

# *Eliksir*

ISSN 2449-5476

*czasopismo naukowo-dydaktyczne Wydziału Chemicznego PŁ*



*12/2023*

Na okładce – eksperymenty na powierzchni Księżyca.  
Grafika utworzona za pomocą „Free AI Art Generator” – koncepcja Lesław Sieroń.



## Drodzy Czytelnicy,

po rocznej przerwie spotykamy się ponownie na łamach i przy lekturze kolejnego numeru *Eliksiru*. W nowym numerze nieco miejsca zajmują biogramy naszych nauczycieli. Pierwszy dotyczy prof. dr hab. inż. Piotra Wojciechowskiego, znanego w kraju i za granicą specjalisty fizyki, chemii polimerów i innych ciał stałych, który początkowo pracował w Katedrze Fizyki, a po jej transformacjach w Katedrze Fizyki Molekularnej Politechniki Łódzkiej (PŁ). Z kolei drugi biogram przedstawia osobę i osiągnięcia dra inż. Władysława Farbotko, nauczyciela akademickiego, pracownika administracji Instytutu Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ i wybitnego działacza Okręgu Łódzkiego Polskiego Związku Filatelistów. W części naukowej, podobnie jak w poprzednich wydaniach *Eliksiru*, znalazły się artykuły naukowe o bardzo zróżnicowanej tematyce, jednak wyraźnie związane z ochroną środowiska i zdrowia człowieka, odnawialnymi źródłami energii, korozją, a także chemią budowlaną.

Przyzwyczajiliśmy się już do zajęć w oddanym do użytku w 2021 r. gmachu *Alchemium*. Jednak naszą uwagę zwraca szybko postępująca budowa drugiej części tego obiektu przewidywana do ukończenia w 2024 r. Być może wkrótce i tam będą odbywały się zajęcia dydaktyczne i laboratoryjne. W ramach tej inwestycji zostaną wzniesione dwa budynki laboratoryjno-dydaktyczne, w których znajdą się nowoczesne laboratoria chemiczne oraz naukowe.

Serdecznie zachęcamy do lektury niniejszego wydania licząc, że następny numer *Eliksiru* ukaże się w drugiej połowie 2024 roku. Zapraszamy chętnych na jego łamy zarówno z doniesieniami naukowymi, jak i relacjami z konferencji, wspomnieniami oraz wynikami pracy kół naukowych chemików.

**Komitet Redakcyjny**

# *Eliksir*

czasopismo naukowo-dydaktyczne  
Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej

### Komitet Naukowy

prof. dr hab. inż. Marek Głównka  
prof. dr hab. inż. Tomasz Janecki  
prof. dr hab. inż. Piotr Ulański  
prof. dr hab. inż. Krzysztof Strzelec  
prof. dr hab. Piotr Polanowski

### Komitet Redakcyjny

Redaktor naczelny  
dr hab. inż. Agnieszka Czyłkowska, prof. PŁ  
Zespół redakcyjny  
dr hab. inż. Dorota Adamczyk-Szabela  
dr inż. Anna Turek  
dr inż. Andrzej Żarczyński – sekretarz Redakcji

Wydawca: Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Projekt okładki: Komitet Redakcyjny „Eliksir”, L. Sieroń

Redakcja zastrzega sobie prawo do wprowadzania zmian, skracania i adiustacji tekstów

łamanie i druk: Drukarnia WIST Sp. z o.o., 95-100 Zgierz, ul. Barona 8 B, tel. 42 716 45 63

e-mail: drukarnia@wist.lodz.pl

Nr 12/2023

Wszystkie artykuły zostały zrecenzowane przez promotorów/opiekunów prac



# Spis treści:

## HISTORIA WYDZIAŁU CHEMICZNEGO ..... 5

Prof. dr hab. inż. Piotr Wojciechowski – wspomnienia 15.12.1940-08.10.2021 ..... 5

Dr inż. Władysław Farbotko 1938-2022 ..... 8

## ARTYKUŁY ..... 9

Insulina i analogi – leki peptydowe stosowane w diabetologii..... 9

Witamina C – najpopularniejsza i nadal odkrywana witamina ..... 15

Zielone inhibitory korozji ..... 20

Wstępny projekt instalacji energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi  
– aspekty techniczne, lokalizacyjne, ekonomiczne i ekologiczne ..... 25

Aerożele – nowoczesne materiały termoizolacyjne ..... 32

Powstawanie i zagospodarowanie w Polsce odpadów polistyrenowych,  
zwłaszcza styropianowych ..... 35

Ciekłe materiały chemiczne – farby, pokosty, impregnaty i lakiery  
– zagrożenia podczas użytkowania oraz przeciwdziałanie im ..... 39

Zbiornik Rochna na rzece Mroga – środowisko naturalne oraz analiza jakości wody ..... 44

Dlaczego badamy rzeki? ..... 50

Analiza przebiegu, skutków i przyczyn śnięcia ryb w rzece Odrze latem 2022 r. .... 53

## AKTUALNOŚCI ..... 58

Kategoria A+ dla Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej ..... 58

Nagrody w XIV edycji konkursu im. prof. Osmana Achmatowicza ..... 61

Na Pierwszej Łódzkiej Nocy Naukowców w EC1 nie mogło zabraknąć chemików z PŁ!

Nagrody dla absolwentów PŁ w X. edycji Konkursu „Ekologiczny magister i doktor” ..... 64

## KONFERENCJE ..... 65

XXVI Konferencja „Nowoczesne metody instrumentalne w analizie śladowej” już za nami...  
Do zobaczenia w Łodzi za rok! ..... 65

## REKLAMA ..... 68



# Prof. dr hab. inż. Piotr Wojciechowski

## – wspomnienia

### 15.12.1940-08.10.2021

**Redakcja Elikiru zwróciła się do mnie o napisanie wspomnień o moim mężu Piotrze Wojciechowskim. W moim przypadku, jego żony, nie mogą to być wspomnienia w pełnym wymiarze, zarówno o osobie jak i naukowcu. Dlatego zwróciłam się do prof. dr hab. Jacka Ulańskiego, kierownika Katedry Fizyki Molekularnej w czasie kiedy pracował tam mój mąż, o uzupełnienie moich bardzo osobistych wspomnień o część dotyczącą jego działalności naukowej i dydaktycznej. A zatem wspomnienia składają się z dwóch części: zawodowej autorstwa prof. Ulańskiego i współpracowników oraz mojej osobistej.**

*Janina Karolak-Wojciechowska*

#### Wspomnienia prof. Jacka Ulańskiego

Profesor Piotr Wojciechowski przez całe swoje dorosłe życie był związany z Wydziałem Chemicznym Politechniki Łódzkiej. Ukończył studia na Wydziale Chemicznym PŁ w roku 1964 i od razu podjął pracę w ówczesnej Katedrze Fizyki na Wydziale Chemicznym, kierowanej przez profesora Mariana Kryszewskiego, początkowo na stanowisku technicznym, a od roku 1966 jako asystent. Piotr Wojciechowski włączył się w pionierskie wówczas badania nad właściwościami elektrycznymi i magnetycznymi polimerów, prowadzone przez zespół profesora Kryszewskiego.

Po tzw. „wydarzeniach marcowych” w roku 1968 katedry na uczelniach zostały rozwiązane i utworzono instytuty, a Katedra Fizyki Wydziału Chemicznego weszła w skład Instytutu Polimerów jako Zakład Fizyki Polimerów. Piotr Wojciechowski cały czas kontynuował swoje badania pod kierunkiem prof. Kryszewskiego, który był promotorem Jego doktoratu pt. „Elektryczne i magnetyczne właściwości poli(fenylenoaminochinonów)” obronionego w roku 1972.

W roku 1999 Zakład Fizyki Polimerów przekształcił się w samodzielną Katedrę Fizyki Molekularnej i w tej nowej jednostce Piotr Wojciechowski z sukcesami rozwijał swoje pasje naukowe. Wykazywał się także zdolnościami organizacyjnymi i kierowniczymi. Podczas półrocznej nieobecności twórcy i Kierownika Katedry, prof. Jacka Ulańskiego, przejął jego obowiązki. Był to czas przeprowadzki Katedry z pomieszczeń w gmachu Wydziału Włókienniczego do obecnej lokalizacji Katedry w gmachu Wydziału Chemicz-



*Piotr Wojciechowski w pracy,  
fot. ze zbioru PP. Wojciechowskich*

nego. Profesor Wojciechowski wywiązał się w sposób bardzo rzetelny z powierzonych obowiązków i sprawnie zorganizował ze współpracownikami zarówno remont nowych pomieszczeń, jak i skomplikowaną operację przeniesienia aparatury badawczej. W tym czasie przygotował rozprawę habilitacyjną pt. „Mezomorfizm pochodnych celulozy i ich kompozytów”, która została opublikowana w Zeszytach Naukowych Politechniki Łódzkiej Nr 847 i była podstawą uzyskania stopnia doktora habilitowanego w roku 2001. W roku 2006 Piotr Wojciechowski



awansował na stanowisko profesora nadzwyczajnego i na tym stanowisku pracował aż do przejścia na emeryturę w roku 2011.

Piotr Wojciechowski był cenionym nauczycielem i wychowawcą młodych kadr naukowych. Wypromował wielu dyplomantów i czworo doktorów: Aleksandrę Jachimiak (2004 r.), Tomasza Halamusa (2008 r.), Izabelę Bobowską (2010 r.) i Agnieszkę Opasińską (2014 r.). Był wymagającym opiekunem naukowym swoich dyplomantów i doktorantów, ale równie wiele wymagał od siebie, a swoim podopiecznym poświęcał bardzo wiele czasu, zawsze gotowy do dzielenia się swoją wiedzą. Z jednym z magistrantów pracował nad jego pracą dyplomową w szpitalu, gdzie przebywał po urazie kręgosłupa.

Piotr Wojciechowski był niezwykle sumiennym, starannym i docieklwym naukowcem. Taką opinię zyskał także u swoich przełożonych i współpracowników w czasie rocznego stażu naukowego w Politechnic Institute of New York w USA w zespole prof. Y. Okamoto (1980/81), oraz w czasie krótszego stażu w Université Claude Bernard Lyon 1, Francja (1985). W Katedrze było wiadome, że Piotr zanim złożył wniosek na nowy grant, musiał mieć gotowe wyniki badań wstępnych, które były wystarczające na pierwsze sprawozdanie.

Prof. Piotr Wojciechowski był uznanym specjalistą w dziedzinie chemii i fizyki polimerów, a jego zainteresowania naukowe pokrywały szerokie spektrum zagadnień takich jak synteza, właściwości fizyczne i chemiczne oraz zastosowanie półprzewodników i fotoprzewodników organicznych, polimerów ciekłokrystalicznych czy inicjowaną światłem polimeryzację i sieciowanie polimerów. Większość prac prowadzonych przez Niego miała charakter badań podstawowych, ale Piotr Wojciechowski zawsze poszukiwał możliwości zastosowań praktycznych wyników swoich badań. Warto przytoczyć dwa przykłady z lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku, gdy Polska przeżywała głęboki kryzys gospodarczy i przemysłowy, czego efektem były m.in. bardzo ograniczone możliwości importu zaawansowanych materiałów z Zachodu. Dr Wojciechowski nawiązał wówczas współpracę z łódzką firmą PREXER, w celu zastosowania opracowanego w Zakładzie Fizyki Polimerów fotoprzewodnika polimerowego jako warstwę fotoczułą w kserografach. Drugim przykładem był opracowany przez Piotra Wojciechowskiego we współpracy z łódzkiemi i warszawskimi drukarniami polimerowy fotorezyst i technologia zastosowania go do wytwarzania matryc drukarskich.

Dr Wojciechowski zbudował wówczas w laboratorium Zakładu Fizyki Polimerów prototyp układu do nakładania metodą *roll-to-roll* na folię poliestrową warstwy fotorezystu. Opracowania te zostały przetestowane w drukarniach do drukowania gazet i opatentowane, ale upadek komunizmu i otwarcie polskiej gospodarki na świat sprawiły, że zakłady przemysłowe wolały importować gotowe technologie i materiały niż wdrażać rodzime rozwiązania. Piotr Wojciechowski za swoje osiągnięcia zawodowe był odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi, Medalem Edukacji Narodowej i Odznaką „Zasłużony dla Politechniki Łódzkiej”, wielokrotnie otrzymał też nagrody J.M. Rektora PŁ.

Piotr Wojciechowski był ceniony także jako bardzo uczynny Kolega i Przyjaciel. We wspomnieniach współpracowników i byłych doktorantów jawi się jako bardzo życzliwy człowiek, który miał bardzo szerokie zainteresowania pozanaukowe i poczucie humoru. Przy herbacie, której wypijał pewnie z dziesięć szklanek dziennie i nieodłącznym papierosie, chętnie dyskutował na różne tematy. Jedną z cech charakteru Piotra, wyniesioną z czasów przed upadkiem komunizmu, było „chomikowanie” różnych deficytowych materiałów i drobnego sprzętu laboratoryjnego. Gdy czegoś brakowało do przeprowadzenia jakiegoś doświadczenia, było wiadome, że trzeba zapytać Piotra czy przypadkiem tego nie ma. Najczęściej mówił, aby przyjść następnego dnia, to on sprawdzi (pewnie nie chciał, aby inni przeglądali z nim jego szafę ze skarbami ...) i na ogół okazywało się, że ma i nigdy nie odmawiał użyczenia innym tego, co było potrzebne.

Piotr chętnie uczestniczył w nieformalnych spotkaniach Katedry z okazji świąt oraz w corocznych piknikach, opowiadał anegdoty i zabawne wspomnienia z wojska. Takiego Piotra – bardzo sumiennego pracownika i przyjaznego kolegę – pamiętają ci, którzy mieli przyjemność z nim współpracować.

### **Wspomnienia żony prof. Piotra Wojciechowskiego, prof. Janiny Karolak-Wojciechowskiej**

Mąż mój, Piotr, przeżył w Warszawie czas Powstania Warszawskiego. Zatem jako czterolatek przeżył koszmar Powstania. Wiele tragicznych wydarzeń z tego okresu, które doskonale pamiętał, ale niechętnie wspominał, w istotny sposób wpłynęło na jego późniejsze życie. Miał





Janina i Piotr Wojciechowski, rok 2020,  
fot. ze zbioru PP. Wojciechowskich

trzy starsze siostry i dwóch młodszych braci urodzonych dwa miesiące przed wybuchem Powstania. Po wybuchu Powstania cała rodzina została wyrzucona do obozu w Pruszkowie. Praktycznie wszystko co posiadali zostało w warszawskim mieszkaniu i uległo zniszczeniu. Po opuszczeniu obozu w Pruszkowie, rodzina rozpoczęła nowe życie w Łodzi. Jego ojciec, także Piotr, był chemikiem, absolwentem Uniwersytetu Warszawskiego i rozpoczął pracę w właśnie tworzonej Uniwersytecie Łódzkiej w zespole prof. Anny Chrzęszczewskiej.

Piotr chodził do szkoły w Łodzi i uznał Łódź za swoje miasto rodzinne. Z jednym wyjątkiem. Jego matka, Halina z domu Poraj-Chotecka, pochodziła z kresów wschodnich i wpoila mu miłość do tamtych terenów. W związku z tym jego najbardziej ulubionym utworem muzycznym była ballada „Polesia czar” w wykonaniu Bernarda Ładysza. W naszym domu pieczołowicie jest przechowana kartka ze słowami tej ballady napisana ręką jego matki. Sam Piotr grał bardzo dobrze na gitarze. Maturę zdał mając 16 i pół roku. Muszę tu dodać, że oboje chodziliśmy do tej samej szkoły na Bałutach. Na podstawie wspomnień własnych, opowieści rodziców i poszukiwań, Piotr opracował historię rodzin Wojciechowskich i Choteckich.

Opis obejmuje czasy od końca wieku XIX aż do czasów współczesnych.

Przeżyliśmy razem 54 lata wychowując dwoje dzieci: syna Romana i trzy lata młodszą córkę Marię. To właśnie Maria jest zwierciadlanym odbiciem Piotra, tak ze względu na charakter jak i wygląd zewnętrzny. Nasze dzieci obdarzyły nas sześciorgiem wnucząt: Magdaleną (22), Bartoszem (20), Pauliną (18), Alicją (17), Wiktoorem (12) i najmłodszą Małgosią (prawie 8). Piotr, jako ojciec i dziadek był troskliwy (czasem aż do przesady), opiekuńczy, ale też bardzo wymagający. Uczył dzieci przede wszystkim odpowiedzialności za swoje czyny i prawdomówności. Dzielił się z nimi wiedzą starając się równocześnie zaszcześcić swoje zainteresowania. Piotr był zapalonym pszczelarzem. Nawet utarło się w rodzinie powiedzenie, że pszczoły to są jego „kochanki”. Miodu nie sprzedawał, ale rozdawał. W jego wiejskim domu do dziś znaleźć można stroje pszczelarskie dla dzieci w kilku rozmiarach. Wszystko po to, by mógł każde z wnucząt zabrać czasem do pomocy i uczyć pszczelarstwa. Największe zainteresowanie dziadkowym zajęciem wykazał wnuk Bartek.

Piotr, tak w domu jak i w pracy naukowej, zawsze robił to co najbardziej lubił. W pracy naukowej największą przyjemnością sprawiało mu wykonywanie niekończących się prób laboratoryjnych. Nowymi pomysłami sypał jak z rękawa. Gorzej było z ich opisywaniem i publikowaniem. Ma w swoim dorobku nawet dwa patenty zarejestrowane w USA w czasie jego pobytu w Nowym Jorku w latach 1980/81. Z pobylem w USA wiąże się jeszcze szczególna ocena osobowości Piotra wyrażona przez jego amerykańskiego szefa, prof. Okamoto, w liście do polskiego szefa, prof. Kryszewskiego: „*Peter is not only an excellent chemist, but also a gentleman*”. To oddaje znakomicie jego osobowość i charakter.

W pamięci swoich dzieci i wnucząt pozostanie jako ojciec i dziadek, dla którego uczciwość, cierpliwość i lojalność były prawie przysłowiowe. Wszystkie te cechy razem wzięte czyniły z niego właśnie dżentelmena w najwyższym gatunku. I jeszcze jeden jego niezwykle charakterystyczny obyczaj. Każdy kto uczył się muzyki wie, że nie wolno przeskakiwać trudnych fragmentów bez ich perfekcyjnego opanowania i jechać dalej. Piotr zawsze stosował taką właśnie technikę przy uczeniu się, a nawet czytaniu książek. Wielu, w tym i ja, żona, mu tego zazdrościło. Nasze dzieci przyjęły to za obowiązujący standard.

Piotr lubił życie spokojne, domowe, bez szaleństw.



Dr inż. Andrzej Żarczyński\*, dr Jacek Góralski

Politechnika Łódzka, Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej

\*także Koło PZF Łódź-Miasto im. inż. Czesława Danowskiego

## Dr inż. Władysław Farbotko 1938 – 2022



Dr inż. Władysław Farbotko urodził się 10 marca 1938 r. w Wilnie, a zmarł 28 listopada 2022 r. w Łodzi. Dyplom magistra inżyniera uzyskał w 1962 r., po ukończeniu studiów na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej (WCh PŁ). Od 1 października 1964 r. był zatrudniony na stanowisku asystenta, a od 1 października 1965 r. na stanowisku starszego asystenta. W roku 1972 obronił pracę doktorską „Badania nad wytrącaniem węgla wapnia i dyspergowaniu kredy naturalnej w polu ultradźwiękowym”. Promotorem jego pracy była prof. Stanisława Witekowa. Po obronie przeszedł na stanowisko adiunkta w Instytucie Chemii Ogólnej. W roku 1978 został zastępcą dyrektora do spraw administracyjnych Instytutu, a w 1998 r. wrócił na stanowisko adiunkta, z którego odszedł na emeryturę.

Oprócz grupy publikacji naukowych dr Władysław Farbotko opracował zamieszczoną w Internecie na stronie WCh PŁ „Historię Instytutu” (<https://ichoie.p.lodz.pl/historia>). Praca ta obejmuje losy macierzystego Instytutu

od powstania w 1945 r. Katedry i Zakładu Chemii Nieorganicznej oraz Katedry i Zakładu Chemii Ogólnej, dwóch z dziewięciu jednostek składowych WCh PŁ. Następnie przedstawił ewolucję tych jednostek aż do utworzenia w 1991 r. Instytutu Chemii Ogólnej i Ekologicznej z jego czterema Zespołami: Katalizy i Adsorpcji, Rentgenografii Strukturalnej i Krystalochemii, Chemii Nieorganicznej i Analitycznej oraz Technologii Chemicznej i Ochrony Środowiska, które to scharakteryzował od strony ich potencjału badawczego, kadrowego i osiągnięć.

Dr Władysław Farbotko został uhonorowany odznaczeniami państwowymi oraz kilku organizacji społecznych: w tym: Złotym Krzyżem Zasługi, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, Medalem „40-lecia Polski Ludowej”, Honorową Odznaką Miasta Łodzi, odznakami „Zasłużony Działacz Kultury”, „Zasłużony dla Województwa Łódzkiego” i „Zasłużony dla Politechniki Łódzkiej”, złotym medalem „Za Zasługi dla Polskiego Ruchu Olimpijskiego”, medalem „Za Zasługi dla łączności”, złotą odznaką „Zasłużony Pracownik łączności”, medalem „Za Zasługi dla Obronności Kraju” oraz odznaką honorową PCK.

### Naukowiec z pasją filatelisty

Dr inż. Władysław Farbotko przez dziesiątki lat umiejętnie łączył pracę zawodową – naukową i dydaktyczną na WCh PŁ z hobby filatelistycznym. W tym obszarze aktywności pełnił wiele funkcji i odniósł liczne sukcesy. Do Polskiego Związku Filatelistów (PZF) wstąpił w 1958 r. do Koła Łódź-Miasto, gdzie w latach 1969-1981 pełnił funkcję wiceprezesa Zarządu Okręgu Łódzkiego PZF, a następnie prezesa w latach 1981-2011. Jednocześnie w okresie lat 1986-1994 był wiceprezesem Zarządu Głównego PZF. Udzielał się w pracach redakcyjnych jako członek Kolegium Redakcyjnego (1967-1971), zastępca redaktora naczelnego (1971-1984) i redaktor naczelny (1984-2010) „Historyczno-Badawczego Biuletynu Filatelistycznego” (HBBF) (do 1976 r. był to „Łódzki Biuletyn Filatelistyczny”). Opublikował liczne artykuły na łamach „HBBF”, „Filatelisty”, „Filatelisty Kaliskiego”, „Filatelistyki”, „Przeglądu Filatelistycznego”, „Biuletynu Informacyjnego PZF”, „Rocznika Kaliskiego” i innych czasopism. Był autorem kilkuset haseł w „Encyklopedii Filatelistyki” wydanej w 1993 r., współautorem monografii



„Filatelistyka w Łódzkiem” – 1977 r. i „Mini-Encyklopedii Filatelistyki” – 1993 r.

Za osiągnięcia w pracy redakcyjnej i działalności publicystycznej trzykrotnie został wyróżniony Medalem „Za Zasługi dla Rozwoju Publikacji Filatelistycznych” (1972, 1977, 1994). Jako wystawca wielokrotnie z powodzeniem prezentował eksponaty tematyczne „Sto lat polskiego znaczka pocztowego” i „Bezpieczeństwo ruchu drogowego”. Wielokrotnie pełnił funkcję sędziego konkursowego I klasy w regionalnych wystawach filatelistycznych, a sześciokrotnie uczestniczył w pracach jury Wystaw Ogólnopolskich. Ponadto był współorganizatorem licznych wystaw i pokazów filatelistycznych w Okręgu Łódzkim oraz wykładownicą Studium Filatelistyki PZF. Za działalność filatelistyczną został wyróżniony m.in. Złotą Odznaką Honorową PZF, złotą odznaką „Za Zasługi dla Polskiej Filatelistyki”, medalami 25-, 30 – i 35-lecia PZF, odznakami „100 lat filatelistyki polskiej” oraz 50 – i 60-lecia PZF i tytułem „Zasłużony dla Okręgu PZF” w Łodzi, Bielsku-Białej, Bydgoszczy, Kaliszu, Katowicach, Wałbrzychu, Warszawie i Wrocławiu. Uhonorowany został także medalami

„Za Zasługi dla Rozwoju Muzeum Poczty i Telekomunikacji”, „75-lecia ruchu filatelistycznego w Łódzkiem” oraz za „Za wybitne zasługi dla filatelistyki łódzkiej” im. płk. W. Bogunia. Na XVI Walnym Zjeździe PZF w Bydgoszczy w 1994 r. otrzymał godność Członka Honorowego PZF, a w 2004 r. Polska Kapituła Filatelistyczna wyróżniła go statuetką „Prymusa” za całokształt działalności.

### Pożegnanie

Uroczystość pogrzebowa odbyła się w dniu 7 grudnia 2022 r. na Cmentarzu Rzymskokatolickim pw. św. Józefa w Łodzi przy ul. Ogrodowej 29. Władek pozostanie w naszej pamięci jako ceniony nauczyciel akademicki, wybitny filatelista i człowiek o wielkiej kulturze osobistej.

*Tekst opracowano w oparciu o materiały własne i „Biografię Farbotko Władysław”, zamieszczoną na portalu Zarządu Głównego PZF, <https://zgpzf.pl/scripts/biogram.php?id=507>, 25.11.2023.*

ARTYKUŁY

**Krzysztof Romaniuk**

e-mail: 231321@edu.p.lodz.pl

*Instytut Chemii Organicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

## Insulina i jej analogi – leki peptydowe stosowane w diabetologii

### Wprowadzenie

W obecnych czasach wydaje się, że z każdym dniem przybierają coraz to nowsze schorzenia i dolegliwości trapiące ludzkość. Wśród tych chorób, są takie, których kiedyś nikt nie diagnozował, a które swoją popularnością sprawiają, że już nawet w swoim najbliższym otoczeniu, możemy znaleźć osoby borykające się z nimi. Od nie oczywistych i w naszym regionie rzadszych chorób – jednak globalnie śmiertelnych takich jak: biegunka, malaria, HIV, ebola – przez znane każdemu: nadciśnienie, chorobę wieńcową (niedokrwienność serca), udary czy nowotwory.

Jedną z tego typu poważnych chorób jest cukrzyca, która na przestrzeni lat, dotyka coraz większego grona ludzi.

Według światowego atlasu cukrzycowego, w 2021 roku na świecie 537 mln ludzi chorowało na cukrzycę z czego 61 mln w Europie (średnio jedna na 11 osób). Szacuje się, że w 2021 roku przez cukrzycę i powodowane nią następstwa globalnie zmarło 6,7 mln dorosłych (w wieku 20-79 lat), co odpowiadało około 12,2% zgonów na świecie w tej grupie wiekowej [1].

Tak jak inne choroby, cukrzyca ma konsekwencje nie tylko dla diabetyków, ale również wpływa na gospodarkę i ekonomię państw. Całkowite wydatki związane z opieką zdrowotną dla diabetyków wyniosły w 2021 roku aż 966 mld USD na samych ludzi dorosłych w wieku 20-79 lat, a prognozowane są dynamiczne wzrosty tych kosztów [1].



## Znaczenie insuliny i jej analogów

Wyróżnia się kilka rodzajów cukrzycy. Podstawowy podział obejmuje cukrzycę typu pierwszego, typu drugiego i cukrzycę ciążową. Cukrzyca typu I charakteryzuje się tym, że układ immunologiczny atakuje komórki  $\beta$  trzustki odpowiedzialne za wytwarzanie insuliny (Rys. 1). W wyniku tego – insulina nie jest wytwarzana (lub w bardzo małej ilości z uwagi na małą liczbę komórek ją generujących). Ten typ cukrzycy występuje częściej u dzieci i wymaga ciągłego przyjmowania insuliny (ponieważ lek na nią nie istnieje – to do końca życia). Cukrzyca typu II polega na wytwarzaniu nie dostatecznej ilości insuliny przez organizm lub jej złym przyswajaniu. Dotyka ona około 80% diabetyków. W typie drugim, przyjmowanie preparatów insulinowych może jednak nie być konieczne. Stosowanie odpowiedniej diety, ruchu i kontrolowanie organizmu – poziomu glukozy – pozwala na stosowanie innych środków typu tabletki lub zrezygnowanie ze środków farmaceutycznych (co zależy jednak silnie od konkretnego przypadku). Ostatnim omawianym typem cukrzycy jest cukrzyca ciążowa. Może ona wystąpić u kobiet w ciąży (szacunkowo pojawia się u 16% kobiet oczekujących dziecka). Powoduje zwiększone ryzyko powikłań ciążowych i poporodowych jednak znika po okresie ciąży.

Ponieważ nie istnieje lek, który pozwoliłby na wyleczenie cukrzycy, jedynym wyjściem dla diabetyków jest przyjmowanie środków, które zapobiegają jej objawom. Do powikłań ostrych zalicza się, np. kwasicę ketonową, hiperglikemię i hipoglikemię (objawiające się nadmiernym pragnieniem, bólami głowy, problemami z koncentracją, niewyraźnym widzeniem i wieloma innymi efektami) czy śpiączkę. Powikłania przewlekłe natomiast skutkują obniżeniem odporności organizmu i większym narażeniem na infekcje, a także zmianami miażdżycowymi, które są przyczyną ponad

połowy zgonów diabetyków [2]. Każdy przypadek jest wyzwaniem stawianym służbom medycznym, które potrzebują odpowiednich narzędzi, aby pomagać cierpiącym (Rys. 1).

Przykładami wspomnianych wcześniej środków są podawane iniekcyjnie preparaty insulinowe, które wciąż są klasyczną metodą leczenia. Pomimo tego, że dostępne są również formy doustne i wziewne [3] (te zostaną opisane w dalszej części), są znacznie mniej popularne. Preparaty insulinowe w rzeczywistości oprócz środków pomocniczych nie zawierają jednak takiej insuliny, jaka jest hormonem naszego organizmu, ale są jej analogami i często różnią się pojedynczymi aminokwasami. Dzieje się tak przez negatywne skutki stosowania ludzkiej insuliny w formie „leku”. Przez to, że organizm ma możliwość kontroli uwalniania insuliny w odpowiednim czasie i ilości – spełnia ona swoją funkcję. Zastrzyki z nią są jednak obciążone takimi wadami jak długi czas uwalniania i nie stabilny profil działania, które jest stosunkowo krótkie. W jej przypadku występuje również wysokie ryzyko hiperglikemii. Te subtelne zmiany powodują, że konieczne było znalezienie lepszych rozwiązań. Analogi insuliny mają inny profil działania (czas i szybkość działania, bezpieczeństwo, stabilność preparatu itp.) i może on być dopasowany w zależności od potrzeb terapii. Warto zauważyć, że obecnie dostępnych jest wiele środków o bardzo zróżnicowanym czasie działania – Rys. 2 (od szybko i krótko działających, przez długo działające i o pośrednim czasie działania). Historycznie wyróżnia się insuliny o krótkim czasie działania: aspart (z którego zrezygnowano ze względu na właściwości rakotwórcze), lispro a następnie glulisine. Długim czasem działania charakteryzują się natomiast: glargine, detemir czy degludec. Obecnie poznanych jest wiele mechanizmów działania tych analogów i możliwe jest osiągnięcie efektu hipoglikemizującego szybciej i bezpieczniej

### Łańcuch A:

Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Thr-Ser-Ile-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-

Asn  
21

### Łańcuch B:

Phe-Val-Asn-Gln-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu-Val-Cys-Gly-

Glu-Arg-Gly-Phe-Phe-Tyr-Thr-Pro-Lys-Thr

Rys. 1. Struktura ludzkiej insuliny

Szybko działające    Krótko działające    Długo działające    Ultra długo działające    O pośrednim czasie działania

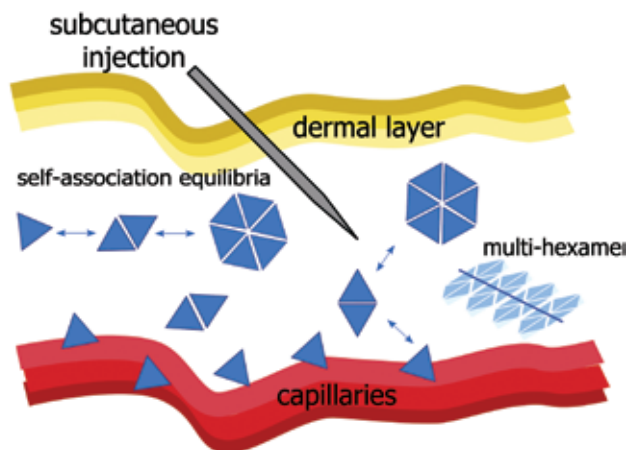
Rys. 2. Podział analogów insuliny

– ryzyko wstrząsu hipoglikemicznego jest bardzo niskie. Istotne jest wiele niuansów, które mają bardzo duże znaczenie dla pacjentów. Od różnic w pH (najlepsze jest zbliżone do pH krwi – insulina glargine podawana jest w pH 4, co jest bolesne dla pacjentów), przez formę: zawiesiny (bardziej bolesna) lub rozpuszczoną, aż po powinowactwo do receptorów (wpływa na wielkość podawanej dawki) – wszystkie te parametry i wiele innych – są ważne. Osiągnięcie coraz lepszych preparatów jest jednak kwestią czasu [3] (Rys. 2).

Oprócz właściwego działania, potrzebne jest projektowanie tego typu środków w taki sposób, aby były one szeroko dostępne – tanie i możliwe do wytworzenia w dużej skali. W czasie, który upłynął od pozyskania insuliny od rekombinowanych genetycznie bakterii (1978 roku [4]) do dnia dzisiejszego, bardzo mocno zmieniło się postrzeganie cząsteczek na poziomie molekularnym. Wykorzystując wiedzę ze świata nauki i własne doświadczenia – zespół inżynierii peptydów i białek Politechniki Łódzkiej – również włącza się w inicjatywę tworzenia nowych analogów i badań nad nimi. Przedmiotem szczególnego zainteresowania było opracowanie alternatywnej metody tworzenia analogu długo działającego: degluc, jak również jego badanie pod kontem zależności strukturalnych i potencjalnie farmakokinetycznych. Planowane są również inne prace, które być może zaowocują uzyskaniem nowych analogów długo działających – a w najgorszym razie dostarczą cennych informacji na temat zależności budowy cząsteczek i ich funkcji. Ostatecznie w taki właśnie sposób liczne skuteczne analogi insuliny przyczyniają się do opracowywania metod symulowania zachowania nowo otrzymywanych cząsteczek [5].

### Struktura a aktywność

Modyfikacje w analogach insuliny, często bardzo subtelne, owocują często bardzo silnym wpływem na ich działanie. Zmiany mogą dotyczyć pojedynczych aminokwasów czy też ligandów tych białek. Na przestrzeni lat, zrozumienie zasad mechanizmów molekularnego samoorganizowania



Rys. 3. Schemat uwalniania analogu insuliny z jej heksamerów [6]

się struktur, krystalizacji, fibrylacji i degradacji, pozwoliło na stworzenie wielu używanych obecnie analogów, a prace nad nimi przyczyniły się istotnie do zrozumienia szeroko rozumianej chemii peptydów.

Odkrycie wagi oddziaływań elektrostatycznych – nawet nie specyficznych – na przykładzie wytrącania i mikrokryształizacji insuliny przy pomocy protaminy: było ważne z punktu widzenia modulowania stabilności. Pokłosiem tego stała się zasada izoelektrycznego wytrącania podstawowych preparatów analogów insuliny (Rys. 3). Polega ona na kompensowaniu ładunków dodatnich i ujemnych w heterogenicznych łańcuchach białek insuliny. W tym kontekście bardzo ważne jest twierdzenie, że zmiana ładunku netto białka +2 sprawia, że białko te jest rozpuszczalne w kwasowym pH, ale nie rozpuszczalne w pH tkanki – 7,4 (precypitacja jest dodatkowo stabilizowana tworzeniem heksamerów z użyciem jonów  $Zn^{2+}$ ) [6]. Wytrącanie izoelektryczne było technologią potrzebną do opracowania analogu glargine (Rys. 4). W tym przypadku, łańcuch B białka jest przedłużony o dwie dodatnie arginy (Arg<sup>B31</sup> i Arg<sup>B32</sup>) [7] (Rys. 3) (Rys. 4).

