

# CHEMIK

1-4 • 2023

nauka • technika • rynek science • technique • market





# KONKURS

Wyróżnienie ma na celu pokazanie wybitnych inżynierów przemysłu chemicznego.

Tytuł jest przyznawany za szczególne dokonania w dziedzinie nauki, techniki i gospodarki oraz działalność na rzecz rozwoju przemysłu chemicznego.



Zgłoszenia Kandydatów



Regulamin

[www.sitpchem.org.pl](http://www.sitpchem.org.pl)

+48 22 826 78 96

[sekretariat@sitpchem.org.pl](mailto:sekretariat@sitpchem.org.pl)



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego  
ul. Tadeusza Czackiego 3/5 (bud. NOT) 00-043 Warszawa



„CHEMIK” Czasopismo Naukowo-Techniczne  
założone w 1948 roku.

Wydawane od 2022 r. przez Stowarzyszenie Inżynierów  
i Techników Przemysłu Chemicznego i Politechnikę Wrocławską

PL ISSN 0009-2886

KWARTALNIK

#### Kolegium redakcyjne

Redaktor naczelny: prof. dr hab. **Rafał Latajka**

Sekretarz: dr inż. **Sonia Zielińska**

Dyrektor generalny **Jerzy Klimczak**, prezes ZG SITPChem

#### Redaktorzy:

dr hab. inż. **Piotr Jamróz**, prof. uczelni

dr hab. inż. **Tomasz Olszewski**, prof. uczelni

dr hab. inż. **Agnieszka Wojciechowska**, prof. uczelni

dr inż. **Piotr Wojciechowski**

#### Rada Naukowo-Programowa:

prof. dr hab. inż. **Łukasz Albrecht**, Politechnika Łódzka

prof. dr hab. inż. **Zbigniew Brzózka**, Politechnika Warszawska

prof. dr hab. inż. **Anna Chrobok**, Politechnika Śląska

prof. dr hab. inż. **Katarzyna Chojnacka**, Politechnika Wrocławska

prof. dr hab. inż. **Kazimierz Darowicki**, Politechnika Gdańska

prof. dr hab. inż. **Józef Hoffmann**, Politechnika Wrocławska

prof. dr hab. inż. **Paweł Kafarski**, Politechnika Wrocławska

dr hab. inż. **Arkadiusz Kamiński**, prezes zarządu SITPChem O/Płock

mgr inż. **Józef Kozieł**, wiceprezes SITPChem

prof. dr hab. **Piotr Młynarz**, dziekan Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej

dr hab. **Robert Przekop**, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

prof. dr hab. **Piotr Stepnowski**, Uniwersytet Gdański

dr inż. **Adam Tarniowy**, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Oświęcimiu,  
wiceprezes SITPChem

prof. dr hab. inż. **Kazimiera Anna Wilk**, Politechnika Wrocławska

prof. dr hab. inż. **Zbigniew Wzorek**, Politechnika Krakowska

#### ADRES REDAKCJI:

„CHEMIK”

Wyb. Wyspiańskiego 29, 50-370 Wrocław

[miesiecznikchemik.pl](http://miesiecznikchemik.pl)

redaktor naczelny – prof. dr hab. **Rafał Latajka**

☎ (71) 320 24 63; [redaktornaczelny@miesiecznikchemik.pl](mailto:redaktornaczelny@miesiecznikchemik.pl)

sekretarz – dr **Sonia Zielińska**

☎ (71) 320 37 06; [sekretarzredakcji@miesiecznikchemik.pl](mailto:sekretarzredakcji@miesiecznikchemik.pl)

#### CZASOPISMO JEST INDEKSOWANE:

INDEX COPERNICUS  
INTERNATIONAL

Scopus<sup>®</sup>

#### WYDAWCY:

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego

ul. Tadeusza Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa

☎ (22) 22 826 78 96

[sitpchem.org.pl](http://sitpchem.org.pl)

Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny,

ul. Norwida 4/6, 50-374 Wrocław

☎ (71) 320 24 25

[wch.pwr.edu.pl](http://wch.pwr.edu.pl)

#### SKŁAD:

Studio DTP Wydawnictwa SIGMA-NOT

Projekt graficzny: **Beata Włodarczyk**

#### DRUK i KOLPORTAŻ:

Zakład Poligrafii i Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT

Nakład do 1500 egz.

Wersja pierwotna czasopisma jest wersją papierową.

Czasopismo dostępne jest w open access na stronie:

[miesiecznikchemik.pl](http://miesiecznikchemik.pl)

SŁOWO WSTĘPNE ..... 2

#### WYDARZENIA

• 3 Seas Hydrogen Council: Czas by wodorowa Europa usłyszała głos naszego regionu ..... 3

#### ARTYKUŁ WSTĘPNY

• H2POLAND – świat zmierza w kierunku zeroemisyjności ... 5

Biznes chemiczny – jaka czeka go przyszłość?

– **Józef Kozieł** ..... 12

Z życia SITPChem (od X 2022 do VI 2023) ..... 14

#### Część naukowa:

##### Wykorzystanie ogniw paliwowych w gospodarce wodorowej

*The use of fuel cells in the hydrogen economy*

**Robert Przekop, Julia Głowacka, Agnieszka Martyła** ..... 28

##### Bezpieczeństwo surowcowe Unii Europejskiej w kontekście wyzwań dekarbonizacyjnych i gospodarki wodorowej

*Raw material security of the European Union in the context of the decarbonisation challenge and the hydrogen economy*

**Robert E. Przekop, Adam Stolarz, Daria Pakuła, Adam Żurek, Agnieszka Martyła** ..... 34

##### Odzysk surowców krytycznych z ogniw litowo-jonowych

*Recovery of critical raw materials from lithium-ion cells*

**Agnieszka Martyła, Robert E. Przekop, Anna Łabęda** ..... 42

##### Wpływ dodatku surowców pochodzenia organicznego na wytrzymałość mechaniczną granulatów na bazie dolomitu

*The influence of the addition of organic raw materials on the mechanical strength of dolomite-based granules*

**Marcelina Józwiak, Ewa Pankalla, Józef Hoffmann, Magdalena Braun-Giwerska** ..... 50

##### Możliwości wykorzystania wapna potasowego z produkcji sody metodą Solvay-a

*Possibilities of using post-soda lime from the production of soda ash by the Solvay method*

**Małgorzata Olejarczyk, Włodzimierz Urbaniak, Iwona Rykowska, Witold Waciński** ..... 54

##### Bioaktywne substancje i właściwości farmakologiczne Fomitopsis

*Bioactive substances and pharmacological properties of Fomitopsis betulina*

**Marcin Szymański** ..... 62

##### Właściwości kwasu salicylowego i jego wybranych pochodnych w świetle metod modelowania molekularnego

*Properties of salicylic acid and its selected derivatives in the light of molecular modeling methods*

**Anna Kaczmarek, Beata Kizior, Wiktor Zierkiewicz, Aneta Jezierska** ..... 66

Na okładce: Kolaż Energia&Technologia by Canva

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym

„CHEMIK” otrzymuje **20** pkt zgodnie z komunikatem

Ministerstwa Edukacji i nauki z dnia 17 lipca 2023 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.



Szanowni Państwo!

Z wielką radością i satysfakcją oddajemy w Państwa ręce kolejny po wznowieniu zeszyt CHEMIKA. Po numerze pierwszym, który poświęcony był potencjałowi badawczemu Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej, nadszedł czas na zeszyt, w którym zgromadzono kilka, typowo naukowych publikacji. Poruszane w prezentowanych artykułach zagadnienia badawcze są bardzo różne – od ogniw paliwowych, przez wyzwania gospodarki wodorowej, technologię nieorganiczną po modelowanie molekularne. Właśnie taki profil czasopisma jest zgodny z jego koncepcją rozwoju ustaloną przez władze SITPChem i Radę Naukowo-Programową, mamy nadzieję, że w przyszłości poruszane będą zagadnienia ze wszystkich obszarów chemii, technologii chemicznej, inżynierii chemicznej i materiałowej. Serdecznie zachęcamy naszych młodszych kolegów, zatrudnionych w różnych jednostkach badawczych jak i przemysłowych, do podzielenia się swoimi osiągnięciami na łamach CHEMIKA. Zachęcamy również jednostki badawcze – wydziały i instytuty – do współpracy, celem opublikowania zeszytów specjalnych przedstawiających ich profil.

W bieżącym numerze znajdują Państwo także artykuły na temat najważniejszych wydarzeń z życia SITPChem jak również konferencji 3 Seas Hydrogen Council. Gorąco zachęcam do przeczytania bardzo interesującego artykułu wstępnego autorstwa pana Józefa Koziela. Życzymy miłej i stymulującej lektury.

*Prof. dr hab. Rafał Latajka, Redaktor naczelny*

## SŁOWO WSTĘPNE



Drodzy Czytelnicy!

W imieniu Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego z wielką przyjemnością przekazuję Państwu najnowszy numer czasopisma Chemik, wydawanego od 1948 r. i zawieszono od stycznia 2018 r. ze względu na brak środków do jego dalszego finansowania. Jego wznowienie było możliwe dzięki zaangażowaniu i ciężkiej pracy wielu osób, za co pragnę serdecznie podziękować. W sposób szczególny dziękuję prof. Piotrowi Młynarzowi, dziekanowi Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej, z którym wspólnie podjęliśmy wyzwanie wznowienia tego wyjątkowego czasopisma. Dziękuję także prof. Robertowi Przekopowi z Centrum Zaawansowanych Technologii UAM w Poznaniu oraz całemu Jego Zespołowi, bez których wydanie Chemika nie byłoby możliwe. Dziękuję prof. Józefowi Hoffmannowi z Politechniki Wrocławskiej, który od 2018 r. inspirował mnie i zachęcał do wznowienia wydawania Chemika, a w ostatnim czasie wsparł nas merytorycznie, co przyczyniło się do pozyskania ciekawych prac naukowych, które możemy publikować na łamach naszego czasopisma. Dziękuję Wydawnictwu SIGMA-NOT, a także Kolegium redakcyjnemu miesięcznika Przemysł Chemiczny, którzy służyli nam radą i swoim doświadczeniem. Bez tego wsparcia nie osiągnęlibyśmy celu, jakim było wydanie tego zeszytu. Dziękuję także Zarządowi Głównemu SITPChem za sfinansowanie tego projektu, Kolegium redakcyjnemu i Radzie Programowej kwartalnika Chemik za podjęcie się tego trudnego zadania. Jestem jednak przekonany, że ten pierwszy krok stanie się krokiem milowym do wznowienia czasopisma Chemik, które dzisiaj jest kwartalnikiem, ale z czasem, wierzę, stanie się ponownie chętnie czytany miesięcznikiem.

