indukuje zarówno wczesną, jak i późną apoptozę oraz nekrozę. Istotne statystycznie obniżenie późnej apoptozy/nekrozy zaobserwowano w przypadku komórek traktowanych UVA w połączeniu z filtrem SPF 50 w porównaniu do komórek traktowanych samym promieniowaniem UVA.



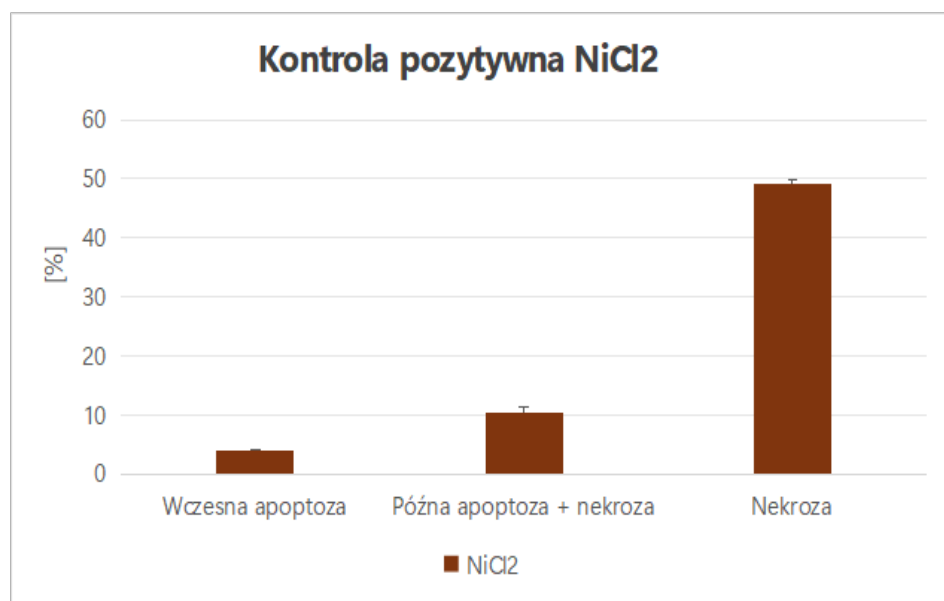
Rycina 1. Wpływ filtrów SPF 15, 30 oraz 50 na apoptozę oraz nekrozę mierzoną po 24 h w fibroblastach ludzkich VH10 24 h po ekspozycji na promieniowanie UVA. Różnice potwierdzono statystycznie przy: * $p < 0,05$.



Rycina 2. % zdrowych komórek po 24 h od ekspozycji fibroblastów ludzkich VH10 na promieniowanie UVA z zastosowaniem filtrów SPF 15,30 oraz 50

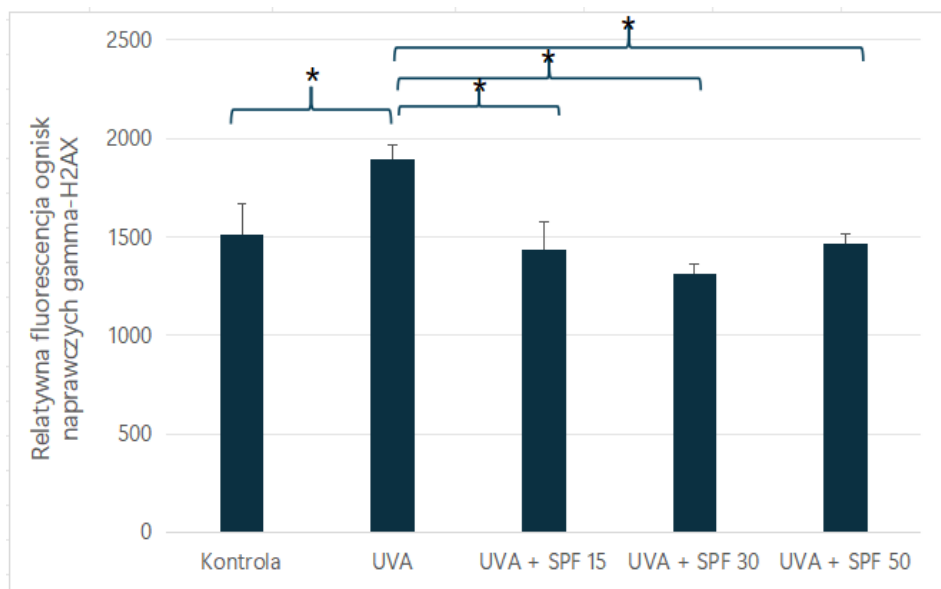
Na rycinie 2 przedstawiono procent zdrowych komórek po 24 godzinach od ekspozycji fibroblastów VH10 na promieniowanie UVA z zastosowaniem filtrów SPF 15, 30 oraz 50. Wyniki pokazują, że promieniowanie UVA ma negatywny wpływ na przeżywalność badanych fibroblastów. Filtry przeciwsłoneczne zapewniają ochronę przed szkodliwym działaniem promieniowaniem UVA, a wyższy współczynnik SPF (50) zapewnia lepszą ochronę.

Jako kontrolę pozytywną (Rycina 3) zastosowano chlorek niklu (II), który posłużył dla potwierdzenia prawidłowego wykonania testu z aneksyną V/FITC i wykazuje toksyczny wpływ na fibroblasty indukując głównie nekrozę, ale również apoptozę.



Rycina 3. NiCl₂ zastosowany jako kontrola pozytywna dla potwierdzenia prawidłowego wykonania testu barwienia komórek z aneksyną V/FITC.

W przeprowadzonym doświadczeniu wykazano także wpływ filtrów SPF 15, 30 i 50 na powstawanie ognisk naprawczych gamma – H2AX w fibroblastach ludzkich VH10 mierzonych po godzinie od ekspozycji na promieniowanie (Rycina 4). W grupie, gdzie poddano fibroblasty ludzkie promieniowaniu UVA, powstało najwięcej ognisk naprawczych, co oznacza, że promieniowanie ma negatywny wpływ na DNA. Statystycznie istotne obniżenie uszkodzeń DNA mierzonych za pomocą fluorescencji ognisk naprawczych gamma – H2AX zaobserwowano w przypadku komórek traktowanych filtrami SPF 15, 30 oraz 50 w porównaniu do komórek traktowanych tylko promieniowaniem UVA.

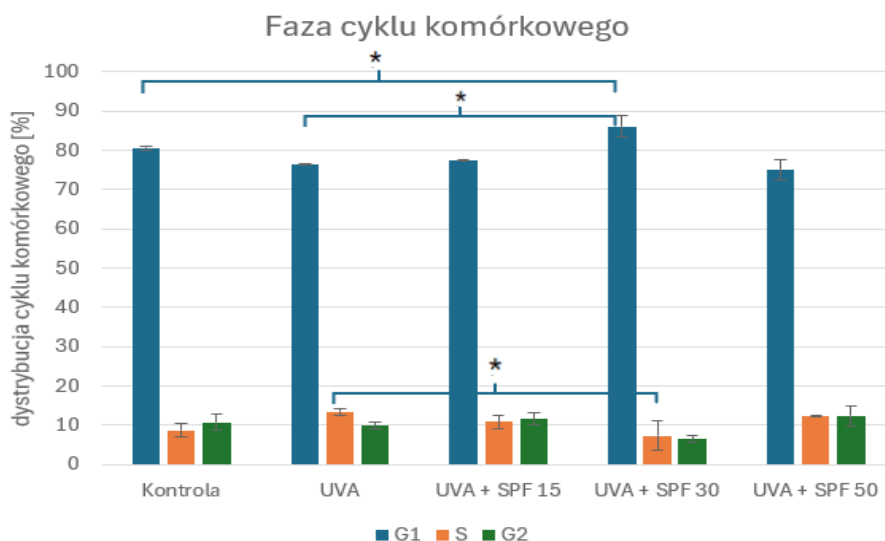


Rycina 4. Wpływ filtrów SPF 15, 30 oraz 50 na powstawanie ognisk naprawczych gamma-H2AX w fibroblastach ludzkich VH10 mierzonych po 1 h od ekspozycji na promieniowanie. Różnice potwierdzono statystycznie przy: * $p < 0,05$.

Wykazano także wpływ promieniowania UVA na zmiany w cyklu komórkowym (rycina 5). Ekspozycja na samo promieniowanie UVA powoduje zmniejszenie odsetka komórek w fazie G1 oraz zwiększenie ilości komórek w fazie S. Zaobserwowano statystycznie istotny wzrost ilości komórek w fazie G1 cyklu komórkowego w komórkach traktowanych promieniowaniem UVA oraz filtrem SPF 30 w odniesieniu do kontroli oraz komórek traktowanych samym promieniowaniem UVA. Istotne statystycznie zwiększenie się komórek w fazie S cyklu komórkowego zaobserwowano w przypadku traktowania ich samym promieniowaniem UVA w stosunku do komórek traktowanych UVA w połączeniu z filtrem SPF 30.