Inne modyfikacje takie jak podstawienie łańcucha A: Asn<sup>A21</sup>→Gly pozwala na ominięcie degradacji katalizowanej kwasami co zwiększa stabilność heksameru (ale jest immu-

### Łańcuch A:

Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Thr-Ser-Ile-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-  
21

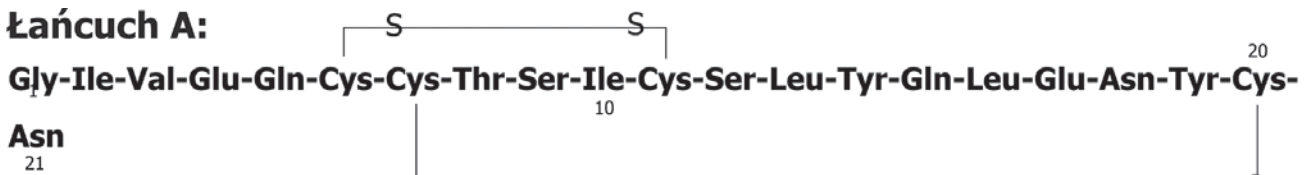
### Łańcuch B:

Phe-Val-Asn-Gln-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu-Val-Cys-Gly-  
1 10 20  
Glu-Arg-Gly-Phe-Phe-Tyr-Thr-Pro-Lys-Thr-Arg-Arg  
30 32

Rys. 4. Struktura analogu glargine



## Łańcuch A:

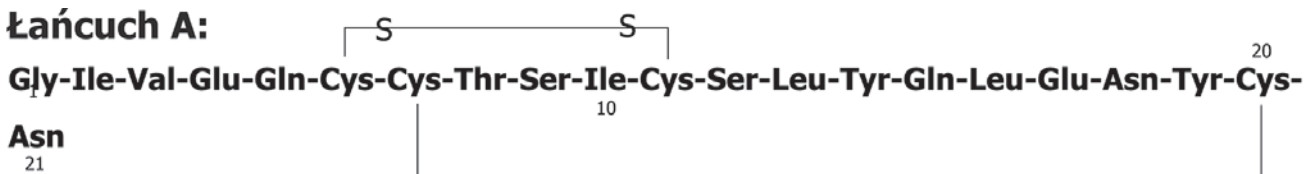


## Łańcuch B:



Rys. 5. Struktura analogu insuliny lispro

## Łańcuch A:

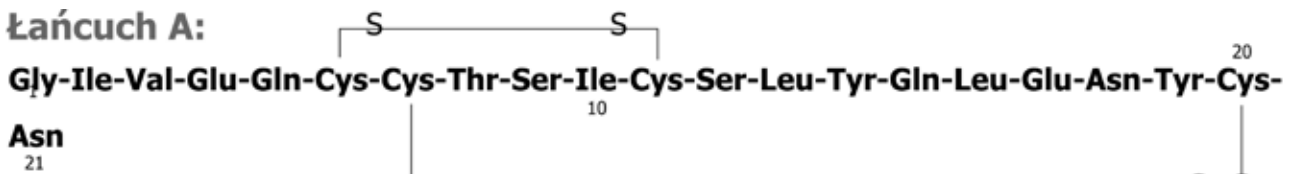


## Łańcuch B:

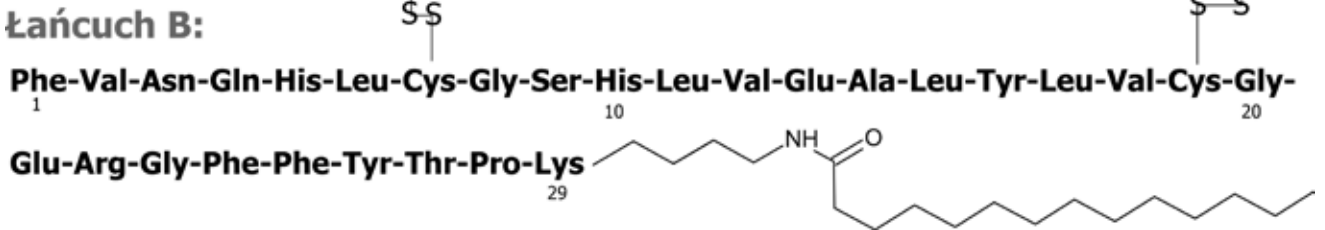


Rys. 6. Struktura analogu aspart

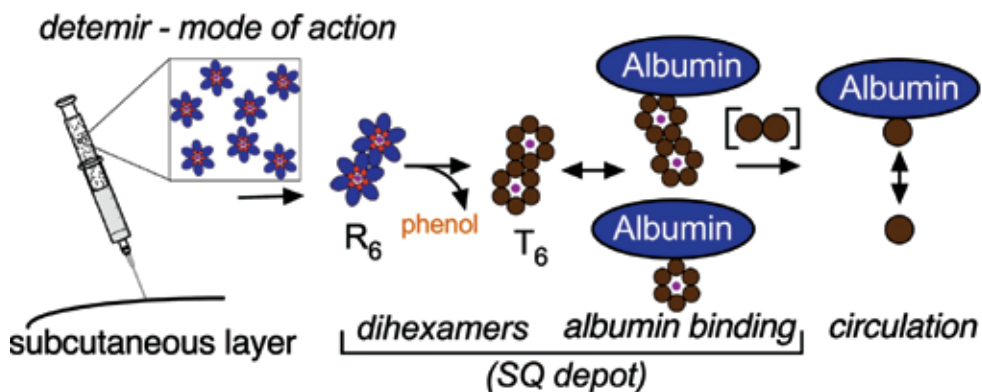
## Łańcuch A:



## Łańcuch B:



Rys. 7. Struktura analogu detemir [6]



Rys. 8. Model działania analogu detemir [6]

nogenna). Badania wskazują, że zachowanie Pro<sup>B28</sup> – przy jednoczesnej zmianie Asn<sup>B3</sup> → Lys i Lys<sup>B29</sup> → Glu powoduje tworzenie dimerów (stabilizację) oprócz heksamerów z cynkiem, co powoduje zwiększenie odporności na degradację chemiczną i fizyczną. To powoduje, że jony cynku nie są konieczne do przygotowywania preparatów w formulacji [6].

W przypadku ultra szybko działających analogów insuliny, aktywność biologiczna jest zmieniana przez strukturę czwartorzędową białka. Analog lispro, posiada stabilizację struktury z udziałem cynku (tworzą się heksamery insuliny), które są połączone z trzema ligandami fenolowymi (Rys. 5), natomiast aspart zawiera heksamery (innego typu), które zawierają sześć związanych ligandów fenolowych (Rys. 6). Przez modulację w budowie białka, można zatem modulować jego strukturę, ale nie tylko bezpośrednio (jak w przypadku fenolu). Warto tu nadmienić, że fenol ma dwa zastosowania: jest środkiem konserwującym – działa przeciwdrobnoustrojowo, jak również ma funkcję allosteryczną: montowania heksameru cynku [8] (Rys. 5) (Rys. 6).

Inne analogi, które zawierają ligandy, posiadają pewne charakterystyczne modyfikacje – nie występuje w nich Thr<sup>B30</sup> aminokwasu, ponieważ stosowane w nich ligandy, aby mogły zostać przyłączone, wymagają technologii produkcji (rekombinowanej), która nie pozwala na pozostawienie ostatniej tyrozyny w białku. Pierwszym takim analogiem był detemir – zawierał modyfikację kwasem mirystynowym (Rys. 7 i 8). Idea dodawania ligandów polega na tym, aby wykorzystać oddziaływanie z albuminą w osoczu krwi i opóźnić klirens z krwioobiegu. Wiąże się to jednak z osłabieniem oddziaływań między białkiem a receptorem insuliny – co trzeba rekompensować stężeniem analogu [6] (Rys. 7) (Rys. 8).

Drugi tego typu analog: degludec charakteryzuje się tym, że wiąże albuminę osocza krwi (Rys. 9). W obojętnym pH

zawiera on dimer heksamerów cynku, który jest mostkowany przez ligand obecny przy B29 aminokwasie – Glu-acyl. Został poznany również mechanizm, który odpowiada za tworzenie się liniowego układu heksamerów, który powoduje długi czas działania tego analogu w miarę utraty fenolu z luźnych heksamerów mostkowanych, do heksamerów nie mostkowanych. Jest to swego rodzaju wyjątek, ponieważ projektowanie strukturalne nie dawało przesłanek przypuszczeń, że te cząsteczki zachowują się w taki sposób [6].

Kolejny analog długo działający, przez stosowanie odpowiednich technik ma czas półtrwania aż 196 godzinach i szczyt działania po 16 godzinach. Mowa o analogu icodec, który ma modyfikowane białko w stosunku do białka des-B30 (nie posiadającego tyrozyny):

Thr<sup>B16</sup> → His, Phe<sup>B25</sup> → His i Tyr<sup>A14</sup> → Glu, jak również ligand (Rys. 10). Tak długi czas działania jest spowodowany przez wolniejszy klirens (od receptora insuliny) i lepsze wiązanie z albuminą [6]. Takie modyfikacje zakończyły się jednak fiaskiem, ponieważ został wykazany potencjał toksyczny dla wątroby [9]. Nie jest to jednak jedyny lek, z przeznaczeniem do rzadkiego podawanie (raz w tygodniu) [10, 11] (Rys. 9) (Rys. 10).

Inne podejścia, dążą do podawania preparatów insulino- wych z szybkim czasem działania, aby unikać hiperglikemii tuż przed posiłkiem i hipoglikemii przy przedłużającym się działaniu insuliny po posiłku. W wyniku tego, opracowywane były preparaty z podawaniem wziewnym lub do- otrzewnowym. Użyto analogu, który miał zmodyfikowany His<sup>B10</sup> → Asp, co spowodowało, że struktura białka była stabilna już bez stosowania jonów cynku, zatem dawało to szansę, aby nie było konieczności używania leku w postaci heksamerów – dzięki czemu problem wielkości jego struktur – który uniemożliwiał wytworzenie formy wziewnej – został rozwiązany. Problemem okazała się jednak kancerogenność

### Łańcuch A:

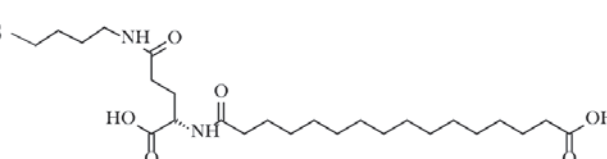
Gly-Ile-Val-Glu-Gln-Cys-Cys-Thr-Ser-Ile-Cys-Ser-Leu-Tyr-Gln-Leu-Glu-Asn-Tyr-Cys-<sup>20</sup>

Asn<sup>21</sup>

### Łańcuch B:

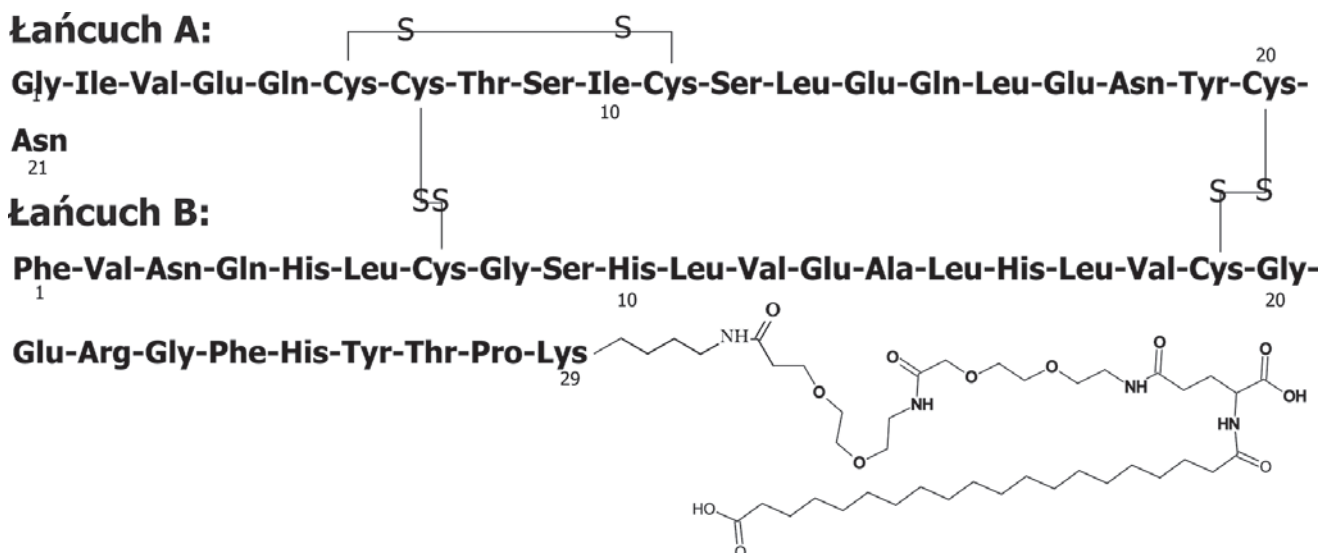
Phe-Val-Asn-Gln-His-Leu-Cys-Gly-Ser-His-Leu-Val-Glu-Ala-Leu-Tyr-Leu-Val-Cys-Gly-<sup>20</sup>

Glu-Arg-Gly-Phe-Phe-Tyr-Thr-Pro-Lys<sup>29</sup>



Rys. 9. Struktura analogu insuliny degludec





Rys. 10. Struktura analogu icodec

białka [12]. Inne modyfikacje dążące do osiągnięcia ultra szybkiego działania ciągle borykają się z problemem stabilności cząsteczki [6].

### W drodze ku przyszłości

Projektowanie preparatów insulinowych najnowszej generacji również ma na celu omijanie problemu hiperglikemii. Wykorzystywane są strategie oparte o wiązanie analogu insuliny w nieaktywny kompleks, który w miarę pojawiania się glukozy (lub innego metabolitu) w organizmie będzie ulegał przekształceniu uwalniając insulinę. Przykładami takich kompleksów może być używanie komórek endogennych [13] wyłączając jednak albuminę. Możliwe jest wykorzystanie, np. transporterów glukozy GLUT – 1. W takiej strategii insulina jest przyłączana do elementu wiążącego nośnik, który zmienia specyficzność wiązania z analogu insuliny na odpowiedni metabolit uwalniając insulinę [14]. Takiego typu przykładem jest wykorzystanie (z sukcesem) analogu insuliny, wiążącego się z fruktozą. Tak jak powyżej, użyto strategii, w której metabolit uwalnia insulinę z kompleksu. Przełącznik regulujący uwalnianie insuliny (jej ligand) wymagał: elementu wiążącego – na białku insuliny, np. czujniki kwas meta-fluoro-fenyloboronowy w Gly<sup>A1</sup> i 3,4-dihydroksybenzoestan w Lys<sup>B28</sup>. Drugie wymaganie to metabolity uwalniające białko insuliny – zastosowana z powodzeniem fruktoza daje duże oczekiwanie co do uzyskania docelowo glukozy jako przełącznika [15].

Zbadane są również bardziej wyrafinowane podejścia, które opierają się na używaniu glukagonu jako przełącznika (opiera się na fizjologicznym przełączniku w wątrobie), co pozwala na kontrolowanie hipoglikemii. W połączeniu tych dwóch podejść w formulacji preparatów, można otrzymać

świetne efekty polegające na buforowaniu a zatem kontroli hipo i hiperglikemii [6].

Wiedza zdobyta przez badaczy na przestrzeni lat z czasem się pogłębia, a nowe technologie takie jak sztuczna inteligencja czy doskonalsze techniki instrumentalne pozwalają na kreowanie nowych podejść i strategii, które są coraz bardziej potrzebne w obliczu powiększającego się kryzysu związanego z zachorowaniami na cukrzycę.

### Literatura

- [1] Magliano D. J., Boyko E. J., 2021, IDF DIABETES ATLAS, 10 edition, Brussels: International Diabetes Federation.
- [2] Portal Żywnienie ma znaczenie, Anonim, 2022, Cukrzyca – powikłania i skutki, <https://zywieniemaznaczenie.pl/cukrzyca-powiklania-i-skutki/>, 07.11.2023.
- [3] Gusarov D. A., Gusarova V. D., Bayramashvili D. I., Mironov A. F., 2008, Genetically engineered insulin and its pharmaceutical analogues, *Biochemistry Supplement Series B: Biomedical Chemistry*, Moscow, 2(4), 356–366.
- [4] Quianzon C. C., Cheikh I., 2012, History of insulin, *Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives*, 2(2), article 18701.
- [5] Ayan E., DeMirci H., 2023, A Brief Atlas of Insulin, *Current Diabetes Reviews*, tom 19(6), article no. e100622205849.
- [6] Jarosinski M. A., Dhayalan B., Chen Y.-S., Chatterjee D., Varas N., Weiss M. A., 2021, Structural principles of insulin formulation and analog design: A century of innovation *Molecular Metabolism*, 52, article 101325.
- [7] National Center for Biotechnology Information, PubChem Compound Summary for Database PubChem, Insulin Glargine, 08.10.2023.
- [8] Jacoby E., Hua Q. X., Stern A. S., Frank B. H., Weiss M. A., 1996, Structure and Dynamics of a Protein Assembly. 1H-NMR Studies of the 36 kDa R6 Insulin Hexamer, *Journal of Molecular Biology*, 258(1), 136–157.

[9] Moore M. C., Smith M. S., Sinha V. P., Beals J. M., Michael M. D., Jacober S. J., Cherrington A. D., 2014, Novel PEGylated Basal Insulin LY2605541 Has a Preferential Hepatic Effect on Glucose Metabolism, *Diabetes*, 63(2), 494–504.

[10] Wronkowitz N., Hartmann T., Görgens S. W., Dietze-Schroeder D., Indrakusuma I., Choi I. Y., Park S. H., Lee Y., Kwon S. C., Kang Y., Hompesch M., Eckel J., 2017, LAPS Insulin115 : A novel ultra-long-acting basal insulin with a unique action profile, *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 19(12), 1722–1731.

[11] Faust C., Ochs C., Korn M., Werner U., Jung J., Dittrich W., Schiebler W., Schauder R., Rao E., Langer T., 2020, Production of a novel heterodimeric two-chain insulin-Fc fusion protein, *Protein Engineering, Design and Selection*, 14(33), article gzaa026.

[12] Hansen B. F., Kurtzhals P., Jensen A. B., Dejgaard A., Russell-Jones D., 2011, Insulin X10 revisited: a super-mitogenic insulin analogue, *Diabetologia*, 54(9), 2226–2231.

[13] Baghban Taraghdari Z., Imani R., Mohabatpour F., 2019, A Review on Bioengineering Approaches to Insulin Delivery: A Pharmaceutical and Engineering Perspective, *Macromolecular Bioscience* 19(4), article 1800458.

[14] Wang J., Yu J., Zhang Y., Kahkoska A. R., Wang Z., Fang J., Whitelegge J. P., Li S., Buse J. B., Gu Z., 2019, Glucose transporter inhibitor-conjugated insulin mitigates hypoglycemia, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(22), 10744–10748.

[15] Chen Y.-S., Gleaton J., Yang Y., Dhayalan B., Phillips N. B., Liu Y., Broadwater L., Jarosinski M. A., Chatterjee D., Lawrence M. C., Hattier T., Michael M. D., Weiss M. A., 2021, Insertion of a synthetic switch into insulin provides metabolite-dependent regulation of hormone–receptor activation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(30), article e2103518118.

## Patrycja Schab

e-mail: patrycja.schab@dokt.p.lodz.pl

*Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

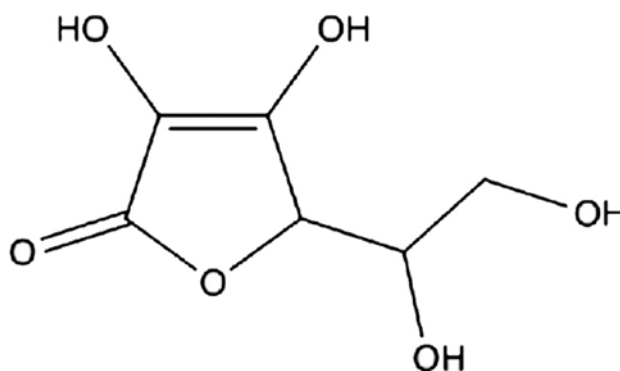
# Witamina C – najpopularniejsza i nadal odkrywana witamina

## Witamina C – ogólna charakterystyka i właściwości

Zwycięzca Nagrody Nobla Szent-Györyi po raz pierwszy wyizolował witaminę C w 1928 roku [1]. Z uwagi na fakt, że jej niedobór wywoływał skorbut (scorbutus), witaminę C nazwano kwasem askorbinowym [2]. Po niespełna stu latach od tego osiągnięcia substancja ta stanowi nadal obiekt badań naukowców na całym świecie. Jest także jedną z najbardziej popularnych witamin. W literaturze można znaleźć informacje, że również nadal wyróżnia się jako najmniej zrozumiana spośród związków z tej grupy. Ma wielokierunkowe działanie na organizm człowieka. Jednakże ten związek jest szczególnie popularny ze względu na swoje antyoksydacyjne właściwości [3].

Witamina C to pochodna sacharydów. Kwas L-askorbinowy ma wzór sumaryczny  $C_5H_8O_6$ . Jest to  $\gamma$ -lakton kwasu 2,3-dehydro-L-gulonowego. Występuje w postaci białej, krystalicznej substancji bez zapachu, o kwaśnym smaku. Ma masę cząsteczkową wynoszącą 176,13 g/mol. Posiada kwasowy charakter, wynikający z występowania w cząsteczce ugrupowania endiolowego, a szczególnie dzięki łatwości dysocjacji protonu grupy hydroksylowej przy C-3. [4].  $pK_{a1}$

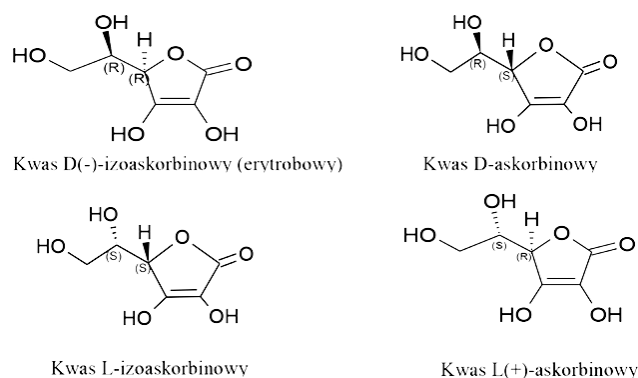
jest równe 4,17, a  $pK_{a2}$  – 11,57. Temperatura topnienia wynosi 190–192°C, a gęstość związku 1,65g/cm<sup>3</sup>. Witamina C jest substancją dobrze rozpuszczalną w wodzie (hydrofilowa cząsteczka) oraz praktycznie nierozpuszczalną w rozpuszczalnikach niepolarnych takich jak eter, chloroform czy benzen [5]. Strukturę związku stabilizuje pięciocłonowy pierścień  $\gamma$ -laktonowy, który znajduje się w centrum cząsteczki. Jego rozerwanie powoduje osydatywny rozpad kwasu L-askorbinowego z utworzeniem kwasu szczawioowego i L-treonowego [4].



Rys. 1. Struktura chemiczna kwasu askorbinowego [6]

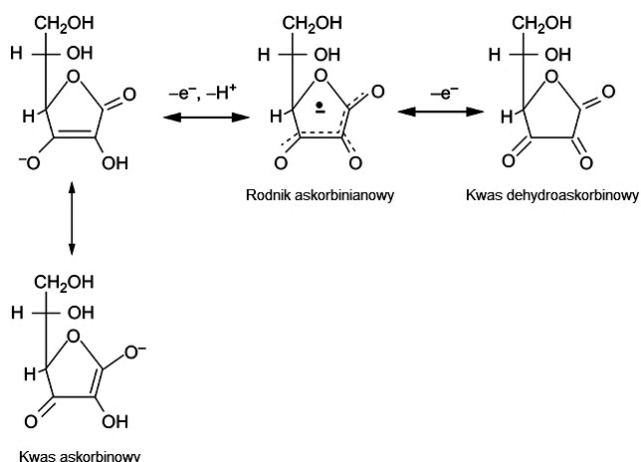


W projektowaniu leków chiralność odgrywa ważną rolę, ponieważ cząsteczki chiralne posiadają dwie formy enancjomeryczne o takich samych właściwościach chemicznych, ale różnych biologicznych. Różnice w aktywności na ludzki organizm wynikają z faktu, że systemy biologiczne także są chiralne [7, 8]. W cząsteczce kwasu askorbinowego występują dwa atomy węgla, które tworzą centra chiralności. Z tego względu teoretycznie mogą występować cztery izomery tego związku: kwas L-askorbinowy, kwas D-askorbinowy, kwas L-izoaskorbinowy oraz kwas D-izoaskorbinowy (rys. 2) [9]. W organizmach żywych tylko naturalnie występujący kwas L-askorbinowy jest bioaktywny [10]. Biorąc pod uwagę aktywność optyczną, witamina C skręca płaszczyznę światła spolaryzowanego w prawo, czyli stanowi kwas L(+)-askorbinowy [9].



Rys. 2. Stereoizomery kwasu askorbinowego [9]

Kwas askorbinowy charakteryzuje się silnymi właściwościami redukującymi, które są spowodowane występowaniem ugrupowania endiolowego, łatwo oddającego po dwa protony i elektrony. Przy fizjologicznym pH wynoszącym 7,4 witamina C występuje w postaci anionu kwasu askorbinowego. Utrata elektronu prowadzi do utworzenia rodnika kwasu askorbinowego, który ma relatywnie długi okres półtrwania (wielu sekund do minut). Strata kolejnego elektronu sprawia, że powstaje utleniona forma witaminy C, kwas dehydroaskorbinowy. Poprzez enzymatyczne lub redukcyjne szlaki metaboliczne witamina C wraca do postaci zredukowanej. Zarówno forma utleniona jak i zredukowana są czynne biologicznie i mają taką samą aktywność witaminową. Mają odrębne drogi wnikania do komórek. Kwas askorbinowy wykorzystuje transportery błonowe zależne od sodu, a kwas dehydroaskorbinowy wykorzystuje środki ułatwiające transportery glukozy. To sprawia, że witamina C jest ważnym przeciwutleniaczem [4]. Na rys. 3. przedstawiono formy kwasu askorbinowego [11].



Rys. 3. Formy kwasu askorbinowego [11]

Gatunki zwierząt posiadające w wątrobie enzym oksydazy L-gulono- $\gamma$ -laktonowej wykazują zdolność do syntezy w organizmie kwasu L-askorbinowego. Powstaje on z D-glukozy. Wyjątek stanowią m.in. małpy, świniki morskie, nietoperze owocożerne, pstrągi, łososie, a także niektóre rasy psów (np. dalmatyńczyk). Biosynteza tego związku jest także możliwa wśród roślin dzięki występowaniu dehydrogenazy galaktono-laktonowej. Kwas L-askorbinowy może powstać z D-glukozy lub D-galaktozy. W organizmie człowieka występuje defekt genu kodującego osydazę L-gulono-laktonu – ostatniego enzymu ze szlaku syntezy witaminy C. To powoduje brak możliwości syntezy tego związku. Z tego względu należy ją dostarczać z pożywieniem [4].

W przemyśle kwas L(+)-askorbinowy jest wytwarzany z D-glukozy metodą Reichsteina. Proces ten ma kilka etapów chemicznych i biotechnologicznych. Następuje katalityczne uwodornienie D-glukozy do D-sorbitolu. Reakcja zachodzi w wysokiej temperaturze i pod wysokim ciśnieniem, z wykorzystaniem niklu jako katalizatora. Następnie zachodzi biokonwersja do L-sorbozy z wykorzystaniem bakterii szczepu *Gluconobacter oxydans* przy pH 4-6 i temperaturze 30°C. Kolejnym etapem jest utlenienie L-sorbozy do kwasu 2-keto-L-gulonowego. Zostaje on przekształcany w kwas L-askorbinowy podczas laktonizacji. Otrzymuje się stały związek o czystości frakcji masowej w zakresie 96-98%. Ten wynik jest osiągnięty poprzez kilka etapów rekryształizacji z wody [12].

## Funkcje witaminy C

Na przestrzeni lat naukowcy na całym świecie próbują poznać możliwe zastosowania witaminy C w zapobieganiu lub leczeniu chorób. Wiadomo, że jest ona donorem elektronów i kofaktorem dla piętnastu enzymów ssaków. Będąc reduktorem dostarcza elektrony do reakcji zachodzących



spontanicznie oraz katalizowanych enzymatycznie. Może tworzyć układy oksydacyjno-redukcyjne z glutationem, witaminą E oraz flawonoidami. Kwas askorbinowy, będąc kofaktorem beta-hydroksylazy dopaminowej, bierze udział w syntezie adrenaliny. Witamina C jest niezbędna do syntezy kolagenu. Pełni funkcję kofaktora hydroksylazy prolinowej i hydroksylazy lizynowej, które są odpowiedzialne pośrednio za tworzenie wiązań poprzecznych między włóknami tropokolagenu. Z tego względu witamina C pomaga w utrzymaniu zdrowej tkanki łącznej, której składnikiem jest kolagen. Ułatwia gojenie się ran i złamań. Badania wskazują, że wstępne leczenie witaminą C przyspiesza regenerację ran i minimalizuje powstawanie blizn [9, 13, 14]. W badaniu na hodowlach komórkowych wykazano, że kwas askorbinowy może hamować aktywność osteoklastów czyli komórek niszczących tkankę kostną, a także stymulować dojrzewanie osteoblastów [15]. Wyniki prac badawczych potwierdzają, że keratynocyty skóry mają zdolność gromadzenia wysokich stężeń witaminy C i to w połączeniu z witaminą E zapewnia ochronę przed promieniowaniem UV. Ponadto oznaki starzenia się ludzkiej skóry można złagodzić poprzez dostarczanie witaminy C [16]. Witamina C ma duży wpływ na prawidłowe funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego. Może zapobiegać peroksydacji lipoprotein o niskiej gęstości przez reaktywne formy tlenu. To zmniejsza ryzyko powstawania miażdżycowych zmian naczyniowych, które mogą prowadzić do uszkodzenia tętnic. Ponadto ma wpływ na zapobieganie niektórym rodzajom krwotoku śródmózgowego, ponieważ chroni ściany naczyń wraz z kontrolą ciśnienia krwi [17]. Witamina C zwiększa dostępność oraz wchłanianie żelaza pochodzącego ze źródeł żelaza niehemowego. Jest to możliwe poprzez redukcję żelaza  $Fe^{3+}$  do  $Fe^{2+}$  w jednoelektrodowej reakcji, samemu przekształcając się w kwas monodehydroaskorbinowy, ponieważ żelazo jest absorbowane w dwunastnicy w postaci zredukowanej. Ma to duży wpływ w przypadku osób niespożywających pokarmu pochodzenia zwierzęcego. Potwierdzono, że suplementacja witaminą C zwiększa biodostępność żelaza ze zbóż i roślin strączkowych [4, 18]. Uzupełnianie braków witaminy C może wspomagać w leczeniu niepłodności, ponieważ w przypadku mężczyzn możliwa jest poprawa jakości nasienia. U kobiet z defektem fazy lutealnej zwiększa poziom progesteronu [19, 20]. Niektóre badania wskazują na korzystne działanie witaminy C w profilaktyce przeciwnowotworowej oraz w leczeniu różnych typów raka. Naukowcy zauważyli, że niektóre typy komórek nowotworowych albo nie rosną przy zwiększonym stężeniu witaminy C lub guz się kurczy pod wpływem dużej ilości tej substancji [21, 22]. Inne badania wskazują, że przyjmowanie kwasu askorbinowego

utrudnia przerzuty i wzrost guza [23, 24]. Możliwe, że podawanie witaminy C w dużych dawkach poprawia stan zdrowia i jakość życia pacjentów nawet w zaawansowanym stadium choroby [25]. Przeprowadzono badania, w których okazało się, że u osób mających w osoczu stężenie witaminy C powyżej 51  $\mu\text{mol/l}$  ryzyko występowania raka żołądka było o 45% niższe w porównaniu do osób ze stężeniami poniżej 29  $\mu\text{mol/l}$ . U mężczyzn ze stężeniem witaminy C w surowicy poniżej 28  $\mu\text{mol/l}$  po 12–16 latach obserwacji ryzyko zgonu z powodu nowotworu było o 62% wyższe niż u mężczyzn powyżej 73,8  $\mu\text{mol/l}$  [11]. Badano także wpływ tej substancji na układ odpornościowy organizmu. Witamina C reguluje jego działanie poprzez wpływ na aktywność fagocytów i limfocytów oraz na produkcję cytokin. Podczas infekcji czy stresu stężenie witaminy C gwałtownie spada. Wykazano, że przyjmowanie kwasu askorbinowego wspomaga układ odpornościowy i działa korzystnie w różnych stanach zapalnych [9, 26, 27]. Z prac badawczych można wnioskować, że ta substancja chroni przed równoczesnym narażeniem na metale ciężkie i promieniowanie [28]. Owoce zawierające duże ilości witaminy C mogą chronić przed hepatotoksycznością indukowaną metalami [29, 30]. Praca badawcza El-Sokkary i współpracowników wskazuje, że suplementacja witaminą C miała ochronną rolę dla płuc i mózgu szczurów narażonych na zwiększoną ekspozycję na kadm [31]. Oceniono także rolę witaminy C w zapobieganiu chorobom oczu. Wykazano, że połączenie askorbinianu z innymi przeciwutleniającymi witaminami i minerałami spowalnia postęp zaawansowanego zwyrodnienia plamki związaneego z wiekiem i utraty ostrości wzroku u osób z objawami tej choroby [32]. Witamina C razem z witaminą E ma działanie neuroprotektoryjne, więc minimalizuje ryzyko zapadnięcia na Alzheimera [33]. Potwierdzono, że u pacjentów w stanie krytycznym stężenie witaminy C w osoczu i leukocytach jest często poniżej normy. Podczas sepsy zwiększa się produkcja reaktywnych form tlenu i nadtlenoazotynów, które utleniają białka i lipidy. Ustalono, że podanie witaminy C pacjentom z sepsą wpływa na ich szybszy powrót do zdrowia [32]. Korzystne działanie witaminy C na organizm jest powiązane przede wszystkim z jej właściwościami antyoksydacyjnymi. Chroni ona makrocząsteczki biologiczne przed niebezpiecznym utlenianiem. Uniemożliwia powstawanie wolnych rodników, np. poprzez reakcje z reaktywnymi formami tlenu. Kwas askorbinowy ulegając deprotonacji tworzy anion askorbinowy, który utlenia się i tworzy rodnik – monodehydroaskorbinian. Jest to struktura korzystna energetycznie. Rodnik ten z reaguje z niebezpiecznymi wolnymi rodnikami, zapobiegając ich utlenianiu [34].



## Źródła witaminy C

W porównaniu do innych witamin, zawartość witaminy C w produktach spożywczych jest relatywnie wysoka – zwykle 10-100 mg/100g. Stosunkowo duża zawartość tej substancji jest najprawdopodobniej spowodowana faktem, że powstaje ona z cukrów, które są powszechnymi związkami w organizmach [35]. Największą zawartością witaminy C charakteryzuje się śliwka kakadu z Australii, camu-camu i acerola z Ameryki Południowej. W Europie i Azji najbogatszym źródłem tej substancji jest dzika róża i rokitnik. Ponadto czarna porzeczka, kiwi i truskawka cechują się jej wysoką zawartością, o wiele wyższą niż w popularnych cytrusach. W przypadku warzyw dobrym źródłem kwasu askorbinowego są brokuły, jarmuż czy papryka. Ilość witaminy C w kiszzonej kapuście jest bardzo wysoka. Ziemniaki nie zawierają jej dużo, jednak zwykle są często spożywane i w krajach europejskich stanowią średnio 8% całkowitego dziennego spożycia witaminy C. Ilość kwasu askorbinowego w przypadku obróbki termicznej produktów, w którym jest zawarty, gwałtownie spada (szczególnie podczas długoterminowego gotowania w dużej objętości wody). Ta substancja zostaje wypłukiwana z pożywienia. Najkorzystniejszym sposobem na przechowywanie owoców i warzyw bez utraty witaminy C jest ich zamrożenie. W Tabeli 1 przedstawiono źródła witaminy C wraz z jej zawartością [36, 37].

Tabela 1. Źródła witaminy C wraz z jej zawartością [36]

Źródło witaminy C	Zawartość witaminy C [mg/100 g <sub>świeżej masy</sub> ]
camu-camu	850-5000
acerola	820-4023
kiwi	60-78
truskawka	65
pomarańcza	41-58
cytryna	31
brokuły	25-130
jarmuż	51-120
papryka	107-154
ziemniak	8-30
kiszona kapusta	103-277

## Zalecane spożycie witaminy C

Zalecane spożycie witaminy C średnia dawka, która jest wystarczająca do zaspokojenia tej substancji prawie wszystkich (97-98%) zdrowych osób. Na jego wartość ma wpływ wiek osób i płeć. Kobiety w okresie ciąży i laktacji mają zwiększone zapotrzebowanie na witaminę C. Ponadto

palacze średnio potrzebują o 35 mg dziennie więcej tego składnika w porównaniu do osób niepalących. W Tabeli 2 zawarto zalecane dzienne spożycie witaminy C z uwzględnieniem wieku i płci. W przypadku niemowląt od urodzenia do 12 miesiąca życia ustalono odpowiednie spożycie witaminy C, która odpowiada średniemu spożyciu witaminy C u zdrowych niemowląt karmionych piersią. Wartość odpowiedniego spożycia zakłada, że przyjmowanie substancji w takiej dawce zapewnia odpowiednią wartość odżywczą. Jest ona ustalana w sytuacji, gdy liczba zbadanych przypadków jest niewystarczająca do opracowania wartości zalecanego dziennego spożycia. Niemowlęta do szóstego miesiąca życia powinny przyjmować 40 mg witaminy C dziennie. Odpowiednie spożycie między siódmym a 12 miesiącem powinno wynosić 50 mg każdego dnia. Wartości te są takie same dla obu płci [38].

Tabela 2. Zalecane dzienne spożycie witaminy C w zależności od wieku i płci [38]

Wiek [lata]	Zalecane dzienne spożycie witaminy C [mg]	
	Mężczyźni	Kobiety
1-3	15	15
4-8	25	25
9-13	45	45
14-18	75	65
>19	90	75

## Wchłanianie witaminy C

Witamina C jest wchłaniana z pożywienia w jelitach. W zależności od dawki może być absorbowana od 70 do 95%. W przypadku dużej zawartości cukrów wartość ta się zmniejsza. Stężenie kwasu askorbinowego w osoczu nie jest stałe, ponieważ na jego wartość mają wpływ różne czynniki, m.in. dostarczane pożywienie. Jednak osiąga poziom ok. 1,5 mg/dl. Witamina C jest gromadzona w m.in. limfocytach, mózgu, tarczycy, śledzionie, płucach, wątrobie. Jej zawartość w nadnerczach, przysadce mózgowej, grasicy, ciałku żółtym i siatkówce jest nawet stukrotnie wyższa niż w osoczu. Kotransportery sodowo-askorbinowe dostarczają witaminę C do komórek w formie zredukowanej na drodze transportu aktywnego. Transportery glukozowe przenoszą zaś jej formę utlenioną. Jest ona szybko konwertowana w komórkach do kwasu askorbinowego. Organizm wydalą witaminę C wraz z moczem w formie utlenionej [9, 39].

## Skutki niedoboru i nadmiaru witaminy C

Niedobór i nadmiar witaminy C w organizmie człowieka zaburza prawidłowe funkcjonowanie organizmu oraz może mieć poważne konsekwencje dla zdrowia i życia. Skorbut jest wywołany w wyniku ostrego niedoboru witaminy C, a nieleczony może być śmiertelny. Początkowe objawy niedoboru zwykle to zmęczenie, złe samopoczucie oraz zapalenie dziąseł. Dalszy niedobór tej substancji ujawnia się poprzez wybroczyny, bóle stawów czy słabe gojenie się ran. Jest to związane z zaburzeniem syntezy kolagenu. Może występować depresja, opuchnięte i krwawiące dziąsła, a nawet utrata zębów z powodu kruchości tkanek i naczyń włosowatych. Zmniejszone wchłanianie żelaza niehemowego w wyniku zbyt małego spożycia witaminy C powoduje anemię [40]. Spożycie witaminy C musi spaść poniżej ok. 10 mg/dobę przez wiele tygodni, aby doprowadzić do gnilca [41]. Występują jednak grupy osób szczególnie narażone na niedobór witaminy C. Należą do nich: palacze i bierni „palacze”; niemowlęta karmione krowim mlekiem, szczególnie gotowanym; osoby nadużywające alkoholu lub narkotyków; osoby z chorobami psychicznymi oraz niektóre osoby starsze lub ubogie, które przygotowują sobie jedzenie o ograniczonej różnorodności. Ponadto pacjenci z zaburzeniami wchłaniania jelitowego oraz z niektórymi chorobami przewlekłymi (np. nowotwory czy niewydolność nerek) są zagrożeni deficytem tej substancji [38].

Witamina C charakteryzuje się niską toksycznością. Nie zaobserwowano poważnych skutków ubocznych przy zażywaniu dużych jej ilości. Przeważnie nadmiar jest wydalany z organizmu wraz z moczem. Nadmiar tej substancji może powodować czasami takie dolegliwości jak: biegunka, nudności, skurcze brzucha i inne zaburzenia żołądkowo-jelitowe. Nadmierne jej spożycie może zwiększyć wydalanie szczawianu i kwasu moczowego z moczem, a to może spowodować wystąpienie kamieni nerkowych. Jest to szczególnie prawdopodobne w przypadku osób z zaburzeniami czynności nerek [41]. Wysokie dawki witaminy C u osób chorych na anemię sierpowatą mogą wywołać ostry kryzys komórek sierpowatych [4].