*Jerzy Klimczak, Dyrektor generalny*



## 3 Seas Hydrogen Council: Czas, by wodorowa Europa usłyszała głos naszego regionu

Dekarbonizacja systemów ciepłowniczych, certyfikacja wodoru, wypracowanie jednolitego stanowiska w zakresie regulacji UE, wybór transgranicznych projektów wodorowych – to priorytetowe działania 3 Seas Hydrogen Council, pierwszej w Europie platformy zrzeszającej kraje Europy Środkowo-Wschodniej.

W skład 3 Seas weszły organizacje wodorowe z Polski, Czech, Estonii, Litwy, Łotwy, Słowacji, Słowenii, Węgier i Ukrainy. Porozumienie w tej sprawie podpisano w maju podczas Środkowoeuropejskiego Forum Technologii Wodorowych w Poznaniu.

Zadaniem rady jest określenie kierunków strategicznych w rozwoju gospodarki wodorowej dla tego regionu, wykorzystując potencjał technologiczny, naukowy i gospodarczy jego krajów. Rada chce też reprezentować wspólne postulaty branży wobec KE i Parlamentu Europejskiego oraz zabierać głos w redystrybucji środków na projekty wodorowe.

– *Wyzwania, przed którymi stoi sektor wodorowy w regionie Europy Środkowo-Wschodniej są złożone i wymagają wspólnych działań. Jako stowarzyszenie Hydrogen Poland, które jest pomysłodawcą powstania 3 Seas, zdefiniowaliśmy kluczowe obszary, na których należy się skoncentrować w pierwszej kolejności* – mówi Paweł Piotrowicz, prezes Hydrogen Poland.

Jeden z nich to dekarbonizacja systemów ciepłowniczych. Inicjatywa bazuje na wspólnej architekturze systemów ciepłowniczych w jej krajach członkowskich, gdzie rynki ciepła są regulowane (w przeciwieństwie do Europy Zachodniej).

– *Ta architektura pozwala na wytwarzanie wodoru odnawialnego po konkurencyjnych kosztach już dziś, bez systemu wsparcia. Tymczasem w Europie zachodniej nie ma (oprócz Danii) ciepłownictwa systemowego (zcentralizowanego), więc nasza optyka przy projektowaniu regulacji nie jest i nie była do tej pory brana pod uwagę w takim zakresie w jakim na*

*to zasługuje* – mówi Tomoho Umeda, wiceprezes stowarzyszenia Hydrogen Poland.

Kolejnym zadaniem będzie opracowanie certyfikacji Net Zero. Projekty wodorowe wiążą się z ryzykiem, w rezultacie ich bankowość jest niska. Aby to zmienić, Komisja Europejska zaproponowała kryteria certyfikacji – Net Zero. 3 Seas chce pomóc w opracowaniu tych kryteriów, tak aby projekty wodorowe krajów 3 Seas były opłacalne dla banków.

Jednym z priorytetów jest też przeprowadzenie analizy i wybór transgranicznych projektów demonstracyjnych, testowych lub komercyjnych, które promują wykorzystanie wodoru jako czystego



▶ Paweł Piotrowicz, prezes Hydrogen Poland

źródła energii w regionie. Takie projekty mogą obejmować produkcję wodoru, infrastrukturę wodorową, transport, energetykę odnawialną, magazynowanie energii itp. Będą miały na celu rozwój lokalnych obszarów i innowacyjnych rozwiązań. Z tym wiąże się także poszerzenie i pogłębianie współpracy regionalnej z organizacjami branżowymi i lokalnymi władzami.

3 Seas Hydrogen Council zamierza angażować się w zdobywanie odpowiednich środków finansowych, zarówno ze źródeł publicznych, jak i prywatnych, aby umożliwić inwestycje w technologie wodorowe, badania naukowe i rozwój sektora. Dostęp do odpowiednich zasobów finansowych jest kluczowy dla pomyślnego skalowania projektów wodorowych w regionie.

– *Będziemy także wypracowywać jednolite stanowisko w zakresie regulacji UE. Dotyczy to m.in. obszaru elektromobilności czy wsparcia użycia wodoru w procesach przemysłowych np. w związku z Net Zero Industry* – zapowiada Beata Superson-Polowiec, prawniczka z zarządu HP.

Do dokumentów o najbardziej rozległym wpływie na gospodarkę Wspólnoty należy zaliczyć przede wszystkim kolejną odsłonę Dyrektywy o Odnawialnych Źródłach Energii (RED III), wraz z aktem delegowanym dotyczącym Paliw Odnawialnych Pochodzenia Niebiologicznego (RFNBO) oraz aktem delegowanym dotyczącym Metodologii Kalkulacji Redukcji Emisji Gazów Ciepłarnianych w wyniku stosowania RFNBO oraz paliw kopalnych pochodzących z recyklingu.

Inicjatywą, której szczegółów państwa Europy Środkowej i Wschodniej wypatrują z niecierpliwością, jest Europejski Banku Wodoru, który prawdopodobnie przybierze formę kontraktu różnicowego (feed-in-premium), przyznawanego w formule aukcji. Ma być mostem mającym połączyć podaż z popytem na nowy surowiec/nośnik energii, zarówno ten wytwarzany w Europie, jak i importowany.

Teraz przed organizacją wybór władz, opracowanie celów strategicznych i planów działania na najbliższe miesiące. Jednym z nich jest wstąpienie do Hydrogen Europe, największej europejskiej organizacji promującej technologie wodorowe oraz otwarcie biura w Brukseli.

– *Czas, by wodorowa Europa usłyszała głos naszego regionu. Poprzez wspólne działania i zaangażowanie wszystkich stron, sektor wodorowy naszych krajów ma potencjał, aby stać się liderem transformacji energetycznej w Europie* – podsumowuje Tomoho Umeda.



Tomoho Umeda, wiceprezes Hydrogen Poland

Sygnatariusze 3 Seas Hydrogen Council: Vaclav Bystriansky, Czech Technological Hydrogen Platform (HYTEP) (Czechy); Sven Parkel, Estonian Hydrogen Cluster (Estonia); Ján Weiterschütz, Slovak National Hydrogen Association (Słowacja); Damian Mucha, Klaster Technologii Wodorowych (Polska); Paweł Piotrowicz, Hydrogen Poland (Polska); Oleksandr Riepin, Ukrainian Hydrogen Council (Ukraina); István Lepsény, Hungarian Hydrogen Technology Association (Węgry) w towarzystwie Ireneusza Zyski, Ministerstwo Klimatu i Środowisko i Tomoho Umedy, Hydrogen Europe.

Gospodarka wodorowa jest jednym z kluczowych kierunków ograniczania globalnych zmian klimatu. Środkowoeuropejskie Forum Technologii Wodorowych H2POLAND jest odpowiedzią na potrzebę popularyzowania wiedzy dotyczącej technologii nisko i zeroemisyjnych. To przestrzeń do międzysektorowej współpracy biznesu, nauki, samorządów lokalnych oraz organizacji pozarządowych na rzecz maksymalizacji udziału polskich zasobów produkcyjnych i usługowych w realizacji inwestycji wodorowych. Unikalność wydarzenia opiera się na połączeniu ekspozycji targowej z częścią konferencyjną, zaś tematyka wpisuje się w plan REPowerEU.

**Organizator: Grupa MTP**

<https://h2poland.com/pl>

<https://www.linkedin.com/showcase/h2poland/>

FOT – FOTOBUEÑO





ŚRODKOWOEUROPEJSKIE  
FORUM TECHNOLOGII  
WODOROWYCH

16-17/05/2023 POZNAŃ



## H2POLAND

# – świat zmierza w kierunku zeroemisyjności

Tegoroczne 2. Środkowoeuropejskie Forum Technologii Wodorowych H2POLAND – zgodnie z przewidywaniami – okazało się przestrzenią do współpracy dla biznesu, nauki, administracji rządowej, lokalnych samorządów i organizacji pozarządowych. To, co oddało cele Forum i jednocześnie wskazało kierunki na przyszłość, to bezpieczeństwo energetyczne, środowisko oraz ewolucja.

– *Rozpoczynając się dziś Forum H2POLAND, to dla nas sygnał, że wodor i cała gospodarka wodorowa nie mogą być odsuwane daleko w przyszłość. Musimy tu i teraz popularyzować wiedzę związaną z technologiami nisko- i zeroemisyjnymi* – mówił Tomasz Kobierski, Prezes Zarządu Grupy MTP, organizatora wydarzenia, otwierając 16 maja 2023 r. dwudniowe święto wodoru, odbywające się w Poznań Congress Center na terenie Międzynarodowych Targów Poznańskich.

Prezydent Poznania Jacek Jaśkowiak podczas otwarcia H2POLAND wskazał, że wodorowy transport publiczny może przejść bardzo podobną drogę, jak jego wcześniejsza elektryfikacja – od początkowego zwątpienia, przez zrozumienie i akceptację, po stopniową wymianę spalinowego taboru na elektryczny.

– *Gdy kilka lat temu zapytano mnie, czy Poznań kupi autobusy elektryczne, nie miałem żadnych wątpliwości, że tak się stanie. Dziś podobna rozmowa dotyczy pojazdów wodorowych. I tu znów, podobnie jak wcześniej, nie mam wątpliwości. Chcieliśmy kupić 90 takich pojazdów i choć na razie realizujemy zamówienie na 25 sztuk, to już niebawem na poznańskich ulicach takie wodorowe autobusy będą się poruszać* – zapowiedział Jacek Jaśkowiak. – *Przy współpracy nauki i szczebli samorządowych musimy rozwijać te możliwości. Dzisiaj możemy być liderem nowoczesnych rozwiązań, czego życzę Poznaniowi, Wielkopolsce i Polsce.*

W inauguracji H2POLAND – Środkowoeuropejskiego Forum Technologii Wodorowych uczestniczył również Jacek Bogustawski, Członek Zarządu Województwa Wielkopolskiego, a więc Regionu Gospodarza Forum.

– *Jestem ogromnie zadowolony, że możemy spotkać się po raz drugi, aby podzielić się swoimi doświadczeniami i tym, w którym kierunku każdy z nas będzie szedł. Wielkopolska inwestuje w gospodarkę wodorową – prowadzimy inwestycje w Koninie, mamy w planach dwa osiedla wodorowe zlokalizowane w Pile i Śremie. Wielkopolscy przedsiębiorcy stali się ambasadorami technologii wodorowych* – podkreślił marszałek Bogustawski – *Chcemy realizować działania krok po kroku, czyli po wielkopolsku.*

Ireneusz Zyska, Sekretarz Stanu i Pełnomocnik Rządu ds. Odnawialnych Źródeł Energii w Ministerstwie Klimatu i Środowiska mówił z kolei podczas inauguracji H2POLAND 2023 o roli wodoru w procesie transformacji energetycznej.