Wnioski

Celem eksperymentu było zbadanie w jaki sposób promieniowanie UVA wpływa na integralność DNA oraz zaburzenia cyklu komórkowego fibroblastów ludzkich VH10 z zastosowaniem filtrów SPF 15, 30 oraz 50. Badania zostały wykonane w trzech powtórzeniach w każdej serii eksperymentalnej.



Rycina 5. Analiza cyklu komórkowego wykonana po 24 godzinach od napromienienia promieniowaniem UVA. Różnice potwierdzono statystycznie przy: * $p < 0,05$.

Legenda: G1 (kolor niebieski): Faza wzrostu komórki i przygotowania do replikacji DNA; G2 (kolor pomarańczowy): Faza wzrostu komórki i przygotowania do podziału komórki (mitozy); S (kolor zielony): Faza syntezy DNA (replikacji).

- Zaobserwowano istotne statystycznie zwiększenie komórek we wczesnej apoptozie po zastosowaniu promieniowania UVA oraz promieniowania UVA w skojarzeniu z filtrami SPF (15,30,50) w odniesieniu do komórek kontrolnych.
- Istotne statystycznie obniżenie późnej apoptozy/nekrozy zaobserwowano w przypadku komórek traktowanych UVA w połączeniu z filtrem SPF 50 w porównaniu do komórek traktowanych samym promieniowaniem UVA.
- Statystycznie istotne obniżenie uszkodzeń DNA mierzonych za pomocą fluorescencji ognisk naprawczych gamma-H2AX zaobserwowano w przypadku komórek traktowanych filtrami SPF 15,30 oraz 50 w porównaniu do komórek traktowanych tylko promieniowaniem UVA.
- Zaobserwowano statystycznie istotny wzrost ilości komórek w fazie G1 cyklu komórkowego w komórkach traktowanych promieniowaniem UVA oraz filtrem SPF 30 w odniesieniu do kontroli oraz komórek traktowanych samym promieniowaniem UVA.
- Istotne statystycznie zwiększenie liczby komórek w fazie S cyklu komórkowego zaobserwowano w przypadku traktowania ich samym promieniowaniem UVA w stosunku do komórek traktowanych UVA w połączeniu z filtrem SPF 30.

Podsumowanie

Badania z użyciem linii komórkowej fibroblastów ludzkich VH10, pokazały wpływ promieniowania UVA i filtrów SPF na uszkodzenia DNA, apoptozę oraz dystrybucję komórek w cyklu komórkowym. Wyniki wskazują, że promieniowanie UVA indukuje apoptozę, nekrozę i uszkodzenia DNA w fibroblastach, co jest istotne w kontekście starzenia się skóry i rozwoju nowotworów. Stosowanie filtrów SPF, zwłaszcza o wyższym współczynniku ochrony, skutecznie chroni komórki przed negatywnymi skutkami, zmniejszając zarówno apoptozę, nekrozę, jak i powstawanie ognisk naprawczych (gamma-H2AX), co świadczy o ochronie DNA. W utrzymaniu prawidłowego cyklu komórkowego najskuteczniejszy okazał się filtr SPF 30.

Bibliografia

- [1] D’Orazio J, Jarrett S, Amaro-Ortiz A, Scott T. UV Radiation and the Skin. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013; 14(6):12222-12248.
- [2] Bai Gen-Long, Wang Ping, Huang Xin, Wang Zi-Yue, Cao Di, Liu Chuan, Liu Yi-Yi, Li Ruo-Lin, Chen Ai-Jun; Rapamycin Protects Skin Fibroblasts From UVA-Induced Photoaging by Inhibition of p53 and Phosphorylated HSP27. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9:1-11.
- [3] Krakowiak W., „Wpływ Mumio Shilajit na apoptozę komórek VH10 traktowanych promieniowaniem UVA” Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2020 tom 29 część 2; 35-41.
- [4] Krakowiak W., „Wpływ koraliny na promieniowrażliwość komórek nowotworowych piersi MDA-MB-231 i komórek prawidłowych fibroblastów ludzkich VH10”, Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2022 tom 31 część 2; 31-421.



Zeszyty Studenckiego Ruchu Naukowego
Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2025, tom 34, część 2

Fascicles of Student Scientific Movement
the Jan Kochanowski University in Kielce, 2025, volume 34, part 2

ZUZANNA ŚLIWA, WERONIKA MATYJANEK

Studentki I roku ochrony środowiska, studia II stopnia
Studencki Koło Naukowe Geoekologów
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
First-year environmental protection students, second-cycle studies
Geoecologists' Scientific Circle
Jan Kochanowski University in Kielce

Charakterystyka *Betta splendens* i życie w nano-akwarium

Characteristics of *Betta splendens* and Life in a Nano Aquarium

Abstract: The Siamese fighting fish (*Betta splendens*), a small species originating from Southeast Asia, is not only a popular ornamental animal. The emergence of numerous varieties, differing in fin morphology and coloration, is the result of artificial selection that has likely been practiced since the 1850s–1860s. Scientists interested in the diversity of *Betta splendens* have for years explored its genome and the mechanisms underlying the appearance and inheritance of coloration. Its accessory respiratory organ, enabling survival under low oxygen concentrations, together with its strong territorial behaviour, have made it a species commonly bred in nano aquaria. Due to its small size, it constitutes an excellent alternative to large tanks, particularly in today's context. However, ensuring hygienic living conditions for Siamese fighting fish remains a challenge for novice aquarists.

Keywords: *Betta splendens*, nano aquarium, varieties, inheritance, coloration

Wprowadzenie

Obecne trendy w środowisku akwarystycznym nawiązują do harmonii z naturalnymi ekosystemami wodnymi. Jednak nie każdy może pozwolić sobie na prowadzenie kilkuset litrowego zbiornika. Na początku lat dwutysięcznych w ofercie sprzedażowej pojawiły się niewielkie akwaria o pojemności do 40 litrów, zapoczątkowujące nowy rodzaj hodowli dostępnej dla każdego. W środowisku handlowym powstał wówczas termin nano-akwarium, nawiązujący do greckiego *nanos* - karzeł oraz łacińskiego *aquarium* - naczynie na wodę. Poskutkowało to utworzeniem oddzielnej sztuki prowadzenia zbiorników, gdzie estetyka skupia się na odwzorowaniu krajobrazu w miniaturowej wersji. Wyzwaniem stało się jednak utrzymywanie stabilnych parametrów wody, odpowiednich dla

hodowanej limnofauny. Niewielkie zbiorniki, tak samo jak te duże, wymagają podstawowej znajomości zachodzących w nich procesów biologicznych i przemian fizyczno-chemicznych wody (Jakubowski i Ring 1988). Najbardziej charakterystycznym mieszkańcem nano-akwarii jest bojownik syjamski (*Betta splendens*) pochodzący z południowo-wschodniej Azji (Lewczuk 1990). Swoją popularność zawdzięczał szerokiej gamie odmian płetw i barw (Vishnupriya in. 2024) oraz obecnością wyspecjalizowanego aparatu oddechowego labiryntu (Jakubowski i Ring 1988) umożliwiającego pobór powietrza atmosferycznego z dna tafli wody.

Celem niniejszego artykułu było przybliżenie charakterystyki udomowionego gatunku *Betta splendens*, jego usposobienia oraz higienicznej hodowli w początkującej dziedzinie nano-akwarystyki.

Materiały i metody

Niniejsza praca powstała w oparciu o analizę recenzowanych publikacji, w tym artykułów i książek, autorów polskich oraz zagranicznych, zarówno w źródłach cyfrowych i papierowych.