## Wnioski

Witamina C jest niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Choć została odkryta dawno temu, nadal stanowi obiekt zainteresowania naukowców. Charakterystyczna budowa związku sprawia, że posiada on duże właściwości antyoksydacyjne. Ma to wpływ na zapobieganie różnym chorobom. Jednak potrzebnych jest wiele badań, aby w pełni zrozumieć działanie witaminy C na organizm. Możliwe jest również używanie witaminy C w tworzeniu

związków koordynacyjnych. Będzie to opisane w drugiej części artykułu.

## Literatura

- [1] Szent-Gyorgyi A., 1928, Observations on the function of peroxidase systems and the chemistry of the adrenal cortex: Description of a new carbohydrate derivative, *Biochemical Journal*, 6, 1387-1409.
- [2] Maćkowiak K., Torliński L., 2007, Współczesne poglądy na rolę witaminy C w fizjologii i patologii człowieka, *Nowiny Lekarskie*, 4, 349-356.
- [3] Zumreoglu-Karan B., 2006, The coordination chemistry of Vitamin C: An overview, *Coordination Chemistry Reviews*, 250, 2295 – 2307.
- [4] Janda K., Kasprzak M., Wolska J., 2015, Vitamin C – structure, properties, occurrence and functions, *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 4, 419-425.
- [5] O’Neil M. J., *The Merck Index – An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*, Royal Society of Chemistry, Londyn, 2013.
- [6] Jovic T. H., Ali S.R., Ibrahim N., Jessop Z. M., Tarassoli S. P., Dobbs T. D., Holford P., Thornton C. A., Whitaker I.S, 2020, Could Vitamins Help in the Fight Against COVID-19?, *Nutrients*, 9, 2550.
- [7] Brooks W. H., Guida W. C., Daniel K. G., 2011, The significance of chirality in drug design and development, *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 11, 760.
- [8] Pandey I.; Jha S. S., 2015 Molecularly imprinted polyaniline-ferrocene-sulfonic acid-Carbon dots modified pencil graphite electrodes for chiral selective sensing of D-Ascorbic acid and L-Ascorbic acid: A clinical biomarker for preeclampsia, *Electrochimica Acta*, 182, 917-928.
- [9] Kalemba-Drożdż M., 2018 Witamina C w leczeniu nowotworów i profilaktyce chorób niezakaźnych, *Państwo i Społeczeństwo*, 28, 91-104.
- [10] Leffingwell J. C., 2003, Chirality & Bioactivity I.: Pharmacology, *Leffingwell Reports*, 3, 1-27.
- [11] Granger M., Eck P., 2018, Dietary Vitamin C in Human Health, *Advances in Food and Nutrition Research*, 83, 281-310.
- [12] Duliński R., 2010, Biotechnologiczne metody produkcji witamin z wykorzystaniem mikroorganizmów, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 68, 5-19.
- [13] Padayatty S. J., Levine M., 2016, Vitamin C: the known, the unknown, and Goldilocks, *Oral Diseases*, 6, 463-493.
- [14] Jagetia G. C., Rajanikant G. K., Mallikarjun R., 2007, Ascorbic acid increases healing of excision wounds of mice whole body exposed to different doses of c-radiation, *Burns*, 2007, 33, 484-494.
- [15] Ratajczak A., Szymczak-Tomczak A., Skrzypczak-Zielińska M., Rychter A., Zawada A., Dobrowolska A., Krela-Kaźmierczak I., 2020, Vitamin C Deficiency and the Risk of Osteoporosis in Patients with an Inflammatory Bowel Disease, *Nutrients*, 12, 2263.
- [16] Pullar J., Carr A., Vissers M., 2017, The Roles of Vitamin C in Skin Health, *Nutrients*, 9, 866.
- [17] Khonsary S. A., Vitamin C in human health and disease, 2021, *Surgical Neurology International*, 12, 142.
- [18] Zhang Y., Zhao D., Xu J., Xu C., Dong C., Liu Q., 2013, Effects of dietary factors on the pharmacokinetics of (58)Fe-labeled hemin after oral administration in normal rats and the iron-deficient rats, *Biological Trace Element Research*, 153, 243-250.



- [19] Verma A., Kanwar K. C., 1998, Human sperm motility and lipid peroxidation in different ascorbic acid concentrations: an invitro analysis, *Andrologia*, 30, 325-329.
- [20] Henmi h., Endo T., Kitaiima Y., 2002, Effects of ascorbic acid supplementation on serum progesterone levels in patients with a luteal phase defect, *Fertility and Sterility*, 80, 459-461.
- [21] Chen Q., Espey M.G., Krishna M.C., Mitchell J.B., Corpe C.P., Buettner G.R., 2005 Pharmacologic ascorbic acid concentrations selectively kill cancer cells: action as a pro-drug to deliver hydrogen peroxide to tissues, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 13604–13609.
- [22] Cabanillas F., 2010, Vitamin C and cancer: what can we conclude—1, 609 patients and 33 years later? *Puerto Rico Health Sciences Journal*, 29, 215-217.
- [23] Cha J., Roomi M.W., Ivanov V., Kalinovsky T., Niedzwiecki A., Rath M., 2011, Ascorbate depletion increases growth and metastasis of melanoma cells in vitamin C deficient mice, *Experimental Oncology*, 33, 226-230.
- [24] Cha J., Roomi M.W., Ivanov V., Kalinovsky T., Niedzwiecki A., Rath M., 2013, Ascorbate supplementation inhibits growth and metastasis of B16FO melanoma and 4T1 breast cancer cells in vitamin C-deficient mice, *International Journal of Oncology*, 42, 55–64.
- [25] Yeom C. H., Jung G.C, Song K. J., 2007, Changes of terminal cancer patients' health-related quality of life after high dose vitamin C administration, *Journal of Korean Medical Science*, 22, 7-11.
- [26] Wintergerst E. S., Maggini S., Hornig D. H., 2006, Immune-enhancing role of vitamin C and zinc and effect on clinical conditions, *Annals of Nutrition and Metabolism.*, 50, 85-94.
- [27] Chambial S., Dwivedi S., Shukla K., Kant J., Placheril J., Sharma P., 2013, Vitamin C in Disease Prevention and Cure: An Overview, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 28, 314–328.
- [28] Gajawat S., Sancheti G., Goyal P.K, 2005, Vitamin C against concomitant exposure to heavy metal and radiation: a study on variations in hepatic cellular counts, *Asian Journal of Experimental Sciences*, 19, 53–58.
- [29] Singh S., Rana S.V., 2010, Ascorbic acid improves mitochondrial function in liver of arsenic-treated rat, *Toxicology and Industrial Health*, 26, 265-272.
- [30] Singh M. K., Dwivedi S., Yadav S. S, Sharma P., Khattri K., 2013, Arsenic-induced hepatic toxicity and its attenuation by fruit extract of *Embolica officinalis* (amla) in mice, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 29, 29-37.
- [31] El-Sokkary G. H., Awadalla E. A., 2011, The protective role of vitamin C against cerebral and pulmonary damage induced by cadmium chloride in male adult albino rat, *The Open Neuroendocrinology Journal*, 4, 1–8.
- [32] Grosso G., Bei R., Mistretta A., Marventano S., Calabrese G., Masuelli L., Giganti M., Modesti A., Galvano F., Gazzolo D., 2013, Effects of vitamin C on health: a review of evidence. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 18(3), 1017-1029.
- [33] Colin R., Preedy M., Preedy V.R., *Diet and Nutrition in Dementia and Cognitive Decline*, Academic Press, Cambridge, 2015.
- [34] Njus D., Kelley P.M., Tu Y.J., Schlegel B.H., 2020, *Ascorbic Acid: The Chemistry Underlying Its Antioxidant Properties*, *Free Radical Biology and Medicine*, 159, 37-43.
- [35] Linster C.L., Schaftingen E., 2007, Vitamin C. Biosynthesis, recycling and degradation in mammals, *FEBS J.*, 274, 1-22.
- [36] Dosedel M., Jirkovsky E., Macakova K., Kujovska-Krcmova L., Javorska L., Pourova J., Mercolini L., Remiao F., Novakova L., Mladenka P., 2021, Vitamin C – Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination, *Nutrients*, 13, 615.
- [37] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on dietary reference values for vitamin C, 2013, *EFSA Journal*, 11, 3418.
- [38] National Institutes of Health, Vitamin C – Fact Sheet for Health Professional, <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional>, 12.10.2023.
- [39] Corti A., Casini A.F., Pompella A., 2010, Cellular Pathways for Transport and Efflux of Ascorbate and Dehydroascorbate, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 500, 107-115.
- [40] Weinstein M., Babyn P., Zlotkin S., 2001, An orange a day keeps the doctor away: scurvy in the year 2000, *Pediatrics*, 108, 55.
- [41] Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*, National Academy Press, Washington 2000.

## Aleksander Kucharek, Elżbieta Kuśmierek

e-mail: [aleksander.kucharek@dokt.p.lodz.pl](mailto:aleksander.kucharek@dokt.p.lodz.pl); [elzbieta.kusmierek@p.lodz.pl](mailto:elzbieta.kusmierek@p.lodz.pl)

*Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

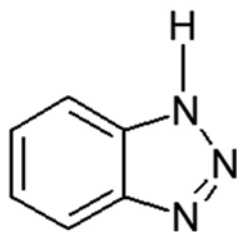
# Zielone inhibitory korozji

## Wprowadzenie

Korozja jest zjawiskiem, z którym spotykamy się praktycznie codziennie. Powoduje ona niszczenie wielu materiałów, a wynikiem tego są niebagatelne sumy pieniędzy wydawane na usuwanie skutków tego procesu. Szacuje się, że w Stanach Zjednoczonych bezpośrednie koszty korozji w 1998 roku wyniosły 275 miliardów dolarów, co odpowiada 3,1% PKB [1].

Jedną z metod ochrony przed tym zjawiskiem jest stosowanie inhibitorów korozji. Powszechnie stosowane inhibitory korozji są substancjami, które często wykazują negatywny wpływ nie tylko na środowisko, ale także na zdrowie człowieka. Przykładem takiego związku chemicznego może być benzotriazol [2], którego strukturę chemiczną przedstawiono na Rys. 1.





Rys. 1. Struktura chemiczna 1,2,3-benzotriazolu

Z tego powodu, w ostatnich latach zielone inhibitory korozji zyskują coraz większą popularność. Są to związki chemiczne pochodzenia naturalnego, których zadaniem jest spowolnienie procesów korozyjnych metali i stopów. Nie wykazują one szkodliwego działania ani dla zdrowia człowieka, ani dla środowiska. Kolejną zaletą takich inhibitorów jest fakt, że na ogół są one tańsze od nieekologicznych odpowiedników, a przy tym zapewniają równie satysfakcjonującą wydajność inhibicji korozji.

### Rodzaje korozji

W zależności od dobranych kryteriów, można wyróżnić kilka podziałów korozji. Jednym z nich jest geometria oraz lokalizacja obszarów zmian korozyjnych, a także warunki, w których korozja zachodzi. Biorąc pod uwagę powyższe kryteria klasyfikacyjne, można wyodrębnić następujące rodzaje korozji [3]:

- korozja ogólna (równomierna) – ubytek materiału warstwy wierzchniej następuje równomiernie wskutek reakcji metalu ze środowiskiem korozyjnym,
- korozja wżerowa (pitting) – korozja lokalna, która dotyczy głównie metali w stanie pasywnym, zachodząca w środowiskach zawierających jony halogenkowe,
- korozja naprężeniowa – powodowana przez jednoczesne działanie agresywnego środowiska korozyjnego oraz czynników mechanicznych,
- korozja gazowa – zachodzi w środowisku utleniającym w podwyższonej temperaturze, na skutek dyfuzji utleniacza w głąb materiału.

Biorąc pod uwagę środowisko, w jakim zachodzi korozja oraz jej mechanizm, znane są następujące rodzaje korozji [4]:

1. Korozja w środowisku wilgotnym zachodząca według mechanizmu elektrochemicznego:
  - korozja w wodzie i roztworach wodnych,
  - korozja atmosferyczna,
  - korozja w glebie,
2. Korozja w stopionych solach zachodząca zgodnie z mechanizmem elektrochemicznym,
3. Korozja w gazach suchych, zachodząca według mechanizmu chemicznego,

4. Korozja w bezwodnych cieczach organicznych oraz gazach, zachodząca według mechanizmu chemicznego:
  - korozja w węglowodorach chlorowanych,
  - korozja w alkoholach,
5. Korozja w metalach stopionych, zachodząca według mechanizmu fizycznego.

Elektrochemiczny mechanizm korozji polega na tworzeniu się mikroogniw korozyjnych na powierzchni metalu. Na obszarach anodowych metal utlenia się i przechodzi do roztworu w postaci jonów. Na obszarach katodowych natomiast może dochodzić do redukcji jonów wodorowych bądź tlenu rozpuszczonego w wodzie [3].

Mechanizm chemiczny korozji zachodzi w przypadku materiałów o małej bądź praktycznie zerowej przewodności. Korozję chemiczną wywołują związki chemiczne takie, jak np.: gorące gazy spalinowe, ropa naftowa oraz jej pochodne, suche gazy –  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  [3].

Mechanizm fizyczny korozji występuje w przypadku rozpuszczania lub pęknięcia metali stałych, które stykają się z metalami ciekłymi, jak np. ołów czy rtęć. Korozja w tym przypadku nie jest spowodowana reakcjami chemicznymi, a fizycznym procesem rozpuszczania materiału z wytworzeniem stopu [4].

### Metody ochrony przed korozją

Istnieje wiele rodzajów metod ochrony przed korozją. Na szczególną uwagę zasługują inhibitory korozji, czyli substancje, które w środowisku korozyjnym spowalniają szybkość korozji poprzez hamowanie procesów anodowych, katodowych lub obu równocześnie [4].

#### Inhibitory anodowe

Inhibitory anodowe zwiększają napięcie polaryzacji anodowej, przesuwając przy tym potencjał korozji w kierunku bardziej dodatnim. Zazwyczaj są to aniony, które w roztworze elektrolitu przemieszczają się do powierzchni metalu i ulegają adsorpcji na powierzchniach anodowych. Przykładami takich związków chemicznych mogą być ortofosforany, krzemiany czy benzoesany. Pomimo dobrej efektywności tych inhibitorów, mogą one zadziałać w niepożądany sposób. W przypadku użycia zbyt małego stężenia inhibitora, nie jest on w stanie całkowicie pokryć powierzchni anodowej metalu. Wówczas ta powierzchnia jest relatywnie mała w porównaniu z powierzchnią katodową, co może prowadzić do korozji wżerowej [4].

#### Inhibitory katodowe

Jako inhibitory katodowe najczęściej stosowane są kationy, przesuwające się w roztworze wodnym w stro-



nę obszarów katodowych metalu, na których mogą się osadzać. W wyniku tego procesu, powierzchnia metalu zostaje częściowo zablokowana (odizolowana). Przykładem takich inhibitorów mogą być kationy  $As^{3+}$  lub  $Sb^{3+}$ , które spowalniają procesy korozyjne żelaza w środowisku kwasowym [4].

### Organiczne inhibitory mieszane

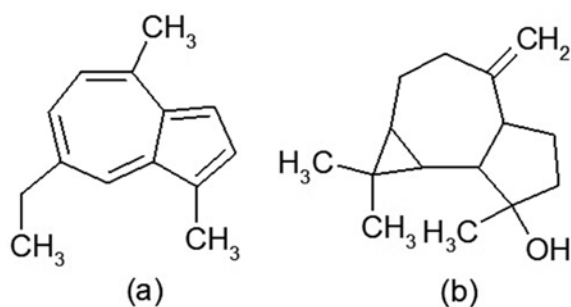
Organiczne inhibitory mieszane zawierają azot, siarkę bądź oba te pierwiastki. Adsorbują się na całej powierzchni metalu, tzn. na obszarach anodowych i katodowych. Nazywane są też inhibitorami anodowo-katodowymi, gdyż mają zdolność do spowalniania zarówno procesów anodowych, jak i katodowych. Do grupy organicznych inhibitorów mieszanych zaliczyć można np. aminy bądź związki zawierające siarkę w postaci  $S^{2-}$  [4].

### Zielone inhibitory korozji

Zielonymi inhibitorami korozji mogą być ekstrakty z roślin, które zawierają związki organiczne, takie jak np. ketony, aldehydy, kwasy. W ostatnich latach obserwuje się znaczący wzrost zainteresowania tymi substancjami, jako środkami ochrony przed korozją [5]. Zielone inhibitory pozyskiwane są na ogół w procesach ekstrakcji. Zaletą ekstrakcji jest dosyć prosta procedura, która nie wymaga zastosowania skomplikowanej aparatury. Ekstrakty zawierają substancje aktywne pochodzące z roślin lub ich części (liście, łodygi, korzenie, kwiaty). Charakteryzują się właściwościami przeciwtleniającymi, przeciwzapalnymi, przeciwwirusowymi oraz antybakteryjnymi. Fitozwiązki obecne w ekstraktach roślinnych stosuje się jako inhibitory korozji ze względu na ich zdolność do adsorpcji na powierzchni metalu, co powoduje powstanie powłoki ochronnej blokującej miejsca aktywne [6]. Istotną zaletą zielonych inhibitorów korozji

jest również ich biodegradowalność, a także odnawialność, co znacznie ułatwia ich utylizację [7,8].

Przykładem zielonych inhibitorów mogą być związki zawarte w ekstraktach z kalafiora, które wykorzystano do zabezpieczenia stali Q235 przed korozją w środowiskach kwaśnych. Otrzymane wyniki wskazywały na efektywność inhibicji na poziomie 90% [5]. Innym przykładem rośliny, której ekstrakt można wykorzystywać jako inhibitor korozji, jest rumianek. Obecne są w nim takie związki chemiczne, jak chamazulen, czy spatulenol, które wykazują aktywność biologiczną [9]. Wyniki badań stali w 0,5 M roztworze NaCl, przy użyciu ekstraktu z rumianku wskazują na efektywność inhibicji wynoszącą 98,9%. Dla stali miękkiej natomiast, w przypadku której inhibitor adsorbował się na powierzchni metalu, przez co uległa zmianie energia aktywacji, otrzymano wydajność inhibicji wynoszącą 93,3% [9]. Na Rys. 2 przedstawiono strukturę chemiczną chamazulenu i spatulenolu.

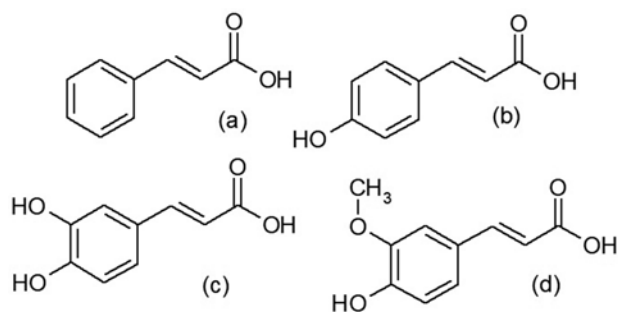


Rys. 2. Struktury chemiczne chamazulenu (a) i spatulenolu (b)

Ciekawymi zielonymi inhibitorami wydają się być kwas cynamonowy oraz jego pochodne (kwas kumarowy, kofeiny i ferulowy). Struktury tych związków są pokazane na Rys. 3, a ogólne informacje dotyczące tych związków są przedstawione w Tabeli 1.

Tabela 1. Ogólne informacje dotyczące kwasu cynamonowego i jego pochodnych [10]

Nazwa związku	Nazwa IUPAC	Wzór cząsteczkowy	Masa molowa, [g/mol]	CAS no.
kwas cynamonowy	kwas (E)-3-fenylprop-2-enowy	$C_9H_8O_2$	148,17	140-10-3
kwas kumarowy	kwas 3-(4-hydroksyfenyl)-prop-2-enowy	$C_9H_8O_3$	164,15	501-98-4
kwas kofeiny	kwas (E)-3-(3,4-dihydroksyfenyl)prop-2-enowy	$C_9H_8O_4$	180,16	331-39-5
kwas ferulowy	kwas (E)-3-(4-hydroksy-3-metoksyfenyl)prop-2-enowy	$C_{10}H_{10}O_4$	194,18	537-98-4



Rys. 3. Struktury chemiczne kwasu cynamonowego (a), kumarowego (b), kofeinowego (c) i ferulowego (d)

Kwas cynamonowy zyskuje coraz większe zainteresowanie ze względu na właściwości biologiczne i farmakologiczne. Znajduje on również zastosowanie jako inhibitor korozji stali węglowej. Zbadano wydajność inhibicji kwasu cynamonowego bez oraz z dodatkiem 2 mM roztworu KI. Z rezultatów wynika, że wydajność inhibicji kwasu cynamonowego wynosi 70%, a dodatek KI powoduje jej zwiększenie do 80% [11].

Jedną z pochodnych kwasu cynamonowego, wykorzystanych jako inhibitor korozji, jest kwas kumarowy. Sprawdzone wydajność inhibicji zarówno powłok ochronnych wykonanych z tego związku chemicznego, jak i samego kwasu, jako dodatku do środowiska korozyjnego. Z rezultatów badań wynika, że lepszą metodą ochrony żelaza jest nakładanie warstewek kwasu o-kumarowego. Maksymalna wydajność inhibicji, jaką udało się otrzymać stosując tę metodę, to 82%. W przypadku dodatku tego związku do środowiska korozyjnego, maksymalna wydajność inhibicji wyniosła 60%. Nieznacznie gorsze wyniki uzyskano dla kwasu p-kumarowego [12].

Kwas kofeinowy jest również pochodną kwasu cynamonowego. Jako zielony inhibitor korozji był wykorzystany do ochrony stali miękkiej w środowisku kwasowym. Maksymalna wydajność inhibicji, jaką udało uzyskać, wynosiła aż 96% [13].

W ekstrakcie z miechunki peruwiańskiej obecny jest kwas ferulowy, który został wykorzystany, jako inhibitor korozji stali w kwasie fosforowym. Badania potwierdziły tworzenie się warstewki ochronnej kwasu ferulowego na powierzchni metalu, a wydajność inhibicji wyniosła około 80% [14].

Zielone inhibitory korozji można dodawać do środowiska korozyjnego, powodując jego modyfikację, ale również można je wykorzystać do wytworzenia powłok ochronnych na chronionej powierzchni metali i stopów.

#### Otrzymywanie zielonych inhibitorów

Istnieje wiele metod ekstrakcji służących do pozyskiwania zielonych inhibitorów. W każdym przypadku jednak, pierwszym krokiem jest wybranie tej części rośliny, w której znaj-

duje się największe stężenie pożądanej substancji aktywnej. Ekstrakty można wykonać ze wszystkich części roślin, tzn. liści, łodyg, korzeni, owoców, a w każdej z nich obecne są inne fitozwiązki [6]. Procesy ekstrakcji na ogół polegają na separacji ciała stałe/ciecz, w której zanurza się roślinę w odpowiednio dobranym rozpuszczalniku. W celu otrzymania zielonych inhibitorów korozji najczęściej, myje się, suszy, a następnie rozgniata się korzenie, korę, liście lub inne części roślin aż do otrzymania proszku. Proszek taki poddaje się ekstrakcji rozpuszczalnikami organicznymi, takimi jak etanol czy metanol, w których pozostawia się go do nasiąknięcia przez 1 do 3 dób w temperaturze pokojowej. Mieszanina następnie jest filtrowana w celu uzyskania rozpuszczonego ekstraktu roślinnego. Aby otrzymać zielony inhibitor należy następnie podgrzać roztwór ekstraktu w celu usunięcia nadmiernej ilości rozpuszczalnika. Otrzymane ekstrakty roślinne są później wykorzystywane do przygotowania roztworów inhibitora korozji i są testowane pod kątem wydajności inhibicji w odniesieniu do różnych metali i stopów [7].

#### Badania korozyjne

Badania procesów korozyjnych można wykonywać w warunkach laboratoryjnych albo w warunkach naturalnych [3,4]. Zatem wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje badań korozyjnych: badania laboratoryjne i badania eksploatacyjne. Badania laboratoryjne obejmują badania długotrwałe (modelowe) i badania przyspieszone.

##### Badania eksploatacyjne

Badania eksploatacyjne obejmują zarówno próby technologiczne, jak i badania polowe. W próbach technologicznych dąży się do określenia najlepszych metod ochrony przed korozją dla danego urządzenia przemysłowego. Natomiast w badaniach polowych, pomiary wykonuje się w warunkach naturalnych i mają one na celu znalezienie materiałów najbardziej wytrzymałych na korozję w badanych warunkach oraz zaproponowanie najbardziej skutecznej metody ochrony przed korozją w tych warunkach [4].

##### Badania laboratoryjne długotrwałe

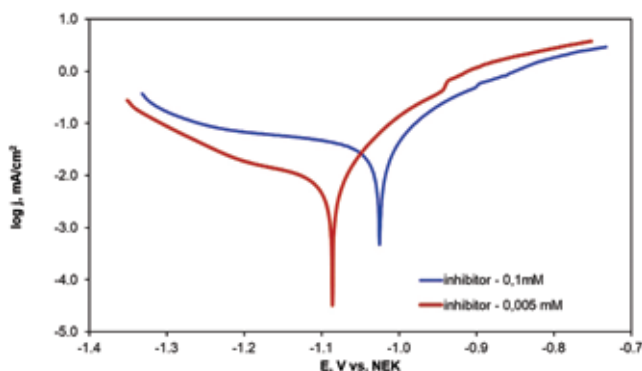
W urządzeniach laboratoryjnych odzwierciedla się warunki panujące w atmosferze przemysłowej. Zastosowanie tego typu badań pozwala na precyzyjne dobranie metody ochrony dla konkretnych materiałów i procesów. Zapewniają one lepszą kontrolę warunków badania niż w przypadku badań eksploatacyjnych. Pozwalają też wykluczyć wpływ zaburzeń związanych z procesami produkcyjnymi. Czasami badania laboratoryjne długotrwałe mogą być stosowane z dobrymi wynikami zamiast badań w warunkach naturalnych [4].



### Badania laboratoryjne przyspieszone

Badania przyspieszone wykonuje się w specjalnie przygotowanych komorach, w których odzwierciedlane są warunki korozyjne. Prowadzi to do przyspieszenia procesów korozyjnych metali i stopów. W komorach intensyfikowane jest działanie czynników takich, jak np.: temperatura, wilgotność względna, czy stężenie substancji powodujących korozję. Czas trwania badań zależy od rodzaju materiału, stosowanej metody i celu badania. Najczęściej, laboratoryjne badania przyspieszone trwają od 24 do 720 h [3].

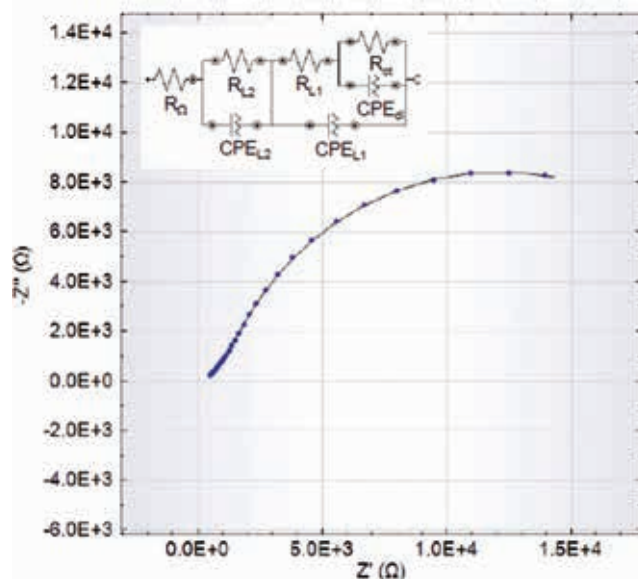
**Badania elektrochemiczne** korozji również można zaliczyć do badań przyspieszonych. Polegają one na wyznaczeniu parametrów charakteryzujących procesy korozyjne podczas pomiarów galwanostaticznych, potencjostaticznych, potencjodynamicznych, impedancyjnych i innych. Metoda potencjodynamiczna polega na polaryzacji badanego materiału i rejestrowaniu zmian natężenia prądu. Z badań potencjodynamicznych otrzymuje się zależność gęstości prądu w funkcji zmian potencjału –  $j = f(E)$  [3]. Zależności te są następnie przekształcane na wykresy Tafela, tzn.  $\log j = f(E)$ . Przykładowe wykresy przedstawiono na Rys. 4. Na podstawie wykresów Tafela można wyznaczyć podstawowe parametry korozji, np. potencjał korozyjny, nachylenia gałęzi anodowej i katodowej ( $b_a$  i  $b_k$ ) oraz gęstość prądu korozyjnego, którą wykorzystuje się do obliczenia szybkości korozji.



Rys. 4. Przykładowa zależność  $j = f(E)$  dla cynku w 0,1M roztworze NaCl z dodatkiem różnych stężeń inhibitora

Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS) polega na pomiarze impedancji pomiędzy badanym metalem lub stopem, a elektrodą pomocniczą w relatywnie szerokim zakresie częstotliwości. Impedancja opisuje zależność pomiędzy prądem i napięciem w warunkach prądu zmiennego [15]. Przykładowy wykres otrzymany w pomiarach EIS przedstawiono na Rys. 5.

Metoda EIS umożliwia badanie powłok ochronnych, scharakteryzowanie odporności korozyjnej metali i sto-



Rys. 5. Wykres Nyquista dla próbki aluminium pokrytej złotem [16]

pów oraz określenie mechanizmu zachodzących procesów korozyjnych.

Badania elektrochemiczne procesów korozyjnych mają tę przewagę nad innymi metodami, że w stosunkowo krótkim czasie pozwalają uzyskać wyniki. Ponadto, charakteryzują się dużą dokładnością.

### Podsumowanie

Opracowanie skutecznej metody ochrony przed korozją powszechnie używanych metali i stopów jest niezwykle istotnym zagadnieniem, gdyż koszty związane ze skutkami korozji są ogromne. Ponadto, należy pamiętać, że skorodowane materiały mogą stanowić potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia człowieka. Nie można jednak zapominać o zagrożeniach, jakie są związane z wykorzystaniem klasycznych inhibitorów korozji. Negatywne skutki działania takich związków na środowisko są dobrze zbadane i opisane w literaturze. Nie ulega wątpliwości, że jak najszybciej trzeba zastępować te substancje zielonymi inhibitorami korozji. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się coraz większe zainteresowanie badaniem różnych roślin, w celu zastosowania pozyskanych z nich ekstraktów, jako środków ochrony przed korozją. Kwas cytrynowy i jego pochodne, a także chamaizulen, czy spatulenol to tylko niektóre przykłady zielonych inhibitorów korozji, a nieodkrytych możliwości wykorzystania innych substancji jest z pewnością znacznie więcej.

Zielone inhibitory korozji mogą być też stosowane w ochronie historycznych obiektów zabytkowych, ze względu na fakt, że są ekologiczne i nietoksyczne. Szczególną uwagę należy zwrócić na fakt, aby stosowane inhibitory nie wpływały na wygląd i charakter chronionych obiektów. W swojej pracy doktorskiej zamierzam wykorzystać



kwasy cynamonowe i jego pochodne do ochrony obiektów wykonanych z metali i stopów, np. cynku, miedzi, brązu, mosiądzu, czy stali.

### Literatura

[1] Kobus J., Lutze R., 2016, Ocena ekonomicznych skutków korozji metodą kosztów cyklu życia z zastosowaniem monitoringu korozyjnego, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 6, 210-215.

[2] Alotaibi M.D., Mckinley A.J., Patterson B.M., Reeder A.Y., 2015, Benzotriazoles in the Aquatic Environment: A Review of Their Occurrence, Toxicity, Degradation and Analysis, *Water, Air & Soil Pollution* 226, 226.

[3] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.

[4] Wranglen G., Podstawy korozji i ochrony metali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1985.

[5] Zhou Y., Wei Z., Zhi H., Wang Y., Yao X., 2022, Eco-friendly Ginkgo Leaf Extract as a Green Corrosion Inhibitor to Protect N80 Steel in 1 M HCl, *International Journal of Electrochemical Science* 17, 220956.

[6] Miralrio A., Vazquez A.E., 2020, Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review, *Processes* 8, 942.

[7] Fazal B.R., Becker T., Kinsella B., Lepkova K., 2022, A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO<sub>2</sub> corrosion of carbon steel, *NPI Materials Degradation* 5, 1-14.

[8] Marzorati S., Verotta L., Trasatti S.P., 2019, Green corrosion inhibitors from natural sources and biomass wastes, *Molecules* 24,48.

[9] Abdullah H.A., Anaee R.A., Khadom A.A., Abd Ali A.T., Malik A.H., Kadhim M.M., 2023, Experimental and theoretical assessments of the chamomile flower extract as a green corrosion inhibitor for aluminum in artificial seawater, *Results in Chemistry* 6, 101035.

[10] Merck – informacje na temat produktów, <https://www.sigmaaldrich.com/PL/pl> (Data dostępu: 15.11.2023).

[11] Aquino-Torres E., Camacho-Mendoza R.L., Gutierrez E., Rodriguez J.A., Feria L., Thangarasu P., Cruz-Borbolla J., 2020, The influence of iodide in corrosion inhibition by organic compounds on carbon steel: Theoretical and experimental studies, *Applied Surface Science* 514, 145928.

[12] Roncevic I.S., Vladislavic N., Buzuk M., Buljac M., Podrug M., 2021, The effect of coumaric acid on corrosion of iron, *Current Topics in Electrochemistry* 23, 11-24.

[13] de Souza F.S., Spinelli A., 2009, Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel, *Corrosion Science* 51, 642-649.

[14] Abdel-Gaber A.M., Ezzat A., Mohamed M.E., 2022, Fenu-greek seed and cape gooseberry leaf extracts as green corrosion inhibitors for steel in the phosphoric acid industry, *Scientific Reports* 12, 22251.

[15] Scholl H., Błaszczuk T., Krzyczmonik P., *Elektrochemia. Zarys teorii i praktyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1998.

[16] Autolab Application Note COR09, 2015, Electrochemical impedance spectroscopy of three coated aluminum samples, Metroh Autolab B.V.

### Albert Berent, Andrzej Żarczyński

e-mail: 231343@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczyński@p.lodz.pl

*Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

# Wstępny projekt instalacji energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi – aspekty techniczne, lokalizacyjne, ekonomiczne i ekologiczne

### Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat na świecie znaczną popularność zyskały instalacje fotowoltaiczne (PV) – zarówno wśród prywatnych odbiorców jak i przedsiębiorców, głównie za sprawą osiąganych korzyści energetycznych, a jednocześnie finansowych [1-6]. W wielu krajach pracują także elektrownie (farmy) fotowoltaiczne [1, 3, 6, 7]. Stosunek ceny instalacji PV do ilości wytwarzanej energii czyni energię słoneczną konkurencyjną w porównaniu do trady-

cyjnych źródeł energii. Z literatury wynika, że w przyszłości energetyka słoneczna może stać się znaczącą alternatywą dla paliw kopalnych nie tylko zagranicą, ale i w Polsce [4, 8, 9].

Udział energii ze źródeł odnawialnych w pozyskaniu energii pierwotnej w Polsce ogółem wzrósł w latach 2015-2019 z 13,25 do 15,96%. Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych dla Polski wynika przede wszystkim z charakterystycznych dla naszego kraju warunków geo-



graficznych i możliwych do zagospodarowania zasobów. Energia pozyskiwana ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2019 r. pochodziła z biopaliw stałych (65,56%), energii wiatru (13,72%) i z biopaliw ciekłych (10,36%). Łączna wartość energetyczna pozyskanej energii pierwotnej ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2019 r. wyniosła 396 498 TJ [3].

### Cel pracy

Zasadniczym celem pracy był wybór lokalizacji i wstępne zaprojektowanie na obrzeżu Łodzi energetycznej instalacji fotowoltaicznej (PV) o mocy 10 MW [9, 10].

### Założenia technologiczne projektowania energetycznej instalacji fotowoltaicznej

Zanim znajdziemy odpowiednią lokalizację musimy omówić założenia technologiczne oraz aspekty prawne instalacji PV o mocy 10 MW. W przypadku tego typu instalacji, z racji zadeklarowanej mocy nominalnej, mówimy już o elektrowniach słonecznych. Budowa tego typu instalacji jest procesem czasochłonnym i wymaga uwzględnienia wielu formalności oraz uzyskania odpowiednich dokumentów i zgód urzędowych. Dla zobrazowania procesu budowy energetycznej instalacji PV (farmy PV) należy podzielić go na pięć etapów [9].

#### ETAP I – Koncepcja

Etap ten obejmuje:

- podpisanie umowy, wraz ze wszystkimi niezbędnymi załącznikami pomiędzy zleceniodawcą a zleceniobiorcą (inwestorem);
- zakup oraz dostarczenie map ewidencyjnych w wersji papierowej i elektronicznej;
- opracowanie projektu koncepcji umiejscowienia elektrowni oraz określenie powierzchni zabudowy i wstępnej mocy dla przewidywanych paneli;
- wstępne badanie możliwości i miejsca realizacji podłączenia do sieci.

Pod koniec tego etapu tworzona jest koncepcja wykonawcza projektu, w której są zawarte wszystkie założenia planowanej instalacji – musi być ona zatwierdzona przez inwestora.

#### ETAP II – Środowisko

Jest to jeden z ważniejszych aspektów całego przedsięwzięcia, gdyż mówimy tutaj o jednym ze źródeł odnawialnej energii. Etap ten obejmuje:

- opracowanie charakterystyki i uzgodnienie zakresu dokumentacji – w tym wstępny dobór typu i mocy paneli, inwerterów, stacji transformatorowej oraz spo-

sobu i drogi przyłączenia do sieci operatora systemu dystrybucyjnego (OSD);

- opracowanie Karty Informacyjnej Przedsięwzięcia (KIP);
- opracowanie projektu inwestycji wraz z oznaczeniem strefy buforowej dla inwestycji;
- przygotowanie i złożenie wniosku o wydanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach inwestycji wraz z dokumentacją wskazaną we wniosku.

Na koniec tego etapu wydawana jest decyzja środowiskowa przez Urząd Gminy. Może być to etap również czasochłonny, gdyż Urząd Gminy ma 30 dni na ustosunkowanie się do wniosku.

#### ETAP III – Warunki zabudowy

Etap ten obejmuje w głównej mierze:

- przygotowanie planu zagospodarowania terenu dla planowanej inwestycji z uwzględnieniem zapisów decyzji środowiskowej;
- opracowanie i złożenie wniosku o uzyskanie warunków zabudowy dla projektowanej inwestycji.

Etap ten kończy się decyzją o warunkach zabudowy, wydawaną przez Urząd Gminy z uwzględnieniem dwóch tygodni na uprawomocnienie.

#### ETAP IV – Warunki przyłączenia do sieci

Etap ten obejmuje:

- przygotowanie i wstępne uzgodnienie projektu energetycznego dla inwestycji;
- opracowanie i skompletowanie dokumentacji poszczególnych, podstawowych składników inwestycji – karty produktów, tabele harmoniczne inwerterów, dobór typu stacji transformatorowej;
- obliczenie, przygotowanie i złożenie wniosku wraz z załącznikami o wydanie warunków przyłączenia dla inwestycji.

Na koniec tego etapu otrzymuje się decyzję o warunkach przyłączenia, którą wydaje Operator Sieci Dystrybucji.