– *Dążąc do suwerenności energetycznej nie osiągniemy jej, jeśli nadal będziemy koncentrować się na technologii paliw kopalnych. Będziemy więc sukcesywnie zwiększać obszar energii odnawialnej w Polsce. Jeżeli chcemy zwiększyć naszą niezależność powinniśmy iść tą drogą. Polski rząd zdecydowanie działa w kierunku rozwoju gospodarki wodorowej – to wielka szansa, aby nasz kraj pozostał na medalowym*





miejscu produkcji wodoru. Chcemy zasilać wodorem całą polską i nie tylko polską gospodarkę – zapewniał minister Zyska.

Jak dodał minister, Polska stara się być prekursorem zmian. Zgodnie z Polską Strategią Wodorową do 2030 r. z perspektywą do 2040 r. planuje osiągnięcie mocy instalacji do produkcji wodoru i jego pochodnych z niskoemisyjnych źródeł na poziomie 2 GW. Ponadto, do eksploatacji ma zostać oddanych od 800 do 1000 nowych autobusów wodorowych oraz min. 32 stacje tankowania i bunkrowania wodoru.

## 3 Seas Hydrogen Council

Tegoroczną edycję Forum rozpoczęła debata pt. „3 Seas Hydrogen Council. Pierwsza inicjatywa wodorowa państw Europy Środkowej i krajów bałtyckich”. Moderatorem dyskusji był Tomoho Umeda, założyciel firm Hynfra oraz Hynfra Energy Storage. Jej zwieńczeniem było uroczyste podpisanie porozumienia „3 Seas Hydrogen Council”, którego celem jest poszukiwanie synergii i możliwości współpracy na rzecz rozwoju gospodarki zeroemisyjnej, w której ważną rolę odgrywać będzie wódór. Członkowie porozumienia wyrazili pilną potrzebę rozpoczęcia owocnego dialogu i wypracowania wspólnego stanowiska przed Komisją Europejską, Radą i Parlamentem Europejskim, a także przed innymi organizacjami i ośrodkami decyzyjnymi na poziomie regionalnym, europejskim i globalnym.

– Ta inicjatywa jest doskonałym startem do budowania partnerstwa biznesowego. Pomoże ona stworzyć pewną przeciwwagę, ponieważ Unia Europejska musi być silna jako całość, ale jednocześnie rozwijać się równomiernie – mówił podczas uroczystości minister Ireneusz Zyska.

Sygnatariuszami porozumienia 3 Seas Hydrogen Council zostali: Vaclav Bystriansky z Czech Hydrogen Technology Platform HYTEP, István Lepsény z Hungarian Hydrogen Technology Association, Damian Mucha z Klastra Technologii Wodorowych, Sven Parkel z Estonian Hydrogen Cluster, Paweł Piotrowicz z Hydrogen Poland, Oleksandr Riepin z Ukrainian Hydrogen Council i Ján Weiterschütz ze Slovak National Hydrogen Association.

## It is bloody ambitious

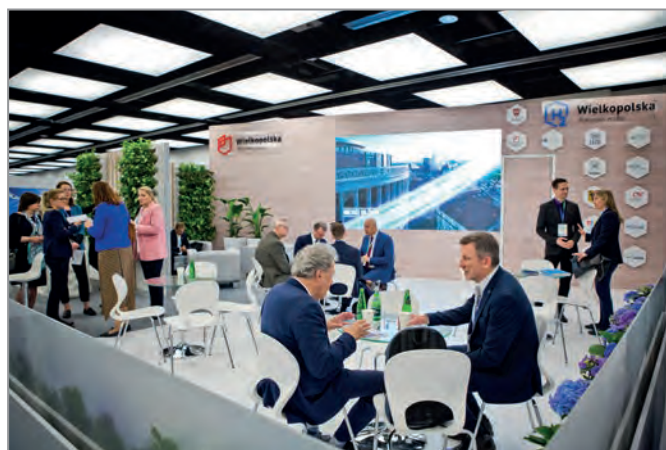
Kolejny panel dyskusyjny podczas pierwszego dnia Forum H2POLAND nosił nazwę „It is bloody ambitious – jak zrealizować cele? Rola współpracy międzysektorowej w tworzeniu gospodarki wodorowej?”. Nietypowy tytuł debaty nawiązywał do wypowiedzi Fransa Timmermansa, Wiceprzewodniczącego Wykonawczego ds. Europejskiego Zielonego Ładu w Komisji Europejskiej, wygłoszonej podczas EU Hydrogen Week 2022.

Jak tłumaczył Szczepan Ruman, Prezes Świętokrzyskiej Grupy Przemysłowej INDUSTRIA S.A. działającej w ramach Grupy Kapitałowej Agencji Rozwoju Przemysłu, przeszkodą dla rozwoju gospodarki wodorowej jest akceptacja społeczeństwa dla np. samochodów wodorowych.

– Infrastruktura ma wpływ na akceptację społeczną, ale można tworzyć inicjatywy lokalne. To gwarancja sukcesu, żeby społeczność lokalna wspierała wszystkie przedsięwzięcia im służące – tłumaczył Szczepan Ruman.

Wydaje się więc, że upowszechnianie idei gospodarki wodorowej trzeba wdrażać już na najniższym szczeblu nauczania.

– Wprowadziliśmy w tym roku akademię wodorową, które cieszy się wyjątkowo dużym zainteresowaniem. Zgłosiło się bardzo dużo chętnych studentów. Jest to nowy kierunek, który bardzo trafił do społeczeństwa – powiedział Józef Węgrecki, Członek Zarządu ds. Operacyjnych, w PKN ORLEN SA.



Uczestnicy debaty analizowali możliwości wprowadzenia wodoru do codziennego życia. Zastanawiali się, w jakich etapach powinien ten proces następować.

– Wódór po pierwsze dla głębokiej dekarbonizacji przemysłu, po drugie dla transportu, a po trzecie dla magazynowania energii. Wódór jest wektorem energii, który będzie odgrywał ważną rolę, zaś my musimy być agnostyczni i dać pracować innowacjom oraz firmom. Skupmy się więc na maksymalizacji wolumenu – mówił Piotr Kus, Dyrektor Generalny w ENTSSOG – European Network of Transmission System Operators for Gas.

– Toyota już od lat 90. interesuje się technologią wodorową, aż w końcu uznała ją za medium docelowe – i to nie tylko do zastosowań transportowych. Tu istnieje bowiem wielość możliwych zastosowań





– dodał Cezary Kaczmarczyk, Regional Director External, Legal & Corporate Affairs w Toyota Central Europe – Polska.

– *My – jako deweloper i operator farm wiatrowych oraz fotowoltaicznych – podjęliśmy decyzję o rozwoju firmy i ruszymy w stronę zielonego wodoru. Obecnie budujemy dla naszych partnerów zakład, który będzie używał wyłącznie zieloną energię. Na początek projektujemy więc to, co możemy zaimplementować, m.in. w transporcie* – tłumaczył z kolei Robert Adamczewski, Head of Development w European Energy – Polska.

Podsumowaniem tej debaty było wspólne wystąpienie Piotra Woźnego, Prezesa Zarządu ZE PAK S.A. oraz Macieja Końskiego, Project Managera w Grupa Polsat i ZE PAK S.A., odpowiedzialnego za wodorowe projekty tego konsorcjum. Opowiadali oni, jak przebiega droga w stronę zeroemisyjności i produkcji zielonej energii. Mówili też o innowacyjnych rozwiązaniach stosowanych przez firmę ZE PAK SA, a także analizowali sposoby na jeszcze skuteczniejsze kreowanie wodorowego rynku w Polsce.

## Katalizatory rozwoju

Katalizatorem rozwoju inwestycji wodorowych może być wiele czynników – dyskutowali o tym uczestnicy kolejnej debaty podczas pierwszego dnia Forum H2POLAND, zatytułowanej „Jak wykreować rynek wodoru w Polsce?”. Jak mówił Maciej Przybyła, Dyrektor Zarządzający Pionem Strategii w BGK, wodór jako paliwo przyszłości zdeterminuje bezpieczeństwo energetyczne świata.

– *Minęły dwa lata, odkąd powołał się inicjatywę 3W – woda, wodór, węgiel. Wierzymy, że te zasoby przyszłości mają magiczną syner-*

*giczność, że oddziałują na siebie* – mówił Maciej Przybyła, którego zdaniem w Polsce wciąż brakuje platformy współpracy między światem nauki, biznesu i sektora publicznego, która pozwoliłaby szybciej i efektywniej korzystać z zasobów i nowych technologii.

– *Nasza strategia wymaga pewnej aktualizacji, biorąc pod uwagę zmieniające się otoczenie międzynarodowe, np. wojnę w Ukrainie, ponieważ kluczowy dla wodorozacji gospodarki będzie przemysł* – mówił z kolei Szymon Byliński, Dyrektor Departamentu Elektromobilności i Gospodarki Wodorowej w Ministerstwie Klimatu i Środowiska.

– *Trzeba pamiętać, że wprowadzamy wodór przede wszystkim po to, żeby zmniejszyć emisję CO<sub>2</sub>. Wodór jest adresowany do transportu i przemysłu. Producenci paliw muszą zrealizować narodowe cele redukcyjne, jednak to wymaga konieczności stosowania technologii, na podstawie których będzie można tę emisję ograniczyć* – dodał prof. dr hab. Andrzej Kulczycki z Zakładu Materiałów Pędnych i Smarów w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych.

– *Wiele projektów wodorowych jest przed fazą finansowania, choć są dostępne środki na ten moment na finansowanie m.in. jeśli chodzi o wykorzystanie wodoru w transporcie. Im bardziej technologia będzie wchodziła do użytku, tym bardziej instytucje finansowe będą dążyć do tego, aby je wspierać* – podsumowała dyskusję Joanna Smolik, Dyrektor Departamentu Relacji Strategicznych w Banku Gospodarstwa Krajowego.

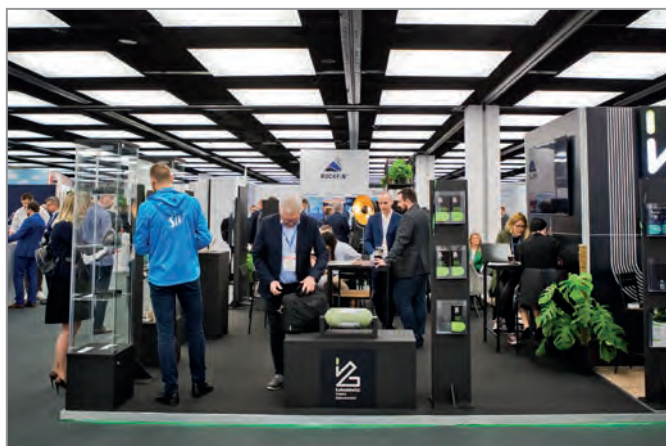


## Akademia H<sub>2</sub> pomostem między światem nauki i biznesu

O przyszłości sektora wodorowego w Polsce rozmawiali uczestnicy debaty „Kadry przyszłości na podstawie Akademii H<sub>2</sub>”. Gospodarzem tego panelu był PKN ORLEN SA – Partner Strategiczny Środkowoeuropejskiego Forum Technologii Wodorowych H2POLAND 2023, a moderatorem Jakub Wiech – redaktor naczelny portalu energetyka24.com.