Betta splendens - życie i zachowanie

Bojownik syjamski (*Betta splendens*), znany również jako bojownik wspaniały, należy do królestwa Animalia (zwierzęta), typu Chordata (strunowce), gromady Actinopterygii (promieniopłetwe), rzędu Perciformes (okoniokształtne), rodziny Osphronemidae (guramiowate), rodzaju *Betta*. Od ponad 100 lat wykazują potencjał modelowy w badaniach ewolucyjnych, neurobiologicznych i behawioralnych. Na wolności gatunek ten zamieszkuje płytkie stojące wody, pola ryżowe oraz obszary zalewane okresowo podczas pory deszczowej (Vishnupriyai in. 2024). Nazwa gatunkowa nawiązuje do historycznego plemienia wojowników pochodzącego z Południowo-Wschodniej Azji (Brannah 2015). Nawiązuje to do terytorialności samców, której skutkiem są efektywne, lecz brutalne walki o teren. Samice nie przejawiają tych cech, są stosunkowo łagodne (Lukhaup 2023). Zaleca się hodowlę osobników pojedynczo (Mills 2000), jednak niewiele źródeł podkreśla, iż stwierdzenie to dotyczy wyłącznie samców trzymanyh w małym litrażu. Wobec innych gatunków bojowniki, niezależnie od płci, wykazują przeważnie dwa charakterystyczne zachowania: próba zdominowania (a nawet zabicia) większych od siebie, nawet jeśli nie zostały sprowokowane lub obojętność w stosunku do mniejszych osobników. Spektakularnym zwyczajem omawianego gatunku jest tarło. Gody samca rozpoczynają się zalecaniem do samicy (Ryc.1) poprzez podpływanie i ukazanie rozłożonych płetw, w tym pokryw skrzelowych (Ryc. 2). Samica, która nie wykazuje zainteresowania lub nie jest gotowa, ucieka przed osobnikiem męskim, ponieważ ten wykazuje zachowanie agresywne (Zientek 2016), podgryzając ją. Zwyczaj ten ma za zadanie pobudzić samicę do produkcji ikry, by mogła odbyć stosunek. Jednocześnie samiec wykorzystując powietrze i wydzielinę jamy gębowej buduje gniazdo (Zientek 2016), przypominające pianę. Następnie osobniki przystępują do kopulacji trwającej około 2 godziny. Młeczak opłata samicę

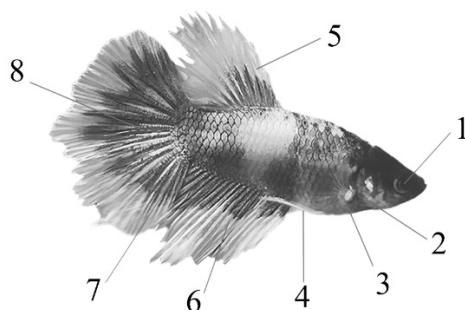
(Madej 2009), która za pomocą pokładełka wypuszcza ikrę opadającą na dno. Bojowniki następnie zbierają jaja i umieszczają ją w gnieździe. Po 48 godzinach pojawiają się larwy którymi opiekują się samiec.

Budowa

Ta niewielka ryba słodkowodna posiada charakterystyczną i efektowną budowę ciała (Ryc. 2), która jest wypadkową procesu doboru naturalnego oraz lat sztucznej selekcji hodowców. Ciało bojownika udomowionego ma krępy, wrzecionowaty, lekko spłaszczony, smukły kształt (Kilarski 2012) o długości do 6 cm (Prusińska 2010). Posiada on małą głowę o spiczastym pysku. Wyróżniającym bojowniki atutem jest szeroka gama rodzajów płetw. Płetwa grzbietowa, umiejscowiona w tylnej części grzbietu, może być krótka lub wydłużona. Brzuszna u samców jest długa i cienka, natomiast u samic często krótka i ostro zakończona. Piersiowe są przezroczyste, choć występują również lekko zabarwione. Odbytowa biegnie wzdłuż dolnej części ciała. Rodzina Bojownikowatych charakteryzuje się obecnością narządu umożliwiającego oddychanie powietrzem atmosferycznym, tzw. labiryntu. Znajduje się on w grzbietowych uchylkach komory skrzelowej, a zbudowany jest z błony śluzowej opartej na sztywnej strukturze chrząstnoszkieletowej lub kostnej. Naczynia labiryntu otrzymują krew żylną z drugiego i czwartego łuku skrzelowego. Po utlenieniu krew z labiryntu przepływa do naczyń skrzelowych wprowadzających. Bojownik musi więc uzupełniać normalne oddychanie skrzelowe poborem tlenu, a pozbawienie go tej możliwości oddychania prowadzi do śmierci ryby (Kilarski 2012). Samica bojownika posiada widoczny narząd-jajowód nazywany pokładełkiem.



Rycina 1. Dymorfizm płciowy u bojowników (materiał własny, 2025).



Rycina 2. Budowa anatomiczna *Betta splendens* 1- oko, 2-pokrywa skrzelowa, 3-płetwa piersiowa, 4-płetwy brzuszne, 5-płetwa grzbietowa, 6-płetwa odbytowa, 7-trzon ogonowy, 8-płetwa ogonowa (materiał własny 2025).

Odmiany

Betta splendens prezentuje niezwykle różnorodność fenotypową, która jest efektem selekcji sztucznej, której początki wskazuje się lata 50. – 60. XIX wieku. Nastawiona przede wszystkim na zwiększenie waleczności, wydłużenie płetw oraz intensyfikację i różnorodność barw dała rezultat w postaci drastycznej zmiany morfologii (Wallbrunn 1957). Badacze wskazują, iż chów wsobny, choć zauważalnie zmienia różnorodność genetyczną, zwłaszcza w mtRNA, nie jest dużym problemem dla globalnej populacji hodowanych bojowników, o ile hodowcy odpowiednio zarządzają procesami rozmnażania (Prasertlux i in. 2023). Istnieje wiele odmian hodowlanych *Betta splendens*, różniących się kształtem i rozmiarem płetw. Do bojowników krótkopłetwych zaliczmy osobniki żyjące na wolności (Zhang i in. 2022) oraz odmianę Plakat. Są one zazwyczaj aktywniejsze, a ich płetwy są bardziej odporne na uszkodzenia (Luhaup 2023). Veiltail zaliczana jest do pierwszych opisanych odmian długopłetwych (Eberhardt 1943). Bazując na tych osobnikach, hodowcy stworzyli odmianę Halfmoon, której cechą charakterystyczną jest stuosiemdziesięciostopniowy rozstaw płetwy ogonowej. Bojownicy Crowntail odróżniają się od swoich poprzedników zredukowaną tkanką pomiędzy promieniami płetwy ogonowej, co nadaje im wygląd przypominający koronę. Poza płatką ogonową, pozostałe rybie kończyny również mogą się różnicować. Odmianę Dumbo wyróżnia przerost parzystych płetw piersiowych, których wydłużone i bardziej liczne promienie przypominają wyglądem duże ucho (Zhang i in. 2022). W budowie osobników Dubletail opisywana jest podwójna liczba promieni w płetwach grzbietowych i ogonie, co daje efekt wizualny podwójnego ogona (Wang i in. 2021).

Ubarwienie - mechanizmy i dziedziczenie

W ramach jednej odmiany bojownicy często różnią się od siebie barwą. Niezwykle kolory zawdzięczają chromatoforom: ksantoforom, erytroforom oraz melanoforom, czyli komórkom produkującym pigmenty: luteinę (żółty), erythropterinę (czerwony) i melaninę (czarny, brązowy) (Goodrich i in. 1941) oraz irydocytom i guanoforom, czyli komórkom heksagonalnym, nie produkującym pigmentu, lecz załamującym światło, czego efektem jest metaliczny połysk oraz kolor błękitny i błękitno-zielony (Goodrich i Mercer 1934). Pigmenty są transportowane wewnątrz komórek dzięki białkom motorycznym, takim jak tubulina, dyneina i kinezyna. Efektem przemieszczania jest silnie rozproszenie lub forma zgrupowana w centrum chromatoforów. Komórki pigmentowe reagują na zmianę jasności, natężenia promieniowania UV, ciśnienia, temperatury, pH oraz aktywności ryby i zawartości substancji rozpuszczonych w wodzie (Monvises i in. 2009). Z tego powodu barwy ryby często zmieniają się w ciągu jej życia. Osobniki chore lub żyjące w stresie są blade (pigmenty nierozproszone), a w trakcie godów ich kolory mogą być intensyfikowane (Wallbrunn 1957). Zmniejszenie intensywności barwy bywa też spowodowane przekierowaniem karotenoidów z komórek skóry na rzecz odpowiedzi immunologicznej na infekcje (Clotfelter i in. 2007). Bojownicy pozyskują karotenoidy z pożywienia i używają ich jako substratów do produkcji pigmentów. Dieta wzbogacona w te substancje wpływa na intensyfikację koloru płetw i ogona (Kiswara i in. 2022). U osobników czer-

wonych obserwuje się wzmocnienie barwy przy minimalnym wzroście odporności, natomiast u niebieskich kolor pozostaje bez zmian przy zdecydowanym wzmocnieniu układu immunologicznego (Clotfelter i in. 2007).

Genetyka *Betta splendens* jest obiektem zainteresowań naukowców przynajmniej od lat 30 XX wieku (Goodrich i Mercer 1934). Badania wskazują, iż barwa jest wypadkową wielu czynników. Gęstość irydocytoz jest warunkowana przez allele *Riri*, dla homozygoty recesywnej połysk jest niewielki, a dla dominującej irydescencja jest najintensywniejsza. Kolor połysku przypisuje się allelom *Vv*, gdzie rezultatem obecności pary *VV* jest kolor stalowoniebieski, *Vv* błękitny a *vv* – zielony. Intensywność produkcji melaniny zależy od alleli *Cc* i *Bb*, przy czym dla uzyskania czerwono-brązowej barwy oba allele dominujące muszą być obecne. Homozygotyczność *bb* oraz *cc* redukuje czerń (Walbrunn 1957). Kolory żółty i czerwony warunkowane są zależnie od wielu czynników (Wang i in. 2021).