#### ETAP V – Projekty

Etap ten obejmuje:

- przeprowadzenie badań i opracowanie wytycznych dla projektu budowlanego elektrowni fotowoltaicznej w oparciu o uzyskane warunki zabudowy i warunki przyłączenia;
- opracowanie projektu energetycznego;
- opracowanie wniosku (wraz z załącznikami) o zatwierdzenie projektu i wydanie decyzji o pozwoleniu na budowę [9].

Etap ten jest zakończony wydaniem decyzji o pozwoleniu na budowę. Decyzja ta wydawana jest przez Starostwo Powiatowe.

Dopiero po spełnieniu tych wszystkich formalnych założeń można przejść do etapu budowy. Dodatkowo ze względu na wysokie koszty inwestycyjne, zdecydowanie bardziej opłacalne będzie podzielić budowę farmy fotowoltaicznej na 10 etapów (elementów składowych) każdy o mocy 1 MW, połączonych ze sobą odpowiednią infrastrukturą techniczną. Do budowy będziemy potrzebować następujących elementów:

- konstrukcji wsporczych do montażu paneli fotowoltaicznych;
- paneli fotowoltaicznych o mocy sumarycznej 10 MW;
- string-box'ów;
- inwerterów – jeden na każdy rząd paneli;
- rozdzielni elektrycznych – strony DC oraz AC;
- okablowania prądu stałego DC oraz prądu przemiennego AC;
- urządzeń ochrony przeciwpożarowej, przetężeniowej, zwarciowej i przepięciowej;
- instalacji uziemiającej;
- układów pomiarowych;
- stacji transformatorowej.

Ponadto będą jeszcze potrzebne systemy monitoringu i komunikacji elektrowni fotowoltaicznej oraz systemy monitoringu CCTV (kamery) wraz z czujnikami ruchu i ogrodzeniem. Teren będzie ogrodzony według wytycznych ujętych w KIP. Rzędy będą oddalone od siebie o 5 metrów i ustawione w kierunku południowym [9].

### **Konstrukcje wsporcze**

Panele fotowoltaiczne będą umieszczone na stałej, szkieletowej konstrukcji wykonanej ze stali nierdzewnej/ocynkowanej. Głównymi elementami konstrukcji są wbijane na około 1,5-2 m profile stalowe (słupy). W zależności o rodzaju gruntu, czasami stosuje się dodatkowe kotwice w gruncie. Słupy będą rozmieszczone w jednej linii w odległości około 1,5 m od siebie. Do słupów przykręcany jest stelaż stanowiący podstawę do montażu modułów fotowoltaicznych. Szkielet do montażu modułów może być wykonany z aluminium lub stali ocynkowanej. Moduły fotowoltaiczne są przykręcane bezpośrednio do szkieletu. Całość konstrukcji jest łączona za pomocą standardowych połączeń gwintowanych, natomiast do połączenia konstrukcji wsporczej z modułami fotowoltaicznymi zastosowane są odpowiednie kształtu uchwyty, dopasowane do wielkości modułów [9].

### **Panele fotowoltaiczne**

Ogniwa fotowoltaiczne są kluczowym elementem paneli fotowoltaicznych i składają się z aktywnego materiału fotowoltaicznego, który otrzymuje energię słoneczną i zamienia ją na prąd stały. Producenci dostarczają je w dwóch odmianach: jako monokrystaliczne i polikrystaliczne. Ogniwa fotowoltaiczne monokrystaliczne są wykonane z monokryształu krzemu. Monokryształy są najbardziej skutecznym materiałem fotowoltaicznym, ponieważ oferują wyższą wydajność w porównaniu z innymi rodzajami materiałów fotowoltaicznych. W porównaniu z polikrystalicznymi panelami fotowoltaicznymi, monokrystaliczne są również bardziej odporne na warunki pogodowe i wyższe temperatury. Jednak są one bardziej kosztowne i trudniejsze w produkcji, bowiem wymagają bardziej precyzyjnego wytwarzania.

Ogniwa fotowoltaiczne polikrystaliczne są wykonane z uformowanych kryształów krzemu. Polikrystaliczne panele fotowoltaiczne są tańsze w produkcji i mniej precyzyjne w wykonaniu niż monokrystaliczne, co czyni je popularnymi wśród producentów paneli fotowoltaicznych. Jednak polikrystaliczne panele fotowoltaiczne są bardziej wrażliwe na warunki pogodowe i wyższe temperatury, co może obniżyć ich wydajność.

Porównując wydajność monokrystalicznych i polikrystalicznych paneli fotowoltaicznych, badania wykazują, że monokrystaliczne panele fotowoltaiczne osiągnęły znacznie wyższą wydajność niż polikrystaliczne, mierzoną jako stosunek energii wytworzonej do mocy słonecznej otrzymanej. Badania wykazały również, że monokrystaliczne panele fotowoltaiczne są bardziej odporne na warunki pogodowe i wyższe temperatury, a także na zanieczyszczenia i złe warunki środowiska.

W sprzedaży są dostępne jeszcze dość rzadko stosowane panele amorficzne, których ogniwa zalicza się do ogniw drugiej generacji. Należą do grupy paneli cienkowarstwowych i cechują się najniższą sprawnością (6-8%). Są tańsze, ale ich zamontowanie może się wiązać z poświęceniem na instalację większej powierzchni niż dla w/w wymienionych paneli.

### **String-box'y**

Stringi to grupy paneli fotowoltaicznych, które są przyłączone do string-box'ów. String-box jest to urządzenie energetyczne, które ma za zadanie sumowanie prądów i przesyłanie ich dalej jednym przewodem. Ułatwia to w razie problemów technicznych zlokalizowanie usterki. W string-box'ach są umieszczone zabezpieczenia elektryczne (bezpieczniki) dla poszczególnych stringów. Do jednego string-box'u przyłączonych jest zazwyczaj od 8 do 16 stringów, aż



do uzyskania mocy około 15 kW. Przewody elektryczne są wprowadzone po słupach konstrukcji pod ziemię i układane na głębokości ok 0,5 m. W celu zabezpieczenia przed gryzoniami można umieścić przewody w plastikowych rurach osłonowych, zwanych peszelami. Jeśli chodzi o obudowę string-box'ów może być to skrzynka postawiona na powierzchni gruntu, bądź też w celu zaoszczędzenia miejsca, może być to skrzynka przykręcona do konstrukcji nośnej modułów fotowoltaicznych [9].

### **Inwertery (falowniki)**

Energia wytworzona przez panele fotowoltaiczne, przesyłana jest ze string-box'ów do inwerterów, tj. urządzeń zamieniających prąd stały, wyprodukowany w modułach fotowoltaicznych na prąd zmienny. Inwerter odpowiada także za zliczanie wytworzonej energii oraz określenie jej charakterystyki. Jeden inwerter może obsługiwać sektor farmy o mocy od 0,5 do 1 MW. Inwertery podczas swojej pracy produkują duże ilości ciepła, mogą więc potrzebować instalacji systemu chłodzenia aktywnego. Wentylacja aktywna realizowana jest za pomocą wentylatorów elektrycznych zlokalizowanych we wnętrzu obudowy. W związku z tym dopuszcza się zmiany przyjętych założeń i można zamontować na przykład jeden lub dwa inwertery systemie centralnym lub można postawić na montaż inwerterów stringowych, których ilość będzie ściśle zależała od ilości stringów w instalacji. Główną zaletą korzystania z rozproszonego systemu inwerterów stringowych, jest to, że nie są one wyposażone w uciążliwe akustycznie systemy aktywnego chłodzenia. Inwertery są produkowane przez wielu producentów, więc wybrane modele mogą się od siebie znacząco różnić cechami konstrukcyjnymi oraz danymi technicznymi.

Inwertery są montowane w specjalnych obudowach, które mogą mieć postać wolnostojących szaf lub specjalnie na ten cel zaprojektowanych kontenerów betonowych lub stalowych. Inwertery można montować w jednej obudowie z innymi urządzeniami elektroenergetycznymi. Często praktyką jest montowanie inwerterów wraz ze stacją transformatorową. Maksymalny wymiar obiektu przeznaczonego do montażu inwertera wynosi 2 x 4 x 3 m (szerokość x długość x wysokość). Obiekty zostaną usytuowane na prefabrykowanych płytach fundamentowych zlokalizowanych z kolei na zagęszczonej podsypce [9].

### **Stacja transformatorowa**

W celu przekazania energii elektrycznej do systemu elektroenergetycznego tego zakładu dystrybucji zaplanowano postawienie dziesięciu stacji transformatorowych 0,4/15kV, zgodną z normą PN-EN 62271-202 [11]. Planowana stacja

typu kontenerowego z wydzielonymi pomieszczeniami dla rozdzielni niskiego napięcia, komór transformatorowych oraz rozdzielni średniego napięcia. Wyżej wymienione pomieszczenia zostaną wyposażone w: instalacje ogrzewania elektrycznego, instalację gniazd 1-fazowych i 3-fazowych, instalacje oświetlenia, wyłączniki przeciwpożarowe. Rozdzielnia nn.1 kV zaprojektowana będzie w oparciu o typowe rozwiązania szaf rozdzielanych. Położenie stacji transformatorowej będzie spełniało wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 rok w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690 z późn. zm.) [12]. Rozdzielnia średniego napięcia, która będzie instalowana wewnątrz stacji transformatorowej wyposażona zostanie w 2 pola transformatorowe i jedno pole odpływowe z łącznikiem. Okablowanie transformatorów z poszczególnymi polami rozdzielnic SN oraz rozdzielnic nn realizowane będzie kablami miedzianymi jednożyłowymi o przekrojach dobranych odpowiednio do mocy urządzeń. Jako układ pomiarowy po stronie średniego napięcia przewiduje się układ trójfazowy pośredni. Zostanie on zaprojektowany według wydanych warunków przyłączenia. Jako układ dla potwierdzenia danych dotyczących ilości wytworzonej energii elektrycznej planuje się zastosowanie w każdym polu o rozdzielni niskiego napięcia układy pomiarowe trójfazowe półpośrednie [9].

Stacje transformatorowe są zlokalizowane w bezpośredniej bliskości inwerterów, alternatywnie mogą być zamontowane w jednym obiekcie (w kontenerze). Stacja transformatorowa posadowiona zostanie na płycie fundamentowej lub wylewce betonowej. Dopuszcza się integrację obiektu transformatora w jednym obiekcie z budynkiem technicznym. W takim przypadku na potrzeby transformatora wydzieli się jedno pomieszczenie. W rozpatrywanym przypadku planuje się montaż transformatora suchego żywicznego. Transformatory będą mogły wymagać instalacji systemu aktywnego chłodzenia. Na rynku są dostępne 2 rodzaje systemów chłodzących – suche i mokre. Obydwa systemy wyposażone są w wentylatory zamontowane wewnątrz budynku. W rozpatrywanym przypadku planuje się montaż suchego układu chłodzenia – transformatory będą chłodzone bezpośrednio przez opływ powietrza wymuszony pracą wentylatorów, które uruchamiają się automatycznie jedynie w przypadku znacznego wzrostu temperatury i możliwości przegrzania transformatora [9].

### **Odbiór wytworzonej mocy**

Odbiór energii będzie się odbywał bezpośrednio z transformatora zlokalizowanego na terenie elektrowni poprzez

odpowiednio zaprojektowane przyłącze sieci OSD zgodnie z otrzymanymi warunkami przyłączenia (ETAP IV). Jako wariant można rozważyć budowę magazynów energii do jej zdeponowania w okresie intensywnej produkcji, a jej użytkowania, np. w godzinach wieczornych, w okresie zwiększonego zapotrzebowania.

### Propozycja lokalizacji energetycznej instalacji fotowoltaicznej o mocy 10 MW

Mając te wszystkie informacje, możemy przejść do szukania odpowiedniej lokalizacji na tego typu instalację w okolicach Łodzi. Biorąc pod uwagę skalę przedsięwzięcia, będziemy potrzebować ogromnej powierzchni terenu, łącznie około 11 ha ziemi, z czego ok. 8 ha będzie stanowiło samą powierzchnię instalacji. Pozostałe 3 ha będą stanowiły strefę buforową oraz zaplecze gospodarcze inwestycji, uwzględniając w tym drogi dojazdowe oraz miejsce na stacje transformatorowe [9].

Ważnymi aspektami w doborze odpowiedniej lokalizacji pod farmy fotowoltaicznej są:

- brak zacienienia przez drzewa i inne obiektu;
- bliska odległość od linii energetycznych średniego napięcia;
- instalacja nie może być na terenach zalewowych; ziemia powinna być nieużytkiem rolnym, gruntem klasy VI, V, IV [9].

W wyniku analizy map oraz po zapoznaniu się z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego, wydaje mi się, że idealną lokalizacją pod tego typu instalację jest lokalizacja przedstawiona na rys. 1, słabo zagospodarowanego terenu we wschodniej części Łodzi, w dzielnicy Widzew, pomiędzy ulicami Gerberową – przylegającą od wschodu do obwodnicy Łodzi, a nieco odleglejszymi ulicami Wiączyńską i Malowniczą [9, 10].

Głównymi zaletami tej lokalizacji są:

- bliska odległość od miasta i linii średniego napięcia;
- teren mało atrakcyjny dla deweloperów, z uwagi na bliskie sąsiedztwo Autostrady A1;
- dobra komunikacja.

Jeśli uwzględnić analizę topograficzną terenu i perspektywę rozwoju ekonomicznego tego rejonu w przyszłości, to pod uwagę można wziąć m.in. obszar zaznaczony na rys. 1.

Zakładając, że całość instalacji będzie wymagała 11 ha czyli 110 000 m<sup>2</sup>, wyznaczony obszar będzie idealny [9]. Całość powierzchni zaznaczonej pod instalację energetyczną, pomiędzy ulicami Gerberową i Malowniczą, ma kształt trapezu o polu:

$$P = \frac{(a + b)}{2} \cdot h \frac{(500 + 450)}{2} \cdot 450 = 213\,750 \text{ [m}^2\text{]}$$



Rys. 1. Fragment zmienionej mapy z Google Mapy [13] z zaznaczonym obszarem proponowanym pod instalację elektrowni fotowoltaicznej

Taka powierzchnia w przyszłości umożliwiła by rozbudowanie instalacji nawet o 100%.

### Metodyka wykonania obliczeń technologicznych i ekonomicznych

Przy instalacji fotowoltaicznej o mocy 10 MW mówimy już o elektrowni. Dla tego typu obiektów niestety nie ma na rynku gotowych kalkulatorów fotowoltaicznych, gdyż są to ogromne przedsięwzięcia na dużą skalę i każdy taki przypadek jest traktowany indywidualnie. Metodykę obliczeń do zaplanowania elektrowni PV możemy podzielić na kilka etapów:

- określenie i identyfikacja odpowiednich parametrów instalacji, w tym wielkości i konfiguracji paneli słonecznych, systemów magazynowania energii, inwerterów, urządzeń zabezpieczających i innych elementów niezbędnych do prawidłowego działania instalacji;
- wybór odpowiedniego miejsca instalacji, z uwzględnieniem korzyści i kosztów związanych z lokalizacją;
- ocena potencjału technicznego i ekonomicznego instalacji, w tym ocena efektywności energetycznej;
- przygotowanie projektu budowlanego i technicznego instalacji;
- porównanie kosztów instalacji i wycena wszystkich kosztów związanych z jej budową i eksploatacją [14];
- ocena ryzyka związanego z inwestycją i przygotowanie odpowiedniego planu działań;
- przygotowanie odpowiednich dokumentacji i zgłoszeń do organów regulatorów;
- przygotowanie, wybór i zakup odpowiednich urządzeń;
- przygotowanie i wdrożenie planu instalacji oraz wszystkich związanych z nią działań;



- przygotowanie i wdrożenie planu monitorowania i kontroli jakości instalacji.

Z uwagi na to, że nie ma dostępnych kalkulatorów fotowoltaicznych dla obliczeń dużych instalacji PV oszacujemy średnią jej cenę. W ramach tego procesu należy określić potencjalne koszty budowy i eksploatacji instalacji, w tym koszty zakupu i montażu urządzeń, koszty wykonania prac montażowych, a także innych usług. Ponadto ocena potencjału technicznego i ekonomicznego obejmuje również ocenę efektywności energetycznej instalacji, w tym oszacowanie potencjalnej produkcji energii słonecznej, dostępnej powierzchni, planowanych strat mocy i wiele innych czynników. Te wszystkie czynniki muszą być wzięte pod uwagę i uwzględnione w projekcie, aby instalacja fotowoltaiczna o mocy 10 MW mogła działać wydajnie i ekonomicznie. Wstępnie ustalono, że od strony projektowej i technicznej optymalnie będzie podzielić instalację 10 MW na 10 sektorów każdy po 1 MW. Założenie to uwzględniono również podczas szacowania kosztów instalacji.

### **Ceny poszczególnych elementów**

**Panele fotowoltaiczne** – z uwagi na dużą skalę przedsięwzięcia potrzebujemy paneli o jak największej mocy i w jak najmniejszej liczbie, aby powierzchnia przez nie zajęta była jak najmniejsza. Właściwe do tej instalacji będą panele fotowoltaiczne o mocy 550 Wp, np. typu Saronic 550W/144HC 9BB. Na 1 MW potrzebujemy 1818 sztuk tych paneli, co łącznie da nam moc sumaryczną 999,9 kWp. Na instalację 10 MW będziemy potrzebować proporcjonalnie 18180 sztuk tych paneli. Panele te mają wymiary 2256 mm x 1134 mm, co daje nam powierzchnię 2,56 m<sup>2</sup> na jeden moduł. Sama powierzchnia paneli wyniesie więc 46510 m<sup>2</sup>. Cena jednego panelu (na dzień 12.01.2023) to około 1070 zł brutto, więc koszt samych paneli wyniósł by około 19,45 mln zł [9, 10].

Konstrukcja do montażu paneli, to jeden z kluczowych elementów instalacji. To ona nadaje panelom odpowiedni kąt nachylenia. W uwagi na różne specyfikacje konstrukcji dostosowane do rodzaju gruntów, dzielą się one na konstrukcje: wbijane w grunt, zalewane betonem; kotwione oraz śrubowe, ale ich ceny są trudne do ustalenia ze względu na ciągle zmieniające się ceny stali. Sama konstrukcja to w tym przypadku koszt około 8,00 mln zł.

**Inwerter** – w tym przypadku należy zastosować inwertery centralne zlokalizowane po jednym w każdym z dziesięciu sektorów. Cena jednego inwertera centralnego to około 300 tys. zł, więc łącznie cena wszystkich wyniesie około 3,00 mln zł.

**Rozdzielnie elektryczne** – strony DC oraz AC – koszt około 10000 zł na 1 MW, czyli około 100 tys. zł.

**Okablowanie prądu stałego DC oraz prądu przemiennego AC** – koszt około 800 tys. zł.

**Urządzenia ochrony przeciwpożarowej, przetężeniowej, zwarciowej i przepięciowej** – koszt około 350 – 400 tys. zł.

**Instalacji uziemiającej** – koszt około 300 tys. zł.

**Układów pomiarowych** – koszt około 300 tys. zł.

**Stacji transformatorowej** – koszt około 170 tys. zł.

**Inne koszty**, które należy wziąć pod uwagę to:

- systemy monitoringu – około 50 tys. zł,
- czujniki ruchu – około 50 tys. zł,
- ogrodzenie – około 150 tys. zł,
- systemy komunikacji na terenie elektrowni – około 30 tys. zł.

Są to ceny orientacyjne, niestety dosyć mało szczegółowe ze względu na to, że często komponenty do budowy instalacji nie są sprzedawane osobą indywidualnym, tylko przedsiębiorstwom, więc trudno jest poznać faktyczne ceny artykułów [9].

### **Rentowność instalacji**

Łączna cena po zsumowaniu wszystkich składowych, nie wliczając w to cen robocizny oraz wynajmu maszyn, to obecnie około 40-45 mln zł.

Zakładając, że średnia cena 1 kWh w Polsce to 0,77 gr, a instalacja 10 MW w słoneczny dzień w ciągu godziny jest w stanie dać zysk o wartości około 7700 zł. Aby spłacić instalację za 40 mln zł będzie potrzeba aż 5195 godzin, co by dawało 216, 5 dnia ciągłego świecenia słońca. Według firmy FlexiPower Group [15] w Polsce rocznie jest 66 dni w pełni słonecznych (1600 godzin), więc teoretycznie inwestycja powinna się zwrócić po około 3 latach i 4 miesiącach. Ale to by była sytuacja, gdy sprawność paneli słonecznych wynosiła 100%.

Niestety sprawność paneli monokrystalicznych jest nadal na poziomie maksymalnym około 20%, należy bowiem uwzględnić niską sprawność w godzinach nocnych i zimą. Więc, aby rzeczywiście koszt budowy instalacji zwrócić się, musielibyśmy poczekać około 15 lat. Ponadto trzeba pamiętać, że sprawność paneli PV z roku na rok spada o 0,5-0,8% rocznie, więc po 15 latach sprawność paneli może być niższa nawet o około 12%, co wydłuży zwrot kosztów inwestycji do prawie 20 lat [9].

Jednak budowa instalacji fotowoltaicznych zwykle jest **wspierana środkami krajowymi i unijnymi z różnych programów dotacji proekologicznych**, m.in. z Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Prawdopodobnie i w tym przypadku można liczyć na znaczne

wsparcie finansowe, które faktycznie mogłoby skrócić czas zwrotu kosztów inwestycji o kilka lat.

### Aspekty ekologiczne

Koszt instalacji energetycznej PV jest znaczny, ale biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne, można powiedzieć, że jest to bardzo opłacalna inwestycja, ze względu na skalę redukcji emisji wytworzonego ditlenku węgla (CO<sub>2</sub>), szkodliwych gazów zanieczyszczających powietrze: ditlenku siarki (SO<sub>2</sub>), ditlenku azotu (NO<sub>2</sub>), monotlenku węgla (CO) oraz pyłów. Uzyski ekologiczne dla instalacji fotowoltaicznej o mocy 1 MW przedstawiłem w tabeli 2 [9, 16].

Tabela 1. Uzyski ekologiczne dla instalacji PV o mocy 1 MW [9, 16]

Ograniczenie emisji szkodliwych substancji	[kg/MWh]
CO <sub>2</sub>	825,41
NO <sub>2</sub>	1,049
SO <sub>2</sub>	1,572
CO	0,234
Pyły	0,064

Z analizy danych z tabeli 1 widać, że korzystanie z elektrowni PV o mocy 10 MW daje również wiele korzyści dla środowiska. Przede wszystkim, obiekt ten nie emituje żadnych szkodliwych substancji do atmosfery. Oznacza to, że nie ma szkodliwych skutków ubocznych w postaci zanieczyszczenia powietrza, gleby lub wody. Ponadto, elektrownia fotowoltaiczna nie wymaga stosowania żadnych paliw kopalnych, co oznacza, że nie ma ryzyka wyczerpywania się zasobów naturalnych.

Jednak w perspektywie kilkunastu lat wystąpi konieczność utylizacji zużytych paneli PV oraz innych elementów instalacji fotowoltaicznych, zarówno prosumenckich jak i energetycznych. Rozpoczęto już badania w tym kierunku [17-19].

### Wnioski

Analiza literatury oraz obliczenia projektowe pozwalają przedstawić następujące wnioski:

- instalacje fotowoltaiczne – zarówno prosumenckie jak i wielkopowierzchniowe farmy PV produkujące energię elektryczną są ekologicznymi źródłami energii odnawialnej, które zyskują coraz większą popularność na świecie, a także w Polsce;
- energia uzyskiwana ze Słońca jest energią czystą, ponieważ nie skutkuje emisją gazów cieplarnianych, pyłów za-

wieszonych, powstawaniem odpadów podczas produkcji energii ani emisją hałasu;

- instalacja energetyczna PV powinna być usytuowana na niezagrożonych zalewaniem glebach niskiej jakości, nieużytkach, terenach po rekultywacji, ogólnie ziemiach o niewielkim stopniu zagospodarowania, niezbyt odległych od odbiorców energii elektrycznej;
- wydajność instalacji PV w dużej mierze zależy od warunków atmosferycznych, pory roku i dnia, a także topografii terenu;
- koszty budowy wielkopowierzchniowej instalacji PV są wysokie, ale przedsięwzięcie może być rentowne w warunkach rosnących cen energii elektrycznej i ciepłej;
- budowa na obrzeżu Łodzi energetycznej instalacji PV o mocy 10 MW może być inwestycją proekologiczną, która może znacznie poprawić bilans energetyczny miasta.
- proponowana lokalizacja jest jedną z możliwych na obrzeżu Łodzi, analizując mapy można znaleźć także inne potencjalne miejsca do usytuowania dużej farmy PV;
- budową takiej instalacji może być potencjalnie zainteresowana firma wytwarzająca energię dla Łodzi – Veolia Energia Łódź S.A.

### Literatura

- [1] MacKay D.J.C., 2009, Sustainable Energy – Without the Hot Air. UIT Cambridge LTD, Cambridge, UK.
- [2] Gaj K., 2020, Three-Year Exploitation Tests of a Photovoltaic Plant in a Zero-Energy Single-Family House under the Polish Conditions, Journal of Ecological Engineering, 21 (7), 160-168.
- [3] Tora M., Karbowniczek M., Tora B., 2021, Fotowoltaika w Polsce. Stan aktualny i perspektywy, w: Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Energetyka krajowa a europejski Zielony Ład, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 1(110), 111-118.
- [4] Brochocka I., Żarczyński A., Zaborowski M., Ryłski A., 2019, Dobór i zastosowanie kalkulatora fotowoltaicznego do wstępnego projektowania instalacji prosumenckich, Aura, 1, Dodatek Ekologiczny dla Szkół, nr 290, 2-5.
- [5] Żarczyński A., Wieczorek K., Zaborowski M., 2020, Zastosowanie kalkulatora fotowoltaicznego do wstępnego projektowania instalacji PV, Aura, 5, 8-11.
- [6] Portal Cire.pl, Potencjał rozwojowy fotowoltaiki w Polsce, <https://www.cire.pl/artykuly/opinie/78779-potencjal-rozwojowy-fotowoltaiki-w-polsce>, 24.10.2023.
- [7] Masters G.M., 2004, Renewable and Efficient Electric Power Systems, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- [8] Juszcak A., Maj M., 2020, Rozwój i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.
- [9] Berent A., 2023, Zaprojektowanie na obrzeżu Łodzi instalacji PV o mocy 10 MW połączone z oceną możliwości doboru paneli fotowoltaicznych. Praca inżynierska, Politechnika Łódzka, IChOiE, Łódź.
- [10] Berent A., Żarczyński A., 2023, Wstępny projekt instalacji



energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi, s. 15, Materiały Konferencji Młodych Naukowców nt. Dokonania Naukowe Doktorantów – edycja XI – Wielka Sesja Posterowa, 22-23.04.2023 r., Streszczenia wystąpień, Centrum Konferencji: Kraków, Wyd. Creativetime, Kraków.

[11] PN-EN 62271-202:2014-12, 2014, Wysokonapięciowa aparatura rozdzielcza i sterownicza – Część 202: Stacje transformatorowe prefabrykowane wysokiego napięcia na niskie napięcie, PKN, Warszawa.

[12] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 rok w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; Dz. U. 2002, nr 75, poz. 690; tekst jednolity Dz. U. 2022, poz. 1225.

[13] Portal Google.com/maps, 2023, <https://www.google.com/maps/place/Widzew,+Łódź/@51.757419,19.6012354,15z/data=!4m5!3m4!1s0x471bccbf9ea1a51f:0x70292f941966541d!8m2!3d51.7670503!4d19.5571715>, 03.11.2023.

[14] Portal firmy MiastOZE Powered by Globenergia, Koszt budowy farmy PV o mocy 1 MW – analizujemy udział komponentów w cenie, <http://miastoze.pl/koszt-budowy-farmy-pv-o-mocy-1-mw-analizujemy-udzial-komponentow-w-cenie/>, 30.09.2023.

[15] Portal firmy FlexiPower Group, 2023, Nasłonecznienie w Polsce a fotowoltaika, <https://flexipowergroup.pl/naslonecznienie-w-polsce-a-fotowoltaika/>, 23.09.2023.

[16] Gregorowicz M., Kłoszewski W., 2014, Obliczanie wskaźników oraz efektu ekologicznego dla poddziałania 10.3.1, Regionalny Program Operacyjny Województwa Pomorskiego na lata 2014-2020, <https://www.rpo.pomorskie.eu/documents/10184/176430/Prezentacja+Efekty+rezultaty+12+01+2017v.2r+.pdf/34db81e1-5186-47e6-aaca-c930a01581ab>, 23.10.2023.

[17] Klugmann-Radziemska E., Kuczyńska, A., 2016, Odzysk materiałów w procesach chemicznych recyklingu modułów fotowoltaicznych I i II generacji, Przemysł Chemiczny, 95 (2), 306-309.

[18] Kuczyńska-Łażewska A., Klugmann-Radziemska E., 2019, Recykling metali z zużytych modułów fotowoltaicznych, Przemysł Chemiczny, 98 (6), 932-935.

[19] Piasecka I., Bałdowska-Witos P., Piotrowska K., Kruszelnicka W., Flizikowski J., Tomporowski A.D., 2021, Ekologiczna analiza cyklu życia farmy fotowoltaicznej o mocy 1 MW w polskich warunkach środowiskowych, Przemysł Chemiczny, 100 (1), 40-46.

**Dawid Szymborski**

231438@edu.p.lodz.pl

*Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Politechnika Łódzka*

## Aerozele – nowoczesne materiały termoizolacyjne

### Wprowadzenie

Ciągły wzrost zużycia energii i związane z nim skutki uboczne wpływające negatywnie na środowisko naturalne są aktualnie jedną z wiodących kwestii ekologicznych. Rozwiązania mające przeciwdziałać zmianom klimatycznym skupiają się m.in. na wykorzystaniu źródeł odnawialnych, czy też na ograniczeniu zużycia energii, co po części sprowadza się do produkcji energii cieplnej, która często jest tracona ze względu na użycie niewystarczających izolacji termicznych. Na świecie znanych jest wiele materiałów posiadających dobre właściwości termoizolacyjne, jednakże coraz częściej zastępowane są one przez aerozele. Znajdują one zastosowanie m.in. w systemach izolacji termicznej statków kosmicznych lub satelitów czy skafandrów dla kosmonautów. Warunki temperaturowe panujące na powierzchni Księżyca w okolicy równika wahają się w zakresie od +120°C do – 130°C [1]. Przebywanie w takim miejscu wiąże się z koniecznością stosowania izolacji termicznych, które zapewnią odpowiednie warunki do życia czy prawi-

łdowe funkcjonowanie wrażliwych urządzeń [2]. Aerozele znajdują także zastosowanie w budownictwie, a dokładniej jako izolacja termiczna budynków. Mając na uwadze coraz bardziej restrykcyjne normy budowlane, implementacje aerozeli w tej dziedzinie będą w przyszłości stanowić główną domenę zastosowań tych materiałów, potwierdza to fakt rozwijającego się rynku aerozeli krzemionkowych [3]. Innym istotnym aspektem wykorzystania pewnego rodzaju aerozeli jest biokompatybilność, za którą idzie bezpieczeństwo zdrowotne. Obrazuje to przykład użycia aerozelu jako materiału używanego w transporcie leków (Rys. 1) [4].

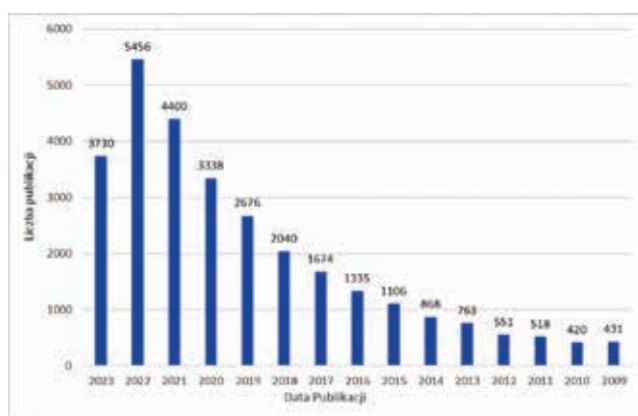
Tak obiecujące zastosowania skutkują z każdym rokiem coraz większą liczbą publikacji naukowych (Rys. 2) dotyczących syntezy, właściwości i nowych aplikacji aerozeli. Przedstawiony artykuł skupia się na przeglądowym przedstawieniu tematyki związanej z syntezą i perspektywami tych niezwykłych materiałów. Wskazane są także wady, trudności oraz nowe rodzaje aerozeli, które są aktualnie tematem publikowanych artykułów.







Rys. 1. Aerożel w płomieniu palnika [5]



Rys. 2. Liczba artykułów naukowych poświęconych tematowi „aerożele”; wyszukiwanie przeprowadzone według strony Science Direct w czerwcu 2023 r. [6]

## Czym są aerożele?

Zgodnie z definicją IUPAC aerożele są materiałami mikroporowatymi o średnicy porów wynoszącej od 1 do 2 nm. Inna umowna definicja, biorąca za kryterium sposób ich otrzymywania, mówi, że aerożelem można nazwać materiał otrzymany przez suszenie nadkrytyczne, a kriożelami lub kserożelami nazywa się materiały otrzymywane podczas liofilizacji. Najbardziej precyzyjna definicja obejmuje ich właściwości. Wysoka izolacyjność aerożeli spowodowana jest porowatością na poziomie 99,8%. Wartość ta odzwierciedla się w wysokiej powierzchni właściwej wynoszącej około 1000 m<sup>2</sup>/g, ultra niskim przewodnictwem cieplnym na poziomie 12 mW/m·K oraz ekstremalnie niską gęstością sięgającą nawet w niektórych wypadkach 12·10<sup>-4</sup> g/cm<sup>3</sup>. Aerożele charakteryzują się także bardzo niską stałą dielektryczną oraz posiadają bardzo dobre właściwości akustyczne [7, 8].

## Rodzaje aerożeli

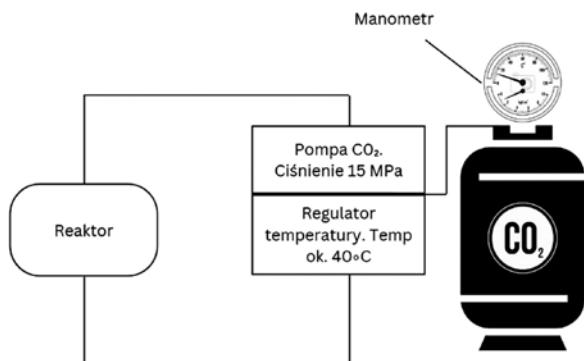
Próbując odpowiedzieć na pytanie, z jakich materiałów możliwe jest otrzymanie aerożelu, można zacytować ironię autorów zawartą w publikacji, że prawie każda substancja mogłaby zostać przekształcona w aerożel [8]. Polimery,

biopolimery, tlenki metali mogą służyć syntezie aerożeli, natomiast najlepiej poznany i dostępnymi na rynku są aerożele krzemionkowe znajdujące zastosowanie na rynku budowlanym. Jednakże jest to jeden z dwóch rodzajów aerożeli stosowanych na rynku. Przykładowo aerożele na bazie agarozy, celulozy czy chityny są stosunkowo nowymi materiałami i ich metoda syntezy nie jest dokładnie dopracowana [9]. Producenci bardzo często podają, że maty wykonane z aerożelu krzemionkowego posiadają dużo lepsze właściwości izolacyjne przy mniejszej grubości niż inne materiały dostępne na rynku. Coraz bardziej popularne staje się wykorzystanie aerożelu jako kruszywa. Beton napełniony tego typu kruszywem będzie charakteryzował się dużo lepszymi parametrami izolacyjnymi, jednakże gorszą wytrzymałością. Spowodowane jest to kruchością aerożeli, która jest ich istotną wadą [10]. Mówiąc szerzej o bioaerożelach na bazie agarozy, polisacharydów czy aerożelach pektynowych należy wspomnieć, że mogą być wykorzystywane do kontrolowanego dostarczania leków lub w inżynierii tkankowej i medycynie regeneracyjnej ze względu na swoje właściwości regenerujące [11-13]. Istotnym aspektem przemawiającym za coraz większą popularnością tego typu aerożeli jest wykorzystywanie substancji pochodzenia naturalnego oraz możliwość prowadzenia procesu recyklingu aerożeli [14].

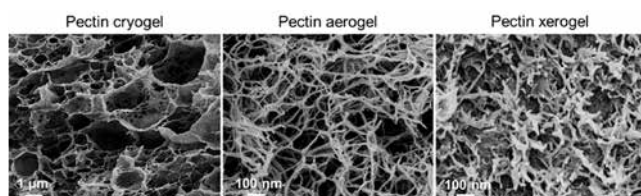
## Metody otrzymywania

Pierwszym etapem jest otrzymanie mokrego żelu określonego hydrożelem, czyli materiału, który będzie posiadał strukturę nanoporowatą. W strukturze porów zamknięty jest rozpuszczalnik, jego usunięcie prowadzi do otrzymania aerożelu, kriożelu lub kserożelu. Metoda wykorzystująca dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym może prowadzić do otrzymania aerożelu. Schemat aparatury wskazano na rys. 3. Hydrożel umieszcza się w komorze reakcyjnej, następnie przy wykorzystaniu pompy oraz regulatora temperatury ciekły dwutlenek węgla przeprowadza się do stanu nadkrytycznego. W komorze reakcyjnej zachodzi suszenie hydrożelu. W tym momencie nasuwa się pytanie, dlaczego w celu usunięcia rozpuszczalnika ze struktury materiału nie wykorzystać innych metod suszenia np. strumienia gorącego powietrza? Odpowiedzią jest niska wytrzymałość struktury materiału, która zostałaby uszkodzona przy zastosowaniu takiego rozwiązania. Nadkrytyczny dwutlenek węgla działa więc na zasadzie ekstrakcji, zastępując rozpuszczalnik wewnątrz porów [15]. Otrzymany materiał przedstawiono na rys. 4 wykonany z zastosowaniem skaningowego mikroskopu elektronowego SEM. Wykorzystując odmienne metody suszenia, możliwe jest otrzymanie różnego rodzaju struktur, różniących się właściwościami [16].





Rys. 3. Schemat aparatury do suszenia nadkrytycznego [17]



Rys. 4. Zdjęcie SEM. Kriozele, aerozele oraz kserozele pektynowe [16]

Największym problemem w otrzymywaniu aerożeli jest wykonanie struktury porowatej. Wykorzystując różne metody otrzymywania dążymy do uzyskania różnego rodzaju struktur. Biorąc za przykład aerozele wykorzystywane w medycynie powinny one charakteryzować się strukturą mezoporowatą, ponieważ ten rodzaj morfologii jest zbliżony do macierzy zewnątrzkomórkowej tkanek. Do innych właściwości materiału będziemy dążyć produkując żełe dla zastosowań izolacyjnych.