Rozwój sektora wodorowego to wielka szansa, której powodzenie zależy m.in. od dostępności ekspertów. Potrzebujemy fachowców, którzy będą w stanie tworzyć i znajdować zastosowanie dla innowacyjnych technologii wodorowych. Bez wykwalifikowanych kadr trudno mówić o rozwoju tej gałęzi gospodarki. Odpowiedzią na tę potrzebę ma być powołana przez PKN ORLEN Akademia H<sub>2</sub>, która pełnić ma rolę inkubatora kompetencji związanych z przemysłem opartym na wodorze.

– *Przygotowaliśmy w PKN ORLEN strategię wodorową, która zakłada ambitne plany zarówno w transporcie, jak i przemyśle* – mówił Grzegorz Józwiak, Dyrektor Biura Technologii Wodorowych i Paliw Syntetycznych ORLENu. – *Projekty z budżetem 7,4 mld zł, które mają*





ska, reprezentująca Politechnikę Łódzką: – *Inicjatywa Akademii H2 jest wyjątkowa, bo skutkuje mobilizacją obu środowisk – naukowego i biznesowego – z ogromną korzyścią dla obu stron.*

– *Firmy, które mają dużą liczbę patentów oraz doświadczenie, potrzebują nieskrępowanego myślenia. Potrzebne jest także spojrzenie naukowe. Transportu wodorowego nie byłoby bez tej współpracy – zaznaczył z kolei dr hab. inż. Andrzej Szałek, Doradca Zarządu w Toyota Central Europe.*

Studenci Akademii H2 reprezentują bardzo różne kierunki studiów – od biotechnologii, po stosunki międzynarodowe. Pokazuje to, że wszystkie te dziedziny są potrzebne dla stworzenia prężnie działającego wodorowego sektora. Dzięki połączeniu wiedzy i doświadczenia, projekt ma szansę stać się niezbędnym impulsem dla rozwoju technologii wodorowych w Polsce.

*zostać zrealizowane do końca tej dekady, to w dużej mierze projekty niskoemisyjne, które wymagają specjalistycznej wiedzy i kompetencji. Zdaliśmy sobie sprawę, że potrzebujemy wykwalifikowanych kadr, aby te projekty inwestycyjne zrealizować i obsługiwać po wdrożeniu. Liczymy na młodych ludzi, którzy pomogą nam w tym zakresie. Transformacja energetyczna spowodowała, że ruszył globalny wyścig technologiczny. W tym wyścigu będą liczyli się ci, którzy będą kreatywnie myśleć, szybko działać i będą mieli dostęp do wiedzy.*

Akademia H2 to inicjatywa realizowana w partnerstwie publiczno-prywatnym, z takimi firmami, jak Toyota czy PESA, a także z uczelniami – Politechniką Łódzką, Politechniką Warszawską, Politechniką Gdańską i KEZO Centrum Badawczym PAN. Do pierwszej edycji projektu ORLEN wybranych zostało 30 studentów z 14 uczelni. Akademia opiera się na dwóch filarach – teoretycznym, za który odpowiedzialne są uczelnie – i praktycznym, który polega m.in. na wizytach w zakładach produkcyjnych partnerów inicjatywy.

– *Stworzyliśmy program koncentrując się na tym, aby od praktycznej strony pokazać, jak wyglądają technologie wodorowe – podkreślał Grzegorz Józwiak. – Jako PKN ORLEN pokazaliśmy m.in. elektrolizery, które służą do produkcji wodoru, natomiast nasi partnerzy z Toyoty i PESA pokazali zastosowanie wodoru w transporcie. To właśnie ten praktyczny aspekt jest nowością w myśleniu o edukacji studentów.*

– *Odpowiedzi na wiele pytań mamy na wyciągnięcie ręki. Mamy możliwość kontaktu i wymiany myśli z ekspertami, którzy pracują nad wodorowymi innowacjami na co dzień – mówiła podczas debaty Karolina Molska, uczestniczka Akademii H2.*

Paneliści biorący udział w debacie zgodnie podkreślali, że studenci pozyskując wiedzę, stają się jednocześnie łącznikami między biznesem, a światem nauki. Jak mówiła dr hab. inż. Beata Łuszczyn-



## Polsko-niemieckie doświadczenia

Jak niemieccy inwestorzy widzą przyszły rynek inwestycji wodorowych w Polsce? Czy niemieckie firmy słyszały o koncepcie prawa wodorowego w Polsce? Czy wprowadzenie standardów technicznych dla rozwiązań wodorowych jest konieczne? Na te i inne pytania odpowiadali uczestnicy debaty „Polskie i niemieckie doświadczenia w budowaniu strategii wodorowej”.

– *Niemcy mają inny punkt ciężkości i inną liczbę oraz jakość swoich championów – są to firmy światowe, mobilne. W Polsce mamy championów mniej, dlatego te prędkości są inne. Jeśli chodzi o współpracę na dużym poziomie, wiąże się to z gigantyczną inwestycją w zielony wodór – ocenił Marek Drywa z ILF Consulting Engineers.*



– *Po prostu chcemy inwestować i w Polsce się nam to opłaca. Są tu młodzi, oddani pracownicy, gotowi do współpracy. Zależy im na tym, co robią – argumentował z kolei Philipp Glonner, współzałożyciel i Prezes ARTHUR BUS GmbH, której to marki autobus można było oglądać podczas Forum H2POLAND. Obok niego pojawił się polski autobus na wodór NesoBus. Na plac przed Poznań Congress Center dojechała także zupełna nowość – polski autobus elektryczny PILEA, który swoją oficjalną premierę będzie miał dopiero w październiku br.*

– *Wodór to młoda dziedzina. Bardzo się chwali, że każdy na własną rękę próbuje rozwinąć nowe rozwiązania. Ważne jednak, żebyśmy mieli również rozwiązania wspólne – mówił Jerzy Jaworski, New Business Development w HYDAC Group, a Philipp Thönnißen, Technical Sales Manager w firmie Wystrach GmbH dodał: – W Polsce mamy doskonałe połączenie świetnych wytwórców, chętnych ludzi, którzy chcą się uczyć i klientów, którzy chcą inwestować w bezpieczniejsze produkty.*



Pierwszego dnia Forum H2POLAND odbyło się jeszcze wiele innych wodorowych sesji. Trwały one na kilku scenach rozlokowanych w przestronnych salach budynku Poznań Congress Center. Towarzyszyła im targowa ekspozycja producentów, importerów i dystrybutorów technologii wodorowych, którzy w licznym gronie zajęli niemal całe piętro PCC.

## Przewodnia rola Polski

Drugi dzień Forum H2POLAND 2023 (17 maja) otworzyła przemowa Fransa Timmermansa, Wiceprzewodniczącego Wykonawczego ds. Europejskiego Zielonego Ładu w Komisji Europejskiej. Nosiła ona znamienity tytuł „Because the world is watching us. And because they will not forgive us if we fail – again – to prevent the worst” („Ponieważ świat nas obserwuje. I dlatego, że nie wybaczą nam, jeśli znów nie uda nam się zapobiec najgorszemu”).

– *Polska jest jednym z najczęściej wybieranych rynków europejskich dla inwestycji w produkcję pomp ciepła oraz baterii. Panele słoneczne zakrywają polskie dachy szybciej, niż w innych krajach Europy. Polska jest również największym europejskim eksporterem autobusów elektrycznych i może uzyskać wręcz najwięcej korzyści z transformacji w kierunku energetycznej mobilności. Istnieje jednak sektor, w którym Polska może przodować w Europie. Sektor, w którym chcemy, aby Polska zajęła przewodnią rolę w Europie Środkowo-Wschodniej. Jest to wodór odnawialny* – mówił do uczestników H2POLAND Frans Timmermans.

*To jest model do naśladowania dla całego świata. Są kraje poza EU, które są również dla nas interesujące, ale żaden z nich nie ma takiego doskonałego połączenia jak Polska. Jedyne, co możemy więcej zrobić, to jeszcze bardziej się dopasować.*

## Wodór w RePowerEU i Fit for 55

O dotychczasowych regulacjach prawnych na poziomie europejskim, ich wpływie na legislację krajową oraz o potrzebnych zmianach rozmawiano podczas debaty „RePowerEU i Fit for 55 – wpływ na polski sektor wodorowy”.

– *Musimy robić swoje, czekając na regulacje. Musimy systemowo spojrzeć na regulacje traktujące wodór jako produkt* – argumentował Tomasz Adamczewski, Radca Prawny i Partner w Kancelarii Polowiec i Wspólnicy, a także Członek Zarządu Enim Institute.

– *Przemysł nie jest jednorodny. Nie ma jednego przepisu na niskiemisyjną transformację. Branże różnią się nieprawdopodobnie między sobą. W niektórych z nich technologia jest, w innych jej jeszcze nie ma* – dodał Henryk Kaliś, Pełnomocnik Zarządu ds. Zarządzania Energią Elektryczną w Zakładach Górniczo-Hutniczych Bolesław SA oraz Prezes Izby Energetyki Przemysłowej i Odbiorców Energii.

– *Dekarbonizacja trwa, ale ma swoje tempo. Odnoszę wrażenie, że nagle dostaliśmy jakiegoś rodzaju przyspieszenia wypuszczania aktów regulacyjnych. To, co się wydarzyło w ostatnich trzech latach – nie mieliśmy wcześniej czegoś takiego, a ilość czynników zmiennych powoduje dodatkowe wyzwania* – tłumaczył Henryk Kubiczek, Dyrektor Departamentu Strategii i Rozwoju w Grupie Azoty SA.

– *Kwestie regulacyjne to kolosalne wyzwanie. Czy powinniśmy je utrudniać, czy też ułatwiać? Część regulacji jest źle zaprojektowanych, ograniczają one możliwości. Mamy bardzo duże ambicje, a narzucamy sobie bardzo restrykcyjne regulacje* – dodawał Piotr Mikusek, Manager ds. Regulacji Energetycznych w Grupie Azoty SA.

– *Rynek wodoru jest ogromny i sięga w Europie 9 mln ton. Nie jest on co prawda zielony, ale jest wytwarzany i zużywany, a to oznacza, że jest potrzebny. Ten rynek istnieje i jest bardzo ważny. Nie możemy go stracić podczas przechodzenia na zielony wodór* – mówił z kolei Wojciech Murawski, Prezes Polskiej Fundacji Gazów Technicznych.

– *Dobrze, że mamy ambicje, bo Europa postawiła na wodór. Transformacja energetyczna przyspieszyła. Musimy zdawać sobie sprawę z ogromnych wyzwań i czy jesteśmy w stanie im sprostać* – podsumowała kończącą pierwszy dzień Forum H2POLAND dyskusję Dominika Niewierska, Dyrektor Działu Koordynacji i Rozliczeń Projektów Wodorowych w PKN ORLEN SA.