Nano-akwarium

Jest to niewielki zbiornik wodny o pojemności do 40 litrów (Tarczyńska 2017). Ich początki związane są z hodowlami wystawowymi (Kośła 2003). Sztuka ta w ograniczonej przestrzeni zazwyczaj łączy trzy typy akwarium: holenderskie, biotopowe oraz paludarium (Fot. 1). Ostateczny wygląd zbiornika w głównej mierze zależy od osobistych preferencji właściciela. W samej idei nano-akwarium, jako zamkniętego w miniaturze fragmentu ekosystemu wodnego, estetyka odgrywa ważną rolę. Nie należy pomijać faktu, że nawet w sztucznym środowisku zachodzi szereg procesów chemicznych, biologicznych i fizycznych, co często sprawia trudność dla niedoświadczonych akwarystów.



Fot. 1. Typy akwariów wystawowych. a) biotopowe, b) paludarium, c) holenderskie, (materiał własny 2025).

Założenie zbiornika wymaga staranności i cierpliwości. Należy pamiętać, że wymaga on więcej pracy niż duże akwarium (Kośła 2003). Ze względu na małą powierzchnię, próg błędów między równowagą parametrów a katastrofą wodnego środowiska jest niewielki. Pierwszym etapem w tworzeniu jest wybór odpowiedniego naczynia. Szkło powinno mieć kształt prostopadłościanu lub sześciianu. Można również założyć akwarium

o kształcie walca jednak należy pamiętać by średnica bryły obrotowej była odpowiednio szeroka, tak by zakrzywienie nie powodowało wysokiego zniekształcenia obrazu. Zbiornik najlepiej umieszczać w miejscu o ograniczonym dostępie do światła słonecznego. Praktyka ta ma na celu zapobieganie rozwojowi glonów, powodujących wzrost zawartości biogenów w wodzie. Ponadto, znaczne wahania temperatury mogą negatywnie wpływać na zdrowie *Betta splendens*, prowadząc do występowania licznych chorób, np. przeziębienia błędnika (Jakubowski i Ring 1988), czy sklejanie płetw. Przebieg wielu procesów chemicznych i biologicznych zależy od rodzaju podłoża, ponieważ to ono absorbuje większość zanieczyszczeń, takich jak detrytus czy resztki pokarmów. Skład chemiczny i średnica luźnej skały mogą wpływać na podnoszenie twardości wody (Kośła 2003). Przy nieodpowiednim ułożeniu poszczególnych frakcji dochodzi do powstania kieszonek beztlenowych (reakcja ciemnych plam), w których powstaje siarkowodor, a jego uwalnianie powoduje zatrucia (Lewczuk 1990).

Do nano-akwarium najlepiej sprawdzi się filtr kaskadowy lub wewnętrzny, o wydajnym przepływie wody (Lukhaup 2023) i delikatnym nurcie (silny prąd może uszkodzić rybę ozdobną). Ich działanie polega na mechanicznym oczyszczaniu wody przy użyciu tkanin filtracyjnych o różnej gradacji. Dobrym rozwiązaniem mogą być filtry biochemiczne, tzw. gąbkowe, które zamieszkują kultury bakterii tlenowych *Nitrosomonas* i *Nitrospira* odpowiadające za I etap cyklu nityfikacyjnego (utlenianie amoniaku do azotynów – NO_2^-) oraz *Nitrobacter* i *Nitrospira* biorących udział w jego II etapie (powstawianie azotanów – NO_3^-). (Łątka 2016).

Hodowla bojowników wymaga utrzymania odpowiedniej temperatury w zakresie od 25 do 28°C (Lukhaup 2023). Aparatura grzewcza obecnie wyposażona jest w termostat, co pozwala na uniknięcie przegrzania wody oraz optymalizację kosztów. Grzałka powinna być instalowana nad podłożem (Mills 2000) oraz w niedalekim sąsiedztwie filtra, co umożliwiałoby odpowiednią cyrkulację.

Oświetlenie akwarium również odgrywa kluczową rolę w procesie usuwania CO_2 przez rośliny (Mills 2000). Nad zbiornikiem montowane są energooszczędne listwy LED, które zastąpiły dawne świetlówki fluorescencyjne i żarówki halogenowe, jednocześnie zmniejszając zagrożenie awarią instalacji. Bojownicy wymagają umiarkowanego oświetlenia, zbyt ostre światło może być stresujące dla ryby. Wynika to z faktu, iż w naturze żyją w mętnych wodach. Nano-akwarium należy udekorować oraz obsadzić roślinnością (także pływającą), co dodatkowo zmniejsza natężenia światła. Aranżacja powinna być stabilna oraz nawiązywać do krajobrazu naturalnego, w myśl idei aquascapingu (Tarczyńska 2017).

Drugi etap obejmuje dojrzewanie zbiornika, czyli stabilizację parametrów wody i zasiedlanie filtrów przez mikroorganizmy. Proces ten nazywamy cyklem nityfikacyjnym, który w nano-akwariach trwa od 2 do 4 tygodni (Lukhaup 2023), w zależności od pH, temperatury, natlenienia oraz natężenia światła (Łątka 2016). W celu przyspieszenia stabilizacji zbiornika, należy zapewnić stałą pracę filtrów, przy wyłączonym oświetleniu. Dojrzałe akwarium nadaje się do wprowadzenia limnofauny.

Wnioski

1. Zbiór literatury naukowej związanej z gatunkiem *Betta splendens* wskazuje na jego potencjał jako organizm modelowy do badań genetycznych i behawioralnych.
2. Mnogość fenotypowa bojowników obejmuje odmiany różniące się morfologią oraz ubarwieniem.
3. Dobór sztuczny bojowników doprowadził nie tylko do zmian w budowie, lecz także do zmian behawioralnych.
4. Do optymalnego prowadzenia nano-akwariów potrzebna jest odpowiednia wiedza, nie zaleca się ich dla początkujących.
5. Istnieje potrzeba dalszych badań nad procesami zachodzącymi w nano-akwariach.

Bibliografia:

- Mills, D. (2000) *Tropikalne akwarium. Jak założyć słodkowodne tropikalne akwarium? Bogato ilustrowany poradnik praktyczny*, Warszawa: Wydawatel'stvo Bratysława, pp. 8–41.
- Kilarski, W. (2012) *Anatomia ryb*, Poznań: Powszechne Wydawnictwo Rolnicze i Leśne Sp. z o.o., pp. 43–53, 284–292.
- Lewczuk, J. (1990) *Domowe akwarium słodkowodne*, Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, pp. 9–64.
- Jakubowski, H. & Ring, J. (1988) *Ryby w akwarium*, Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, pp. 7–50, 94–150.
- Kośła, T. (2003) *Higiena utrzymania zwierząt amatorskich*, Warszawa: Wydawnictwo SGGW, pp. 115–134.
- Lukhaup, C. (2023) *Nanoakwarium słodkowodne*, Parysów: Magazyn Akwarium, pp. 6–13, 102–105.
- Łątka, L. (2016) *Filtracja w akwarium w praktyce*, Klub Miłośników Tanganiki. [Online] Dostępne na: <https://klub-tanganika.pl> (Dostęp: 11 marca 2025).
- Tarczyńska, M. (2017) *Nanoakwarium. Kunsztowna kompozycja i minimalizm*, Magazyn Akwarium, nr 5, pp. 79–84.
- Zientek, H., (2016) *Bojownik wspaniały (Betta splendens) - nieco praktycznych porad*, Magazyn Akwarium, nr 8-9, pp. 52-60.
- Madej, L., (2009) *Betta splendens – bojownik syjamski*, Magazyn Akwarium, nr 3, pp. 20-23.
- Vishnupriya, R., Chari, J., T., Kumar, D.R., (2024) *Breeding & Culture of Betta splendens (Siamese Fighting Fish)*, International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM), Vol. 12, Iss. 9, pp. 2027–2031. [Online] Dostępne na: https://www.researchgate.net/publication/384440916_Breeding_Culture_of_Betta_Splendens_Siamese_Fighting_Fish (Dostęp: 8 marca 2025).
- Brannah, M. (2015) *The Betta Bible: The Art and Science of Keeping Bettas*, CreateSpace.
- Lichak, M.R., Barber, J.R., Kwon, Y.M., Francis, K.X., Bendesky, A. (2022) *Care and Use of Siamese Fighting Fish (Betta splendens) for Research*, Comparative Medicine, Vol. 72, Iss. 3, pp. 169–180. DOI: 10.30802/AALAS-CM-22-000051.