### Wady aerożeli

Skupiając się na zaletach opisywanych materiałów można łatwo zapomnieć o ich wadach, które powodują, że aerozele nie są szeroko dostępne na komercyjnym rynku. Tak jak wspomniano wcześniej jedną z ich największych wad jest kruchość, która spowodowana jest porowatą strukturą materiału. Wysoka porowatość możliwa jest ze względu na wytworzoną strukturę, przypominającą rusztowanie, które często posiada niską wytrzymałość głównie ze względu na małą ilość splątń. Należy wspomnieć, że stosowanie suszenia nadkrytycznego prowadzi do uzyskania materiału wytrzymalszego niż w przypadku liofilizacji [18]. Kolejną wadą materiału jest wysoki koszt produkcji. Wykonanie małego elementu może nie być skomplikowanym procesem, natomiast przeniesienie produkcji na skalę przemysłową okazuje się często zbyt kosztowne.

### Czy aerożel może być materiałem przyszłości?

Aerozele są materiałami otwierającymi szerokie perspektywy w wielu gałęziach nauki, m.in. są świetnymi izolatorami

termicznymi (Rys. 5). Jednakże materiał ten posiada kilka wad, dlatego przyszłe badania naukowe powinny skupiać się na ich rozwiązaniu oraz rozwijaniu aerożeli wykonanych z innego rodzaju substancji w szczególności tych, które nie stanowią zagrożenia dla środowiska naturalnego. Wykonanie namiotu z aerożelu, w którym przebywanie w ekstremalnych temperaturach nie będzie wymagało stosowania dodatkowego czynnika grzejącego lub wykorzystanie aerożelu jako pułapki dla mikrocząstek podróżujących w otwartej przestrzeni kosmicznej, których wyłapanie i późniejsze zbadanie jest w stanie dostarczyć wiele istotnych informacji. Tego typu przykłady ukazują dalsze perspektywy w rozwoju tych niezwyklejnych materiałów.



Rys. 5. Zdjęcie przedstawiające skuteczność izolacji termicznej zapewnianej przez próbkę aerożelu [19]

### Literatura

- [1] Białek A., 2022, Temperatura na Księżycu: czy jest zabójcza dla człowieka? Dlaczego astronauta musi mieć kombinezony? <https://www.national-geographic.pl/artkuyl/temperatura-na-ksiezycu-czy-jest-zabojcza-dla-czlowieka-dlaczego-astronauta-musza-miec-kombinezony>, 29.05.2023.
- [2] Bheekhun N., Abu Talib A. R., Hassan M. R., 2013, Aerogels in aerospace: An overview, *Advances in Materials Science and Engineering*, article ID 406065, 1-18.
- [3] Baetens R., Jelle B. P., Gustavsen A., 2011, Aerogel insulation for building applications: A state-of R. – the-art review, *Energy and Buildings*, 4, 761-769.
- [4] Groult S., 2019, Pectin-based aerogels: Advanced materials for thermal insulation and drug delivery applications. *Les aérogels de pectine : Matériaux avancés pour l'isolation thermique et la libération de médicaments*. Préparée à MINES ParisTech Soutenue par Sciences Fondamentales et Appliquées Mécanique numérique et Matériaux, NNT:2019PSLEM016, <https://pastel.hal.science/tel-02420381/document>, 12.12.2023.
- [5] [https://stock.adobe.com/pl/images/id/314283713?get\\_facets=1&order=relevance&safe\\_search=1&k=aerogel&clickref=1100lxWHQgRR&mv=affiliate&mv2=Freepik&as\\_camptype=&as\\_channel=affiliate&as\\_source=partnerize&as\\_campaign=Freepik&as\\_content=api&as\\_audience=srp&sdid=6WTV6YJ5&asset\\_id=282044382](https://stock.adobe.com/pl/images/id/314283713?get_facets=1&order=relevance&safe_search=1&k=aerogel&clickref=1100lxWHQgRR&mv=affiliate&mv2=Freepik&as_camptype=&as_channel=affiliate&as_source=partnerize&as_campaign=Freepik&as_content=api&as_audience=srp&sdid=6WTV6YJ5&asset_id=282044382), 17.11.2023.

[6] Science Direct, 2023, Dostępne na: <https://www.sciencedirect.com/search?q= aerogel&show=100>, 08.06.2023.

[7] Zhao S., Malfait W. J., Guerrero-Alburquerque N., Koebel M. M., Nyström G., 2018, Biopolymer-Aerogele und – Schäume: Chemie, Eigenschaften und Anwendungen, *Angewandte Chemie*, 130, 26, 7704-7733.

[8] Du A., Zhou B., Zhang Z., Shen J., 2013, A special material or a new state of matter: A review and reconsideration of the aerogel, *Materials*, 6, 3, 941-968.

[9] Ganesan K. et al., 2018, Review on the production of polysaccharide aerogel particles, *Materials*, 11, no. 11. <https://doi.org/10.3390/ma11112144>.

[10] Ślosarczyk A., Garbalińska H., Strzałkowski J., 2023, Lightweight alkali-activated composites containing sintered fly ash aggregate and various amounts of silica aerogel, *Journal of Building Engineering*, 74, publ. 106879.

[11] Shukla N., Kosny J., Fallahi A., 2014, Aerogel thermal insulation – Technology review and cost study for building enclosure applications”, *ASHRAE Transaction*, 120, 294-307.

[12] Méndez D. A., Schroeter B., Martínez-Abad A., Fabra M. J., Gurikov P., López-Rubio A., 2023, Pectin-based aerogel particles for drug delivery: Effect of pectin composition on aerogel structure and release properties, *Carbohydrate Polymers*, 306, publ. 120604.

[13] Leventis N., 2022, Polyurea Aerogels: Synthesis, Material Properties, and Applications, *Polymers*, 14, 5, <http://dx.doi.org/10.3390/polym14050969>.

[14] Yuan Yao, Xiao-hong Zhang, Zhaoyan Guo, Wenlu Liu, Chenxi Hu, Yue Ru, Liangdong Zhang, Chao Jiang, Jinliang Qiao, 2022, Preparation and application of recyclable polymer aerogels from styrene-maleic anhydride alternating copolymers, *Chemical Engineering Journal*, publ. 140363.

[15] Groult S., Budtova T., 2018, Thermal conductivity/structure correlations in thermal super-insulating pectin aerogels, *Carbohydrate Polymers*, 196, 73-81, <https://doi.org/10.3390/polym14050969>.

[16] Groult S., Buwalda S., Budtova T., 2021, Pectin hydrogels, aerogels, cryogels and xerogels: Influence of drying on structural and release properties, *European Polymer Journal*, 149, 5, publ. 110386.

[17] El-Naggar M. E., Othman S. I., Allam A. A., Morsy O. M., 2020, Synthesis, drying process and medical application of polysaccharide-based aerogels, *International Journal of Biological Macromolecules*, 145, 1115-1128.

[18] Woignier T., Primera J., Alaoui A., Etienne P., Despestis F., Calas-Etienne S., 2015, Mechanical properties and brittle behavior of silica aerogels, *Gels*, 1(2), 256-275.

[19] <https://stock.adobe.com/pl/images/airgel-and-experiences-with-it/280165609>, 17.11.2023. ●

**Elżbieta Pawełczyk<sup>1</sup>, Konrad Mrozowski<sup>1</sup>, Andrzej Żarczyński<sup>2</sup>**

e-mail: 225374@edu.p.lodz.pl; konrad.mrozowski@dokt.p.lodz.pl; andrzej.zarczyński@p.lodz.pl

<sup>1</sup>*Instytut Technologii Polimerów i Barwników, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

<sup>2</sup>*Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

# Powstawanie i zagospodarowanie w Polsce odpadów polistyrenowych, zwłaszcza styropianowych

## Klasyfikacja materiałów polistyrenowych i ich odpadów

Polistyren (PS) jest związkem organicznym, który ma postać łańcucha z rozgałęzionymi grupami fenylowymi, w związku z czym nie może tworzyć obszarów krystalicznych i jest bezpostaciowym, przezroczystym termoplastem. Otrzymywany jest w procesie polimeryzacji styrenu metodą emulsyjną, perełkową lub w masie dając wówczas przezroczyste polimery. Tworzywo to jest dość twarde, ale strukturalnie kruche, podatne na odkształcenia i ma niski współczynnik elastyczności. W stanie naturalnym polistyren jest przezroczysty lub półprzezroczysty, jednak łatwo można nadać mu kolor za pomocą dowolnego barwnika. Polistyren jest łatwopalny i ma niską wytrzymałość cieplną. Temperatura zeszklenia tego polimeru ( $T_g$ ) wynosi

90-120°C. Zalicza się do termoplastów, czyli materiałów, których kształt nadawany jest podczas procesu topnienia. Cechuje go mała lepkość i łatwość przetworstwa dzięki czemu jest bardzo popularnym tworzywem. Do jego właściwości należy odporność na wodę, niektóre sole i kwasy, a także na ścieranie. Tworzywo łatwo się elektryzuje i wykazuje skłonności do pęknięć naprężeniowych, ponadto nie jest odporne chemicznie, zwłaszcza względem rozpuszczalników organicznych [1].

Do zastosowań PS należy między innymi wykorzystanie go w produkcji kloszy lamp, elementów obudowy AGD oraz opakowań. Znane jest także wykorzystanie tego materiału do produkcji szkła syntetycznego. Ze względu na swoją bezpostaciowość charakteryzuje się dużą przezroczystością. Jednak zastosowanie tego polimeru,



to głównie sektor budowlany, gdzie stosuje się go do produkcji ścianek imitujących szkło, aranżacji kuchennych oraz do wykończenia frontów. Jednakże najszerze oraz najbardziej popularne zastosowanie polistyrenu to produkcja materiałów izolacyjnych. Największą część odpadów tego tworzywa sztucznego stanowią płyty spienionego polistyrenu potocznie nazywanego styropianem. Wśród tych materiałów możemy wyróżnić dwa rodzaje styropianu, tj. polistyren ekstrudowany (XPS) oraz polistyren ekspandowany (EPS). Polistyren (XPS) znany jako styrodur posiada lepsze właściwości mechaniczne, jest twardszy oraz w mniejszym stopniu chłonie wodę, jednakże z tego powodu jest droższy od EPS [2]. Natomiast polistyren ekspandowany, posiada gorsze właściwości mechaniczne, lecz jest materiałem tańszym. Otrzymywany jest on ze spienionych granulek polistyrenu w wyniku gwałtownego ogrzewania ich parą wodną. Styropian stosowany jest powszechnie w budownictwie jako środek do ocieplania budynków (Rys. 1), do produkcji zabezpieczeń mechanicznych towarów przy transporcie, naczyń i różnorodnych opakowań na produkty spożywcze. Jako materiał izolacyjny styropian stanowi tańszą alternatywę wobec wełny mineralnej. Zachowuje przy tym jednak podobny do wełny współczynnik przenikania ciepła.



Rys. 1. Styropian izolacyjny na placu budowy, fot. A. Żarczyński



Rys. 2. Odpady styropianu opakowaniowego, fot. A. Żarczyński

- Odpady polistyrenowe możemy podzielić na:
- odpady budowlane (styropian);
  - zużyte opakowania, w większości styropianowe;
  - odpady lekkiego polistyrenu, z np. obudowy sprzętów AGD (Rys. 2) [1-4].

### Nieco statystyki na temat polistyrenu i odpadów polistyrenowych

Pomimo unikalnych właściwości materiałów wytwarzanych z polistyrenu oraz ich przystępnej ceny popyt na nie maleje. Według danych opracowanych przez Plastics Europe Market Research Group Plastics Europe w roku 2020, zapotrzebowanie na tworzywa polistyrenowe w stosunku całości produkowanych polimerów przez mieszkańców Unii Europejskiej (UE) wynosiło 2,98%, w 2019 roku 3,12%, zaś w 2017 roku 6,9%, względem innych tworzyw. Przeważającymi obszarami zastosowań tego polimeru jest branża opakowaniowa oraz budownictwo [5].

Odpady z tworzyw sztucznych w Unii Europejskiej zagospodarowuje się na dwa sposoby: poddaje się recyklingowi uwzględniając odzysk energii oraz składowuje. W przypadku recyklingu, a przede wszystkim recyklingu energetycznego w latach 2006-2020 zaobserwowano wzrost ilości wykorzystanych odpadów, zaś składowaniu poddano mniejszą ilość wykorzystanych tworzyw sztucznych. Takie tendencje wynikają z coraz większej świadomości społeczeństwa w kwestii ochrony środowiska jak i również z wprowadzanych przez UE kar finansowych na państwa członkowskie, które nie stosują się do rozporządzeń dotyczących zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych [5, 6].

W roku 2018 w Polsce – według danych zebranych przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy odpady, które częściowo zawierały polistyren stanowiły 7% ich masy. Tylko jedna trzecia tego rodzaju odpadów została poddana efektywnej segregacji, reszta zaś została poddana procesowi odzysku energii lub składowaniu na wysypiskach. Polska nie posiada instalacji do recyklingu chemicznego polistyrenu wysokiej wydajności, dlatego większość tego odpadu spala się lub składowuje [6].

### Wybrane sposoby recyklingu i zagospodarowania odpadów polistyrenowych

W głównej mierze odpady polistyrenowe pochodzące z sektora budowlanego poddaje się recyklingowi materiałowemu. Recykling opakowań polistyrenowych sprowadza się przede wszystkim do odzysku energii, ponieważ granulaty polistyrenowe, które się wielokrotnie przetwarza mają niekorzystne właściwości reologiczne [4, 6].

W czasie wykonywania termoizolacji budynków jak również ich remontów, czy też rozbiórki poeksploatacyjnej, powstają duże ilości odpadów polistyrenowych, na które obecnie występuje pewne zapotrzebowanie ze strony firm przeprowadzających recykling. Przykładem firm recyklingowych zbierających styropian są: Euroterm Techniki Klejenia Sp. z o.o. Sp. k., Tech Service Polska Sp. z o.o. oraz Superplast Plastic [2]. Jedną z wymienionych firm, np. opracowała produkcję tzw. „Ekostyrenu”, z zastosowaniem odpadów styropianowych. „Ekostyren” to spreparowane kruszywo styropianowe, które daje się łatwo mieszać z wodą, cementem i piaskiem. Z mieszanki tej powstaje „Styrobeton”, który nie jest elementem nośnym, ale służy jako cieplno-izolacyjny materiał do napełniania konstrukcji, przeważnie poziomych [2]. Materiał ten cechuje się:

- niskim ciężarem właściwym materiału (200-900 kg/m<sup>3</sup>);
- lepszymi aż 30-krotnie od betonu właściwościami termoizolacyjnymi;
- dobrymi właściwościami dźwiękoizolacyjnymi;
- wysoką elastycznością;
- odpornością na działanie pleśni.

Zastosowania dla tego materiału firma Euroterm Sp. z o.o. upatruje w dodatkowych dociepleniach dachów, elastycznych podkładach pod szosy, drogi czy powierzchnie terenów sportowych oraz izolacji wymienników ciepła dla basenów [2, 3].

Tech Service Polska Sp. z o.o. jest producentem zaprawy cementowo-styropianowej. Innowacyjność technologii polega na odzysku odpadów budowlanych i umiejętnym zagospodarowaniu styropianu. Po przetworzeniu jest to pełnowartościowy surowiec do zaprawy „Polytech” oraz do betonów lekkich, tzw. pianobetonów. Producent wyróżnia również trzy klasy zaprawy w zależności od proporcji cementu i styropianu, klasa 20/80 (zawiera 200 kg cementu i 800 dm<sup>3</sup> styropianu), klasa 30/50 oraz klasa 35/50. Każda z tych klas ma wyznaczoną wytrzymałość na ściskanie i zginanie. Materiał ten charakteryzuje się bardzo podobnymi właściwościami co „Ekostyren” i stosuje się go głównie jako:

- lekkie podłoże izolacyjne pod posadzki mieszkalne i przemysłowe;
- warstwy izolacyjne i nośne pod ogrzewanie podłogowe;
- lekkie warstwy do formowania spadków dachów;
- lekkie wylewki izolacyjne i akustyczne na stropy drewniane i żelbetowe;
- wypełnienie pokryć z blachy trapezowej i konstrukcje lekkich stropów [4].

Sprawdzonym sposobem recyklingu styropianu jest także metoda opracowana przez firmę JW Construction i Politechnikę Warszawską jako wynalazek pt.: „Preparat wodochron-

ny i sposób otrzymywania preparatu wodochronnego”, na który Urząd Patentowy RP udzielił patent nr P-196 652. Na nazwę handlową powyższego preparatu – Styrozol – Urząd Patentowy RP także udzielił prawa wyłącznego na rzecz Politechniki Warszawskiej, a w/w produkt uzyskał także wymagane atesty higieniczne. Wynalazek polega ona na rozpuszczeniu odpadów styropianowych w odpowiednio dobranej grupie rozpuszczalników, a następnie poddanie uzyskanej w ten sposób kompozycji procesowi modyfikacji, którą to przeprowadza się za pomocą odpowiednich plastyfikatorów, barwników i napełniaczy [7]. W konsekwencji uzyskuje się nowy wyrób, który nosi nazwę Styrozol, faktycznie to nowa izolacja wodochemoodporna, która jest już dość powszechnie stosowana w branży budowlanej. Styrozol charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami technicznymi oraz skuteczną wodoszczelnością, przyczepnością do podłoża, elastycznością i wydłużalnością oraz odpornością na upływ czasu. Parametry te sprawiają, że może być on stosowany jako izolacja wodochronna pozioma i pionowa oraz do sklejanie folii izolacyjnych, przy czym rozwiązanie to może być wykorzystane bezpośrednio na budowie. System przetwórstwa wymaga małej zadaszanej wiaty oraz beczek, np. o pojemności 200 l, wyposażonych w szczelne zamknięcie i zawór do spuszczenia gotowego wyrobu [2-4]. Odpady styropianowe nawet zabrudzone trafiają do pojemnika w całości, gdzie ulegają rozpuszczeniu bez mieszania. W przypadku produkcji na dużą skalę mieszanie jest konieczne. Uzyskuje się w ten sposób plastyczny produkt, który można wykorzystać bezpośrednio na budowie. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest eliminacja konieczności zakupu innych organicznych materiałów izolacyjnych, albowiem po nabytych materiałach budowlanych pozostają odpady w postaci opakowań, w tym także po substancjach niebezpiecznych, które również należy zutylizować. W przypadku braku możliwości wykorzystania styropianu powyższymi sposobami może on być spożytkowany jako składnik paliw alternatywnych, ponieważ jego parametry energetyczne są zbliżone do parametrów oleju opałowego [4, 6-9].

Metoda utylizacji styropianu opracowana została także przez firmę Sony. Odpady styropianu zbierane są przez samochód – cysternę. W jej zbiorniku znajduje się płyn o właściwościach podobnych do kwasu cytrynowego, w którym spieniony polistyren rozpuszcza się. Dzięki temu transport odpadu jest zdecydowanie bardziej efektywny. Styropian nadający się do ponownego wykorzystania, odzyskuje się po odparowaniu i skropleniu płynu [6, 7].

Wykonywane są też badania dotyczące wytwarzania i potencjalnego stosowania, w tym wielokrotnego, mieszanin polimerowych z dwóch istotnie różniących się



od siebie budowa materiałów, jakimi są polilaktyd (PLA) i wyżej opisywany polistyren (PS). PLA otrzymywany jest przez polimeryzację kondensacyjną kwasu mlekowego lub laktydów cyklicznych. Jako polimer PLA znalazł zastosowanie w przemyśle opakowaniowym, medycynie i rolnictwie, można go też wielokrotnie przetwarzać. Obydwa materiały są interesujące z uwagi na podobieństwo właściwości fizykochemicznych. Szczególnie ciekawa jest mieszanina o stosunku masowym PLA i PS wynoszącym 1:1. Stwierdzono, że zależność między krotnością przetwarzania (recyklingu) a właściwościami wytrzymałościowymi materiału tradycyjnego i materiału biodegradowalnego jest podobna. Jednak zwielokrotnienie cykli przetwórstwa ich mieszaniny wskazuje na stopniową degradację. Takie zjawisko jest często spotykane, gdyż każdorazowe przetwarzanie oznacza pewną degradację materiału [10].

### Podsumowanie

Polistyren i polistyren spieniony (2% PS i 98% powietrza) występują w znaczącej skali w strukturze wyrobów AGD, a także w przemyśle spożywczym i usługach gastronomicznych w postaci lekkich odpadów po żywności, jako tacki, kubki, pojemniki. Odpady te są zbierane selektywnie z innymi odpadami tworzyw sztucznych oraz odpadami wielowarstwowymi w żółtych pojemnikach i workach, gdzie występują zwykle w małych ilościach i nie są wydzielane w sortowniach z mieszaniny odpadów. Brak jest wystarczająco wydajnych instalacji do przetwarzania tych odpadów, a część ich jest poddawana spalaniu w spalarniach wraz z odpadami komunalnymi. Odpady styropianowe powstają także jako materiały opakowaniowe i zabezpieczające podczas transportu wielu wyrobów. Są one zwykle czyste i nadają się do przetwarzania.

Podczas prac modernizacyjnych, remontowych oraz przy budowie nowych obiektów powstają objętościowo ogromne ilości odpadów styropianowych. Jednak koszty zbierania, transportu przekraczają wartość ich materiału, co stanowi barierę dla rozwoju recyklingu tych odpadów. Mimo to, materiały te powinny być zbierane w sposób selektywny, czego wymagają także przepisy prawne. Selektywna zbiórka często umożliwia także ich zagospodarowanie w miejscu powstawania, np. po ich rozdrobnieniu można wykorzystać je jako materiał izolacyjny w pustych przestrzeniach murów i stropów oraz do spulchniania gleby zagęszczonej podczas realizacji inwestycji. Przykładem takiego materiału jest „Ekostyren” – spreparowane kruszywo styropianowe, które daje się łatwo mieszać z wodą, cementem i piaskiem. Z mieszanki tej powstaje „Styroboton”, który nie nadaje się na elementy nośne, ale służy jako materiał ciepłno-izolacyjny

do napełniania konstrukcji, zwłaszcza poziomych. Pewne ilości odpadów polistyrenu znajdują także zastosowanie w drogownictwie jako dodatek do asfaltu.

W literaturze naukowej wskazuje się, że najbardziej efektywnym ekonomicznie rozwiązaniem jest rozpuszczanie odpadów polistyrenu w odpowiednim rozpuszczalniku przez uprawnione firmy, z wytworzeniem na bazie odpadów styropianowych preparatu nazywanego Styrozolem lub zbliżonej właściwościami mieszaniny, co znacząco wpływa na zmniejszenie objętości zajmowanej przez wielkogabarytowe odpady, które można następnie wykorzystać do wykonywania warstw izolacji wodochronnych w nowo wznoszonych, remontowanych i modernizowanych obiektach [3, 4, 7].

Należy pamiętać, że rozpuszczenie odpadów polistyrenu w rozpuszczalnikach nie powoduje istotniej degradacji łańcuchów polimerowych, co pozytywnie odróżnia ten proces od mechanicznego mielenia lub prasowania odpadów. Otrzymany polimer można stosunkowo łatwo odfiltrować od nierozpuszczalnych dodatków, a następnie wytrącić do stałej postaci. W tym stanie może on być powtórnie spieniony, przetworzony poprzez wyłaczanie, które w wyniku kolejnych etapów technologicznych pozwala uzyskać całkowicie nowy produkt [4, 6, 9]. Ta droga recyklingu polistyrenu jest jednak dość rzadko stosowana.

### Literatura

- [1] Wierzba, P., 2010, Możliwości odzysku odpadów polistyrenu, *Recykling*, 4, 18-19.
- [2] Adamczyk J., Dylewski R., 2010, Recykling odpadów budowlanych w kontekście budownictwa zrównoważonego, *Problemy Ekorozwoju*, 5, 125-131.
- [3] Nolepa A., Kiprian K., Siemiątkowski G., 2018, Analiza wybranych problemów związanych z gospodarką odpadami budowlanymi i rozbiórkowymi, *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, 11(32), 52-62.
- [4] Chylińska, M., Trojanowski K., Podgórski A., P. Niemcewicz, 2018, Metody recyklingu odpadów z polistyrenu i potencjalne możliwości jego ponownego zastosowania, *Przetwórstwo Tworzyw*, 24, 27-38.
- [5] Plastic Europe „Tworzywa-Fakty, 2021, Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie”, <https://plasticseurope.org/pl/wp-content/uploads/sites/7/2022/01/tworzywa-fakty2021.pdf>, 10.08.2022.
- [6] Jędrzak A., den Boer E., Kamińska-Borak J., Szpadt R., Krzyśków A., Wielgoński G., Gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce „Analiza możliwości i barier zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych, pochodzących z selektywnego zbierania odpadów komunalnych, a kwestie

GOZ”, Instytut Ochrony środowiska Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, czerwiec 2021.

[7] Olifierowicz J., Samobrod A., Truchan K., Wyszynska E., 2008, Preparat wodochronny i sposób otrzymywania preparatu wodochronnego, patent UP RP nr P-196652 B1.

[8] Wielgosiński G., 2020, Termiczne przekształcanie odpadów, Nowa Energia, Racibórz.

[9] Czarnecka-Komorowska D., 2013, Recykling niskoudarowego polistyrenu (GPPS): struktura, właściwości, Przetwórstwo Tworzyw – Polymer Processing, 19(5), 485-488.

[10] Fabijański M., 2022, Wpływ wielokrotnego przetwarzania na właściwości wytrzymałościowe mieszaniny polilaktyd/polistyren, Przemysł Chemiczny, 101(1), 65-68.

### Jan Władczak

e-mail: jan.piotr.wld@gmail.com; 950345@edu.p.lodz.pl

Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, kierunek Chemia Budowlana

# Ciekłe materiały chemiczne – farby, pokosty, impregnaty i lakiery – zagrożenia podczas użytkowania oraz przeciwdziałanie im

## Wstęp – charakterystyka ciekłych materiałów chemii budowlanej

Wymienione w tytule ciekłe materiały chemii budowlanej, to jednorodne, płynne chemikalia, będące mieszaninami różnych związków chemicznych o zbliżonym składzie. W budownictwie wykorzystuje się wiele substancji chemicznych w postaci ciekłej począwszy od składników służących do sporządzania zapraw czy tynków (superplastyfikatory czy też dodatki poprawiające przyczepność do nawierzchni), okładziny ścienne i podłogowe (farby, pokosty farb, lakiery czy impregnaty), kleje, a także wiele innych [1, 2]. Ponadto przemysł budowlany coraz to szybciej rozwija się przez co powstają coraz to nowsze substancje służące do różnych celów w budownictwie. Substancje znajdujące w zaprawach czy tynkach nie stanowią z reguły zagrożenia w przypadku ich prawidłowego użycia i nie wystąpienia awarii w trakcie ich dodawania. Wynika to z faktu, że większość z tych substancji ulega już w początkowej fazie twardnienia zapraw czy tynków związaniu w wyniku reakcji chemicznej z innymi fazami występującymi w tego typu produktach, bez uwalniania w tym procesie szkodliwych substancji. Ponadto większość z tych substancji tworzonych jest na bazie związków powierzchniowo czynnych, wśród których nieliczne związki mogą być szkodliwe dla naszego zdrowia. Natomiast substancje, tj. farby, pokosty, lakiery, kleje czy też impregnaty mogą zarówno na etapie ich produkcji jak

i użytkowania, w celach chociażby pokrywania ścian czy też podłóg, stanowić znaczne zagrożenie dla zdrowia, a czasami nawet i życia w przypadku ich stosowania i niezachowywania zasad BHP [1-7].

### Farby

Farba to substancja, która ma za zadanie tworzenie różnego rodzaju powłok ochronnych czy też dekoracyjnych na powierzchni różnych przedmiotów w naszym przypadku ścian zewnętrznych, wewnętrznych, a także w wielu innych aspektach w budownictwie mieszkaniowym. Farby składają się często z wielu składników, wśród których można wyróżnić: spoiwa i substancje, rozcieńczalniki, pigmenty oraz dodatki modyfikujące [2, 3].

Spoiwa i substancje, które tworzą film – są to składniki, występujące we wszystkich rodzajach farb czy lakierów. Powodują powstanie powłoki najczęściej o niewielkiej grubości (nazywanym również błonotwórczym filmem) na powierzchni malowanego elementu, która ma na celu nadanie farbie określonych cech, wśród których można wymienić: odporność na warunki atmosferyczne, wytrzymałość, elastyczność czy też takie właściwości jak połysk, trwałość, a także przyczepność. Substancje, które najczęściej pełnią tę funkcję w farbach to syntetyczne lub naturalne żywice, takie jak np. poliuretany, poliestry, kopolimer octanu winylu i etylenu (VAE), silany, żywice epoksydowe lub też różnego rodzaju oleje.



Rozcieńczalniki – są to substancje służące w farbach do rozpuszczenia polimeru czy też zmniejszenia lepkości spoiwa. Cechą charakterystyczną rozcieńczalników jest ich duża lotność, dzięki której łatwo odparowują podczas wysychania i nie stają się częścią farby. Dodatkowym i równie ważnym zadaniem rozcieńczalników jest kontrolowanie właściwości płynięcia i aplikacji. Ponadto mogą one wpływać na stabilność farby w stanie ciekłym. Rozcieńczalniki są różne w zależności od typów farb: dla farb wodorozcieńczalnych jest to woda, dla farby olejnych (tzw. rozpuszczalnikowych) są to kombinacje różnych rozpuszczalników organicznych, w tym mogą to być związki aromatyczne, tj. toluen lub inne pochodne ksylenu, alkohole czy też ketony.

Pigmenty – ich zadaniem jest nadanie farbie odpowiedniego koloru, przy czym najczęściej występują one w formie ziarnistych ciał stałych. Pigmenty można podzielić na naturalne lub syntetyczne. Spośród pigmentów naturalnych wyróżnia się gliny, krzemionki, węglan wapnia i talki, natomiast wśród pigmentów syntetycznych wyróżnia się kalcynowane glinki, siarczany baru (tzw. blanc fixe), strącany węglan wapnia czy też pirogeniczne krzemionki. Innym, specjalnym rodzajem pigmentów są wypełniacze, czyli granulowane ciała stałe, które stosuje się w celu zwiększenia objętości farby, wzmocnienia jej struktury, a także w celu obniżenia samego kosztu produkcji farby co wynika z ich stosunkowo niskiej ceny. Przykładami powszechnie stosowanych wypełniaczy w produkcji farb są między innymi ziemia okrzemkowa, talk, wapno, baryt czy też glina.

Dodatki modyfikujące – są to składniki dodawane do farb w niewielkich ilościach, w celu modyfikacji ich właściwości. Tego typu dodatki mogą zmieniać chociażby napięcie powierzchniowe, poprawiać właściwości płynięcia i stabilność pigmentu, kontrolować pienienie, zapobiegać zamarzaniu jak i również obniżać lepkość oraz zapewniać bardzo dobrą stabilizację koncentratów pigmentowych. Ważną właściwością dodatków modyfikujących jest również zapewnienie odpowiedniej dyspersji barwników czy pigmentów. Do osiągnięcia tego typu właściwości stosuje się różne substancje w tym m.in. lateks. Natomiast przykładem związków zmniejszających napięcie powierzchniowe są emulgatory które są jedną z najważniejszych grup dodatków. Dzięki nim farba staje się trwałą, jednolitą emulsją, co bezpośrednio przekłada się na ułatwienie aplikacji farby na wszelkich powierzchniach.

Wyróżniamy wiele rodzajów farb, spośród których można wymienić farby emulsyjne, a wśród nich akrylowe, lateksowe, akrylowo-lateksowe i winylowe. Stosowane są też inne rodzaje farb, jak: wapienne, klejowe, krzemianowe, silikonowe, epoksydowe, chlorokauczukowe, poliuretanowe, strukturalne, natryskowe i proszkowe [2, 3, 6].

## Lakiery

Innym rodzajem substancji, która tworzy powłokę ochronną czy dekoracyjną jest lakier. Jest to po prostu farba zawierająca stałe spoiwo roztworzone w rozpuszczalniku, które wysychają w wyniku jego odparowania. Lakiery są substancjami mogącymi utwardzać się w bardzo szerokim przedziale temperatur. Ponadto są one grupą stanowiącą wykończenie różnego rodzaju parkietów czy też ścian drewnianych poprzez utworzenie transparentnej czy też pigmentowanej powłoki. Głównym surowcem do produkcji lakierów jest twardy i liniowy polimer. Właściwości lakierów są głównie zależne od budowy głównego surowca czy polimeru. Spośród rozpuszczalników najczęściej stosuje się benzynę lakową lub terpentynę mineralną. Można wyróżnić wiele rodzajów lakierów, aczkolwiek główny podział dzieli lakiery na dwie grupy: rozpuszczalnikowe i wodne.

Lakiery rozpuszczalnikowe charakteryzują się dużą odpornością na uszkodzenia mechaniczne, a także zapobieganiem wnikaniu wilgoci. Głównym składnikiem tego typu lakierów jest rozpuszczalnik, który zazwyczaj posiada nieprzyjemny i intensywny zapach. Wyróżnia się wiele lakierów rozpuszczalnikowych m.in.: poliuretanowe, nitrocelulozowe, olejno-żywiczne i spirytusowe.

Lakiery wodne (wodorozcieńczalne) są to lakiery, których głównym składnikiem (rozpuszczalnikiem) jest woda. Natomiast właściwości takie jak elastyczność czy odpowiednie napięcie powierzchniowe odpowiadają substancje modyfikujące, tj. estry czy surfaktanty. Dzięki swojej budowie lakiery wodne uzyskują znakomitą stabilizację końcową. Lakiery wodorozcieńczalne można podzielić ze względu na spoiwa stosowane do ich tworzenia, a wśród nich wyróżnia się: lakiery akrylowe, poliuretanowe wodne i poliuretanowo-akrylowe [2, 3].

## Impregnaty

Kolejnym preparatem ciekłym stanowiącym potencjalne zagrożenie podczas jego stosowania jest impregnat, czyli substancja chemiczna służąca do nasycania, m.in. drewna czy też ogólnie materiałów budowlanych w celu nadania im odpowiednich cech i właściwości, tj.: niezwilżalność, niepalność, odporność na chemikalia, nieprzepuszczalność powietrza lub gazów. Impregnat jest to roztwór rozpuszczalników organicznych lub emulsji wodnych, z których po naniesieniu na powierzchnię impregnowaną odparowuje rozpuszczalnik. Impregnaty można dzielić na kilka różnych sposobów, spośród których najlepszym kryterium podziału jest rodzaj czynnika aktywnego: Wyróżniamy impregnaty:

- krzemooorganiczne – silikonowe, siloksanowe, silanowe;



- żywiczne – akrylowe;
- naturalne – oleje, woski [2, 4].

### **Pokosty**

Substancją o podobnej funkcji co impregnat jest pokost, który jest produktem pochodzenia naturalnego, otrzymanym poprzez zagęszczenie oleju lnianego z dodatkiem substancji przyspieszających wysychanie, tzw. sykatyw. Podobnie jak wcześniej wymieniony impregnat stosowany jest jako środek do impregnacji drewna, tynków i innych materiałów porowatych, w celach ochrony tych materiałów przed wilgocią oraz czynnikami atmosferycznymi. Czysty pokost bywa rozcieńczany, najczęściej terpentyną balsamiczną, w celu ułatwienia penetracji czynników ochronnych w głąb twardego drewna. Słowo „pokost” również potocznie, choć niepoprawnie stosuje się jako nazwę bezbarwnych lakierów na bazie olejów czy żywic naturalnych lub syntetycznych oraz ich mieszanin. Przed XIX wiekiem określenie „pokost” dotyczyło się wszystkich lakierów i impregnatów o własnościach wodochronnych. Od XIX w. pokost uważany jest tylko jako czysty olej lniany zagęszczony w wyniku gotowania z dodatkiem soli ołowiu, w tamtych latach powszechnie stosowany w szklenictwie, stolarstwie i ciesielstwie [2, 4, 8].

### **Kleje**

Ostatnim z opisywanych reagentów jest klej, czyli substancja najczęściej niemetaliczna wprowadzona pomiędzy dwa materiały, która łączy je trwale w procesie klejenia, a najważniejszą cechą kleju jest jego zwiększanie adhezji. Klejenie powierzchni ciał stałych jest procesem, który nie wywołuje zmian kształtu ani zmian właściwości materiałów łączonych. Głównym składnikiem kleju, który nadaje mu właściwości klejące, jest substancja wielkocząsteczkowa, czyli spoiwo. W skład kleju często wchodzi różnego rodzaju rozpuszczalniki, zmiękczacze, wypełniacze, środki zwilżające i stabilizatory. W budownictwie wyróżnia się mnóstwo rodzajów klejów począwszy od tych do klejenia parkietu, aż po te do klejenia izolacji cieplnych [2, 5, 7].

## **Zagrożenia ze strony ciekłych materiałów chemicznych stosowanych w budownictwie**

Każda z wyżej wymienionych substancji w przypadku długotrwałego kontaktu może powodować zagrożenia dla naszego zdrowia, a czasami nawet i życia. Nieprzestrzeganie podstawowych zasad BHP w przypadku tych substancji może grozić w wielu przypadkach pogorszeniem stanu zdrowia. Spożywanie, picie, długotrwały kontakt ze skórą, kontakt z oczami czy inhalacje tymi substancjami

to podstawowe przykłady nieprzestrzegania BHP, które w przypadku tych substancji mogą zakończyć się nawet śmiercią. Aczkolwiek są to bardzo skrajne przypadki, natomiast w wielu przypadkach nieświadomie mamy kontakt z tymi substancjami w taki sposób, że faktycznie zagrażają one naszemu zdrowiu [2].

### **Zagrożenie ze strony rozpuszczalników organicznych**

Główną substancją wymienianą w wielu tych materiałach stosowanych w budownictwie są rozpuszczalniki organiczne, czyli substancje ciekłe, które mają możliwość tworzenia roztworu wraz z innymi substancjami stałymi czy też ciekłymi. Rozpuszczalniki w większości tych substancji wymienionych powyżej są to substancje lotne, które odparowują po nałożeniu ich na powierzchnię tworząc przy tym opary danego rozpuszczalnika, które stwarzają zagrożenie dla człowieka ze względu na możliwość ich wdychania. Rozpuszczalniki stosowane do tego typu materiałów można podzielić na trzy zasadnicze rodzaje: węglowodory alifatyczne i aromatyczne oraz alkohole.

Węglowodory alifatyczne – są to rozpuszczalniki chemicznie obojętne, a także bardzo stabilne. Charakteryzują się one dobrą rozpuszczalnością dla olejów mineralnych, olejów tłuszczowych, wosków i parafin. Niestety wiele żywic i spoiw o niskiej polarności rozpuszcza się trudniej w węglowodorach alifatycznych. Wśród tego typu rozpuszczalników można wyróżnić głównie benzynę ekstrakcyjną czy lakową.

Węglowodory aromatyczne – jest to grupa rozpuszczalników najgroźniejszych ze względu na ich budowę chemiczną. Substancje te lepiej rozpuszczają oleje modyfikowane żywicami czy same żywice. Najpopularniejszym tego typu rozpuszczalnikiem jest toluen, który używany jest najczęściej w farbach opartych na moczniku, melaminie czy też fenolu, w farbach z żywic oraz w farbach opartych na kauczuku. Równie ważnym rozpuszczalnikiem z tej grupy jest ksylen używany często w produkcji farb przemysłowych. Tego typu rozpuszczalnik zawiera niewielką ilość toluenu oraz znaczną ilość etylobenzenu. Posiada podobne właściwości w zakresie rozpuszczania do toluenu.