## Skazani na sukces?

Otwierając pierwszą tego dnia debatę pt. „Strategia rozwoju Wielkopolski wodorowej do 2030 z perspektywą do 2040 – skazani na sukces?” Jacek Bogusławski, Członek Zarządu Województwa Wielkopolskiego oraz Walerian Majewski, ekspert NEXUS CONSULTANTS prezentowali plany inwestycji wodorowych na najbliższe 17 lat. Zostały one ujęte w jednym dokumencie, będącym strategią wodorową dla tego regionu.

– *Dokument, który państwo zaprezentowali, pokazuje, że wiecie, w jakim kierunku podążać. Trzeba jednak bardzo szczegółowo badać, czy są jakieś bariery, jeśli chodzi o przepisy prawne. Musimy być odważni w naszych marzeniach. Musimy adaptować firmy do nowych sposobów myślenia. Wracamy do samych początków, ale musimy odpowiedzialnie przejrzeć systemy i sprawdzić, gdzie możemy dokonać poprawek. Musimy wyjść z naszej strefy komfortu* – oceniał Strategię rozwoju Wielkopolski wodorowej do 2030 z perspektywą do roku 2040. Aivars Starikovs, Prezes Łotewskiego Stowarzyszenia Wodorowego.





– Jest bardzo wiele lekcji, których możemy się nauczyć, bowiem inicjatyw wodorowych jest coraz więcej. Na zachodzie pewna przewaga wynika z tego, że te procesy zaczęły się tam wcześniej – dodał Grzegorz Pawelec, Director Hydrogen Europe z Belgii.

– Spójrzmy na pewne wyzwania, z którymi się mierzymy – czy nie mogą być one rozwiązane istniejącymi pomysłami? Nie wynajdujemy koła na nowo. Zbieramy doświadczenia, odtwarzamy historię i łączymy kropki – przekonywał prof. Jakub Kupecki, Dyrektor Instytutu Energetyki.

## Wyzwania, przed którymi wspólnie stoimy

Zaraz potem rozpoczęto pierwszą debatę drugiego dnia Forum H2POLAND. Był to międzynarodowy panel dyskusyjny pt. „The challenges we face together” z udziałem Ahmeda Berrichi – Dyrektora Algerian Investment Promotion Agency, Petera Kasprzaka – Dyrektora Hydrogen Society of Australia, Pietera Bouwera – Regionalnego Komisarza ds. Handlu w Ambasadzie Kanadyjskiej w Berlinie i Martina Kremera – Konsula Generalnego Republiki Federalnej Niemiec we Wrocławiu.

– Z oglądu światowego widać wyraźnie, że będzie grupa państw, które będą chciały konsumować zielony wodór, natomiast nie będą w stanie go samodzielnie wyprodukować. Będą potencjalnymi importerami wodoru na rynku światowym. Już dzisiaj odbywa się wstępne kontraktowanie wodoru z innych obszarów świata. Ta wymiana będzie jedną z bardziej istotnych na świecie. Wodór będzie potrzebny tam, gdzie rozwinie się rynek z popytem na tenże wodór. Będą za tym szły środki transportu wodoru. Ogromny jest więc obszar, w którym aktywność wodorowa jest widoczna – powiedział uczestniczący w debacie Marek Woźniak, Marszałek Województwa Wielkopolskiego.

## Wodorowa przyszłość

– Moim marzeniem jest to, aby cała Wielkopolska stała się jedną wielką doliną wodorową – dodał Jacek Bogusławski z Zarządu Województwa Wielkopolskiego już podczas kolejnej debaty zatytułowanej „Wodorowa przyszłość Europy Środkowo-Wschodniej”. – Zaczynaliśmy w 2018 r. dość nieśmiało mówiąc o wodorze. Szukaliśmy wówczas koła napędowego dla naszej lokalnej gospodarki. To okazało się strzałem w dziesiątkę, a wodór stał się dla nas wielką szansą. Powołanie Wielkopolskiej Platformy Wodorowej zainicjowało w regionie liczne działania. Widoczne stało się zapotrzebowanie inwestorów oraz naukowców na pomoc w tym zakresie. Pojawiła się również inicjatywa samorządów lokalnych – Piły, Kalisza, Konina, Gniezna i Leszna. Nasze działania spotkały się z lokalną synergią – wspominał Marszałek Bogusławski.

– Nasze uwarunkowania geograficzne wskazują na to, że powinniśmy skupić się na odnawialnych źródłach energii z siły wiatru. Chcemy bardzo silnie połączyć nadprodukcję wiatrowej energii elektrycznej do produkcji energii wodorowej. Jesteśmy otwarci na współpracę z klastrem wodorowym. Współpracujemy też na arenie międzynarodowej, ponieważ prowadzimy duży projekt szkoleniowy z wieloma partnerami z Europy – dodał Leszek Bonna, Wicemarszałek Województwa Pomorskiego.

– Mamy ponad 30 lat doświadczeń, jeśli chodzi o bezpieczeństwo technologii wodorowych i możemy z nich czerpać. Pozwala to w sposób skuteczny przekładać najlepsze doświadczenia. W naszym regionie widzimy olbrzymi rozwój i zapotrzebowanie na wiedzę w związku z wykorzystaniem technologii wodorowych. Widzę ogromne zapotrzebowanie na edukację w zakresie wodorowym. Jestem pewien, że wodór będzie pod strzechami, będzie towarzyszył nam na co dzień – mówił z kolei Mieczysław Obiedziński, Prezes Zarządu TÜV SÜD Polska.

O skutecznych rozwiązaniach dla wdrażania dolin wodorowych w innych częściach Europy Środkowowschodniej mówili ich przedstawiciele, zebrani podczas Forum H2POLAND.

– Węgiel się kończy, ale przemysł pozostaje. Rozmawiamy więc na temat nowych źródeł energii. Naszą przyszłością są małe reaktory jądrowe, ale myślę, że będzie to historia po 2030 r. Kolejna opcja to gaz ziemny, a kolejnym bardzo dobrym rozwiązaniem wydają się właśnie technologie wodorowe. Nie jesteśmy liderami w jego produkcji, dlatego szukamy partnerów i chcemy się w tym sektorze rozwijać. Mamy w tej chwili trzy doliny wodorowe na terenie Czech – tłumaczył Zdeněk Karásek, Pełnomocnik Gubernatora ds. Regionów Węglowych w Okresie Transformacji w Czechach.

– Mamy bardzo dobre projekty i jeszcze lepsze, ambitniejsze plany. Niestety, mamy problemy z finansowaniem ze względu na ograniczone prywatne inwestycje – wyjaśniał sytuację na Węgrzech dr Attila Nyikos, Prezes Hungarian Hydrogen Technology Association.

– Słowacja boryka się z wieloma problemami, z którymi walczą również Polska i Czechy. Niestety, nasz potencjał produkcji energii wiatrowej i słonecznej nie jest zbyt duży – mówił Ján Weiterschütz, Przewodniczący Słowackiego Narodowego Stowarzyszenia Wodorowego.

## Doliny jako regionalne ekosystemy

Podczas kolejnej debaty – „Doliny wodorowe – budowa regionalnych ekosystemów” mówiono o sposobach na integrowanie środowisk wokół idei wdrażania gospodarki zeroemisyjnej.

– Doliny wodorowe będą czynnikiem, który będzie rozwijać naszą gospodarkę – przekonywał Tomasz Pelc, właściciel Nexus Consultants.

– Dużym problemem w chwili obecnej jest koszt wodoru. Bank wodorowy, który dofinansuje różnicę pomiędzy paliwami kopalnymi a wodorem, da nam szansę wprowadzić komercyjnie rozwiązania i stworzyć cały łańcuch wartości i dostaw. Najtrudniejsze będzie przekonanie społeczeństwa, że wdrożenie strategii wodorowej jest potrzebne. Jak się na to zdecydujemy, to trzeba będzie krok po kroku to realizować – tłumaczył Jacek Bogusławski z Zarządu Województwa Wielkopolskiego.

– Chcemy, by w Polsce powstał szereg dolin wodorowych o różnych specjalizacjach. Wodór daje takie szanse potencjalnie, a ekonomika wyznacza, które rozwiązania odgrywają kluczową rolę. Dolina z definicji to miejsce, w którym wykorzystuje się wodór w różnych obszarach – minimum w dwóch zastosowaniach. Szukanie ich jest trudne – najbardziej popularne to transport i przemysł. Idąc tym tropem myślenia uruchomiliśmy projekt Bursztynowej Doliny Wodorowej. Wodór wykorzystujemy tam w dwóch obszarach – w transporcie i przy dekarbonizacji. To, co wyróżnia ten projekt to fakt, że mamy tam połowę partnerów

zagranicznych. Jeśli projekt ma się udać, to warto wziąć do niego podmioty zagraniczne, które mają doświadczenie i wiedzę – przekonywał Wojciech Lach, Kierownik Projektu w Dziale Koordynacji i Rozliczeń Projektów PKN ORLEN SA.

– Gdy oferujemy partnerstwo, chcemy pomóc przygotować rozwiązania dla lokalnych regionów przy ich współpracy, co powinno być kluczem na kolejne lata. Musimy działać szybciej niż dotychczas. Siedzimy w biurach w każdym mieście i dyskutujemy, dlaczego wodór jest bardzo ważny. Zajmuje nam to więcej czasu niż w rzeczywistości, w skali globalnej, mamy – mówił z kolei Daniel Minarik, Prezes Zarządu Morawsko-Śląskiego Klastra Wodorowego i Pełnomocnik Gubernatorów ds. Wodoru.

– Konkurencja w dłuższym okresie pomaga budować konkurencyjność. Im więcej będzie dolin wodorowych, tym lepiej dla nas wszystkich. To wywiera pewną presję również na regulatorach, ponieważ im więcej oddolnego ruchu, tym większa presja na regulacje – dodał Stanisław Szultka, Dyrektor Departamentu Rozwoju Gospodarczego w Urzędzie Marszałkowskim Województwa Pomorskiego.

– Ważne jest, aby Europa miała swoją strategię. Musimy ją rozwijać poprzez różne instrumenty finansowe, ale też instrumenty rozwijające współpracę. Pomoże to nam również na rynku światowym – podsumował dyskusję poświęconą dolinom wodorowym w Europie Francisco Vignalondo, Przedstawiciel Aragón Exterior w Brukseli.

Niejako uzupełnieniem tej debaty były warsztaty przygotowane przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska, zatytułowane „Strategia rozwoju dolin wodorowych w Polsce”. Ich uczestnicy mogli poznać praktyczną stronę budowania i rozwijania dolin wodorowych, jako instytucji łączących cele i zadania wszystkich interesariuszy wodorowej gospodarki.

## Niskoemisyjne budownictwo XXI wieku

Bardzo ważny podczas tegorocznej edycji Środkowoeuropejskiego Forum Technologii Wodorowych H2POLAND był panel noszący tytuł „Niskoemisyjne i energooszczędne rozwiązania w sektorze mieszkaniowym i usług publicznych”. W dyskusji brali udział zarówno przedstawiciele polskiego, jak i zagranicznego sektora prywatnego, a także administracji publicznej.