- Wang, L., Sun, F., Wan, Z., Ye, B., Wen, Y., Liu, H., Yang, Z., Pang, H., Meng, Z., Fan, B., Alfiko, Y., Shen, Y., Bai, B., Lee, M., Piferrer, F., Schartl, M., Meyer, A., & Yue, G. (2021). *Genomic Basis of Striking Fin Shapes and Colors in the Fighting Fish*. *Molecular Biology and Evolution*, Vol. 38, pp. 3383 - 3396. DOI: 10.1093/molbev/msab110.
- Clotfelter, E.D., Ardia, D.R. & McGraw, K.J. (2007) *Red fish, blue fish: trade-offs between pigmentation and immunity in Betta splendens*, *Behavioral Ecology*, Vol. 18, Iss. 6, pp. 1139–1145. DOI: 10.1093/beheco/arm090.
- Wallbrunn, H.M. (1957) *Genetics of the Siamese fighting fish, Betta splendens*, *Genetics*, Vol. 43, pp. 281–298.
- Goodrich, H.B., Hill, G.A. & Arrick, N.S. (1941) *The chemical identification of gene controlled pigments in Platypoecilus and Xiphophorus and comparisons with other tropical fishes*, *Genetics*, Vol.26, pp. 573–586.
- Goodrich, H.B. & Mercer, R. (1934) *Genetics and colors of the Siamese fighting fish, Betta splendens*, *Science*, Vol. 79, pp. 318–319.
- Monvises, A., Nuangsang, B., Sriwattanarothai, N. & Panijpan, B. (2009) *The Siamese fighting fish: Well-known generally but little-known scientifically*, *ScienceAsia*, Vol. 35, pp. 8–16. DOI: 10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.008.
- Eberhardt, K. (1943) *Ein Fall von Geschlechtskontrollierter Vererbung bei Betta Splendens Regan*, *Ver-erbungslehre*, Vol. 81, pp. 72–83. DOI: 10.1007/BF01847443
- Prasertlux, S., Rongmung, P., Tang, S. et al. (2023) *Assessing Genetic Diversity of Wild Populations and Different Color Varieties for Genetic Improvement of Siamese Fighting Fish Betta splendens in Thailand*, *Biochem Genet* Vol. 61, 258–278. DOI: 10.1007/s10528-022-10260-1
- Kiswara, C., Budiharjo, A., Sari, S., (2022) *Changes in color of betta fish (Betta splendens) by feeding of Artemia salina enriched with Tagetes erecta flower flour*. *Cell Biology and Development*. DOI: 10.13057/cellbioldev/v040202
- Srikulnath, K., Singchat, W., Laopichienpong, N. et al. *Overview of the betta fish genome regarding species radiation, parental care, behavioral aggression, and pigmentation model relevant to humans*, *Genes Genom* Vol. 43, 91–104, 2021. DOI: 10.1007/s13258-020-01027-2
- Zhang, W., Wang, H., Brandt, D. Y. C, Hu, B., Sheng, J., Wang, M., et al. (2022) *The genetic architecture of phenotypic diversity in the Betta fish (Betta splendens)*, *Science Advances*, Vol. 8, Iss. 38. DOI: 10.1126/sciadv.abm4955
- Prusińska, M., (2010) *Bojownik - więzień plastikowego kubeczka*, *Magazyn Akwarium*, nr 12.



MARCIN ZIĘTAŁ

Student III roku turystyki i rekreacji, studia I st.
Studenckie Koło Naukowe Turystyki „Bez Nazwy”
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach
Third-year tourism and recreation student, first-cycle studies
“No Name” Tourism Scientific Circle
Jan Kochanowski University in Kielce

Jaskinia Raj – geoturystyczna perła województwa świętokrzyskiego Raj Cave – A Geotourism Gem of the Świętokrzyskie Voivodeship

Abstract: Geotourism, as a dynamically developing branch of tourism, encompasses geological sites, including caves. One of the most valuable examples in Poland is the Raj Cave, which, despite its relatively short system of corridors, is distinguished by an exceptional richness of speleothem formations. Its unique geotourism values were analysed, including a description of the site, statistical data on tourist traffic, and a literature review. Changes in visitor numbers over the years were examined, and the factors influencing these trends were identified.

Keywords: geotourism, Raj Cave, Świętokrzyskie Voivodeship

Wstęp

Geologiczne obiekty przyrodnicze od lat przyciągają turystów swoją różnorodnością form, kolorystyką i złożonością struktur, inspirując do refleksji nad procesami kształtującymi powierzchnię Ziemi. W ostatnich dekadach rośnie zainteresowanie środowiskiem nieożywionym, co przejawia się w rozwoju geoturystyki – dziedziny ukierunkowanej na promocję i interpretację dziedzictwa geologicznego (Hose, 1995).

Szczególne miejsce w geoturystyce zajmują jaskinie, zwłaszcza krasowe, które cieszą się światowym uznaniem. Ich znaczenie podkreślono m.in. ustanawiając rok 2021 jako Międzynarodowy Rok Jaskiń i Krasu (Seksja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika).

W Polsce obecnie funkcjonuje turystycznie dwanaście tzw. jaskiń pokazowych (Zieliński i in., 2022), z których jedenaście zlokalizowanych jest na południu kraju (Ryc. 1).

Jednym z najcenniejszych obiektów tego typu jest Jaskinia Raj – krasowa jaskinia w województwie świętokrzyskim, odkryta w latach 1963–1964. W 2024 roku, podczas

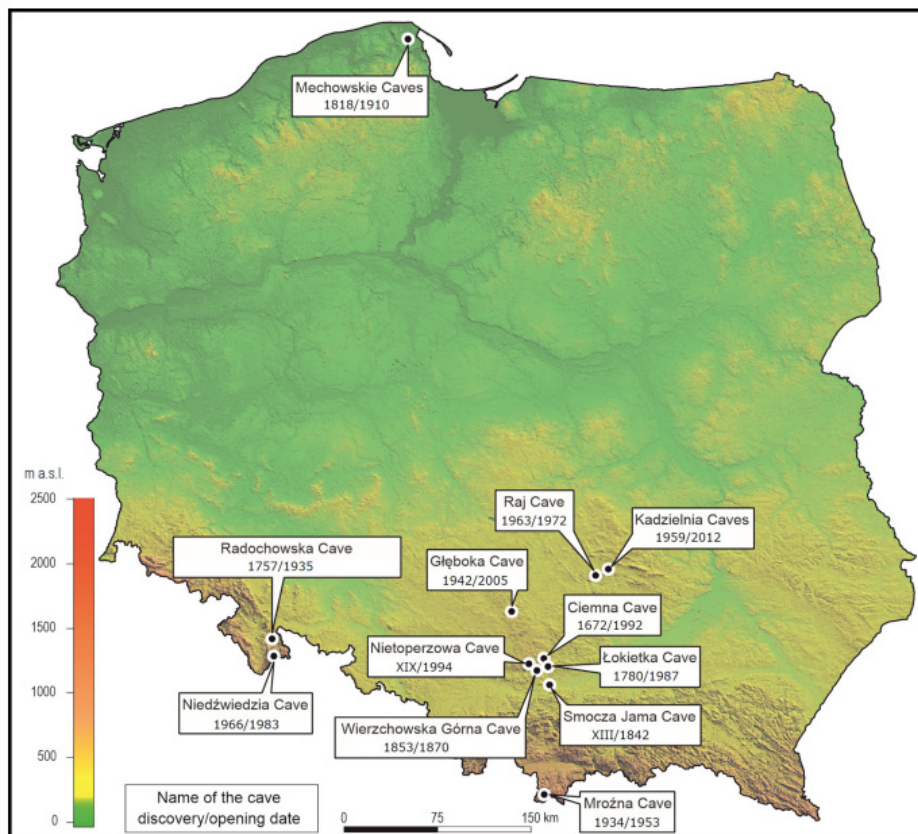
konferencji popularnonaukowej w Kielcach, obchodzono 60. rocznicę odkrycia jaskini (Państwowy Instytut Geologiczny, 2024).

Celem pracy jest analiza walorów geologicznych i przyrodniczych Jaskini Raj pod kątem atrakcyjności geoturystycznej. Opracowanie oparto na literaturze naukowej, materiałach archiwalnych oraz danych statystycznych udostępnionych przez Kompleks Raj. Omówiono specyfikę ruchu turystycznego, dokonano opisu walorów przyrodniczych i paleontologicznych oraz przedstawiono wnioski końcowe.

Do opracowania danych statystycznych użyto rejestru turystycznego Kompleksu Raj, udostępnionego autorowi.