Alkohole – wyższe, głównie stosuje się je jako rozcieńczalniki, natomiast niższe stosuje się jako rozpuszczalniki żywic silnie polarnych. Najpopularniejszymi rozpuszczalnikami alkoholowymi są metanol, izopropanol, butanol i heksanol.

Spośród tych trzech rodzajów najgroźniejsze są węglowodory aromatyczne, gdyż te najczęściej używane są w różnego rodzaju farbach, po których nałożeniu rozpuszczalnik odparowuje tworząc szkodliwe opary. Aczkolwiek wszystkie z tych rozpuszczalników są mniej lub bardziej niebezpieczne. Najczęstszą drogą wchłaniania jest wdychanie lotnych



postaci tych związków, aczkolwiek równie często może zachodzić poprzez: skórę (kontakt z cieczami lub parami), przewód pokarmowy (w wyniku połknięcia) lub w wyniku kontaktu substancji z oczami.

Długotrwałe narażenie na opary rozpuszczalników może wywoływać m.in. bóle i zawroty głowy, podrażnienia błon śluzowych dróg oddechowych i oczu, nudności, wymioty, stany pobudzenia/oszołomienia, senność, duszności, a w niektórych przypadkach może dojść do nieżyty i zapalenia dolnych dróg oddechowych. Przy czym wysokie stężenia rozpuszczalników w powietrzu mogą prowadzić do zaburzenia: oddychania, ośrodkowego układu nerwowego, rytmu serca czy utratę przytomności. Długotrwały kontakt z rozpuszczalnikami w postaci ciekłej, np. podczas mieszania lub prac czyszczących, może powodować podrażnienia skóry (zapalenie skóry), ból oczu i podrażnienia dróg oddechowych. Natomiast przewlekłe narażenie na rozpuszczalniki organiczne może powodować uszkodzenia wątroby, nerek oraz układu nerwowego, co za tym idzie u pracownika narażonego na tego typu substancje może prowadzić do wystąpienia choroby zawodowej. Zdarzały się przypadki, w których wysokie stężenie rozpuszczalników organicznych w środowisku pracy, powodowało ostre skutki, tj. uszkodzenie centralnego jak i obwodowego układu nerwowego, co spowodowało utratę przytomności i śmierć, ze względu na wystąpienie bezdechu [2, 6, 9-12].

### **Zagrożenia ze strony innych związków**

Aczkolwiek nie tylko rozpuszczalniki stanowią zagrożenie w przypadku farb, lakierów, impregnatów, klejów czy pokostów, gdyż często substancje pomocnicze jak i spoiwa mogą szkodzić zdrowiu.

Takimi substancjami są chociażby środki zmniejszające palność (uniepalniacze) na bazie związków halogenowych. Antypireny na bazie związków chloro i bromoorganicznych są to najczęściej stosowane rodzaje tego typu związków ze względu na ich bardzo dobre właściwości uniepalniające. Aczkolwiek powstało już całe mnóstwo badań pokazujących ich szkodliwość dla zdrowia ludzkiego. Związki te stanowią zagrożenia dla człowieka ze względu na ich zdolność do bioakumulacji i biomagnifikacji. Często zdarza się sytuacja, że wraz z rozpuszczalnikami organicznymi odparowują również inne łatwo lotne związki w tym właśnie te rodzaje antypirenów. Tym samym pracownik, który zawodowo zajmuje się nakładaniem farb czy też lakierów może wdychać ogromne ilości tego typu substancji, które akumulują się w organizmie zwiększając przy tym swoje stężenie. Największe zagrożenie dla człowieka mają te związki które posiadają znaczne powinowactwo do tłuszczu. Powodują często zmiany w układzie

hormonalnym (tarczycy, kory nadnerczy i gonad) jak i w aktywności enzymów wątrobowych. Ponadto w wielu badaniach wykazano wpływ tego typu substancji na zwiększenie częstotliwości występowania niektórych nowotworów u ludzi. Aczkolwiek największym zagrożeniem wykazany w badaniach był wpływ substancji halogenoorganicznych na płód czy też na dzieci zaraz po urodzeniu ze względu na brak ukształtowanego układu endokrynologicznego. Wykazano, że dzieci narażone na kontakt z tymi substancjami w tak wczesnych fazach życia często miały nieodwracalne zaburzenia rozwojowe manifestujące się, nawet z dużym opóźnieniem czy nawet dysfunkcją niektórych narządów. Stąd też dąży się do zastępowania uniepalniaczy na bazie związków halogenowych innymi związkami o podobnej specyfice działania [2,13].

Innym rodzajem takich substancji są spoiwa, które w przypadku większości klejów, farb czy też lakierów są na bazie substancji, które w przypadku długotrwałego kontaktu ze skórą mogą spowodować zaczerwienienia, ból czy nawet zapalenie skóry. Ponadto te same substancje w przypadku kontaktu z okiem spowodują jego ból, a także zaczerwienienie spojówek. W przypadku braku szybkiej reakcji i kontaktu z lekarzem w niektórych przypadkach może dojść nawet do poważnych zaburzeń w działaniu narządu wzroku czy nawet częściowej jego utracie. Natomiast najtragiczniejsze skutki mogą być połknięcia tych substancji, gdyż w niektórych przypadkach na przykład zbyt wolnej późnego kontaktu z lekarzem, może dojść do trwałej utraty zdrowia tej osoby (uszkodzenie wątroby, układu nerwowego czy układu pokarmowego), a nawet do śmierci [2, 9-12].

Takimi substancjami są również substancje owadobójcze i grzybobójcze stosowane często w różnego rodzaju farbách, lakierach czy też najczęściej w impregnatách do drewna. Przykładem takiego związku jest permetryna stosowana jako insektycyd w m.in. impregnatách do drewna. Związki te często są związkami lotnymi mogącymi powodować poważne zatrucia (ból głowy, senność, wymioty, bóle brzucha, silne drgawki) w przypadku długotrwałego kontaktu z tymi związkami. Ponadto w przypadku kontaktu ze skórą i oczami mogą powodować zaczerwienienie, ból, silne łuszczenie naskórka, a nawet przewlekłe zapalenie skóry (rzadziej trwałe uszkodzenie skóry), również w wielu przypadkach kontaktu z oczami spowodują częściową utratę wzroku w najgorszych przypadkach nieodwracalną całkowitą utratę wzroku. Niestety zatrucia związane z tymi związkami są silne ze względu na dużą toksyczność tych związków dla człowieka. Takie substancje są bardzo często stosowane w impregnatách (głównie części drewnianych tych najbardziej narażonych na pleśń czy owady), a te w przypadku spożycia

mogą doprowadzić do śmierci ze względu na uszkodzenie w krótkim czasie dużej liczby narządów. Głównie wątroby, która w przypadku niektórych substancji dostarczonych nawet w setnych częściach miligramów może ulec trwałemu uszkodzeniu. Tragiczny również wpływ mają te substancja na płód, powodując w wielu przypadkach jego uszkodzenie, w najgorszym przypadku nawet jego śmierć [2, 11, 12].

Ostatnimi związkami stanowiącymi zagrożenie są to metale ciężkie stosowane w produkcji farb, lakierów, impregnatów i klejów. Metale ciężkie z łatwością mogą wnikać do organizmu człowieka poprzez układ oddechowy, pokarmowy oraz przez skórę. Natomiast skutki ich oddziaływania na organizm mogą ujawniać się dopiero po wielu latach. Wśród nich można wymienić najgroźniejsze trzy stanowiące największe zagrożenie dla człowieka: kadm, ołów i rtęć.

Kadm – silne działanie rakotwórcze, uszkadza nerki, płuca i wątrobę. Ponadto powoduje choroby kostne, zaburzenia wzrostu i wzroku oraz bezpłodność (u mężczyzn najczęściej akumuluje się w jądrach), również poprzez wypieranie cynku z ścian tętnic prowadzi do rozwoju miażdżycy i nadciśnienia,

Ołów – w przypadku przewlekłych zatruc najczęściej może powodować brak apetytu, kolki, skurcze i znużenie, zmęczenie, porażenie mięśni, osłabienie pamięci, zaburzenia neurologiczne i psychiczne. Ponadto częstymi skutkami są anemia, bezpłodność jak i problemu z hormonami tarczycy.

Rtęć – neurotoksyna, gromadząca się w tkance mózgowej i rdzeniu kręgowym, zakłócając ich funkcje neurologiczne. Ponadto w wielu przypadkach powoduje również zaburzenie widzenia i świadomości. Może również powodować stany dezorientacji i zagubienia, kłopoty z pamięcią, nerwowość, drżenie rąk.

Należy pamiętać, że metali o podobnych, czy też niewiele mniejszych skutkach zdrowotnych stosowanych powszechnie w przemyśle, m.in. farb czy lakierów jest o wiele więcej [2, 15].

### Sposoby przeciwdziałania zagrożeniom

Głównym sposobem na przeciwdziałanie zagrożeniom ze strony materiałów chemii budowlanej jest przestrzeganie zasad bezpieczeństwa zamieszczonych na kartach charakterystyk danych substancji chemicznych jak i również przestrzeganie podstawowych zasad BHP w miejscu pracy. Między innymi niespożywanie posiłków w miejscu pracy poza wyznaczonymi miejscami, czy też nie wykonywanie prac bez adekwatnego do zagrożeń stroju.

Natomiast najprostszym sposobem przeciwdziałania większości zagrożeń związanych głównie z występowaniem

oparów lotnych związków szkodliwych jest wentylacja pomieszczenia, w którym wykonywana jest konkretna praca. W przypadku braku odpowiedniej wentylacji zaleca się stosowanie masek pochłaniających opary najczęściej w postaci półmasksi skompletowanej z pochłaniaczem A1.

Przeciwdziałaniem dla zagrożeń związanych z kontaktem substancji ze skórą jest to najczęściej stosowanie po prostu ostrożności, aczkolwiek w branży budowlanej jest to rzadkość. Z takich powodów ważnym elementem chroniącym nas przed działaniem tych substancji jest odpowiedni ubiór (roboczy). Strój wyposażony w koszulę o długim rękawie i spodniach o długich nogawkach. Ponadto zaleca się stosowanie rękawic ochronnych czy nawet w celu ochrony skóry twarzy stosowanie tzw. przyłbic.

Natomiast w celu ochrony oczu najczęściej stosuje się różnego rodzaju okulary ochronne czy też przyłbice, które mogą chronić oczy bez pogarszania widoczności, której pogorszenie może również stanowić zagrożenia dla życia pracownika [2, 11, 12].

### Podsumowanie

Zagrożenie ze strony ciekłych materiałów chemicznych (farb, pokostów, impregnatów, lakierów czy klejów) stosowanych w budownictwie mieszkaniowym jest stosunkowo duże, gdyż wiele substancji jakie zawierają te materiały zagrażają bezpośrednio naszemu zdrowiu czy życiu. Aczkolwiek w dzisiejszych czasach istnieje całe mnóstwo metod przeciwdziałania tym zagrożeniom, jak np. ubrania ochronne i inne środki indywidualnej czy odpowiednia wentylacja pomieszczeń. Ponadto dąży się do skali zmniejszenia stosowania związków stanowiących silne zagrożenie zarówno dla człowieka jak i dla środowiska i zastępowanie ich związkami o mniejszej toksyczności [2].

### Literatura

[1] Portal Inżynieria.com, Najważniejsze surowce chemiczne wykorzystywane w budownictwie, <https://inzynieria.com/budownictwo/wiadomosci/66005,najwazniejsze-surowce-chemiczne-wykorzystywane-w-budownictwie>, 02.06.2023.

[2] Władczak J., 2023, Zagrożenia ze strony ciekłych materiałów chemicznych (farb, pokostów, impregnatów i lakierów), stosowanych w budownictwie mieszkaniowym oraz możliwości przeciwdziałania im, Praca zaliczeniowa z przedmiotu BHP i ergonomia, semestr VI w Politechnice Łódzkiej, kierunek: Chemia budowlana, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska.

[3] Portal PCC Group, Farby i lakiery, <https://www.products.pcc.eu/pl/k/farby-i-lakiery/>, 03.06.2023.

[4] Portal Wikipedia, Pokost/impregnacja, <https://pl.wikipedia.org/wiki/>, 02.06.2023.

[5] Portal Encyclopaedia PWN, Klej, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/klej;3922814.html>, 04.06.2023.



[6] Portal Chemia i Biznes, 2012, Rozpuszczalniki w przemyśle farb i lakierów, <https://www.chemiabiznes.com.pl/artykuly/rozpuszczalniki-w-przemysle-farb-i-lakierow>, 04.06.2023.

[7] Portal Budujemy Dom, 2023, Rodzaje klejów budowlanych i ich charakterystyka, <https://budujemydom.pl/wykanczanie-chemia-budowlana/a/768-kleje-do-paneli>, 04.06.2023.

[8] Co to jest pokost lniany? Zastosowanie i przeznaczenie, <https://drewno-konserwacja.pl/co-to-jest-pokost-lniany-zastosowanie-i-przeznaczenie/>, 04.06.2023.

[9] Portal CIOP-PIB, Malowanie, [https://www.ciop.pl/CIOP-PortalWAR/appmanager/ciop/pl?nfpb=true&\\_pageLabel=P14200160371346149572078&html\\_tresc\\_root\\_id=1851&html\\_tresc\\_id=1851&html\\_klucz=1850&html\\_klucz\\_spis=1851](https://www.ciop.pl/CIOP-PortalWAR/appmanager/ciop/pl?nfpb=true&_pageLabel=P14200160371346149572078&html_tresc_root_id=1851&html_tresc_id=1851&html_klucz=1850&html_klucz_spis=1851), 04.06.2023.

[10] ANED, 2018, Karta charakterystyki według 1907/2006/WE (REACH), 2015/830/EU – Rozpuszczalnik do farb epoksydowych. <https://aned.pl/wp-content/uploads/2016/12/Karta-charakterystyki-ROZPUSZCZALNIK-EPOKSYDOWY.pdf>, 10.11.2023.

[11] Portal Centrum Wiedzy, 2019, Wpływ farb, lakierów i roz-

puszczalników na środowisko naturalne, <https://centrum-wiedzy.eu/wplyw-farb-lakierow-rozpuszczalnikow-srodowisko-naturalne/>, 04.06.2023.

[12] Żurkowski Z., 2016, Analiza wpływu rozpuszczalników organicznych na pracowników zatrudnionych w zakładach chemicznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej – Organizacja i Zarządzanie, Politechnika Śląska, z. 87, 495-506.

[13] Góralczyk K., Struciński P., Czaja K., Hernik A., Ludwicki J.K., 2002, Uniepalniacze – zastosowanie i zagrożenie dla człowieka, Roczniki PZH, 53(3), 293-305.

[14] Portal Medonet, Pawlak M., 2020, Permetryna – właściwości, zastosowanie, cena, środki bezpieczeństwa <https://www.medonet.pl/zdrowie/permetryna--wlasciwosci--zastosowanie--srodki-bezpieczenstwa,artykul,1726675.html#permetryna-srodki-bezpieczenstwa>, 05.06.2023.

[15] Portal Sklep.alablaboratoria, Lewandowska M., 2023, Pierwiastki śmierci – kadm, rtęć, ołów; <https://sklep.alablaboratoria.pl/centrum-wiedzy/metale-ciezkie/>, 05.06.2023.

**Maria Urbanek, Andrzej Żarczyński, Piotr Anielak, Jakub Kubicki**

e-mail: 218815@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczynski@p.lodz.pl; piotr.anielak@p.lodz.pl; jakub.kubicki@p.lodz.pl

*Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

## Zbiornik Rochna na rzece Mroga – środowisko naturalne oraz analiza jakości wody

### Wstęp – kilka zdań

#### o historii

#### i teraźniejszości Rochny

W kierunku północno-zachodnim od miasta Koluszki płynie rzeka Mroga, która po przecięciu drogi wojewódzkiej 715 wije się przez wartościowe ekologicznie tereny leśne (Rys. 1), z wydzielonym w 1998 r. Zespołem Przyrodniczo-Krajobrazowym „Rochna” o powierzchni 21,95 hektarów. Występuje tu znaczne zróżnicowanie krajobrazu z niewielkimi parowami i wąwozami, a w obniżeniach terenu z torfowiskami. Mroga przepływa przez zbiornik (zalew) Rochna o powierzchni 4,9 ha i średniej głębokości 1,56 m (Rys. 2), z urządzeniami spiętrzającymi wodę w rejonie odpływu, a następnie przez zbiornik Lisowice o powierzchni 8,38 ha i średniej głębokości około 1,2 m [1-6]. Obydwa zbiorniki są dogodnymi miejscami do uprawiania wędkarstwa nadzorowanymi przez Koło Polskiego Związku Wędkarskiego Brzeziny [2].

Rochna to dawna osada młyńska położona w województwie łódzkim, w gminie Brzeziny, która od wielu lat jest

miejscością wypoczynkową. W latach osiemdziesiątych XX wieku nad tutejszym zalewem – oprócz restauracji istniało pole namiotowe, basen kąpielowy, niewielka plaża, przystań wodna dla łódek, rowerów wodnych i kajaków [4, 5]. Obecnie w Rochnie przyjmuje gości „Hotel nad Mrogą” z restauracją „Cztery Pory Roku”. Na skraju zbiornika tuż za parkingiem znajduje się restauracja „Fregata-Alpol. Lepsza W.”. Przed laty tuż za groblą spiętrzającą wodę istniał wyżej wspomniany basen kąpielowy, którego pozostałości są widoczne w postaci pustej i zarośniętej roślinnością betonowej niecki ze schodkami (Rys. 3).

Na terenie wsi i w lasach o urozmaiconym drzewostanie okalającym wspomniany zbiornik rośnie kilkadziesiąt okazałych dębów szypułkowych i lip drobnolistnych – część to pomniki przyrody w wieku do 250 lat (Rys. 4). Stary las dębowo-lipowy rozcinają malownicze parowy i wąwozy – rośnie tu m.in. pełnik europejski, roślina należąca do rodziny jaskrowatych znajdująca się po ścisłą ochroną [1, 4]. Odnaleźć tu można również głązy narzutowe stanowiące pamiątkę po zlodowaceniu środkowopolskim.



Rys. 1. Rzeka Mroga przed zbiornikiem Rochna,  
fot. własność Autorów



Rys. 2. Miejsce poboru wody z punktu Rochna II,  
fot. własność Autorów



Rys. 3. Pozostałości basenu w sąsiedztwie zbiornika Rochna,  
fot. własność Autorów

### Cel, zakres i metodyka badań

Celem prezentowanych badań było poznanie i ocena jakości wody w rzece Mroga, następnie przepływającej przez nizinny, zaporowy zbiornik wodny – Rochna, znajdujący się w gminie Brzeziny, w pobliżu miasta Kuluszki.

Zakres pracy obejmował następujące ważniejsze pozycje:

- rozpoznanie terenu z wyborem punktu poboru wody do badań z rzeki Mroga oraz dwu punktów poboru ze zbiornika Rochna;
- pobór wody do analizy z wybranych miejsc w dniach 22 kwietnia, a także 06 oraz 16 maja 2022 r.;
- zbadanie jakości prób pobranej wody poprzez wykona-



Rys. 4. Dąb szypułkowy – pomnik przyrody – w głębi zbiornik Rochna,  
fot. własność Autorów

nie grupy analiz wskaźników fizykochemicznych i metali antropogenicznych;

- zestawienie wyników analiz wód powierzchniowych z rzeki Mroga oraz zbiornika Rochna; a także ocena ich jakości [6, 7].

Pierwszym etapem analizy wody był jej pobór wykonywany z w/w miejsc trzykrotnie w odstępie czasu co około 2 tygodnie (Rys. 5). Podczas jednego poboru pobierano 3 próby wody, przy czym każda miała objętość 1,5 dm<sup>3</sup>. Wodę pobierano do plastikowych butelek po wodach mineralnych uprzednio przemytych wodą z miejsc poboru, nalewając ją aż pod sam korek, tak by pomiędzy wodą a korkiem nie było pęcherzyków powietrza, z których tlen mógłby utleniać składniki znajdujące się w wodzie. Wodę pobierano z głębokości około 20 centymetrów od lustra wody i w odległości około pół metra od brzegu. Pomiar





Rys. 5. Miejsca poboru prób wody zaznaczone na mapie fragmentu doliny rzeki Mroga. Opracowanie własne na bazie mapy Google z portalu PZW Brzeziny [2]

temperatury (termometr elektroniczny WT-1) i stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie (Tlenomierz CO-411 firmy Elmetron) zostały wykonane w terenie podczas poboru wody, natomiast pozostałe analizy w laboratoriach Instytutu Chemii Ogólnej i Ekologicznej Politechniki Łódzkiej, tj. Laboratorium Hydrologii, Technik Uzdatniania Wody i Oczyszczania Ścieków oraz Laboratorium Badania i Migracji Zanieczyszczeń do Środowiska [7].

Woda z rzeki Mroga została pobrana w punkcie pomiarowym Mroga I (51°46'02.7"N; 19°47'25.2"E), natomiast woda ze zbiornika Rochna została pobrana w dwóch punktach pomiarowych (Rys. 5): Rochna I (51°46'09.8"N; 19°47'55.9"E) i Rochna II (51°46'05.6"N; 19°47'56.1"E).

Analizy fizykochemiczne oraz instrumentalne wody wykonywano metodami stosowanymi w praktyce laboratoryjnej, opartymi na polskich (PN) i międzynarodowych normach (ISO), przy czym do części analiz wskaźników fizykochemicznych wykorzystano instrukcje zawarte w podręcznikach Gorzki i Współautorów [8] oraz Hermanowicza i Współautorów [9]. Do oznaczania ogólnego węgla organicznego oraz azotu ogólnego był stosowany automatyczny analizator węgla IL 550 TOC-TN firmy HACH Lange. Analizy stężeń metali wykonano za pomocą spektrometru emisyjnego z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-OES) PlasmaQuant PQ 9000 Elite firmy Analytik Jena [7]. Uzyskane wyniki serii pomiarowych porównano z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. (Dz. U. 2021, poz. 1475) [10].

### Wyniki analiz prób wód powierzchniowych i ich interpretacja zbiornika Rochna

W tabelach 1 i 2 zamieszczono średnie wyniki analizy wód z punktu pomiarowego dla rzeki Mroga, zestawione z wartościami granicznymi dla jednolitych części wód rzecznych typu wód powierzchniowych 24 (s. 207) (mała lub średnia rzeka na obszarze będącym pod wpływem procesów torfotwórczych) [7, 10]. Z kolei w tabelach 3 i 4 przedstawiono wyniki analizy wód ze zbiornika Rochna,

w zestawieniu z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z 2021 dla jednolitych części wód rzecznych typu wód powierzchniowych 0 będących zbiornikami zaporowymi (s. 164) oraz wartościami granicznymi wskaźników jakości wód powierzchniowych z grupy specyficznych syntetycznych oraz niesyntetycznych substancji zanieczyszczających, odnoszące się do jednolitych części wód powierzchniowych wszystkich kategorii wód powierzchniowych (s. 236) [7, 10].

Stwierdzono, że zamieszczone w tabelach 1 i 2 średnie wartości większości analizowanych wskaźników wody w rzece Mroga przed jej ujściem do zbiornika Rochna mieściły się w I klasie jakości. Jednak spośród oznaczanych parametrów w zakresie II klasy jakości wody znalazły się: odczyn pH, tlen rozpuszczony i siarczany. Ponadto w zakresie III klasy jakości wody w rzece Mroga stwierdzono: przewodność elektrolityczną, a także stężenia jonów chlorkowych i azotu ogólnego. Z tego względu wodę w rzece Mroga zaliczono do III klasy jakości wód będących jednolitymi częściami wód rzecznych typu wód powierzchniowych 24 (mała lub średnia rzeka na obszarze będącym pod wpływem procesów torfotwórczych) [10].

Natomiast znajdujące się w tabelach 3 i 4 wartości wskaźników jakości wody w zbiorniku Rochna mieściły się w zakresie I klasy jakości z wyjątkiem ogólnego węgla organicznego, który spełniał wymagania II klasy jakości wody dla jednolitych części wód rzecznych typu wód powierzchniowych 0 będących zbiornikami zaporowymi. Ze względu na podwyższoną wartość tego wskaźnika wodę w zbiorniku Rochna zaliczono do II klasy jakości, stosownie do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. [10].

### Podsumowanie

Dolina górnej Mrogi jest terenem o dużej wartości ekologicznej oraz turystyczno-wypoczynkowej, gdyż odznacza się różnorodnym i malowniczym krajobrazem, a także występowaniem kilku znaczących zbiorników wodnych. Jednocześnie jest to teren interesujący pod względem naukowym i dydaktycznym, który może być wykorzystany także jako miejsce wycieczek [1, 3, 6, 7, 11].

W ramach realizacji opisywanych badań trzykrotnie oznaczano wskaźniki fizykochemiczne wody w jednym punkcie poboru z rzeki Mroga i dwóch punktach zbiornika Rochna. Ze względu na brak możliwości analizy elementów biologicznych, hydromorfologicznych oraz niektórych wskaźników fizykochemicznych, wykonane badania nie są kompleksowe, ale i tak dają pogląd na stan jakości wody powierzchniowej w badanych obiektach.

Tabela 1. Zakresy wyników badań z trzech analiz wody z rzeki Mroga. Wybrane wskaźniki fizykochemiczne [7]

Parametr	Jednostka	Wymagania graniczne klas jakości wód powierzchniowych	Zakres lub wartość średnia wskaźnika w punkcie poboru wody w rzece Mroga
Odczyn pH	-	I klasa: 7,8-8,1; II klasa: 7,0-8,1; III, IV, V klasa: nie ustala się	7,69-7,73
Przewodność elekt.	$\mu\text{S}/\text{cm}$	I klasa: $\leq 365$ ; II klasa: $\leq 477$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	755-760
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	I klasa: $\leq 22,0$ ; II klasa: $\leq 24,0$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	8,8-15,2
Mętność	NTU	-	7,1-7,45
Zapach	-	-	Akceptowalny
Tlen rozpuszczony	$\text{mgO}_2/\text{l}$	I klasa: $\geq 8,0$ ; II klasa: $\geq 7,2$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	7,55-7,70
Zasadowość p	$\text{mval}/\text{l}$	-	0
Zasadowość m	$\text{mval}/\text{l}$	-	3,1-3,64
Twardość ogólna	$\text{mg CaCO}_3/\text{l}$	-	194-221,5
Chlorki	$\text{mg Cl}^-/\text{l}$	I klasa: $\leq 12,0$ ; II klasa: $\leq 21,4$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	23,3-26,1
Siarczany	$\text{mg SO}_4^{2-}/\text{l}$	I klasa: $\leq 31,0$ ; II klasa: $\leq 51,5$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	30,4-35,1
Utlenialność	$\text{mg O}_2/\text{l}$	I klasa: $\leq 7,3$ ; II klasa: $\leq 11,4$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	4,7-5,0
Ogólny węgiel organiczny	$\text{mg C}/\text{l}$	I klasa: $\leq 8,8$ ; II klasa: $\leq 12,2$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	3,66-5,65
Azot ogólny	$\text{mg N}/\text{l}$	I klasa: $\leq 1,7$ ; II klasa: $\leq 2,8$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	3,27-3,96

Tabela 2. Zakresy wyników badań z trzech analiz wody z rzeki Mroga. Stężenia wybranych metali [7]

Parametr	Jednostka	Wymagania graniczne klas jakości wód powierzchniowych	Zakres lub wartość średnia wskaźnika w punkcie poboru wody w rzece Mroga
Żelazo	$\text{mg Fe}^{3+}/\text{l}$	-	0,29-0,53
Mangan	$\text{mg Mn}^{2+}/\text{l}$	-	0,13-0,15
Glin	$\text{mg Al}^{3+}/\text{l}$	I i II klasa: $\leq 0,4$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	0,06-0,088
Miedź	$\text{mg Cu}^{2+}/\text{l}$	I i II klasa: $\leq 0,05$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	$< 0,001$
Chrom	$\text{mg Cr}^{3+}/\text{l}$	I i II klasa: $\leq 0,05$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	0,031-0,043
Cynk	$\text{mg Zn}^{2+}/\text{l}$	I i II klasa: $\leq 1$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	$< 0,013$
Sód	$\text{mg Na}^+/\text{l}$	-	8,79-9,04
Potas	$\text{mg K}^+/\text{l}$	-	2,18-2,41



Tabela 3. Zakresy wyników badań z trzech analiz wody ze zbiornika Rochna. Wybrane wskaźniki fizykochemiczne [7]

Parametr	Jednostka	Wymagania graniczne klas jakości wód powierzchniowych	Zakres lub wartość średnia wskaźnika w punkcie poboru wody	
			Rochna I	Rochna II
Odczyn pH	-	I klasa: 6,0-8,5; II klasa: 6,0-9,0; III, IV, V klasa: nie ustala się	6,83-8,43	6,87-8,38
Przewodność elektrolityczna	$\mu\text{S}/\text{cm}$	I klasa: $\leq 1000$ ; II klasa: $\leq 1500$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	625-840	635-825
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	I klasa: $\leq 22,0$ ; II klasa: $\leq 24,0$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	9,6-19,0	9,6-16,7
Mętność	NTU	-	5,95-10,6	7,1-13,6
Zapach	-	-	Akceptowalny	Akceptowalny
Tlen rozpuszczony	$\text{mg O}_2/\text{l}$	I klasa: $\geq 7,0$ ; II klasa: $\geq 5,0$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	9,30-9,90	9,55-9,70
Zasadowość p	$\text{mval/l}$	-	$\leq 0,15$	$\leq 0,24$
Zasadowość m	$\text{mval/l}$	-	2,19-2,45	2,19-2,53
Twardość ogólna	$\text{mg CaCO}_3/\text{l}$	-	151,5-208,5	152,5-210
Chlorki	$\text{mg Cl}^-/\text{l}$	-	22,3-26,3	23,1-24,8
Siarczany	$\text{mg SO}_4^{2-}/\text{l}$	-	22,2-32,5	23,9-29,4
Utlenialność	$\text{mg O}_2/\text{l}$	-	5,9-10,0	5,9-7,0
Ogólny węgiel organiczny	$\text{mg C/l}$	I klasa: $\leq 10,0$ ; II klasa: $\leq 15,0$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	6,11-10,71	4,88-11,97
Azot ogólny	$\text{mg N/l}$	I klasa: $\leq 5,0$ ; II klasa: $\leq 10,0$ ; III, IV, V klasa: nie ustala się	3,14-3,41	3,31-4,23

Uzyskane wyniki badań dają obraz jakości wody w rzece Mroga przed zbiornikiem Rochna. Wskazują one, że rzeka ta należy do klasy III jakości jednolitych części wód powierzchniowych będących wodami rzecznyymi na obszarze będącym pod wpływem procesów torfotwórczych, chociaż większość wskaźników mieści się w klasie I jakości tych wód. Rzeka Mroga wraz z otaczającymi ją terenami podmokłymi oraz lasami ma dużą wartość ekologiczną.

Zbiornik Rochna został zakwalifikowany do II klasy jakości rzecznych wód powierzchniowych będących zbiornikami zaporowymi. Jedyny składnik, który zdecydował o przydzieleniu wody do tej a nie do I klasy jakości wody to ogólny

węgiel organiczny. Zbiornik Rochna ma znaczną wartość ekologiczną jako miejsce występowania wielu gatunków ryb przez co jest chętnie odwiedzany przez wędkarzy. Wody zamieszkują m.in. takie gatunki ryb jak: płoć, okoń, karp, lin, karaś, leszcz, sandacz, amur, szczupak i węgorz. Zbiornik należy do Obwodu Rybackiego rzeki Mrogi nr 1, a jego opiekunem jest Koło PZW Brzeziny [2].

W przeszłości zbiornik Rochna miał znaczenie jako miejsce czynnej rekreacji wodnej dla osób wypoczywających w Rochnie i okolicy. Pozostała możliwość popływania po nim łódką rowerem wodnym lub kajakiem, ale obecnie znaczenie tego miejsca pozostaje przede jako przyległa przestrzeń



Tabela 4. Zakres wyników trzech analiz wody ze zbiornika Rochna. Stężenia wybranych metali [7]

Parametr	Jednostka	Wymagania graniczne klas jakości wód powierzchniowych	Zakres lub wartość średnia wskaźnika w punkcie poboru wody	
			Rochna I	Rochna II
Żelazo	mg Fe <sup>3+</sup> /l	-	0,26-0,31	0,24-0,45
Mangan	mg Mn <sup>2+</sup> /l	-	0,013-0,015	0,09-0,15
Glin	mg Al <sup>3+</sup> /l	I i II klasa: ≤ 0,4; III, IV, V klasa: nie ustala się	0,057-0,081	0,063-0,072
Miedź	mg Cu <sup>2+</sup> /l	I i II klasa: ≤ 0,05; II, IV, V klasa: nie ustala się	< 0,001	< 0,001
Chrom	mg Cr <sup>3+</sup> /l	I i II klasa: ≤ 0,05; III, IV, V klasa: nie ustala się	0,031-0,033	0,028-0,040
Cynk	mg Zn <sup>2+</sup> /l	I i II klasa: ≤ 1; III, IV, V klasa: nie ustala się	0,012-0,063	< 0,099
Sód	mg Na <sup>+</sup> /l	-	9,54-9,80	9,48-10,69
Potas	mg K <sup>+</sup> /l	-	8,78-10,21	9,54-9,80

leśna do spacerów, rekreacji ruchowej i jako oazy ciszy oraz obcowania z naturą. Utrzymała się w sąsiedztwie możliwości zakwaterowania – Hotel nad Mrogą i kwatery u okolicznych mieszkańców, a także wyżywienia – restauracja Cztery Pory Roku oraz Fregata-Alpol. Lepska W. Jednak jako miejsce rekreacji wodnej obiekt stracił na znaczeniu ze względu na zamknięcie i dewastację basenu kąpielowego oraz zamulenie dna zbiornika. Funkcje miejsca rekreacji wodnej w tej okolicy przejął zbiornik Lisowice. Obiekt ten po gruntownej renowacji w ostatnich latach i wyposażeniu w infrastrukturę rekreacji wodnej oraz ruchowej, tudzież oficjalnym otwarciu w maju 2023 r. jest chętnie odwiedzany przez mieszkańców okolicznych miejscowości, a także Łodzi.

### Literatura

- [1] Sowa D., 2016, Mała dolina rzeczna w świetle lokalnej polityki przestrzennej na przykładzie Mrogi. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Socio-Oeconomica*, 24, 105-117.
- [2] Portal Koła PZW Brzeziny. Zbiornik Rochna. <http://pzwbrzeziny.pl/content/Zbiornik-Rochna/15/1.html>, 24.08.2023.
- [3] Olaczek R., 1963, Zabytki przyrody w dolinie Mrogi pod Łodzią. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 19 (2), 3-15, [https://rcin.org.pl/Content/80675/KR038\\_103134\\_r1963-t19-no2\\_ChPO-Olaczek-3-15.pdf](https://rcin.org.pl/Content/80675/KR038_103134_r1963-t19-no2_ChPO-Olaczek-3-15.pdf), 24.08.2023.
- [4] Kozłowski J., 2015, Zalew „Rochna” Nad rzeką Mrogą. <http://naweekendzik.pl/polska/lozkie/zalew-rochna-nad-rzeka-mroga/>, 19.08.2023.

[5] Portal Wikipedia, Rochna, <https://pl.wikipedia.org/wiki/Rochna>, 20.08.2023.

[6] Urbanek M., 2022, Ocena jakości wody w rzece Mroga oraz w znajdujących nad nią zbiornikach Rochna i Lisowice, XIII Sesja Magistrantów i Doktorantów Łódzkiego Środowiska Chemików, Łódź 2022, s. 30, S1-PM2, Promotor: A. Żarczyński. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej – plik elektroniczny XIII\_Sesja\_Mgr\_Dok\_Chem\_2022.

[7] Urbanek M., 2023, Praca dyplomowa magisterska, Ocena jakości wody w rzece Mroga oraz w znajdujących nad nią zbiornikach Rochna i Lisowice, Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, Łódź (niepublikowana).

[8] Gorzka Z., Janio K., Kaźmierczak M. & Wiktorowski S., 2008, Ćwiczenia laboratoryjne z podstaw technologii chemicznej. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.

[9] Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B. & Zerbe J., 1999, Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.

[10] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dz. U. 2021, poz. 1475.

[11] Majecka A., Dmochowska-Dudek K. 2021, GIS-Integrated Spatial Analysis Models for Imaging Geomorphology of Mroga and Mrożyca Interfluvial Area (Central Poland). *Acta Geographica Lodzianis*, 111 (3), 189-201.



Kinga Wieczorek

kinga.wieczorek@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

## Dlaczego badamy rzeki?

### Deficyt słodkiej wody vs. jakość rzek

Przewiduje się, że problem niedoboru słodkiej wody dotknie blisko 6 miliardów ludzi na całym świecie do 2050 roku [1]. Przyczynami tej sytuacji jest wzrost zapotrzebowania na wodę oraz rosnące zanieczyszczenie zasobów wodnych. Szacuje się, że nawet 80% ścieków, które powracają do środowiska, jest nieoczyszczone [2]. Odbiornikami ścieków najczęściej są rzeki, które są jednocześnie ważnym źródłem wody pitnej.

Jakość wód rzecznych jest silnie uzależniona od zespołu procesów naturalnych zachodzących w środowisku, warunków klimatycznych i czynników antropogenicznych. Negatywny wpływ wywiera m.in. przemysł, rolnictwo, transport czy turystyka. Badania wskazują, że stan ekologiczny ponad 60% europejskich wód powierzchniowych jest określany poniżej dobrego i nie uległ poprawie od 2012 roku [3, 4].

Polska również jest dotknięta problemem deficytu słodkiej wody. Większość odnawialnych zasobów wód powierzchniowych pochodzi z opadów atmosferycznych, a objętość wody na jednego mieszkańca wynosi 1,5 tys. m<sup>3</sup>. Jest to jedna z najniższych wartości w krajach Unii Europejskiej. Co więcej, wskaźnik zużycia wody WEI (ang. water exploitation index) w 2017 roku wyniósł 17,7%. Zgodnie z wytycznymi Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska (EEA) wartości poniżej 20% wskazują na niedobór wody [5, 6]

### Monitoring jakości wód powierzchniowych

W celu redukcji zanieczyszczenia wód powierzchniowych konieczne jest m.in. poznanie czasoprzestrzennej zmienności ich chemizmu. Powinno być to możliwe dzięki badaniom monitoringowym, jednak często są one niewystarczające [7]. Dostarczają ogromnych zbiorów danych, jednak próbki pobierane są z różnymi częstotliwościami, dlatego rzetelne określenie hydrochemii wód rzecznych jest trudne [2,3].

Badania monitoringowe jakości wód powierzchniowych są prowadzone w Polsce od 1991 roku, kiedy utworzono Państwowy Monitoring Środowiska (PMS). Do 2018 roku zadania w ramach PMS były realizowane przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, natomiast od roku 2019 wykonuje je Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.