– Działania promocyjne wydają się kluczowe. Szukamy dobrych wzorców również za granicą. Poszukujemy oszczędności w różnych sferach, także z wykorzystaniem najnowszych materiałów. Chcemy funkcjonować lepiej i nowocześniej – opowiadał o planach i realizacjach Piły jej Prezydent, dr inż. Piotr Głowski, zaś Adam Lewandowski, Burmistrz Śremu, dodawał: – Głównym wyzwaniem samorządów jest poszukiwanie alternatywnych rozwiązań w dziedzinie energetyki.

– Wyzwanie energetyczne jest jednym z największych, przed którymi stoi ludzkość. Energię musimy oszczędzać i zapewnić jej należyłą ilość w stosunku do populacji i jej rozwoju. Na szczęście, wykorzystanie zeroemisyjnych źródeł energii znajdujących się wokół nas staje się możliwe dzięki rozwojowi techniki – argumentował Paweł Seremak, Założyciel Framkraft AB i Reprezentant Nilsson Energy Team.

– Wodór zapewni nam neutralność klimatyczną, dlatego inwestujemy w rozwój technologii wodorowych, a jednocześnie w edukację nowych pokoleń specjalistów. Wspólnie z Politechniką Śląską uruchomiłszy nowy profil studiów MBA: Technologie Wodorowe i Transformacja Energetyczna – zapewniał Wojciech Nowak, Kierownik Projektów Wodorowych w Veolia Poland.

– Koncentrujemy się na całym łańcuchu wartości wodorowych. Wyzwaniem jest praca na każdym jego etapie. Jako Kawasaki mamy rozwiązania adresowane zarówno do przemysłu jak i do gospodarstw

domowych, transportu czy magazynowania wodoru. Jesteśmy zainteresowani zaproponowaniem rozwiązań najbardziej ekonomicznych. Jednak poza warunkami technologicznymi, istnieją duże znaki zapytania, ponieważ kluczowym zagadnieniem jest nie tylko technologia, ale i końcowy użytkownik. Jego podejście jest bardzo ważne przy konsumpcji energii – tłumaczył dr inż. Nurettin Tekin, Hydrogen Product Management w Kawasaki Gas Turbine Europe GmbH.

– Dzięki autobusom wodorowym mamy możliwość – przy lepszym zasięgu – obsłużyć większą część miasta, niż przy wykorzystaniu autobusów elektrycznych. Redukujemy dzięki temu emisję w centrum, czy dzielnicach łączących, a także ograniczamy hałas, a więc dajemy możliwość lepszego życia mieszkańcom – mówił Jerzy Zalwowski, Wiceprezes Zarządu ds. Ekonomiczno-Finansowych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym w Poznaniu.

## Młodzieżowe konkursy H2

Bardzo ważną częścią tegorocznej edycji Forum H2POLAND było wręczenie nagród w wodorowych konkursach adresowanych do młodych ludzi. Na scenie nagrodzeni zostali naukowcy i pomysłodawcy innowacyjnych rozwiązań. Nagrody wręczono laureatom konkursów „H2Idea”, zorganizowanego przez TÜV SÜD Polska, a skierowanego do uczniów szkół podstawowych i średnich, a także „Studencki pomysł na start-up wodorowy”, którego organizatorem był Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego.

### II ŚRODKOWOEUROPEJSKIE FORUM TECHNOLOGII WODOROWYCH H2POLAND, 16-17.05.2023, POZNAŃ CONGRESS CENTER, MIĘDZYNARODOWE TARGI POZNAŃSKIE

**Organizator:** Grupa MTP

**Patronat Honorowy:** Krajowa Izba Gospodarcza, Konfederacja Lewiatan, Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Polska Agencja Kosmiczna, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Miasto Poznań

**Region Gospodarz:** Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego / Samorząd Województwa Wielkopolskiego

**Partner Strategiczny:** PKN ORLEN SA

**Patronat Merytoryczny:** EY, Hydrogen Poland, Hynfra, Klastr Technologii Wodorowych, Regionalna Izba Gospodarcza Pomorza, TÜV SÜD Polska

**Patronat Branżowy:** Polska Organizacja Biometanu, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Polski Klastr Technologii Kompozytowych, Polskie Stowarzyszenie Magazynowania Energii

**Partner Generalny:** Idea 3W

**Partner Gold:** Grupa Technologiczna ASE, Toyota Central Europe

**Partnerzy:** Air Products, Agencja Rozwoju Przemysłu SA, Bürkert Fluid Control Systems, European Energy, Gaznet, Impact Clean Power Technology, KAWASAKI Gas Turbine Europe GmbH, PESA, Politechnika Gdańska, PRF, ZE PAK SA

**Kontakt dla mediów:**

Dominik Szymański

+48 691 029 653

dominik.szymanski@grupamtp.pl

# Biznes chemiczny – jaka czeka go przyszłość?

Przyszłość biznesu w chemii w 2023 r. i kolejnych latach uzależniona jest od wielu czynników, uwzględniając w tym szczególnie:

- koszty surowców i energii,
- rozwój aktywności w branżach konsumujących produkty chemiczne,
- koszty związane ze zrównoważonym rozwojem, bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące emisji, utylizacji odpadów i stosowania chemikaliów,
- sytuacja gospodarcza poszczególnych krajów, polityka handlowa, stosunki międzynarodowe, konflikty geopolityczne, taryfy handlowe, sankcje lub niestabilność polityczna w kluczowych regionach,
- zmieniające się preferencje konsumentów, ich zasobność finansowa z naciskiem także na produkty przyjazne dla środowiska i zrównoważone,
- poziom utrzymywanych zapasów w firmach chemicznych.

Rok 2022 był dużym wyzwaniem dla całej światowej gospodarki. Charakteryzował się on poziomem niezwyklej niestabilności i ciągiem nieprzewidywalnych zdarzeń. Gwałtownie rosnące koszty energii, wysokie ceny surowców w połączeniu z ich niedoborami, kryzys półprzewodnikowy oraz rosnąca inflacja dotknęły wszystkie branże. Utrzymująca się niepewność makroekonomiczna powodowała ograniczenia wzrostu wolumenu i wartości sprzedaży. Istotny wpływ miał także „efekt domina” spowodowany kryzysem w Rosji i wojną w Ukrainie oraz spowolnieniem gospodarczym w Chinach m.in. z powodu polityki zero-COVID.

Analiza sytuacji globalnej na przykładzie biznesu farb i lakierów i wypływające z niej wnioski są jednym z elementów oceny stanu i perspektywy dla przemysłu chemicznego. Czasopismo *Coatings World* opublikowało raport z wywiadów przeprowadzonych z dyrektorami dziesięciu firm produkujących farby i lakiery, którzy przedstawiają swoje spostrzeżenia na temat perspektyw branży na podstawie stanu z 2022 r. W oparciu o analizy menedżerów firm BASF, PPG oraz AkzoNobel, których produkcja i rynki sprzedaży zlokalizowane są na całym świecie, można ogólnie ocenić stan i trendy rozwoju biznesów. Popyt na produkty przemysłu wyrobów lakierowych pozostaje wciąż w tyle za poziomem sprzed pandemii, daje się jednak zauważyć poprawę w wielu obszarach. W obszarze wyrobów lakierowych do indywidualnego i profesjonalnego stosowania, w tym malowania mieszkań, pozostaje ciągle na zbyt niskim poziomie. Zauważa się tu m.in. wpływ spowolnienia z okresu pandemii, a także rosnące stopy procentowe, czego wynikiem jest mniejsza liczba oddawanych do użytku mieszkań. Odbiorcy przemysłowi odbudowują swoje pozycje rynkowe. Przykładowo w branży motoryzacyjnej zarówno segmenty OEM, jak i renowacji pojazdów od trzech lat znajdują się na poziomie recesji. W latach 2019–2022 producenci samochodów wyprodukowali o 40 mln samochodów mniej w porównaniu z sześciolletnim okresem poprzedzającym pandemię. Popyt branży lotniczej jest

w trakcie odbudowy. W 2022 r. odnotowano wzrost na poziomie 20% rok do roku, bo producenci samolotów nadal zwiększają produkcję nowych maszyn, a podróże wracają do poziomów sprzed pandemii. Zakłada się tu, że popyt na farby i inne produkty chemiczne utrzyma się przez wiele kolejnych lat.

Duży rynek zarówno w sprzedaży, jak i produkcji wyrobów chemicznych, w tym farb, zlokalizowany jest w Azji. Przewiduje się, że wraz ze styczniowym ponownym otwarciem w Chinach, silnym globalnym portfelem zamówień i zaawansowanymi technologicznie produktami biznes będzie pomyślnie rozwijał się w 2023 r. i w kolejnych latach. Obserwuje się wiele obszarów wzrostu, w tym w przemyśle lotniczym, okrętowym, produkcji oraz renowacji samochodów, kosmonautyki, a także szerokiej gamy produktów do zabezpieczeń antykorozyjnych i infrastruktury płynnego gazu ziemnego.

Rynek pojazdów elektrycznych to kolejna szansa na rozwój biznesu, szczególnie w Chinach, skąd pochodziło ok. 65% ich ubiegłorocznej globalnej sprzedaży. W Europie popyt na farby ustabilizował się na niższych poziomach. Obserwowany niewielki wzrost nastraja optymizmem na najbliższą przyszłość również na tym rynku. Obserwuje się łagodzenie problemów łańcucha dostaw surowców i problemów logistycznych na kluczowych rynkach, w tym w Europie i w Chinach, co jest dobrym prognostykiem dla wyników w najbliższych miesiącach. Inwestycje infrastrukturalne w Stanach Zjednoczonych stanowią także wsparcie dla biznesu.

Na stan europejskiego biznesu istotny wpływ będą miały także wymagania osiągnięcia neutralności klimatycznej w ramach Europejskiego Zielonego Ładu oraz znaczenie otoczenia legislacyjnego, wyznaczającego przechodzenie przemysłu do wymagań prawnych 2050 r. Generuje to przejściowo zjawisko niekorzystnego klimatu inwestycyjnego. Istotne są tu obszary działania, w tym:

- intensyfikacja stosowania energii odnawialnej,
- gospodarka w obiegu zamkniętym,
- zwiększenie atrakcyjności dla inwestowania w zakresie stabilnych zasad legislacji, konkurencyjności podatkowej, uproszczonych zasady pomocy państwa,
- dokończenie wdrażania systemu „Przemysł 4.0”,
- znaczące zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych.