1. Lokalizacja i geneza Jaskini Raj

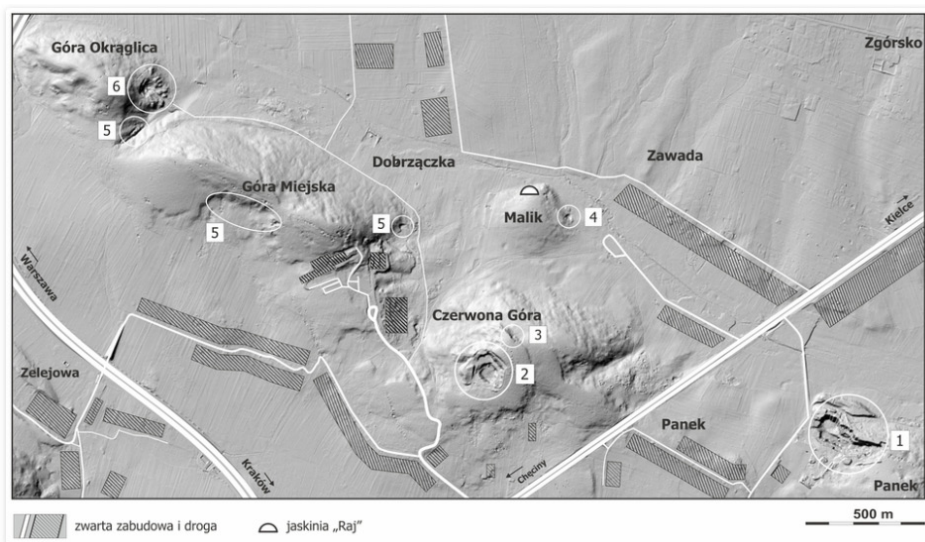
Na tle innych udostępnionych turystycznie jaskiń krasowych w Polsce, Jaskinia Raj usytuowana jest wyjątkowo daleko na północ, w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich (Ryc. 1). Jest to znaczące, zważywszy, że większość dużych i morfo-



Rycina 1. Lokalizacja Jaskini Raj (*Raj Cave*) na tle innych jaskiń pokazowych w Polsce (Zieliński i in., 2022).

logicznie rozwiniętych jaskiń krasowych koncentruje się w południowej części kraju – w obrębie Karpat i Sudetów – gdzie sprzyjające warunki geologiczne, litologiczne i klimatyczne umożliwiły rozwój rozległych systemów krasowych. W tym kontekście, Jaskinia Raj stanowi wyjątkowy przykład lokalnego rozwoju intensywnych zjawisk krasowych w rejonie o znacznie mniejszych możliwościach krasowienia w porównaniu z obszarami góorskimi.

Jaskinia Raj położona jest na terenie gminy Chęciny, we wnętrzu wapien-nego wzgórza Malik (270 m n.p.m.), zbudowanego ze skał środkowodeńskich (Ryc. 2). Jest to system niewielkiej długości, bo liczący łącznie 240 m. Powstała w wyniku krasowienia wapieni przez wody opadowe nasycone CO_2 , głównie z gleby pokrywającej wzgórze. Procesy te doprowadziły do uformowania form naciekowych oraz wytrącenia kalcytu, nadającącej jaskini wysokie walory estetyczne i naukowe.



Rycina 2. Lokalizacja wzgórza Malik na tle pobliskich wzniesień (<https://www.marmurykieleckie.pl/malik/>).

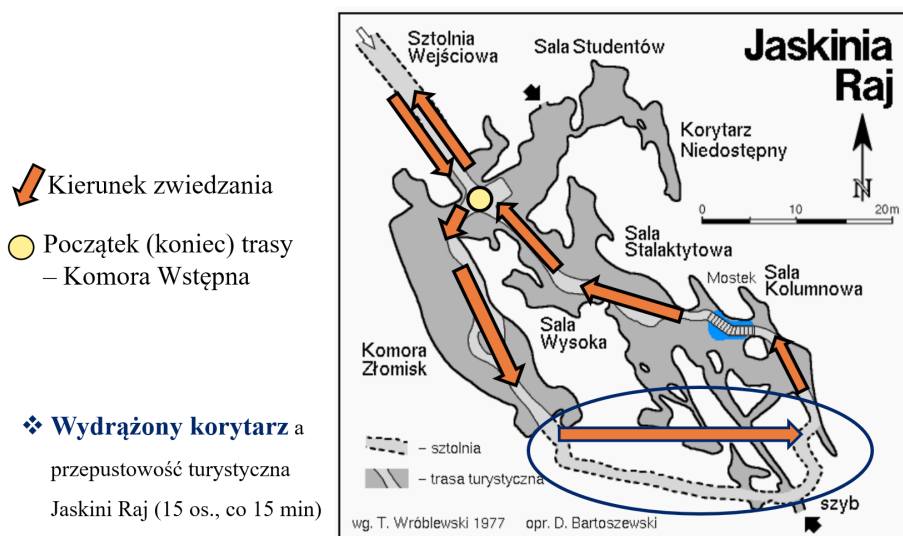
2. Odkrycie Jaskini Raj we wzgórzu Malik i jej udostępnienie

Odkrycie Jaskini Raj było rezultatem przypadkowego odsłonięcia szczeliny skalnej podczas prac ziemnych prowadzonych w 1963 roku na wzgórzu Malik przez Józefa Kopcia i Feliksa Wawrzeńczyka. Choć wejście od tamtej pory było znane lokalnej ludności, miejsce to nie budziło szerszego zainteresowania. Przełomowe znaczenie miała eksploatacja przeprowadzona we wrześniu 1964 roku przez uczniów Technikum Geologicznego w Krakowie – Bogusława Bałduna, Zbigniewa Bochajewskiego, Włodzimierza Łuc-

kiego, Wojciecha Pucka oraz nauczycielkę Mirosławę Boczarową – którzy dokonali dokumentacji i nadali jaskini nazwę. To właśnie tę grupę uznaje się za formalnych odkrywców obiektu (Rubinowski, 1974).

Jaskinia została udostępniona turystycznie 10 czerwca 1972 roku, po ośmioletnim okresie intensywnych prac badawczych, zabezpieczających i adaptacyjnych. W tym samym roku, podczas X Sympozjum Speleologicznego w Górach Świętokrzyskich, przedstawiono wyniki badań, a dwa lata później ukazała się pierwsza publikacja monograficzna autorstwa Z. Rubinowskiego (1974). Tymoteusz Wróblewski, badacz i współautor publikacji, odkrył także Salkę Studentów i Korytarz Niedostępny (Rubinowski, 1974).

Przed otwarciem jaskini do zwiedzania wykonano 40-metrowy tunel, łączący poszczególne części jaskini i umożliwiający poprowadzenie trasy zwiedzania w układzie okrężnym (Ryc. 3). Od początku funkcjonowania obiekt udostępniany jest wyłącznie z przewodnikiem.



Rycina 3. Opracowanie własne trasy turystycznej i legendy (na podstawie Wróblewski 1977, uzup. Bartoszewski 1996).

Wykonanie tunelu umożliwiającego poprowadzenie trasy zwiedzania w sposób obiegowy, przyczyniło się do zwiększenia przepustowości turystycznej obiektu, umożliwiając jednocześnie przebywanie większej liczby odwiedzających (15 os. na grupę) wewnątrz jaskini bez zakłócania ruchu grup.

3. Walory przyrodnicze Jaskini Raj

Od momentu odkrycia Jaskinia Raj zwraca uwagę wyjątkowo bogatą i dobrze zachowaną szatą naciekową (Ryc. 4, 5a, b), co przyczyniło się do uznania jej za jedną z najpiękniejszych jaskiń w Polsce. Znaczący wkład w zabezpieczenie oraz turystyczne udostępnienie obiektu miał prof. Walery Goetel – geolog i ekolog – który podczas uroczystego otwarcia w 1972 roku podkreślił, że jaskinia jest „wprawdzie maleńka, ale kryje wielkie bogactwo zjawisk i form krasowych” (Rubinowski, 1974).