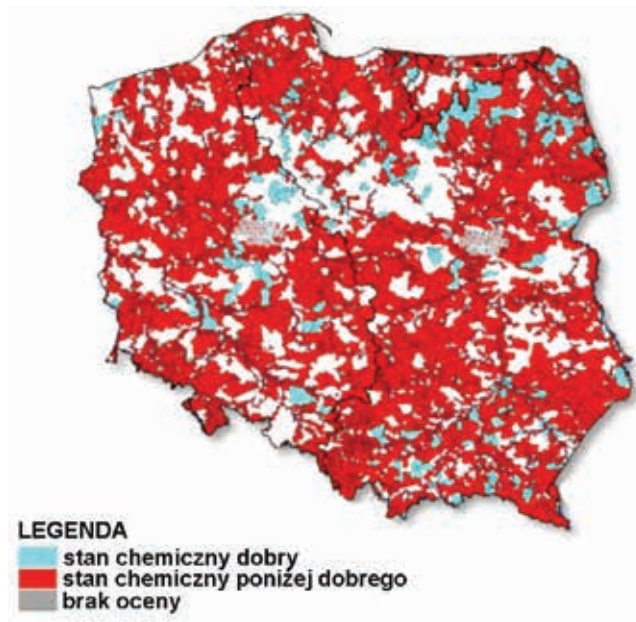
Obecnie wykonywane zadania zostały określone w Strategicznym Programie PMS na lata 2020-2025 [8].

Najważniejszym celem monitoringu rzek jest określenie ich stanu ekologicznego i chemicznego. Ocena jest wykonywana dla poszczególnych tzw. jednolitych części wód (podstawowa jednostka gospodarowania wodami). Wyróżnia się cztery rodzaje monitoringu [9]:

- diagnostyczny – jego celem jest przeprowadzenie kompleksowej oceny stanu wód i określenie stanu ekologicznego i chemicznego każdej z wyznaczonych jednolitych części wód, określa również długoterminową zmienność jakości wód, dla wszystkich punktów pomiarowo-kontrolnych jest realizowany ujednolicony zakres badań, które są wykonywane od 1 do 12 razy w ciągu roku,
- operacyjny – prowadzony dla jednolitych części wód, dla których zidentyfikowano zagrożenie zanieczyszczeniem przez substancje szczególnie szkodliwe lub odnotowano przekroczenia dopuszczalnych stężeń jednej z tych substancji, zakres badań jest ustalany indywidualnie dla każdego punktu pomiarowo-kontrolnego,
- badawczy – wykonywany w specyficznych sytuacjach, np. w celu oceny skutków przypadkowego zanieczyszczenia; zakres i częstotliwość badań są ustalane w zależności od przyczyn, dla których jest prowadzony,
- obszarów chronionych – służy do oceny stanu jednolitych części wód, które są np. przeznaczone do zaopatrzenia mieszkańców w wodę do spożycia, do celów rekreacyjnych lub znajdują się na obszarach objętych ochroną siedlisk lub gatunków albo narażonych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych.

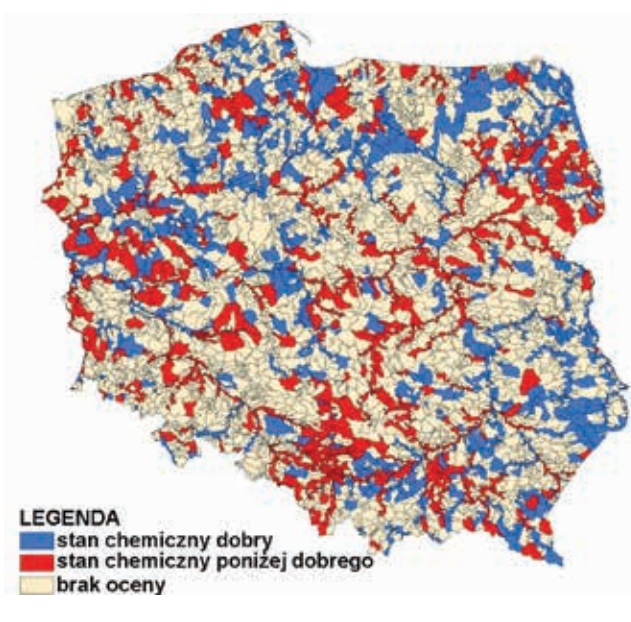
### Stan chemiczny wód rzecznych w Polsce

Ocena stanu chemicznego polskich rzek, która została wykonana w latach 2016 – 2021, wykazała stan chemiczny poniżej dobrego w aż 87,6% jednolitych części wód powierzchniowych, natomiast dobry stan chemiczny stwierdzono jedynie w 12,1% (Rys.1) [10]. Lepsza sytuacja miała miejsce w poprzednim okresie badawczym (lata 2011 – 2016). Stan chemiczny dobry odnotowano wtedy w 49%, a stan chemiczny poniżej dobrego w 51% jednolitych części wód powierzchniowych (Rys. 2) [11]. Warto zauważyć, że różnica ta mogła wynikać m.in. z rozbieżności w liczbie



Rys. 1. Stan chemiczny polskich rzek w latach 2016-2021 [10]

ocenianych jednolitych części wód powierzchniowych. W okresie 2011 – 2016 stan chemiczny badano w 1029 jednolitych częściach wód powierzchniowych, podczas gdy w latach 2016 – 2021 w 2638.



Rys. 2. Stan chemiczny polskich rzek w latach 2011-2016 [11]

Na podstawie danych odnoszących się do stanu chemicznego rzek w poszczególnych województwach w 2018 roku (Tab. 1) można stwierdzić, że stan chemiczny poniżej dobrego występował częściej, niż dobry. Najwięcej rzek,

Tabela 1. Stan chemiczny rzek w poszczególnych województwach w 2018 roku [12-27]

Województwo	Stan chemiczny dobry [%]	Stan chemiczny poniżej dobrego [%]	Nie badano [%]
dolnośląskie	0,0	18,1	81,9
kujawsko-pomorskie	–	–	100
łódzkie	2,5	28,8	68,7
lubelskie	5,2	25,0	69,8
lubuskie	18,0	38,0	54,0
małopolskie	16,0	62,0	22,0
opolskie	0,0	13,0	87,0
podkarpackie	15,4	20,3	64,3
podlaskie	4,0	37,0	59,0
pomorskie	14,0	55,0	31,0
śląskie	3,0	34,0	63,0
warmińsko-mazurskie	2,0	12,6	85,4
wielkopolskie	0,3	30,7	69,0
zachodniopomorskie	0,5	11,3	88,1
świętokrzyskie	0,0	26,0	74,0
mazowieckie	2,2	12,4	85,4



których stan chemiczny określono jako dobry znajdowało się w województwie lubuskim, małopolskim, podkarpackim i pomorskim, jednak odnotowano go w mniej niż 20% jednolitych części wód powierzchniowych. W województwie świętokrzyskim, opolskim i dolnośląskim stan chemiczny żadnej z badanych rzek nie został sklasyfikowany jako dobry. Warto również zwrócić uwagę na ilość jednolitych części wód powierzchniowych, dla których nie wykonano oceny stanu chemicznego. W większości województw (oprócz małopolskiego i pomorskiego) było to powyżej 50%. Próbkę nie były pobierane zwykle z powodu niesprzyjających warunków meteorologicznych [12-27].

### Katastrofa ekologiczna na Odrze

W 2022 roku miała miejsce katastrofa na Odrze, która ujawniła wiele słabych punktów polskiego monitoringu wód rzecznych. Zgodnie z raportem Komisji Unii Europejskiej doprowadziła ona do śmierci prawie 360 ton ryb [28]. Bezpośrednią przyczyną było skażenie rzeki toksynami powstałymi na skutek zakwitów alg zielonych *Prymnesium parvum*, które normalnie nie występują w wodach słodkich [29]. Do zakwitów doszło na skutek wzrostu zasolenia wody, który był efektem wpływu czynników antropogenicznych (zrzut wód solankowych, a także możliwe dodatkowe wycieki chemicznych) oraz klimatycznych (wysoka temperatura i niskie stany wody). Na podstawie danych satelitarnych, które przedstawiają analizę stężenia chlorofilu w rzece, można zaobserwować, że zakwit glonów rozpoczął się pod koniec lipca w górnym odcinku i w ciągu tygodnia objął prawie całą długość rzeki [30].

Do momentu katastrofy, na Odrze (długość około 840 km) znajdowało się jedynie 10 punktów pomiarowo-kontrolnych Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), a badania były wykonywane od 1 do 12 razy w roku (w zależności od rodzaju monitoringu) [12, 31, 32]. Obecnie zwiększono liczbę punktów stałego monitoringu do 20, a badania są przeprowadzane raz w tygodniu. Dodatkowo, uruchomiono Pilotażowy Monitoring Rzeki Odry w trybie ciągłym, który jest realizowany w 7 punktach kontrolnych. Wyniki pomiarów temperatury wody, tlenu rozpuszczonego, przewodniczości i pH są podawane co godzinę [32].

Rzeki są często zanieczyszczane przez swoje dopływy, których wpływ na stan rzeki głównej jest często pomijany w badaniach monitoringowych i naukowych. Ich jakość może różnić się od rzeki głównej z powodu odmiennej struktury użytkowania terenu czy zdolności do samooczyszczania [33]. Niezwykle istotne jest prowadzenie równoległego monitoringu stanu chemicznego dopływów i rzeki głównej, co pokazała katastrofa na Odrze. Śnięte

ryby obserwowano od końca lipca do połowy września 2022 roku. Analiza przyczyn katastrofy wykazała, że pierwsze martwe ryby odnotowano już 14 lipca 2022 roku w Kanale Gliwickim (dopływ w górnym odcinku obciążony licznymi źródłami emisji chlorków). Ze względu na brak szczegółowych danych nie było jednak możliwe jednoznaczne określenie związku z katastrofą na Odrze [28].

### Podsumowanie

Rosnący problem deficytu słodkiej wody wymaga szczególnej ochrony dostępnych zasobów wodnych i kompleksowego monitorowania stanu chemicznego wód rzecznych. Katastrofa ekologiczna na Odrze dobitnie pokazała, że obecny system monitoringu nie jest dostosowany do zmieniających się warunków klimatycznych, z którymi wiąże się występowanie ekstremalnych zjawisk pogodowych np. suszy, czy ulewnych deszczy. Stan chemiczny rzek powinien być badany częściej oraz w większej liczbie punktów kontrolnych. Ponadto, konieczna jest kompleksowa ocena jakości wody zarówno w rzece głównej jak i w jej dopływach również w małych i średnich zlewniach, co pozwoli wykrywać zanieczyszczenia wód rzecznych „u źródła” i może zapobiec ich rozprzestrzenianiu się na wielką skalę.

### Literatura

- [1] Boretti A., Rosa L., 2019, Reassessing the projections of the World Water Development Report. *Clean Water*, 2, 15.
- [2] Benkov I., Varbanov M., Venelinov T., Tsakovski S., 2023, Principal Component Analysis and the Water Quality Index—A Powerful Tool for Surface Water Quality Assessment: A Case Study on Struma River Catchment, Bulgaria. *Water*, 15, 1961.
- [3] Nguyen T.H., Helm B., Hettiarachchi H., Caucci S., Krebs P., 2020, Quantifying the Information Content of a Water Quality Monitoring Network Using Principal Component Analysis: A Case Study of the Freiburger Mulde River Basin, Germany. *Water*, 12, 420.
- [4] Kuczyńska A., Jarnuszewski G., Nowakowska, M., Wexler S.K., Wiśniowski Z., Burczyk P., Durkowski T., Woźnicka M., 2021, Identifying causes of poor water quality in a Polish agricultural catchment for designing effective and targeted mitigation measures. *Science of Total Environment*, 765, 144125.
- [5] Berkowska E., Gwiazdowicz M., Deficyt wody w Polsce. INFOS zagadnienia społeczno-gospodarcze; Szymanek, J. i in. (red.), Biuro Analiz Sejmowych, Warszawa, 2020, 1(267), s.1-4.
- [6] Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 2017 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Łodzi, Łódź, 2018.
- [7] Wieczorek K., Turek A., Wolf W.M., 2023, Combined effect of climate and anthropopressure on river water quality. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20(4), 3032.
- [8] Serwis Rzeczypospolitej Polskiej. Czym jest Państwowy Monitoring Środowiska 2023. Dostępne online: <https://www.gov.pl/web/gios/czym-jest-panstwowy-monitoring-srodowiska>, 28.11.2023.
- [9] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Badania i ocena

stanu rzek 2021. Dostępne online: <http://www.gios.gov.pl/pl/component/content/article/8-pms/100-badanie-i-ocena-stanu-rzek>, 28.11.2023.

[10] Stan środowiska w Polsce. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa 2018.

[11] Stan środowiska w Polsce. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Warszawa 2022.

[12] Stan środowiska w województwie dolnośląskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska we Wrocławiu. Wrocław, 2020.

[13] Stan środowiska w województwie kujawsko-pomorskim. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Bydgoszczy. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Bydgoszcz, 2020.

[14] Stan środowiska w województwie łódzkim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Łodzi. Łódź, 2020.

[15] Stan środowiska w województwie lubelskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Lublinie. Lublin, 2020.

[16] Stan środowiska w województwie lubuskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Zielonej Górze. Zielona Góra, 2020.

[17] Stan środowiska w województwie małopolskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Krakowie. Kraków, 2020.

[18] Stan środowiska w województwie opolskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Opolu. Opole, 2020.

[19] Stan środowiska w województwie podkarpackim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska we Rzeszowie. Rzeszów, 2020.

[20] Stan środowiska w województwie podlaskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Białymstoku. Białystok, 2020.

[21] Stan środowiska w województwie pomorskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Gdańsku. Gdańsk, 2020.

[22] Stan środowiska w województwie śląskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Katowicach. Katowice, 2020.

[23] Stan środowiska w województwie warmińsko-mazurskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Olsztynie. Olsztyn, 2020.

[24] Stan środowiska w województwie wielkopolskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Poznaniu. Poznań, 2020.

[25] Stan środowiska w województwie zachodniopomorskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Szczecinie. Szczecin, 2020.

[26] Stan środowiska w województwie świętokrzyskim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Kielcach. Kielce, 2020.

[27] Stan środowiska w województwie mazowieckim. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Regionalny Wydział Monitoringu Środowiska w Warszawie. Warszawa, 2020.

[28] Free G., Van De Bund W., Gawlik B., Van Wijk L., Wood M., Guagnini E., Koutelos K., Annunziato A., Grizzetti B., Vigiak O., Gnecci M., Poikane S., Christiansen T., Whalley C., Antognazza F., Zerger B., Hoeve R., Stielstra H., 2023, An EU analysis of the ecological disaster in the Oder River of 2022. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

[29] The Guardian. Rare Golden Algae May Have Caused Fish Deaths in Oder River, Says Minister 2022. Dostępne online: <https://www.theguardian.com/world/2022/aug/19/rare-golden-algae-may-have-caused-fish-deaths-in-oder-river-says-minister>, 28.11.2023.

[30] Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries. New Analysis: Satellite Data Confirm Massive Algal Bloom in the Oder River 2022. Dostępne online: <https://www.igb-berlin.de/en/news/new-analysis-satellite-data-confirm-massive-algal-bloom-oder-river>, 28.11.2023.

[31] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Monitoring i ocena jednolitych części wód powierzchniowych 2023. Dostępne online: <https://wody.gios.gov.pl/pjwp/publication/RIVERS/88>, 28.11.2023.

[32] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Badania Odry 2023. Dostępne online: <https://pomiary.gios.gov.pl/>, 28.11.2023.

[33] Yao X., Wang Z., Liu W., Zhang Y., Wang T., Li Y., 2023, Pollution in river tributaries restricts the water quality of ecological water replenishment in the Baiyangdian watershed, China. Environmental Science and Pollution Research, 30, 51556-51570. ●

**Alicja Dąbrowska, Weronika Łyszkowska**

e-mail: 248450@edu.p.lodz.pl; 247984@edu.p.lodz.pl

*Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

## Analiza przebiegu, skutków i przyczyn śnięcia ryb w rzece Odrze latem 2022 r.

### Analiza przebiegu katastrofy śnięcia ryb

Na rzece Odrze na terenie pięciu województw od połowy lipca 2022 r. do 12 września 2022 r. odnotowano masowe śnięcie ryb, które ostatecznie skutkowało utratą około 360

ton ryb i miało negatywny wpływ na ekologię na odcinku około 500 kilometrów rzeki. To zdarzenie miało poważne konsekwencje dla lokalnej fauny i flory wodnej, a także mogło wpłynąć na równowagę ekologiczną w całym re-



gionie [1-3]. Według części naukowców, faktyczne straty były jednak wielokrotnie większe, ponieważ wybierane w pierwszej fazie przez wędkarzy i wolontariuszy martwe ryby nie podlegały ważeniu. Część ryb – głównie ze względu na niewielkie rozmiary – nie została wybrana przez sieci. Wiele martwych ryb opadło na dno i stopniowo uległo procesowi rozkładu [3].

Już w dniu 21 czerwca 2022 r. obowiązywały ostrzeżenia dotyczące suszy hydrologicznej na terenie znacznej części Polski. W kolejnych dniach przepływy wody utrzymywały się poniżej SNQ na wielu odcinkach Odry i wciąż zwiększała się liczba odcinków tej rzeki zagrożona suszą [4-6]. Dopiero 26 sierpnia 2022 r. wprowadzono ostrzeżenia hydrologiczne 3 stopnia dotyczące wezbrań z przekroczeniem stanów alarmowych, tj. zanotowano przekroczenia stanów alarmowych na 8 stacjach wodowskazowych w dorzeczu Odry i stanów ostrzegawczych na 7 stacjach [7]. Zaś od 16 września 2022 r. obowiązywały ostrzeżenia hydrologiczne 2 stopnia dotyczące wezbrania wód z przekroczeniem stanów ostrzegawczych [8].

Polski Związek Wędkarski jako pierwszy podał w dniu 27 lipca informację o zwiększonej liczbie śniętych ryb w kanale rzeki Odry. W dniu 9 sierpnia br. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu złożył do Prokuratury zawiadomienie o możliwości popełnienia przestępstwa [9]. Z kolei w dniu 11 sierpnia potwierdzony został podwyższony parametr natlenienia wody. Na polecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska – Michała Mistrzaka, Odra była na bieżąco monitorowana za pomocą bezzałogowych statków powietrznych, przez specjalistów z Departamentu Zwalczania Przystępczości Środowiskowej GIOŚ. Ich zadaniem było rozpoznanie miejsc ewentualnych zrzutów ścieków, mogących być przyczyną zanieczyszczeń [10]. Aby potwierdzić wiarygodność wykonanych w Polsce badań przez Centralne Laboratorium Badawcze GIOŚ, zdecydowano się na współpracę międzynarodową z Czechami, Holandią i Wielką Brytanią [11]. W Holandii uzyskano wyniki zbieżne z wynikami Centralnego Laboratorium Badawczego GIOŚ [12]. Wyniki niezależnych, niemieckich badań laboratoryjnych wykazały obecność rtęci w Odrze i przekroczenie normy tego wskaźnika dla wód powierzchniowych. Wówczas GIOŚ zaczął codziennie badać stężenia rtęci w tej rzece, ale nie wykazały one przekroczeń [13].

Wykonano badania toksykologiczne śniętych ryb, pobranych z miejsca katastrofy, na niespotykaną dotychczas skalę. Otrzymane wyniki tych badań wykazały, że stężenia badanych substancji toksycznych w tkankach ryb nie odbiegają od poziomów charakterystycznych dla skażenia środowiska naturalnego w rzekach w Polsce. Nie stwierdzono

typowych zanieczyszczeń mikrobiologicznych (wirusowych, bakteryjnych oraz grzybowych), mogących prowadzić do śnięcia [14]. W pierwszej kolejności zbadano toksyczność wód za pomocą testu Microtox, z uwagi na możliwość uzyskania wyników w krótkim czasie. Test ten wykorzystuje bakterie luminescencyjne. Podstawą działania testu jest pomiar bioluminescencji bakterii eksponowanych na działanie próbki i porównane jej z bioluminescencją w próbce kontrolnej. Różnica w wartościach produkowanego światła jest przypisana do efektu oddziaływania próbki na te organizmy. Wykonane wstępnie badania toksyczności wody za pomocą testu Microtox wykazały niską jej toksyczność lub jej brak [15, 16].

W celu ustalenia przyczyn wystąpienia sytuacji kryzysowej na Odrze i wypracowania rekomendacji na przyszłość, Minister Środowiska – Anna Moskwa 18 sierpnia 2022 r. powołała ekspercki Zespół ds. sytuacji powstałej na rzece Odrze [3].

### Analiza przyczyn

W Krajowym Planie Zarządzania Kryzysowego nie przewidziano zagrożenia związanego ze skażeniem wód powierzchniowych, przez co działania związane z kryzysem odrzańskim musiały być podejmowane na podstawie doraźnych decyzji, obarczonych ryzykiem błędów i opóźnień. W wyniku działalności człowieka, Odra od wielu lat jest zanieczyszczana, m.in. solami pochodzącymi z wód dołowych odprowadzanych przez śląskie zakłady górnicze. Zły stan Odry, powodowany m.in. wprowadzaniem zasolonych wód kopalnianych od wielu lat był znany organom władzy publicznej. Przykładowo o wysokich ładunkach soli odprowadzanych do zlewni Odry, które mają negatywny wpływ na wody powierzchniowe informowały już w 1999 r. wyniki raportu Najwyższej Izby Kontroli. Pomimo tego nie zostały wdrożone skuteczne działania na rzecz ograniczenia poziomu zasolenia Odry [3]. Z kolei pod względem objętości odprowadzanych ścieków, największy udział w dorzeczu Odry mają wodociągi, odprowadzające niemal 60% ścieków w dorzeczu Odry. Górnictwo odprowadza 11% ilości całkowitej ścieków, ale udział tego sektora w ilości odprowadzanych chlorków i siarczanów sięga 72%. Zanieczyszczenie wód Kłodnicy i jej dopływów, jak: Potok Bielszowski, Czerniawka i Bytomka, w szczególności związane z zasoleniem, spowodowane jest odprowadzaniem do jej zlewni dużych ładunków zanieczyszczeń z kopalń węgla kamiennego. Zasolenie wód Kłodnicy, będące wynikiem działalności górniczej w województwie śląskim, wpływa na jakość wód rzeki na terenie województwa opolskiego [16].

Dodatkowo według klasyfikacji Kaczorowskiej rok 2022

był rokiem suchym [17]. Obszarowo uśredniona suma opadu atmosferycznego w 2022 r. w Polsce wyniosła 534,4 mm, co stanowiło blisko 87,4% normy określonej na podstawie pomiarów w latach 1991-2020. Klimatyczny bilans wodny (KBW) jest różnicą pomiędzy wysokością opadów a parowaniem terenowym. Dodatnia wartość KBW w minionych dziesięcioleciach oznacza, że w tym okresie wystąpiła przewaga opadów nad parowaniem. Jednak w okresie letnim roku 2022 wartości parowania były wysokie, zawierały się między 350 a 610 mm, czyli między 75 a 125% wysokości opadów w cieplej porze roku. KBW w okolicy Odry w okresie maj – październik 2022 roku był więc ujemny [17]. W miesiącach letnich 2022 r. było znacznie cieplej niż przeciętnie. Na wszystkich stacjach synoptycznych średnie miesięczne wartości temperatury były wyższe od norm. W czerwcu miesięczny odpływ największych rzek Polski był mniejszy od przeciętnego. Odrą odpłynęło 0,58 km<sup>3</sup> wody (warstwa 5,3 mm, tj. 48,6% normy). Coraz bardziej zmniejszały się zasoby systemu rzecznego. Średnie miesięczne stany wody w większości stacji wodowskazowych należały do zakresów stanów niskich [18].

W okresach śnięcia ryb można było zauważyć znaczący wzrost przewodności wody rzeki Odry, która przekroczyła poziom 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  stosownie do raportu Klimat Polski 2022, (2022, 31 grudnia), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy [17]. Ponieważ na wartość przewodności elektrolitycznej w Odrze wpływa głównie zawartość chlorków, ich stężenia w czasie i w poszczególnych punktach układały się podobnie jak wartości przewodności. Stężenia siarczanów wykazały podobny poziom zmian jak wartości przewodności elektrycznej, z tym że amplituda ich wahań jest znacznie mniejsza. Przebieg zmian pH w czasie, na poszczególnych stanowiskach, zasługuje na szczególną uwagę ze względu na związek odczynu wód z intensyfikacją procesu fotosyntezy, co jest najczęstszą przyczyną wartości ekstremalnych, jak również znacznych wahań tego wskaźnika w ciągu doby. Gwałtowne, skokowe zmiany pH i jego nietypowo wysokie wartości wiążą się najczęściej z aktywnością fotosyntetyczną glonów [15-17]. Nasylenie tlenem wód Odry na badanych stanowiskach w miesiącach letnich wykazywało wartości zarówno podwyższone, głównie na odcinku od mostu w Ciechanowicach do Chlewic (prawdopodobnie na skutek zakwitów fitoplanktonu), jak i wyjątkowo niskie, na odcinku poniżej Chlewic aż do Zalewu Szczecińskiego, najprawdopodobniej na skutek wyczerpywania tlenu w wyniku rozkładu materii organicznej). Zarówno znaczne wzrosty natlenienia, jak i jego spadki są szkodliwe dla ryb, w związku z jednej strony z tzw. chorobą gazową (natlenienie >250%), jak i deficytami

tlenu i przyduchą (spadek natlenienia nawet <10%) [16, 17].

Notowane na większości stanowisk niskie wartości biogenów, szczególnie przyswajalnych form azotu świadczą o ich zużywaniu przez organizmy planktonowe. Obrazy dobowego cyklu zmian stężenia tlenu rozpuszczonego i wartości pH w wodach Odry w okresie śnięcia ryb oraz gwałtowne spadki stężeń niektórych form azotu stanowią jednoznaczny dowód aktywnej fotosyntezy. Obserwowany efekt bardzo silnej fotosyntezy został spowodowany intensywnym zakwitom glonów w Odrze. Analizy ichtiopatologiczne przeprowadzone przez Instytut Rybactwa Śródlądowego im. S. Sakowicza w Olsztynie – Państwowy Instytut Badawczy wykazały brak zmian klinicznych badanych zwierząt. Pomimo to obraz histopatologiczny wskazywał na ostre uszkodzenia narządów najsilniej ukrwionych (skrzela, śledziona, nerki). Zaburzenia procesów hematopoetycznych i uszkodzenie skrzeli najprawdopodobniej są związane z działaniem toksyn hemolitycznych, do których należą m.in. prymnezyny wydzielane przez złote algi (*Prymnesium parvum*, *P. parvum*), na co wskazują zmiany martwicze w śledzionie, obejmujące zarówno miążgę białą jak i czerwoną, a także aktywacja centrów melanomakrofaagowych śledziony i śródmiąższa nerki. Natomiast u żadnego zwierzęcia nie wystąpiło zwyrodnienie tłuszczowe lub silne zwyrodnienie wodniczkowe hepatocytów, nie obserwowano również zmian martwiczych, które zwykle towarzyszą zatruciom ryb metalami ciężkimi. Badania laboratoryjne wód Odry, Kanału Gliwickiego i zbiorników sąsiadujących bezpośrednio oraz połączonych z Odrą wykazały wysokie koncentracje *P. parvum*, przekraczające poziom 50-100 mln komórek/L, przy którym zgodnie z literaturą mogą być już notowane śnięcia ryb. Dnia 12 sierpnia, kiedy to obserwowano śnięcie ryb w Słubicach, liczebność mikroglonów tego gatunku wynosiła 160 mln komórek/L. *Prymnesium parvum* występuje w dużych liczebnościach i tworzy zakwity w wodach żywnych, słonych i słonawych. Według badań ryzyko zakwitów tych glonów wzrasta przy przewodności wody powyżej 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Jednym z czynników wpływających na toksyczność zakwitów złotej algi jest względna ilość azotu i fosforu w wodzie, przy czym toksyczność wzrasta, gdy oba te składniki odżywcze ulegają wyczerpaniu w wyniku wzrostu glonów. Toksyczność *P. parvum* wydaje się być również zwiększona przy pH wody większym niż 7,0. Intensywny zakwit *P. parvum* w wodach Odry miał prawdopodobnie charakter wieloczynnikowy. Warunkiem niezbędnym do powstania zakwitów było samo pojawienie się w Odrze *P. parvum*, co mogło nastąpić na skutek przeniesienia przez ptactwo migrujące, przemieszczania się jednostek pływających, zarybiania Odry narybkiem pochodzącym z zakażonych



stawów lub przemieszczeniem się glonów z ognisk zakażenia, które mogą istnieć w stawach lub innych zbiornikach w dorzeczu Odry. Na podstawie danych literaturowych oraz wyników pomiarów parametrów fizykochemicznych wód Odry w newralgicznym okresie można natomiast stwierdzić, iż na przełomie lipca i sierpnia w wodach Odry wystąpiły korzystne warunki do rozwoju tych glonów i rozwinięcia ich toksyczności, tj. omówiona wyżej znacznie zwiększona przewodność, zawartość chlorków i siarczanów, podwyższona temperatura wody, wysokie nasłonecznienie, znaczne wahania parametrów wody w czasie. Nie bez znaczenia jest tu także hydromorfologia wód Odry, będącej rzeką w znacznym stopniu uregulowaną – obecność wielu zbiorników wodnych, a także spowolnień przepływu przed jazami, kanałami, a więc miejsc sprzyjających zakwitom [15, 17].

### Analiza skutków

W kontekście globalnego ocieplenia, które skutkuje częstszymi, dłuższymi i bardziej dotkliwymi okresami suszy, istnieje rosnące ryzyko przedłużających się okresów niskiego przepływu wód. To zjawisko zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia podobnych katastrof ekologicznych oraz nasila ich skutki [19]. Posiedzenia Rządowego Zespołu Zarządzania Kryzysowego w marcu 2023 roku toczyły się w przeświadczeniu, że ryzyko powtórzenia się sytuacji zakwitu alg złośliwych i masowego śnięcia ryb jest realne i wysokie. Prezentowane i omawiane były sposoby ewentualnego zmniejszenia szkodliwości zrzutów zanieczyszczeń. Skutki tej katastrofy nie ograniczają się wyłącznie do środowiska. Dotknięta nimi została także gospodarka, a w szczególności branża turystyczna i gastronomiczna [1-3].

W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) utworzona została, począwszy od 2023 r., sieć monitoringu badawczego. Podstawowym celem prowadzonych badań jest obserwacja wybranych wskaźników jakości wody Odry, w tym siedmiu wskaźników zasolenia, m.in. przewodności elektrolitycznej i chlorków. Sieć utworzono na bazie istniejących punktów pomiarowo-kontrolnych, uzupełnionych o dodatkowe stanowiska powiązane z miejscami zrzutów, mogących powodować podwyższenie stężeń wskaźników zasolenia. Ponadto w ramach PMS dodatkowym programem badawczym objęto wszystkie punkty pomiarowe w zakresie 4 podstawowych wskaźników z badań terenowych, takich jak temperatura wody, odczyn pH, przewodność oraz tlen rozpuszczony. Dodatkowo zauważono luki w metodologii badań, co doprowadziło do opracowania ulepszonych metod badawczych. W badaniach prowadzonych w 2022 r. oznaczono jedynie prymnezyne obecne w komórkach glonów, oddzielonych od wody

w procesie sączenia przez sączki GF/F. Ponieważ szkodliwy efekt oddziaływania na ryby i inne organizmy mogą mieć związki obecne w postaci rozpuszczonej w wodzie, powstała konieczność oznaczania ich stężeń również w przesączu. W tym celu opracowano metodę odzysku prymnezyne rozpuszczonych w wodzie za pomocą kolumnienek do ekstrakcji ciecz-ciało stałe poprzez modyfikację metody stosowanej przez Svenssen i in. (2019) [16, 20]. W 2023 r. Zakład Biotechnologii Morskiej Uniwersytetu Gdańskiego zanalizował łącznie 36 próbek wody zebranej z Kanału Gliwickiego oraz z okolic Wrocławia w okresie od 27 lutego do 17 marca 2023. Znacznie większe stężenia prymnezyne stwierdzano w wodzie niż w komórkach (w przeliczeniu na 1 litr próbki). Ponadto opracowano zbiorcze zestawienie struktury gatunkowej śniętych ryb. Analiza inwentaryzacji śnięć, odłowów kontrolnych i danych PMS została wykonana w celu porównania obecnego występowania gatunków chronionych do stanu sprzed katastrofy oraz określenia wielkości ubytku w populacji gatunków chronionych, w odniesieniu do krajowej populacji tych gatunków, oszacowanej na bazie danych monitoringu. Według danych literaturowych liczba gatunków ryb występujących w Dolnej Odrze, wliczając gatunki rzadkie oraz mało liczebne, przekracza 40, ale zasadniczy zespół ichtiofauny składa się z 25 do 30 gatunków. Zatem zaobserwowanie w tak krótkim czasie w pomiarze śniętych ryb 24 gatunków, świadczy o skali katastrofy ekologicznej w sierpniu 2022 r., a także o tym, że objęła ona cały zespół ichtiofauny zasiedlający Dolną Odrę i Międzyodrze. W odłowach na odcinku Odry Swobodnie Płynącej, w porównywanym latach znacznie obniżył się udział procentowy gatunków ryb objętych ochroną. W 2017 r. wyniósł on 65,7% wszystkich złowionych osobników, natomiast w 2022 r. tylko 9%. Jest to spadek o 86%. Różanka i koza pospolita doznały największych ubytków liczebności w wyniku katastrofy ekologicznej w sierpniu 2022 r. Preferowanym siedliskiem tych gatunków są obszary płytkiej i wolno płynącej wody wzdłuż linii brzegowej, przestrzeni międzyostrogowych oraz starorzeczy połączonych z głównym nurtem rzeki. Ze względu na ukształtowanie i geometrię tych obszarów jest mało prawdopodobne, aby w trakcie katastrofy osobnikom różanki i kozy pospolitej udało się przemieścić do bezpiecznych miejsc, jak ciekich uchodzące do Odry. Oba gatunki nie należą do sprawnych pływaków i prowadzą raczej osiadły tryb życia. Charakterystyczny jest sposób ucieczki – ukrywanie wśród roślinności różanki oraz zagrzebywanie w podłożu kozy pospolitej – mógł okazać się nieprzydatny w zaistniałej sytuacji i ryby znalazły się w pułapce. Niskie liczebności mały z rodzajów *Unio* i *Anodonta* oraz bardzo duże straty spowodowane zatruciem i deficytem tlenu w Odrze prze-



kładają się na drastyczne ograniczenie potencjału rozrodczego ryby różanki europejskiej (*Rhodeus amarus*), gatunku wykorzystującego małże z rodziny skójkowatych w procesie rozrodu. Nadal są poszukiwane nowe technologie walki z zakwitami *P. parvum* i ograniczeniem zabójczego wpływu ich toksyn na ryby i inne hydrobionty. Mimo badań haptofitów od ponad 50 lat wiedza nad biologią tych gatunków i ich toksycznością jest ciągle niewystarczająca. Na podstawie przeglądu literatury i stosowanych technik ograniczających negatywne skutki masowych zakwitów *P. parvum* można zaproponować połączone techniki wykorzystywane w inaktywacji biogenów, izolacji osadów i inżynierii biomasy. Jedną z nich jest zastosowanie glinki bentonitowej wzbogaconej lantanem celem ograniczenia zakwitów fitoplanktonu i negatywnych skutków nadmiernej eutrofizacji. Kolejną metodą ograniczającą nadmierny rozwój glonów dla wód silnie obciążonych materią organiczną, pochodzącą z zanieczyszczeń z przemysłu spożywczego i drzewnego, jest zastosowanie technik probiotechnologicznych wykorzystujących tzw. efektywne mikroorganizmy (EM). Preparat mikrobiologiczny skomponowany jest z kilkunastu szczepów bakterii, prowadzących różnorodne procesy biochemiczne. Celem zabiegu jest przyspieszenie procesu rozkładu nadmiaru materii organicznej, zalegającej na dnie i powodującej okresowe deficyty tlenu w warstwie naddennej. Walka z toksycznymi haptofitami jest niezwykle trudna. Organizmy te wykazują szereg adaptacji ekologicznych, pozwalających na wykorzystanie różnych źródeł zasobów pokarmowych, ograniczając rozwój konkurentów. Miksotroficzny sposób odżywiania sprawia, że organizmy te są doskonale przystosowane do warunków środowiska generowanego przez człowieka i jego działalności gospodarczej. Zaproponowanie przy dzisiejszym stanie wiedzy konkretnej metody ograniczenia negatywnych skutków gradacji haptofitu *P. parvum* w warunkach wód odrzańskich jest praktycznie niemożliwe. Niezbędne jest wykonanie eksperymentów z zastosowaniem różnorodnych technik w skali mesokosmu (*mesocosms*) [16]. Wiosną 2023 r. na Kanale Gliwickim przeprowadzone zostały takie eksperymenty, ale nie przyniosły one oczekiwanych efektów [3].

Na podstawie badań parametrów fizykochemicznych Odry oraz badań biologicznych, prowadzonych w celu wykrycia obecności i określenia liczebności haptofitów z gatunku *P. parvum*, w lutym 2023 r. w GIOŚ został opracowany dokument pt. Procedura monitorowania interwencyjnego *P. parvum* [16].

## Zapobieganie

Ważnym punktem jest wspieranie inwestycji z zakresu oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych oraz

analiza możliwości stworzenia refugium dla ryb na wypadek powtórzenia się zakwitów *P. parvum* [15].

W raporcie Zespołu ds. sytuacji powstałej na rzece Odrze (wstępnym – opublikowanym 30 września 2022 r., a następnie końcowym – opublikowanym 31 marca 2023 r.) wśród rekomendacji wskazano w szczególności na konieczność stworzenia systemu ciągłego pomiaru jakości wód w zakresie wybranych parametrów, z dostępem do danych online dla wszystkich zainteresowanych, w tym monitoring parametrów powiązanych z zakwitami, oraz okresowy monitoring samych glonów *P. parvum*, oraz fauny (m.in. ryby, mięczaki) pod kątem skażeń środowiskowych (dioksyny, metale ciężkie, pestycydy, związki toksyczne), przegląd i weryfikację obowiązujących pozwoleń na zrzut ścieków do wód w dorzeczu Odry, niezwłoczną likwidację nielegalnych wylotów zrzutów ścieków. Zalecono także usprawnienie przepływu informacji, wdrożenie systemu wczesnego ostrzegania i reagowania oraz usprawnienie procedur w obrębie zarządzania kryzysowego. Podkreślono konieczność wdrożenia systemu zarządzania legalnymi zrzutami poprzez uzależnienie parametrów i intensywności zrzutu od aktualnych wyników badań wód [1-3].

## Literatura

[1] Free G., Van De Bund W., Gawlik, B., Van Wijk L., Wood M., Guagnini E., Koutelou K., Annunziato A., Grizzetti B., Vigiak O., Gnechchi M., Poikane S., Christiansen T., Whalley C., Antognazza F., Zenger, B., Hoeve R., Stielstra H., 2023, An EU analysis of the ecological disaster in the Oder River of 2022., EUR 31418 (EN), Publications Office of the European Union, Luxembourg 2023, ISBN 978-92-76-99314-8, doi:10.2760/067386, JRC132271.