Rządy na całym świecie coraz bardziej koncentrują się na zrównoważonym rozwoju i bezpieczeństwie. Przyszłość przemysłu chemicznego będzie kształtowana przez zdolność firm do adaptacji do zmieniającej się dynamiki rynku, przepisów dotyczących ochrony środowiska, wykorzystywania nowych technologii i reagowania na ewolucję wymagań konsumentów. Firmy chemiczne, które dostosują swoją ofertę do tych faktów, mogą zdobyć większy udział w rynku i wygenerować długoterminowy wzrost i przewagi konkurencyjne.

Opracowanie: Józef Kozieł, wiceprezes ZG SITPChem

# POL ECO

17-19.10.2023

Poznań



ZAPRASZA

**mtp**  
GRUPA

## SPOTKANIA W DOBRYM KLIMACIE

[www.poleco.pl](http://www.poleco.pl)

Poznaj ofertę!

Hanna Pieczyńska  
Manager ds. kluczowych klientów  
+48 539 190 077  
[hanna.pieczynska@grupamtp.pl](mailto:hanna.pieczynska@grupamtp.pl)

Monika Hajan  
Manager ds. kluczowych klientów  
+48 609 297 304  
[monika.hojan@grupamtp.pl](mailto:monika.hojan@grupamtp.pl)


Piotr Drozdowski  
Manager ds. kluczowych klientów  
+48 538 616 071  
[piotr.drozdowski@grupamtp.pl](mailto:piotr.drozdowski@grupamtp.pl)

POBIERZ BILET  
DLA PROFESJONALISTY



# POL ECO

17.10.2023

Poznań  Międzynarodowe  
Targi Poznańskie

KONFERENCJA

## BEZPIECZEŃSTWO SUROWCOWE

wyzwania dla gospodarki i recyklingu

[www.poleco.pl](http://www.poleco.pl)



ORGANIZATORZY:

  
RAREMETALS  
BATTERY RECYCLING

  
WASTES SERVICE  
GROUP

  
GREENRECOVERY  
ORGANIZACJA ODZYSKU OPAKOWAN S.A.

**mtp**  
GRUPA

## 19. Konferencja GRANULACJA w Kazimierzu Dolnym

W dniach 17–19 maja 2023 r. w Kazimierzu Dolnym odbyło się XII Sympozjum GRANULACJA 2023 – stan techniki i nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji. Jest to wydarzenie cykliczne organizowane już 19. raz przez SITPChem Oddział w Puławach. Współorganizatorami wydarzenia byli: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Nowych Syntezy Chemicznych, Grupa Azoty Zakłady Azotowe „Puławy” SA i PRO-ZAP Sp. z o.o. w Puławach. W konferencji wzięło udział ponad 60 osób. W imieniu

organizatorów wystąpili Janusz Kucharski, prezes SITP-Chem O/Puławy (członek ZG SITPChem), i Małgorzata Curyło, skarbnik SITPChem O/Puławy (członek ZG SITP-Chem), przewodnicząca Komitetu.

Konferencja stanowiła forum, na którym spotkali się przedstawiciele nauki i przemysłu zainteresowani rozwojem i nowymi zastosowaniami technik granulacji oraz wymianą doświadczeń z wdrożonych i eksploatowanych instalacji. Na Sympozjum zgłoszono 19 referatów, które zostały zaprezen-



Wspólne zdjęcie na zakończenie konferencji, od lewej: dr hab. inż. Bogdan Kosturkiewicz, prof. AGH, Elżbieta Gęca, dyrektor ds. technicznych Prozap Puławy, dr inż. Andrzej Biskupski z Politechniki Wrocławskiej, Małgorzata Curyło, przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego Konferencji, dr hab. inż. Krzysztof Lubkowski, prof. ZUT, i Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem (Foto: J.K.)



Sala konferencyjna w trakcie obrad (Foto: J.K.)

owane podczas czterech ukierunkowanych tematycznie sesji, na które była podzielona konferencja. W konferencji uczestniczyło 29 podmiotów, przedstawiciele uczelni wyższych, jednostek badawczo-rozwojowych.

## 29. Konferencja ANTYKOROZJA w Ustroniu-Jaszowcu

W dniach 10–12 maja 2023 r. w Hotelu Jawor w Ustroniu-Jaszowcu odbyła się 29. Konferencja ANTYKOROZJA Systemy-Materiały-Powłoki. W konferencji wzięło udział prawie 60 osób reprezentujących placówki naukowe, przedsiębiorstwa oraz organizacje naukowo-techniczne. Organizatorem konferencji był SITPChem Oddział w Gliwicach, a patronat medialny nad wydarzeniem sprawowały czasopisma: *Przemysł Chemiczny* i *Ochrona*



Obrady Komitetu Naukowego czasopisma *Ochrona przed Korozją*, od lewej: dr hab. inż. Juliusz Winiarski, prof. PWR, prof. dr hab. inż. Adam Zybura, prof. dr hab. inż. Jacek Kijeński, Jerzy Kropiwnicki, prezes SITPChem O/Gliwice, prof. dr hab. inż. Witold Gnot, prof. dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz, prof. dr hab. Henryk Bala, Józef Koziół, wiceprezes ZG SITPChem, i Anna Czumak-Bieniecka, wiceprezes ZG SITPChem (Foto: J.K.)



Od lewej: prowadzący sesję nr 4 dr hab. inż. Juliusz Winiarski, prof. PWR, prof. dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz i Jerzy Kropiwnicki, prezes SITP-Chem O/Gliwice (organizator konferencji) (Foto: J.K.)



Prof. Jacek Kijeński w trakcie swojego wykładu „Magia wody” (Foto: J.K.)





Widok sali konferencyjnej podczas jednego z paneli konferencji (Foto: J.K.)

przed Korozją, których właścicielem jest SITPChem. Wśród licznych wystąpień, poza zagadnieniami korozyjnymi, rozważano także, jak piszą organizatorzy konferencji, *problemy od tych spraw pozornie tylko odległe, a tak naprawdę przybliżające lepsze rozumienie świata i zjawisk*. W tym duchu zaprezentowany został wykład prof. Jacka Kijęńskiego pt. „Magia wody”, w którym przedstawił on filozoficzne aspekty obecności wody w życiu człowieka; wody jako symbolu i niezbędnego czynnika życia na ziemi. Interesujący, a wręcz in-

spirujący wykład był ilustrowany dziełami malarstwa światowego – od starożytności do czasów współczesnych.

W trakcie Konferencji obradowała także Rada Naukowo-Programowa miesięcznika *Ochrona przed Korozją*. Obrady prowadził prof. dr hab. inż. Witold Gnot, a sprawozdanie z działalności Kolegium redakcyjnego i całego czasopisma za 2022 r. przedstawiła redaktor naczelna prof. dr. hab. inż. Małgorzata Zubielewicz.

Kolejna edycja Konferencji ANTYKOROZJA jak zwykle skupiła fachowców „korozjonistów” z całego kraju. Miejscem konferencji od lat już tradycyjnie jest Hotel „Jawor” w Ustroniu-Jaszowcu, którego właścicielem jest Grupa Azoty SA. To magiczne miejsce, do którego chce się wracać za sprawą wyjątkowej atmosfery zapewnianej co roku przez Organizatorów w SITPChem O/Gliwice, działających w ramach Sekcji Korozji przy ZG SITPChem.

Dziękujemy i gratulujemy organizatorom tego wyjątkowego spotkania. W wakacyjnych numerach *Przemysłu Chemicznego* ukaże się obszerna relacja z tego wydarzenia.

Źródło: Inf. własna J.K.,  
10 maja 2023 r.

## Branżowe Centrum Umiejętności (BCU) dla SITPChem w Policach

Dnia 9 maja 2023 r. w siedzibie Starostwa Powiatowego w Policach odbyło się inauguracyjne spotkanie członków konsorcjum przystępującego do realizacji Branżowego Centrum Umiejętności w dziedzinie przemysł chemiczny, które powstanie w Zespole Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach. W tym uroczystym wydarzeniu uczestniczyli przedstawiciele różnych wydziałów starostwa polickiego, które jest liderem projektu (wnioskodawcą) i jednocześnie organem nadzorującym Zespół Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach, a także wiodący partner branżowy projektu, jakim jest Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. W spotkaniu wzięli także udział partnerzy dodatkowi: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie oraz Grupa Azoty Zakłady Chemiczne „Police” SA.

W trakcie tego wyjątkowo uroczystego spotkania przemówienia wygłosili: Andrzej Bednarek, starosta policki, Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem, dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz, prof. ZUT, prorektor ds. organizacji i rozwoju, oraz Anna Tarocińska, członek zarządu Grupy Azoty Zakłady Chemiczne „Police” SA. Zaprezentowano szczegółowe informacje dotyczące projektu, który zakłada budżet w wysokości ok. 15 mln zł brutto w okresie trwania jego realizacji, czyli do 30 czerwca 2026 r. Przewiduje się, że w późniejszym okresie BCU w Policach stanie się członkiem ogólnopolskiej sieci Branżowych Centrów Umiejętności, działających na podstawie ustawy Prawo oświatowe. Zakres tej inwestycji obejmuje utworzenie i wsparcie funkcjonowania BCU, realizującego koncepcje Centrów Doskonalenia Zawodowego (CoVEs). Będzie to jedyna tego typu placówka oświatowa w kraju dedykowana branży chemicznej w dziedzinie przemysł chemiczny. Głównym celem projektu jest wsparcie przygotowania kadr na potrzeby nowoczesnej gospodarki w branży chemicznej. BCU będą ośrodkami kształcenia, szkolenia i egzaminowania, dostępnymi dla uczniów, studentów, doktorantów, pracowników branż i innych osób uczących się. Innowacyjne podejście BCU do rozwoju umiejętności zawodowych w danej branży



Wspólne zdjęcie partnerów przedsięwzięcia BCU w dziedzinie przemysł chemiczny w Policach podczas spotkania inauguracyjnego (Foto: Powiat Police)



Od lewej: Krzysztof Dziarnowski, prezes SITPChem O/Police, Stanisław Oczkowicz, sekretarz generalny SITPChem, Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem, Andrzej Bednarek, starosta powiatu polickiego, Cezary Arciszewski, przewodniczący Rady Powiatu w Policach (Foto: Powiat Police)



Spotkanie w zarządzie Grupy Azoty Zakładów Chemicznych „Police” SA, od lewej: Stanisław Oczkowicz, sekretarz generalny SITPChem, Stanisław Kosturbiec, wiceprezes zarządu Grupy Azoty ZCh „Police”, Maria Więcek, członek ZG SITPChem, Krzysztof Dziarnowski, prezes SITPChem O/Police, i Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem (Foto: SITPChem)



Wizyta Partnerów projektu BCU w Zespole Szkół w Policach; spotkanie z uczniami technikum podczas zajęć w sali chemicznej, od lewej: Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem, dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz, prorektor ds. organizacji i rozwoju ZUT w Szczecinie, Agata Jarymowicz, dyrektor Zespołu Szkół im. I. Łukasiewicza w Policach (Foto: SITPChem)



Spotkanie w zarządzie Grupy Azoty Zakładów Chemicznych „Police” SA, od lewej: Stanisław Oczkowicz, sekretarz generalny SITPChem, Stanisław Kosturbiec, wiceprezes zarządu Grupy Azoty ZCh „Police”, Maria Więcek, członek ZG SITPChem, Krzysztof Dziarnowski, prezes SITPChem O/Police, i Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem (Foto: SITPChem)



Kompleks sportowy na terenie kampusu Zespołu Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach (Foto: J.K.)

wykracza poza dotychczasowe tradycyjne modele kształcenia, szkolenia i doskonalenia zawodowego. BCU będą prowadziły działania edukacyjne, szkoleniowe, integrujące edukację z biznesem oraz wspierające współpracę szkół i uczelni z pracodawcami, a także działania innowacyjne, rozwojowe, doradcze i promocyjne. Zadania określone dla BCU mają na celu wsparcie współpracy pracodawców z organizatorami kształcenia zawodowego, upowszechnienie innowacyjnych rozwiązań w danej dziedzinie zawodowej oraz wsparcie innowacji w kształceniu zawodowym. BCU będą zatem uzupełniały istniejącą ofertę kształcenia i szkolenia zawodowego w systemie oświaty oraz systemie szkolnictwa wyższego i nauki, a także wspierały proces uczenia się przez całe życie zgodnie z ideą Zintegrowanego Systemu Umiejętności.