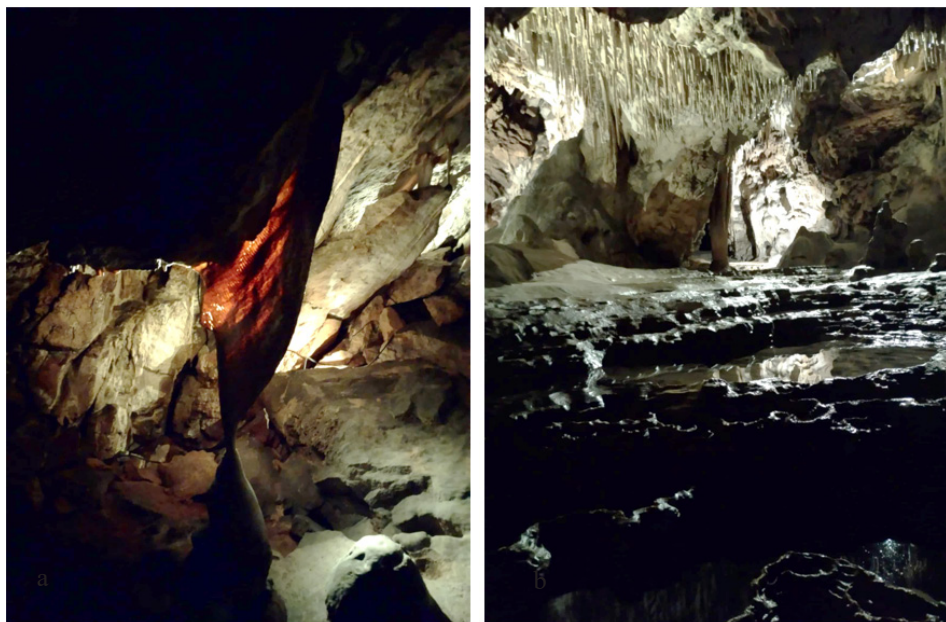
Na szczególną uwagę zasługuje wyjątkowo wysokie zagęszczenie stalaktytów, sięgające miejscami nawet 200/m² (Ryc. 4), co – przy niewielkiej powierzchni jaskini – potęguje wrażenie intensywności zjawisk krasowych i ich estetycznego oddziaływania.

Jaskinia Raj charakteryzuje się wyjątkową różnorodnością form naciekowych – występują w niej praktycznie wszystkie typy nacieków krasowych typowe dla tego rodzaju środowisk podziemnych (Państwowy Instytut Geologiczny oraz serwis jaskiniaraj.pl). Dzięki temu, nawet krótka trasa zwiedzania umożliwia turystom zapoznanie się z pełnym spektrum zjawisk i form krasowych, które zazwyczaj obserwowane są jedynie w znacznie większych systemach jaskiniowych.

W relacjach turystów – zarówno odwiedzających Jaskinię Raj po raz pierwszy, jak i po raz kolejny – dostrzega się opinie zbieżne z ustaleniami niniejszego opracowania,



Rycina 4. Szata naciekowa Jaskini Raj (jaskiniaraj.pl).



Rycina 5a, b. Kolumna naciekowa „Harfa” (a) i misy martwicowe (b) w Jaskini Raj (Ziętał, 2025).

zarówno na miejscu, jak i w sieci (np. opinie Google). Zaznacza się, że osoby posiadające doświadczenie w eksploracji jaskiń, w szczególności obiektów krasowych, zwracają uwagę na wyjątkowy charakter tego miejsca (np. Ponikiewska, 2008; dr Ryszard Graczyński, 1964 - Radio Kielce). Podkreślają one unikalność Jaskini Raj, wynikającą z wysokiej koncentracji zróżnicowanych form naciekowych przy relatywnie niewielkich rozmiarach przestrzeni podziemnej.

Opinie i obserwacje tego rodzaju są powszechnie dostępne w przestrzeni internetowej – w artykułach, na portalach turystycznych, forach, blogach podróżniczych oraz w recenzjach użytkowników, co dodatkowo potwierdza ich reprezentatywność i szerokie uznanie dla walorów obiektu (np. Rubinowski, 1974; Ponikiewska, 2008; tymrazem.pl; lke-dzierski.com.pl).

4. Jaskinia Raj - nowe odkrycia

Jaskinia Raj to cenne stanowisko paleontologiczno-archeologiczne, w którym odkryto szczątki dużych ssaków (np. mamuta, niedźwiedzia jaskiniowego, jelenia olbrzymiego), narzędzia krzemienne i inne ślady obecności człowieka sprzed kilkudziesięciu tysięcy lat (Ryc. 6a, b).



Rycina 6a, b. Narzędzia krzemienne (a) oraz szczątki zwierzęce (b), znalezione w namulisku (Rubinowski, 1974; Ziętał, 2025).

Najnowsze wykopaliska z 2024 roku, drugie po pracach prowadzonych tuż po odkryciu jaskini, przyniosły kolejne znaleziska, m.in. szczątki lwa jaskiniowego i poroża reniferów. Turyści podczas zwiedzania jaskini w tym roku mogli zauważyć te prace w toku, które odbywały się w Komorze Wstępnej jaskini.

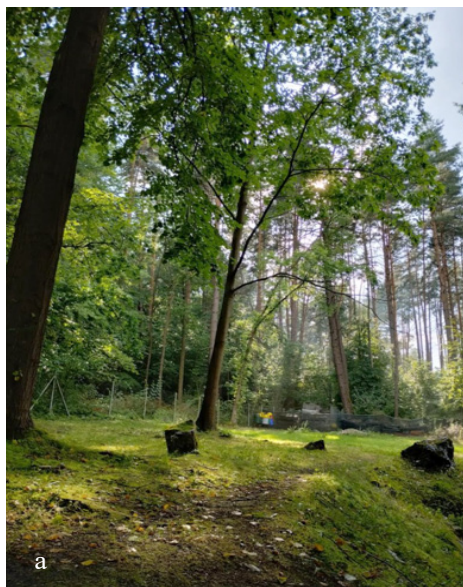


Rycina 7a, b. Badane namulisko (a) i dr hab. prof. UW Małgorzata Kot z Uniwersytetu Warszawskiego (b), kierująca pracami archeologicznymi w lutym i lipcu 2024 r. (Ziętał, 2025, portal UW).

Na kanale YouTube *Archeologia Żywa* dostępny jest obszerny wywiad z dr hab. Małgorzatą Kot z UW, poświęcony badaniom archeologicznym prowadzonym w Jaskini Raj oraz najnowszym odkryciom. W rozmowie poruszono m.in. kwestie obecności neandertalczyków oraz fauny reprezentującej różne, odległe w dziesiątkach tysięcy lat epoki plejstocénskie (youtube.com/ArcheologiaZywa).

5. Rezerwat przyrody Jaskinia Raj

Dla ochrony Jaskini Raj oraz bliskiego obszaru wokół niej konieczne było utworzenie chronionego prawnie rezerwatu przyrody. Zakres ochrony obejmuje florę na terenie rezerwatu, czyli las mieszany, bądź rośliny runa leśnego, jak lilia złotogłów czy przylaszczka (Ryc. 8a, b), a także faunę – nietoperze oraz pająki, czyli sieciarze jaskiniowe, żyjące stale we wnętrzu jaskini (Ryc. 9a, b), które są jednymi z najbardziej jadowitych w Polsce (Boczek J., Pruszyński S., 2015).



Rycina 8a, b. Obszar rezerwatu – las mieszany (a) i przylaszczka (b) (Ziętał, 2023; 2025).



Rycina 9a, b. Sieciarz jaskiniowy (a) oraz nietoperz, Nocek duży (b) (<https://jaskiniaraj.pl/galeria/>).

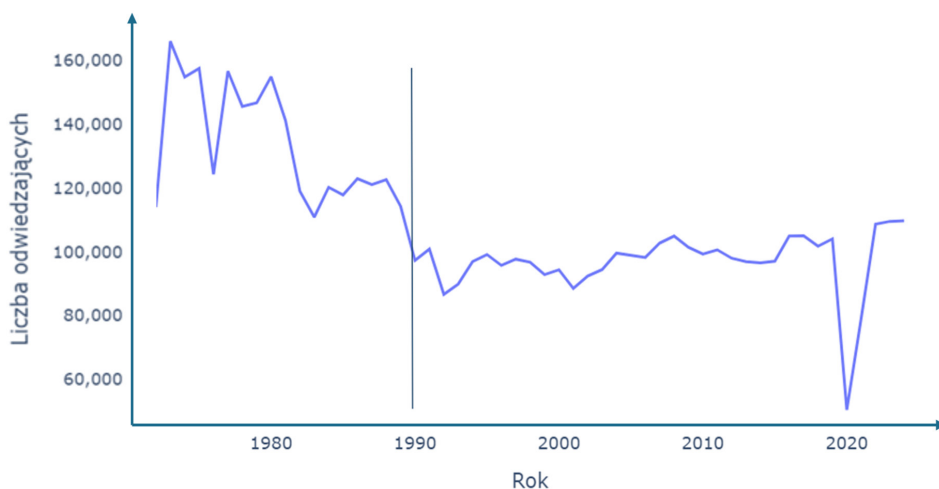
Ze względu na okres zimowania nietoperzy i ochronę cennego mikroklimatu jaskini dla jej mieszkańców oraz samej kondycji jaskini i nacieków, Jaskinia Raj jest nieczynna od 15 listopada do 15 stycznia.