[2] Babiński Z., 2023, Katastrofa ekologiczna na Odrze latem 2022 r. Próba określenia przyczyny metodą analizy procesów korytowych, Gospodarka Wodna, 1, 4-7.

[3] Działania podmiotów publicznych w związku z kryzysem ekologicznym na rzece Odrze, 2023, Najwyższa Izba Kontroli. Nr ewid. 97/2023/D/22/505/LOP, LOP.430.3.2023.

[4] Sobotka A., 2022, Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dnia 21 czerwca 2022 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. [https://wody.gov.pl/images/Pliki\\_do\\_pobrania/Sytuacja\\_Hydrologiczna\\_Raporty/Sytuacja\\_hydrologiczna\\_2022-06-21.pdf](https://wody.gov.pl/images/Pliki_do_pobrania/Sytuacja_Hydrologiczna_Raporty/Sytuacja_hydrologiczna_2022-06-21.pdf), 22.12.2023.

[5] Olszanka K., 2022, Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dnia 6 lipca 2022 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. [https://wody.gov.pl/images/Pliki\\_do\\_pobrania/Sytuacja\\_Hydrologiczna\\_Raporty/Sytuacja\\_hydrologiczna\\_2022-07-06.pdf](https://wody.gov.pl/images/Pliki_do_pobrania/Sytuacja_Hydrologiczna_Raporty/Sytuacja_hydrologiczna_2022-07-06.pdf), 22.12.2023.

[6] Sobotka A., 2022, Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dnia 1 sierpnia 2022 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. [https://wody.gov.pl/images/Pliki\\_do\\_pobrania/Sytuacja\\_Hydrologiczna\\_Raporty/Sytuacja\\_hydrologiczna\\_2022-08-01.pdf](https://wody.gov.pl/images/Pliki_do_pobrania/Sytuacja_Hydrologiczna_Raporty/Sytuacja_hydrologiczna_2022-08-01.pdf), 22.12.2023.



[7] Sobotka A., 2022, Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dnia 26 sierpnia 2022 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. [https://wody.gov.pl/images/Pliki\\_do\\_pobrania/Sytuacja\\_Hydrologiczna\\_Raporty/Sytuacja\\_hydrologiczna\\_2022-08-26.pdf](https://wody.gov.pl/images/Pliki_do_pobrania/Sytuacja_Hydrologiczna_Raporty/Sytuacja_hydrologiczna_2022-08-26.pdf), 22.12.2023.

[8] Olszanka K., 2022, Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dnia 16 września 2022 r. Państwowe Gospodarstwo Wodne – Wody Polskie. [https://wody.gov.pl/images/Pliki\\_do\\_pobrania/Sytuacja\\_Hydrologiczna\\_Raporty/Sytuacja\\_hydrologiczna\\_2022-09-16.pdf](https://wody.gov.pl/images/Pliki_do_pobrania/Sytuacja_Hydrologiczna_Raporty/Sytuacja_hydrologiczna_2022-09-16.pdf), 22.12.2023.

[9] Komunikat w sprawie śniętych ryb w Odrze – 10.08.2022, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, <https://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/894-komunikat-w-sprawie-snietych-ryb-w-odrze?highlight=WyjvZHJHlI0=>, 22.12.2023.

[10] Katastrofa na Odrze – Oświadczenie PZW, (2022, 12 sierpnia), Zarząd Główny Polskiego Związku Wędkarskiego, [https://pzw.org.pl/szczegoly-artykulu/katastrofa-na-odrze-oswiadczenie-pzw\\_leZONSuQhwd2VnzvRATF?parent\\_way=67](https://pzw.org.pl/szczegoly-artykulu/katastrofa-na-odrze-oswiadczenie-pzw_leZONSuQhwd2VnzvRATF?parent_way=67), 06.01.2024.

[11] Komunikat w sprawie śniętych ryb w Odrze – 11.08.2022. (2022, 11 sierpnia). Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, <https://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/895-komunikat-w-sprawie-snietych-ryb-w-odrze-11-08-2022?highlight=WyjvZHJHlI0=>, 22.12.2023.

[12] Zagraniczna analiza Odry. (2022, 16 sierpnia). Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. <https://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/898-zagraniczna-analiza-odry?highlight=WyjvZHJHlI0=>, 22.12.2023.

[13] <https://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/904-wyniki-badan-z-holandii?highlight=WyjvZHJHlI0=>, 22.12.2023.

[14] Komunikat ws. badań wody w Odrze granicznej. (2022, 15 sierpnia). Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. <https://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/897-komunikat-ws-badan-wody-w-odrze-granicznej-2?highlight=WyjvZHJHlI0=>, 22.12.2023.

[15] Wstępny raport zespołu ds. sytuacji na rzece odrze. (2022, 30 września). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

[16] Raport kończący prace zespołu ds. sytuacji w Odrze. (2023, 31 marca). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

[17] Klimat Polski 2022. (2022, 31 grudnia). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

[18] Nasławska-Majchrzak E., Żukowska M., 2023, Rocznik Hydrologiczny 2022, (30 czerwca 2023), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy.

[19] Kojzar K., 2023, Raport UE o zatruciu Odry: największym winnym katastrofy jest człowiek, (2023, 23 lutego), OKO.press – Informacje, analizy, śledztwa, reportaże, fact-checkingi, <https://oko.press/odra-raport-ue>, 20.12.2023.

[20] Svenssen D.K., Binzer S.B., Medić N., Hansen P.J., Larsen T.O., Varga E, 2019, Development of an Indirect Quantitation Method to Assess Ichthyotoxic B-Type Pymnesins from Pymnesium parvum. *Toxins* 11, 251, <https://doi.org/10.3390/toxins11050251>, 10.01.2024.

## AKTUALNOŚCI

**Andrzej Żarczyński**

e-mail: [andrzej.zarczyński@p.lodz.pl](mailto:andrzej.zarczyński@p.lodz.pl)

*Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka*

# Kategoria A+ dla Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej

## Wprowadzenie

W połowie stycznia 2023 r. Politechnika Łódzka poznała oficjalne wyniki ewaluacji naukowej za lata 2017-2021. Rezultat dla naszej uczelni okazał się bardzo pomyślny. Mianowicie, z dwunastu ocenianych dyscyplin aż trzy otrzymały prestiżową kategorię A+ od Ministra Edukacji i Nauki na podstawie rekomendacji Komisji Ewaluacji Nauki, a są to nauki chemiczne, technologia żywności i żywienia oraz inżynieria che-

miczna. Kategoria A+ jest przyznawana za wyjątkowe osiągnięcia porównywalne z wynikami wiodących europejskich ośrodków naukowych i doceniane za granicą. Obowiązkowej ocenie działalności naukowej podlegają uczelnie akademickie, instytuty Polskiej Akademii Nauk i międzynarodowe instytuty naukowe zatrudniające co najmniej 12 pracowników prowadzących działalność naukową w danej dyscyplinie [1]. O sukcesie wydziałów Politechniki Łódzkiej jej rektor – prof. dr hab. inż.



Prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szynkowska-Jóźwik gratuluje zebranych pracowników Wydziału Chemicznego osiągnięcia kategorii A+. Po prawo prof. dr hab. inż. Łukasz Albrecht – prorektor ds. nauki i prodziekani Wydziału Chemicznego – prof. dr hab. inż. Dariusz Bieliński, dr hab. inż. Beata Brożek-Pluska, prof. PŁ i dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ. Fot. A. Żarczyński



Pamiątkowe zdjęcie władz Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej z prorektorem ds. nauki – prof. dr hab. inż. Łukaszem Albrechtem. Od lewej strony: prodziekan ds. nauki i rozwoju – prof. dr hab. inż. Dariusz Bieliński i Pani dziekan WCh – prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szynkowska-Jóźwik. Z prawej strony prodziekani: ds. studenckich – dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ i ds. dydaktycznych – dr hab. inż. Beata Brożek-Pluska, prof. PŁ. Fot. Archiwum Wydziału Chemicznego PŁ



Krzysztof Józwick, m.in. powiedział: – *To bardzo ważna decyzja potwierdzająca czołową w Polsce pozycję Politechniki Łódzkiej. Wyniki ewaluacji działalności naukowej uczelni za minione pięć lat świadczą o wysokiej jakości prowadzonych badań, dobrych efektach finansowych oraz znaczącym wpływie naszej działalności na jakość życia i rozwój gospodarczy. Mam też nadzieję, że wpłyną na wielkość subwencji dla uczelni. Wynik ten jest efektem wyteżonej pracy bardzo wielu osób, za co wszystkim dziękuję* [2].

Bardzo cieszy fakt, że kategoria A+ została przyznana na dyscyplinie nauki chemiczne, do której należy ogół pracowników naukowych i naukowo-dydaktycznych Wydziału Chemicznego. Wspaniały wynik tego Wydziału podsumowała prof. dr hab. inż. Małgorzata I. Szynkowska-Józwick, dziekan Wydziału Chemicznego i przewodnicząca Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne: – *Ewaluacja naszej działalności pokazała, że mamy wybitne osiągnięcia we wszystkich trzech kryteriach. Liczba i jakość publikacji naszych pracowników, a także ich cytowalność jest na poziomie najlepszych jednostek ocenianych w tej dyscyplinie. Liczba projektów realizowanych w dyscyplinie nauki chemiczne na PŁ jest średnio wyższa niż 1 na pracownika. Nasze osiągnięcia doprowadziły do stworzenia innowacyjnych, chronionych patentami rozwiązań, które zostały wdrożone do produkcji w polskich przedsiębiorstwach i z sukcesem wprowadzone na rynek międzynarodowy. Na taki znakomity wynik ewaluacji miało wpływ ogromne zaangażowanie i wysiłek wszystkich osób zaliczonych do N w dyscyplinie, którym serdecznie dziękuję i gratuluję. To nasz wielki wspólny sukces* [2].

Dyscyplinami, które otrzymały kategorię A są: informatyka techniczna i telekomunikacja, inżynieria materiałowa, inżynieria mechaniczna, matematyka, nauki fizyczne, nauki o zarządzaniu i jakości. Z kolei kategorię B+ otrzymały: architektura i urbanistyka, automatyka, elektronika i elektrotechnika, a także inżynieria lądowa i transport.

### „Święto A+” na Wydziale Chemicznym

Sukces w ostatniej ewaluacji świętowano w dniu 10 marca 2023 r. na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej. Wydarzenie to poprzedziły przygotowania o charakterze organizacyjnym, merytorycznym i kulinarnym. Uroczystość rozpoczęła się o godz. 15.00 w foyer Auli im.

prof. Tadeusza Paryjczaka wprowadzającymi przemówieniami prof. Małgorzaty Iwony Szynkowskiej-Józwick – Pani dziekan WCh i prof. Łukasza Albrechta – prorektora ds. nauki. Wystąpienia te przybliżyły zebrany kontekst uzyskania kategorii A+ dla dyscypliny nauki chemiczne. Gratulowano osiągniętego sukcesu, a także przedstawiono konieczność utrzymania wysokiego poziomu badań naukowych i dalszej realizacji szerokiej gamy projektów. Następnie miał miejsce kulinarny poczęstunek zebranych przygotowany przez poszczególne Instytuty. Była też możliwość spotkania się i dyskusji z osobami z różnych instytutów Wydziału Chemicznego, a także zaproszonymi emerytowanymi pracownikami. Po części kulturalnej uczestnicy zebrali się w Auli, a przemówienia wygłosili Pani Dziekan oraz Pan Prorektor omawiając wyniki ewaluacji, ważniejsze sukcesy Wydziału Chemicznego oraz dane statystyczne dotyczące osiągnięć jego pracowników w latach 2017-2021. Przekazano również życzenia wielu dalszych wspaniałych sukcesów w życiu osobistym i zawodowym, oraz aby nauka nieskończenie dostarczała wszystkim zebranym radości i zachwytu nad pięknem świata. Następnie uczestnicy zostali zaproszeni w podróż do wspomnień o wydziale, jego jednostkach i najnowszej historii związanej z budową budynku Alchemium – magia chemii jutra.

Wyświetlono m.in. film przygotowany przez dr inż. Michała Binczarskiego z Instytutu Chemii Ogólnej i Ekologicznej na podstawie materiałów udostępnionych przez Kolegów i Koleżanki, dotyczący różnych form aktywności i osiągnięć pracowników Wydziału w ostatnich dziesięcioleciach. Dodatkowo, podczas uroczystości wręczono pracownikom wydziału specjalnie przygotowane na tę okazję medale pamiątkowe związane z uzyskaniem kategorii A+. Po części oficjalnej rozpoczął się program kulturalno-kulinarny, pokazujący ogromny potencjał pracowników Wydziału w wielu dziedzinach życia oraz ich pasje i hobby. Okazało się, że wiele osób ma bardziej lub mniej znane talenty artystyczne, muzyczne, wokalne, recytatorskie oraz kulinarne.

### Literatura

[1] Portal Opinie o Uczelniach, Kategoria naukowa A+ – najlepsze ośrodki badawcze, <https://opinieouczelniach.pl/artukul/kategoria-naukowa-a-najlepsze-osrodki-badawcze/>, 05.08.2023.

[2] E. Chojnacka, 2023, Znakomite wyniki ewaluacji, Życie Uczelni, nr 163, 4, <https://www.zu.p.lodz.pl/znakomite-wyniki-ewaluacji>, 05.08.2023.

**Anna Cabaj-Wieloch**

e-mail: [anna.cabaj@p.lodz.pl](mailto:anna.cabaj@p.lodz.pl)

Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

## Nagrody w XIV edycji konkursu im. prof. Osmana Achmatowicza

**Kapituła Nagrody im. prof. Osmana Achmatowicza pod przewodnictwem prof. Osmana Achmatowicza jr. wyłoniła i nagrodziła najlepsze prace dyplomowe wykonane na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej w roku akademickim 2021/2022 w ramach XIV edycji tegoż Konkursu.**

Konkurs o nagrodę imienia prof. Osmana Achmatowicza dotyczy prac dyplomowych wykonanych i obronionych na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej w danym roku akademickim, w terminie zgodnym z Regulaminem Studiów. Celem Konkursu jest dążenie do poprawy jakości prac dyplomowych, promowanie najlepszych absolwentów i popularyzacja tematyki badawczej realizowanej na Wydziale Chemicznym.

Z końcem marca 2023 r. Kapituła Konkursu wybrała najlepsze prace dyplomowe wykonane na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej w roku akademickim 2021/2022

w ramach XIV edycji Konkursu. Wręczenie nagród, medali i dyplomów nastąpiło w dniu 24 maja br. w Auli im. prof. Tadeusza Paryjczaka, podczas uroczystego posiedzenia Senatu z okazji 78. rocznicy utworzenia Politechniki Łódzkiej (Fot. 1 i 2). W kategorii: najlepsza magisterska praca dyplomowa nagrodzono **pracę mgr. inż. Adama Cieślińskiego**, pt. „Wykorzystanie 1H-indeno-2-karbaldehydów w reakcji asymetrycznego allilowego alkiłowania z węglanami Mority–Baylisa–Hillmana”, wykonaną pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Łukasza Albrechta (Instytut Chemii Organicznej). W kategorii najlepsza inżynierska praca dyplomowa – nagrodzono pracę **inż. Karoliny Pietruchy**, pt. „Synteza nanożeli polimerowych inicjowana światłem UV”, wykonaną pod kierunkiem dr. hab. inż. Sławomira Kadłubowskiego, prof. uczelni (Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej).

Uchwała została podjęta przez Kapitułę Konkursu ka-



Fot.1. Prof. dr hab. inż. Krzysztof Józwik – rektor PŁ i prof. dr hab. inż. Małgorzata Iwona Szykowska-Józwik – dziekan WCh PŁ wręczają dyplomy i medale laureatom XIV edycji konkursu im. prof. Osmana Achmatowicza – mgr. inż. Adamowi Cieślińskiemu i inż. Karolinie Pietrucha, fot. Jacek Szabela





Fot. 2. Uczestnicy wręczenia nagród laureatom XIV edycji konkursu im. prof. Osmana Achmatowicza, fot. Jacek Szabela

dencji 2020-2024 w składzie: prof. dr hab. Osman Achmatowicz – Przewodniczący Kapituły oraz Członkowie: prof. dr hab. inż. Łukasz Albrecht, dr inż. Jacek Michalak (ATLAS Sp. z o.o.), prof. dr hab. inż. Beata Kolesińska, dr hab. inż. Agnieszka Ruppert, dr hab. inż. Marcin Kozanecki, prof. dr hab. inż. Piotr Ulański, prof. dr hab. inż. Krzysztof Strzelec oraz Marek Wośko (POLFARMEX S.A.). Laureaci otrzymali dyplomy, medale oraz gratyfikacje pieniężne.

Prace zgłoszone na XIV edycję Konkursu oprócz członków Kapituły pod przewodnictwem prof. dr hab. Osmana Achmatowicza, oceniali również profesorowie z innych jednostek naukowych: prof. dr hab. Zbigniew Stojek – Uniwersytet

Warszawski, Wydział Chemii, prof. dr hab. Szczepan Zapotoczny – Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, prof. dr hab. Jarostaw Grobelny – Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka – Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny, dr hab. Bogna Rudolf, prof. UŁ – Uniwersytet Łódzki, Wydział Chemii, prof. dr hab. Jacek Ścianowski – Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Chemii.

Sponsorami nagród były firmy: **ATLAS Sp. z o.o.** (nagroda pieniężna za najlepszą pracę inżynierską) oraz **POLFARMEX S.A.** (nagroda pieniężna za najlepszą pracę magisterską).

**Dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ**

## Na Pierwszej Łódzkiej Nocy Naukowców w EC1 nie mogło zabraknąć chemików z PŁ!

29 września 2023 r. Centrum Nauki i Techniki EC1 w Łodzi zorganizowało pierwszą Łódzką Noc Naukowców. Tego dnia w godzinach 19-23, Centrum odwiedziło ponad 600 sympatyków nauki, a do współorganizacji wydarzenia zaproszone zostały największe łódzkie uczelnie: Uniwersytet Łódzki, Uniwersytet Medyczny w Łodzi oraz Politechnika Łódzka, którą reprezentowali naukowcy, doktoranci i studenci z Wydziału Chemicznego i zaprzyjaźnionych kół naukowych: Raptors i Iron Warriors Team. Uczestnicy wykładów, warsz-

tatów i chemicznej ścieżki edukacyjnej próbowali wspólnie odpowiedzieć na pytania: Czy sztuczna inteligencja jest w stanie przynieść szczęście ludzkości? Jakie problemy niesie zanieczyszczenie hałasem i światłem dla człowieka? Dlaczego my widzimy? Jak widzą zwierzęta?

Wydział Chemiczny Politechniki Łódzkiej przygotował dla uczestników wydarzenia Ścieżkę Edukacyjną, zatytułowaną „Świet(l)na nauka w EC1”. Na stanowisku „Ruch tworzy kolory”: w kalejdoskopie chemicznych przemian,



Rys. 1. Stoisko Politechniki Łódzkiej cieszyło się dużym powodzeniem. Fot. I. Witońska

pracownicy Instytutów Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Chemii Organicznej oraz studenci z Koła „TROTYL” przedstawili barwne doświadczenia chemiczne, które pozwalają na identyfikację związków chemicznych, a także są wykorzystywane np. w kryminalistyce, medycynie i ochronie środowiska. Pracownicy i doktoranci Międzyresortowego Instytutu Techniki Radiacyjnej i Katedry Fizyki Molekularnej wraz z członkami SKN „Nano” omówili zjawiska fluorescencji



Rys. 2. Noc Naukowców. Fot. I. Witońska

i luminescencji, zaprezentowali możliwości laserów, a także świat barw cząstek w rozmiarze „nano”, czyli przedstawili „Widzialny i niewidzialny świat kolorów”. Na imprezie, której przewodnim hasłem był świat kolorów, nie mogło zabraknąć przedstawicieli Instytutu Technologii Polimerów i Barwników, wspieranych przez członków SKN „Polimer”, którzy pokazali zwiedzającym jak zbudowane jest oko i opowiedzieli o tym, dlaczego widzimy kolory. Przedstawili uczestnikom wydarzenia budowę barwników i pigmentów oraz techniki ich aplikacji na tkaninach i innych materiałach. Z prezentacji przygotowanej przez Instytut i SKN „Polimer” można było się również dowiedzieć o tym, jak świat kolorów widzą zwierzęta oraz co to są zjawiska: powidoków i kontrastu sy-

multanicznego. Pracownicy, doktoranci i studenci Wydziału Chemicznego PŁ po raz kolejny udowodnili, że o zjawiskach chemicznych i fizycznych można mówić prosto i ciekawie, a nauka to inspirująca podróż w nieznanne!

Bardzo dziękujemy organizatorom wydarzenia za zaproszenie! Dziękujemy również wszystkim pracownikom, doktorantom i studentom Wydziału za zaangażowanie w popularyzację nauki! Wszystkich zainteresowanych zgłębianiem wiedzy chemicznej odsyłamy do naszej strony internetowej [www.chemia.p.lodz.pl](http://www.chemia.p.lodz.pl)



Rys. 3. Przy stoisku można było się sporo nauczyć. Fot. I. Witońska



Rys. 4. Pokazy chemiczne były gwoździem programu Nocy Naukowców. Fot. I. Witońska



Rys. 5. Noc Naukowców – wywiad. Fot. I. Witońska



**Andrzej Żarczyński**

e-mail: andrzej.zarczynski@p.lodz.pl, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

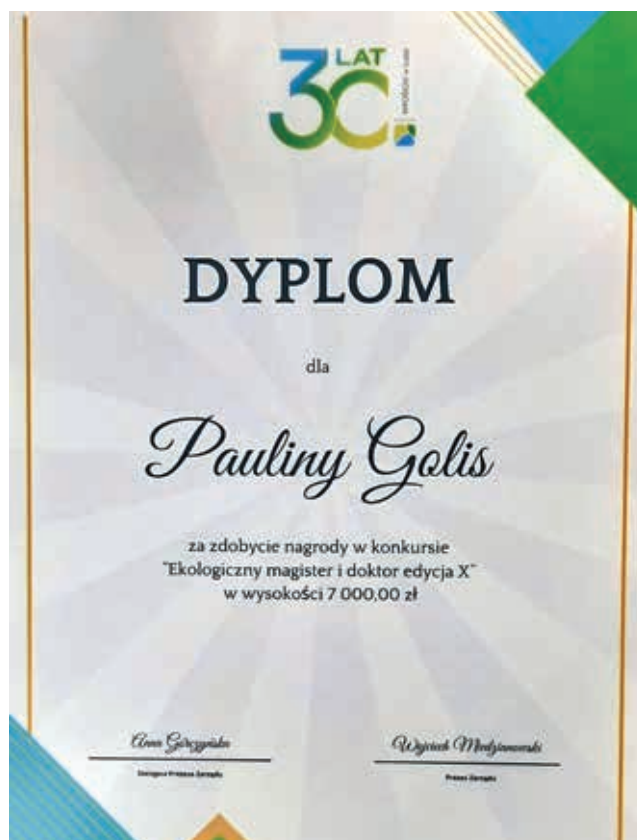
## Nagrody dla absolwentów PŁ w X. edycji Konkursu „Ekologiczny magister i doktor”

W pierwszej połowie grudnia 2023 r. Zarząd Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Łodzi (WFOŚiGW w Łodzi) przyznał nagrody w X edycji Konkursu „Ekologiczny magister i doktor”, którego od dekady jest organizatorem. Celem Konkursu było wyłonienie najlepszych, pod względem naukowym oraz praktycznym, prac magisterskich i rozpraw doktorskich, dotyczących wybranych obszarów tematycznych w ochronie środowiska, zrealizowanych w uczelniach na terenie województwa łódzkiego, a także nagrodzenie ich autorów. Oceny zgłoszonych do Konkursu rozpraw i prac dokonało, a następnie przedstawiło do zatwierdzenia, powołane przez Zarząd WFOŚiGW w Łodzi Kolegium Konkursowe w następującym składzie:

- prof. dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński – przedstawiciel Politechniki Łódzkiej (PŁ), Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska;
- dr Agnieszka Wolańska-Kamińska – przedstawiciel Uniwersytetu Łódzkiego, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska;
- dr Beata Gotwald – przedstawiciel Uniwersytetu Łódzkiego, Wydział Zarządzania;
- Witold Bińczyk – przedstawiciel WFOŚiGW w Łodzi.

Jedną z sześciu nagród uzyskała mgr inż. **Paulina Golis** – absolwentka Wydziału Chemicznego PŁ, kierunek Chemia, specjalność – Chemia analityczna i strukturalna w kategorii Konkursu „Ekologiczny magister”. Nagrodzona praca magisterska pt. „Preparatyka i badania nowych sorbentów siarkowodoru z rudy darniowej, osadu pofiltracyjnego z uzdatniania wody podziemnej i gipsu syntetycznego”, została wykonana pod kierunkiem dra inż. Andrzeja Żarczyńskiego w Instytucie Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ.

W tym miejscu należy zaakcentować, iż X edycja opisywanego Konkursu przyniosła duży sukces Wydziałowi Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, bowiem aż trzech laureatów pochodziło z tego Wydziału. Nagrodę w kategorii „Ekologiczny doktor” otrzymał dr inż. **Dawid Zawadzki** za pracę: „Innovative Method for Computer-Aided Rapid Prototyping of Tailor-Made Internals for Rotating Packed Beds for Absorption Process”, a jej promotorem był dr hab. inż. Maciej Jaskulski, prof. PŁ z Katedry Inżynierii Środowiska. W kategorii „Ekologiczny magister” nagrody



zdobyli dwaj absolwenci WIPOŚ, którzy pisali prace magisterskie w Katedrze Inżynierii Molekularnej:

- mgr inż. **Sebastian Bujnowicz** za pracę: „Opracowanie warunków procesu oczyszczania ścieków włókienniczych metodą elektro-Fenton w skali przemysłowej”, przygotowaną pod kierunkiem dr hab. inż. Lucyny Bilińskiej, prof. PŁ;
- mgr inż. **Bartosz Panek** za pracę: „Dobór plazmowo wytwarzanych nanohybrydowych katalizatorów na bazie tlenków metali do procesu uwodornienia CO<sub>2</sub>”, opracowaną pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jacka Tyczkowskiego.

Nagroda dla laureatów konkursu za prace doktorskie wynosiła 12 tys. zł, a za prace magisterskie 7 tys. zł.

Więcej informacji można znaleźć w Internecie na stronach: <https://www.wfosigw.lodz.pl/aktualnosci/1-050-x-edycja-konkursu-ekologiczny-magister-i-doktor-rozstrzygnieta> oraz <https://p.lodz.pl/uczelnia/aktualnosci/laureaci-x-edycji-konkursu-o-nagrade-wfosigw-w-lodzi> (18.03.2024).



Dr hab. inż. Izabela Witońska, prof. PŁ

Institut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Politechnika Łódzka

## XXVI Konferencja

# „Nowoczesne metody instrumentalne w analizie śladowej” już za nami...

## Do zobaczenia w Łodzi za rok!

W dniach 11-12 grudnia 2023 r. na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej zagościli wybitni chemicy analitycy, by wziąć udział w corocznym wydarzeniu organizowanym od ponad 25 lat we współpracy z Narodowym Instytutem Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy oraz firmą Intertech Poland. Konferencja „Nowoczesne metody instrumentalne

w analizie śladowej” od lat gromadzi grono uznanych naukowców oraz młodych pracowników nauki, doktorantów i studentów, którzy nie tylko mogą wysłuchać wykładów wybitnych specjalistów – praktyków, realizujących badania naukowe metodami instrumentalnymi, ale również sami mogą zaprezentować wyniki swoich badań w formie komunikatów i posterów.



Fot. 1. Prof. dr hab. inż. Małgorzata Szyrkowska-Józwik – PŁ, dr Sławomir Garboś – NIZP PZH-PIB oraz Jarosław Grodowski – Intertech Poland, otwierają XXVI Konferencję „Nowoczesne metody instrumentalne w analizie śladowej”.

Fot. M. Binczarski



Fot. 2. Przywitanie uczestników Konferencji przez prorektora ds. nauki prof. dr. hab. inż. Łukasza Albrechta.

Fot. M. Binczarski





Fot. 3. Prof. dr hab. Bogusław Buszewski wygłaszający wykład z tytułowany: *Fascynujący świat chemii analitycznej; Quo vadis? Przewodniczący sesji naukowej – prof. dr hab. Izabela Nowak, prof. dr hab. Ryszard Dobrowolski.*  
Fot. M. Binczarski



Fot. 4. Dr Waldemar Krawczyk, wygłaszający wykład z tytułowany: *Od polskiej heroiny do klefedronu. Historia produkcji narkotyków w Polsce. Przewodniczący sesji naukowej – prof. dr hab. Danuta Barańkiewicz, prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka.*  
Fot. M. Binczarski

Ponadto, rodzinna i ciepła atmosfera nadchodzących Świąt i komfortowe przestrzenie Alchemium, sprzyjają wywiązywaniu się wielu nieformalnych dyskusji na tematy naukowe, co często przyczynia się do rozpoczęcia współpracy pomiędzy ośrodkami naukowymi w Polsce i pozwala na rozwiązywanie trudnych problemów analitycznych.

Program XXVI Konferencji podzielony został przez organizatorów na pięć sesji naukowych, skupionych na problemach związanych z perspektywami analityki i rozwojem nowych technik analitycznych i materiałów stosowanych w analizie śladowej, w tym technik analitycznych wykorzystywanych w kontroli żywności, ochronie środowiska i kryminalistyce, a także z miarodajnością wyników analiz i koniecznością międzylaboratoryjnej ich kontroli w celu zapewnienia jakości badań. Wykłady wygłosili: Prof. dr hab. Bogusław Buszewski z Kujawsko-Pomorskiego Centrum Naukowo – Technologicznego im. prof. Jana Czochralskiego w Toruniu,

Prof. dr hab. inż. Henryk Jeleń z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Prof. dr hab. Ryszard Dobrowolski z Uniwersytetu Marii Curie – Skłodowskiej w Lublinie, Prof. dr hab. Danuta Barańkiewicz z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka z Politechniki Gdańskiej, Prof. dr hab. Rajmund Michalski z Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrzu, Prof. dr hab. Justyn Ochocki z Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, Dr hab. Dariusz Zuba, prof. IES z Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie, Dr Waldemar Krawczyk z Uniwersytetu Jana Długosza w Częstochowie, Dr hab. Zofia Kowalewska, prof. PW z Politechniki Warszawskiej, Dr hab. inż. Jerzy Górecki, prof. AGH z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Dr hab. inż. Mirosław Zimnoch, prof. AGH z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Prof. dr hab. Piotr Baranowski z Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie oraz wielu innych młodych pracowników nauki i doktorantów. W konferencji wzięło udział ponad 100

zarejestrowanych uczestników oraz przedstawiciele firm oferujących aparaturę specjalistyczną, odczynniki i inne materiały niezbędne do pracy laboratorium analitycznego.

W ramach podsumowania Konferencji, komisja konkursowa złożona z wybitnych specjalistów z dziedziny analityki wyłoniła zwycięzców konkursów na najlepszą prezentację ustną i najlepszy poster.



Fot. 5. Prof. dr hab. Danuta Barańkiewicz wygłaszająca wykład zatytułowany: Miarodajność wyników poprzez zapewnienie spójności pomiarowej. Przewodniczący sesji naukowej – prof. dr hab. Irena Staneczko-Baranowska, prof. dr hab. Henryk Matusiewicz.  
Fot. M. Binczarski

Za najlepsze wystąpienie w ramach Sesji Młodych uznano prezentację wygłoszoną przez Pana Aleksandra Kucharka, której współautorką była Pani dr hab. inż. Elżbieta Kuśmierk, zatytułowaną: *Zastosowanie metod elektroanalitycznych w badaniu korozji Zn w obecności kwasu kawowego*.

Natomiast w konkursie na najlepszy poster Konferencji Komisja konkursowa przyznała trzy nagrody.

I miejsce w konkursie otrzymało opracowanie autorstwa Katarzyny Zielińskiej, Aleksandry Zimoń,

Aleksandry Pawlaczyk, Grzegorza Zadora oraz Małgorzaty I. Szyrkowskiej-Jóźwik, zatytułowane: *Analiza mikrookruczków szkła pochodzących z ekranów urządzeń mobilnych*.

II miejsce zdobył poster autorstwa Piotra Wysokiego, Joanny Nowak, Aleksandry Pawlaczyk, Elżbiety Maćkiewicz, Jadwigi Albińskiej, Magdaleny Gajek, Krzysztofa Sokołowskiego, Jerzego Sokołowskiego oraz



Fot. 6. Prof. dr hab. inż. Piotr Konieczka wygłaszający wykład zatytułowany: Badania międzylaboratoryjne jako element systemu kontroli i zapewnienia jakości wyników. Przewodniczący sesji naukowej – prof. dr hab. Irena Staneczko-Baranowska, prof. dr hab. Henryk Matusiewicz.  
Fot. M. Binczarski

Małgorzaty I. Szyrkowskiej-Jóźwik, zatytułowany: *LIBS i ICP-OES w analizie materiałów stosowanych jako wypełnienia w stomatologii oraz roztworów 0,9% NaCl po uwalnianiu jonów z tych materiałów*.

Natomiast III miejsce zdobyły Panie Paulina Gątarek, Joanna Kałużna-Czaplińska, autorki posteru zatytułowanego: *Rola kwasów karboksylowych łączonych z mikrobiałkami jelitowymi w chorobie Parkinsona*. Wszystkim laureatom konkursu serdecznie gratulujemy i życzymy dalszych sukcesów w badaniach analitycznych. ●



# przemysł chemiczny



Miesięcznik Naukowo-Techniczny Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego



- INŻYNIERIA CHEMICZNA
- TECHNOLOGIA CHEMICZNA
- RYNEK
- BRANŻA
- WYDARZENIA

**Przemysł Chemiczny** jest najstarszym polskim czasopismem w branży chemicznej, wydawanym od 1917 roku.

Miesięcznik od 1964 r. jest notowany na tzw. liście filadelfijskiej najlepszych naukowych pism świata (IF za 2022 r. wynosi 0,500).

Miesięcznik adresowany jest do **menedżerów przemysłu chemicznego, inżynierów i technologów w przemyśle, projektantów w biurach projektowych oraz pracowników naukowych w instytutach naukowo-badawczych i na wyższych uczelniach oraz studentów chemii.**



przemyslchemiczny



przemysl.chemiczny



company/przemysl-chemiczny

**przemysł  
chemiczny**

#### KONTAKT - REDAKCJA

☎ (22) 818 51 71  
✉ przemyslchemiczny@sigma-not.pl  
🌐 przemyslchemiczny.com

#### KONTAKT - WYDAWCA

☎ (22) 818 09 18  
✉ sekretariat@sigma-not.pl  
🌐 www.sigma-not.pl

# Kierunki studiów na Wydziale Chemicznym PŁ

## Studia I stopnia – inżynierskie

### Kierunek: Chemia

#### Specjalność:

- Chemia biomedyczna
- Chemia materiałów polimerowych
- Kontrola jakości w chemii
- Synteza organiczna i bioorganiczna

### Kierunek: Chemia budowlana

### Kierunek: Nanotechnologia

#### Specjalność:

- Nanomateriały funkcjonalne
- Polimerowe materiały inżynierskie

### Kierunek: Analityka Chemiczna

### Kierunek: Technologia chemiczna

#### Specjalność:

- Gospodarka odpadami
- Technologia barwników i chemii gospodarczej
- Technologia chemiczna organiczna
- Technologia polimerów
- Technologie biomedyczne

### Kierunek: Informatyka w ochronie środowiska

Kierunek studiów inżynierskich  
w języku angielskim



## Studia II stopnia – magisterskie

### Kierunek: Chemia

#### Specjalność:

- Chemia analityczna i strukturalna
- Chemia medyczna
- Materiały inteligentne
- Nowoczesna synteza i analiza organiczna
- Techniki fizykochemiczne i obliczeniowe w chemii, biologii i medycynie

### Kierunek: Chemia budowlana (w konserwacji i restauracji budynków)

### Kierunek: Nanotechnologia

### Kierunek: Nanotechnologia – język angielski

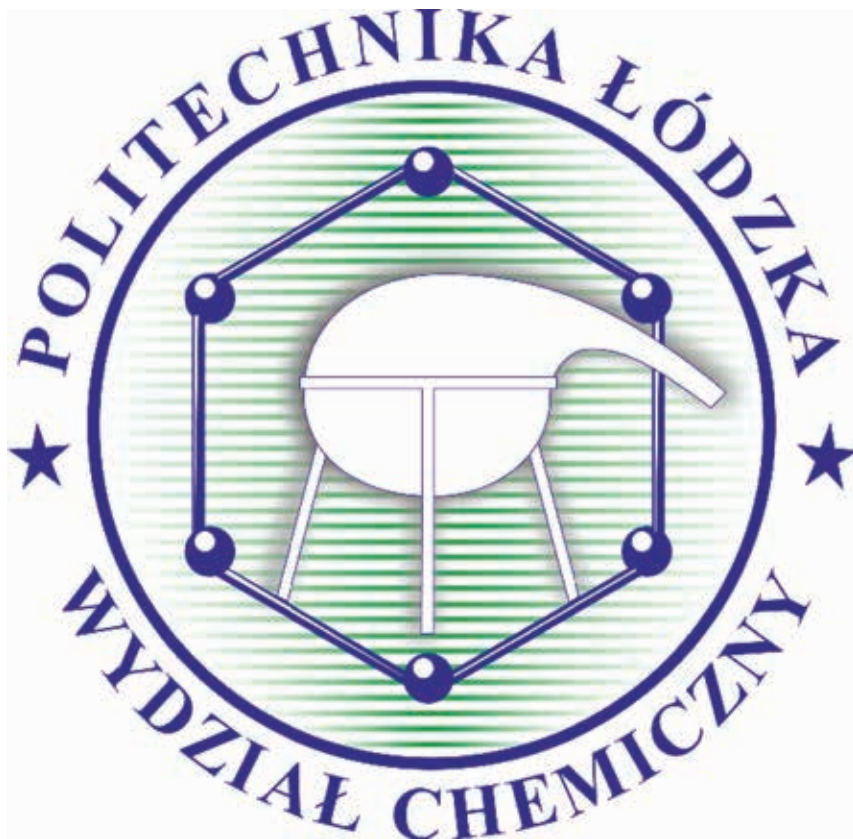
### Kierunek: Chemia w kryminalistyce

### Kierunek: Technologie nowoczesnych materiałów funkcjonalnych

### Kierunek: Technologia chemiczna

#### Specjalność:

- Inżynieria biomedyczna i radiacyjna
- Kataliza przemysłowa
- Technologia barwników, środków pomocniczych i chemii gospodarczej
- Technologia leków i środków ochrony roślin
- Technologia polimerów



[www.chemia.p.lodz.pl](http://www.chemia.p.lodz.pl)

 [www.facebook.com/Wydzial.Chemiczny](https://www.facebook.com/Wydzial.Chemiczny)