6. Zmiany natężenia ruchu turystycznego w Jaskini Raj w latach 1972–2024

Od momentu udostępnienia Jaskini Raj do zwiedzania w 1972 roku, liczba odwiedzających ulegała zmianom (Ryc. 10), przy czym wyraźnie zauważalny jest spadek frekwencji od lat 80. XX wieku w porównaniu z wcześniejszym okresem (dane ruchu turystycznego Kompleksu Raj). Warto jednak podkreślić, że nie wynika to ze spadku zainteresowania obiektem – przeciwnie, od lat 90. obserwuje się wzrost znaczenia geoturystyki, a tym samym rosnące zainteresowanie formami przyrody nieożywionej, w tym jaskiniami.

Kluczowy moment (zaznaczony na wykresie pionową linią - Ryc. 10) stanowiła zmiana modelu zarządzania ruchem turystycznym, wprowadzona w odpowiedzi na obserwowane negatywne oddziaływanie intensywnej eksploatacji turystycznej na mikroklimat jaskini i jej szatę naciekową. Wprowadzono wówczas ograniczenie liczby osób w grupie zwiedzających do 15 oraz zmodyfikowano system organizacji zwiedzania tak, by zminimalizować presję antropogeniczną. Zmiany te były reakcją na początkowe podejście, w którym – w związku z medialnym rozgłosem i unikatowym charakterem nowo odkrytej jaskini – koncentrowano się głównie na maksymalizacji liczby odwiedzających, co z czasem uznano za nieoptymalne dla ochrony jej dziedzictwa przyrodniczego.

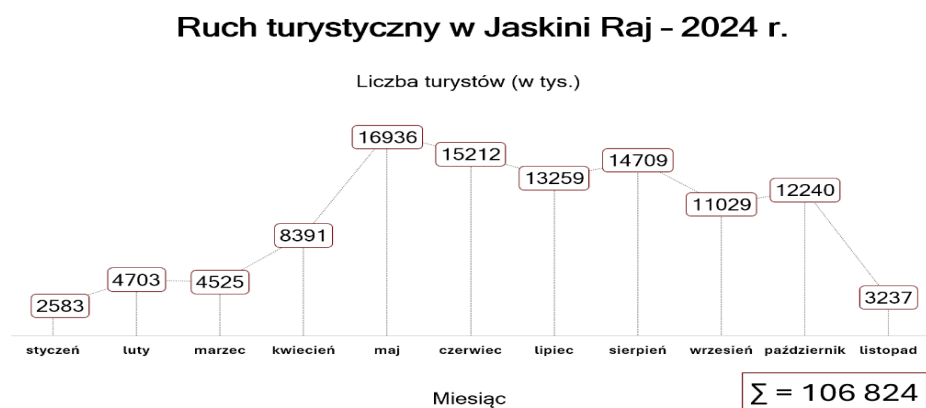
Po wdrożeniu zmodyfikowanego systemu zarządzania ruchem turystycznym w Jaskini Raj, roczna liczba odwiedzających ustabilizowała się na poziomie około 100 tys. osób



Rycina 10. Ruch turystyczny w Jaskini Raj w latach 1972-2024 (dane Kompleksu Raj); opr. własne.

(Ryc. 11). Stabilność ta wynika z ograniczeń organizacyjnych – czasowych i liczebnych. Największe natężenie ruchu przypada na maj i czerwiec, głównie ze względu na wzmożoną aktywność wycieczek szkolnych oraz na okres wakacyjny, kiedy sprzyjające warunki pogodowe napędzają turystykę. Wysoka frekwencja utrzymuje się zazwyczaj do października, co potwierdza turystyczną aktywność również w miesiącach jesiennych.

Potencjalnie, przy pełnym wykorzystaniu dostępnych terminów zwiedzania, liczba odwiedzających mogłaby osiągnąć około 130 tys. rocznie. Wyjątkowy spadek frekwencji odnotowany w 2020 roku (Ryc. 10) związany był z wybuchem pandemii COVID-19. Sytuacja w tym okresie jest zjawiskiem powszechnie obserwowanym w całym sektorze turystycznym, jako wrażliwego przemysłu na czynniki zewnętrzne.



Rycina 11. Ruch turystyczny w Jaskini Raj w 2024 roku (dane Kompleksu Raj); opr. własne.

Jaskinia Raj pełni rolę istotnego punktu na trasie krajowych wycieczek turystycznych, będąc często wybraną jako główny przystanek na terenie województwa świętokrzyskiego. Rejestruje się również zainteresowanie obiektem wśród grup zagranicznych, co świadczy o jego randze w kontekście międzynarodowej geoturystyki (rejestr Kompleksu Raj).

Wnioski

Jaskinia Raj uznawana jest za geoturystyczną perłę województwa świętokrzyskiego, co znajduje potwierdzenie w licznych publikacjach naukowych, materiałach internetowych, a przede wszystkim w weryfikacji własnej poprzez zwiedzanie obiektu. Zaznacza się wyraźną dysproporcję pomiędzy ograniczoną długością jaskini a niezwykle bogatą szatą naciekową – z wyraźną przewagą wartości przyrodniczych i estetycznych. Zjawisko to jest rzadkością w skali kraju. Obiekt posiada wysokie walory dydaktyczne i po-

znawcze, stanowiąc przykład unikalnych procesów krasowych zachodzących w specyficznych warunkach geologicznych.

Wnioskuje się, że nazwa Jaskinia Raj trafnie oddaje estetyczne i przyrodnicze walory wnętrza jaskini, wyróżniając się na tle tradycyjnych, często negatywnie nacechowanych nazw innych jaskiń w Polsce (np. pobliska Jaskinia Piekło). Nazwa ta stanowi przykład odejścia od ludowego schematu nazewnictwa, podkreślając jednocześnie wyjątkową atrakcyjność tego obiektu.

Podziękowania

Szczególne podziękowania kieruję do dr. hab. prof. UJK Artura Zielińskiego za okazaną pomoc, zaangażowanie oraz wsparcie w stworzeniu warunków do przygotowania i udostępnienia publikacji. Wyrazy wdzięczności składam również kierownictwu Komplexu „Raj” za udostępnienie danych statystycznych niezbędnych do przeprowadzenia badań.

Bibliografia

Boczek J., Pruszyński S. (2015). *Roztocze pożyteczne i niebezpieczne dla zdrowia oraz życia człowieka i zwierząt domowych*. Katedra Entomologii Stosowanej SGGW, Warszawa, 125.

Górski A.S. (2014). *Jaskinia Raj – nowe perspektywy w badaniu genezy jej powstania*. Materiały 48. Sympozjum Speleologicznego w Kletnie, 67.

Hose T.A. (1995). *Selling the story of Britain's stone*. Environmental Interpretation, 10, 2: 16-17.

Ponikiewska A., 2008. *Turystyka jaskiniowa jako nowatorska oferta programowa organizatora imprez turystycznych*, Warszawa (<https://tpik.pl/attachments/article/45/turystyka-jaskiniowa.pdf>).

Rubinowski Z. (1974). *Badania i udostępnienie Jaskini Raj*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 3-55.

Zieliński A., Marek A., Zwoliński Z. (2022). *Geotourism potential of show caves in Poland*. Instytut geografii i nauk o środowisku UJK. Quaestiones Geographicae 41(3): 1-3.

Źródła internetowe

Jakub Juszyński, 2022, <https://tymrazem.pl/jaskinia-raj-najpiękniejsza-jaskinia-w-polsce/>. *Jaskinia Raj – najpiękniejsza jaskinia w Polsce?* (dostęp: 12.06.2025).

Kanał YouTube Archeologia Żywa, <https://www.youtube.com/@ArcheologiaZywa> (dostęp: 26.04.2025).

Łukasz Kędziński, 2021, <https://www.lkedziński.com/polska/jaskinia-raj-perelka-jaskiniowa-w-polsce/>. *Jaskinia Raj – perelka jaskiniowa w Polsce* (dostęp: 12.06.2025).

Oficjalna strona internetowa obiektu Jaskinia Raj, <https://jaskiniaraj.pl/galeria> (dostęp: 26.04.2025).

Oficjalna strona internetowa przedsiębiorstwa Marmury Kieleckie <https://www.marmurykieleckie.pl/malik/> (dostęp: 25.04.2025).

Państwowy Instytut Geologiczny, https://muzeum.pgi.gov.pl/lekcje_int/jaskinie/powstawanie_szaty_naciekowej.html (dostęp: 12.06.2025).

Państwowy Instytut Geologiczny, <https://www.pgi.gov.pl/kielce/oddzial-swietokrzyski/dzialalnosc/15735-konferencja-popularnonaukowa-z-okazji-60-rocznicy-odkrycia-jaskini-raj.html> (dostęp: 12.06.2025).

Portal Uniwersytetu Warszawskiego, <https://www.uw.edu.pl/znaleziska-w-jaskini-raj/> (dostęp: 26.04.2025).

Radio Kielce, <https://radiokielce.pl/979640/droga-do-raju/> (dostęp: 12.06.2025).

Sekcja Speleologiczna Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, <http://www.speleo.ptpk.org/iyck.html> (dostęp: 12.06.2025).