Centrum BCU powstanie w Zespole Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach, dla którego obecnie organem prowadzącym jest powiat policki (dawniej Grupa Azoty Zakłady Chemiczne w Policach). W szkole jest obecnie prowadzone m.in. kształcenie zawodowe w zawodzie technik technologii chemicznej.

W trakcie pobytu przedstawicieli ZG SITPChem w Policach odbyły się także spotkania w zarządzie Grupy Azoty Zakładów Chemicznych w Policach oraz w Zespole Szkół im. Ignacego Łukasiewicza w Policach, gdzie zwiedzano olbrzymi kampus tej placówki oraz dokonano wizji lokalnej miejsca, w którym powstanie nowoczesne centrum kształcenia zawodowego.

W związku z wizytą prezesa ZG i sekretarza generalnego SITPChem w Policach w Hotelu „Dobosz” odbyło się także wspólne spotkanie z zarządem SITPChem O/Police.

*Źródło: Inf. własna J.K., 9 maja 2023 r.*

# Podpisanie umowy pomiędzy SITPChem i Sektorową Radą ds. Kompetencji Sektora Chemicznego

W dniu 21 kwietnia 2023 r. w Studenckim Centrum Kultury Uniwersytetu Opolskiego odbyła się Konferencja pt. „Kompetencje w sektorze chemicznym w dobie cyfryzacji oraz zielonego ładu”. Konferencję otworzyła prof. Krystyna Czaja, przewodnicząca Sektorowej Rady ds. Kompetencji Sektora Chemicznego. Do licznych uczestników konferencji wygłosił także swoje powitanie prorektor Uniwersytetu Opolskiego prof. dr hab. Jacek Liptok. Tematyka konferencji obejmowała aktualne wyzwania sektora chemicznego i wynikające z tego potrzeby kompetencyjne pracowników i osób wchodzących na rynek pracy, wybrane sposoby pozyskiwania pożądanych kompetencji wraz z przykładami ich realizacji oraz możliwości i perspektywy rozwoju branży na podstawie realizowanych i planowanych projektów edukacyjno-badawczych. W trakcie konferencji odbyły się trzy sesje tematyczne. W pierwszej z nich, pt. „Co się dzieje w sektorze – wyzwania”, wystąpili: Piotr Kryjom z Fundacji Platformy Przemysłu Przyszłości, który wygłosił referat pt. „Praktyczne sposoby rozwoju kompetencji przyszłości za pomocą Weryfikatora kompetencji cyfrowych EPPP”, Robert Zakrzewski z PARP z referatem pt. „Badania BBKL II dla branży chemicznej – podsumowanie badań”, oraz Jerzy Klimczak, przewodniczący Rady Krajowej FSNT-NOT, z referatem nt. programu MEiN utworzenia Branżowych Centrów Umiejętności. W sesji drugiej pt. „Edukacja – Nauka – Przemysł” wystąpili: Anna Wiśła-Świder i Małgorzata Sołtyśiak z referatem pt. „Kompetencje przyszłości w sektorze chemicznym – wyniki badań fokusowych”, Karolina Grabowska i Marcin Sosnowski z referatem pt. „Kształcenie w formie dualnej na kierunku innowacyjne technologie

i nowoczesne materiały – doświadczenie i perspektywy rozwoju”, oraz prof. Tomasz Wasilewski z referatem pt. „Praktyki i staże zawodowe w przedsiębiorstwach jako dobre praktyki na styku edukacja-biznes”. W sesji trzeciej pt. „Przyszłość sektora chemicznego – możliwości i perspektywy” wystąpili: Izabela Buchowicz i Katarzyna Trawińska-Konador z referatem pt. „Akademy i praktycy: SGH z Sektorowymi Radami o przyszłości kształcenia w branżach”, prof. Marek Frankowicz z referatem pt. „Projekty ERASMUS+ wsparciem dla sektora – przykłady dobrej praktyki, nowe możliwości”, Przemysław Wojdyła z referatem pt. „Wspieranie sektora chemicznego na przykładzie realizowanych projektów europejskich BIOMODEL4REGIONS i BIOBESTicide” oraz Andrzej Kazimierczak, Patryk Chaja, Vitaliy Shablov i Krzysztof Iwańczuk z referatem pt. „Innowacje; konwersja i obieg zamknięty energii”.

W trakcie Konferencji miało miejsce podpisanie Listu intencyjnego o współpracy pomiędzy Sektorową Radą ds. Kompetencji Sektora Chemicznego, którą reprezentowała przewodnicząca Sektorowej Rady prof. Krystyna Czaja, a SITPChem, które reprezentował prezes Zarządu Głównego SITPChem Jerzy Klimczak. W preambule podpisanego wspólnie dokumentu zapisano: *Długookresowa strategia Rozwoju Kraju „Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności” – to dokument rządu RP o charakterze analitycznym i rekomendacyjnym, powstały na bazie ustawy o zasadach prowadzenia polityki rozwoju z dnia 6 grudnia 2006 r. Określa on główne trendy, wyzwania i scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego Polski, a także kierunki przestrzennego zagospodarowania kraju, z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju. Stanowi opis nowego projektu cywilizacyjnego, zorientowanego na przyszłość, w perspektywie do 2030 roku. Celem strategii jest przezwyciężenie kryzysu finansowego w jak najkrótszym czasie i próba uniknięcia tzw. „straconej dekady” – wolniejszego rozwoju gospodarczego niż w poprzednich latach, który powodowałby negatywny wpływ na jakość życia ludzi. Strategia zakłada więc zbudowanie przewag konkuren-*



Wspólne zdjęcie członków SITPChem obecnych na Konferencji, od lewej: Kazimierz Terelak, prezes SITPChem O/Kędzierzyn Koźle, Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem, Jerzy Majchrzak, członek prezydium Sektorowej Rady ds. Kompetencji Sektora Chemicznego (Foto: SITPChem)

*cyjnych do 2030 roku, tak, aby po wykorzystaniu obecnych sił rozwojowych Polska posiadała nowe potencjały wzrostu w obszarach, które dotychczas nie były eksploatowane, np. w obszarze edukacji czy cyfryzacji. Strategia „Polska 2030” proponuje kierunki inwestycji przeprowadzonych do 2030 roku, które są podporządkowane schematowi trzech strategicznych obszarów, w skład których wchodzi: konkurencyjność i innowacyjność gospodarki, równowaga potencjału rozwojowego regionów Polski oraz efektywność i sprawność państwa. Długookresowa Strategia Rozwoju Kraju „Polska 2030. Trzecia fala nowoczesności” jest dokumentem, który w swojej treści obejmuje założenia długofalowe, gdzie podkreślano znaczenie budowy gospodarki RP opartej na wiedzy, której filarami są edukacja, nauka i rozwój społeczeństwa informacyjnego. Nowy okres pozyskiwania funduszy z Unii Europejskiej na lata 2021–2027 stwarza nowe możliwości ubiegania się o te środki. Fundusze te będą mogły być przeznaczone na rozbudowę i modernizację infrastruktury, wzmocnienie zasobów ludzkich, ochronę środowiska, prowadzenie prac badawczo-rozwojowych, transfer nowych technologii, dostosowanie potencjałów produkcyjnych i technologicznych w tym cyfrowych (Przemysł 4.0) do wymogów Unii Europejskiej, a także ogólnie pojęty rozwój regionalny i transgraniczny.*



Podpisanie umowy pomiędzy SITPChem i Sektorową Radą ds. Kompetencji Sektora Chemicznego, od lewej: prof. Krystyna Czaja, prezes SRdsKSChem, i Jerzy Klimczak, prezes SITPChem (Foto: Organizatorzy Konferencji)

Źródło: Inf. SITPChem,  
8 maja 2023 r.

## SITPChem O/Gliwice

Dnia 24 stycznia w Domu Technika NOT w Gliwicach odbyło się spotkanie noworoczne członków SITPChem O/Gliwice. W spotkaniu uczestniczyło kilkadziesiąt osób, w tym liczni goście z Rady Miejskiej NOT w Gliwicach oraz zaprzyjaźnionych Oddziałów z Kędzierzyna-Koźła, Oświęcimia i Cieszyna, a także Politechniki Śląskiej i Politechniki Wrocławskiej. Podczas spotkania miały miejsce liczne przemówienia i podziękowania. Kol. Jerzy Kropiwnicki, prezes Oddziału SITPChem w Gliwicach, w sposób szczególny podziękował kol. Erwinowi Sroce za wieloletnią działalność jako prezesa Gliwickiej NOT w związku z jego przejściem na emeryturę.

Podczas spotkania poza wystąpieniami i przepięknym koncertem w wykonaniu zespołu Szkoły Muzycznej w Gliwicach miała miejsce prezentacja podsumowująca obszerną działalność Gliwickiego Oddziału. Przypomniano m.in. o programie skierowanym do uczniów szkół podstawowych „Tajemniczy świat chemii”, w ramach które-

go uczniowie brali udział w zajęciach laboratoryjnych pod hasłem „Tajniki kosmetyków” i „Barwy chemii”. W zajęciach w latach 2020 i 2022 wzięło udział łącznie 242 uczniów (a od początku programu, od 2016 r. 667 uczniów).



Uczestnicy spotkania świąteczno-noworocznego w Gliwicach. Na pierwszym planie od lewej: kol. Anna Czumak-Bieniecka, wiceprezes ZG SITPChem, kol. Stanisław Gruszka, przewodniczący Głównej Komisji Rewizyjnej SITPChem, i kol. Józef Kozieł, wiceprezes ZG SITPChem (Foto: J.K.)



Podziękowania za wieloletnią pracę w NOT dla kol. Erwina Sroki (pierwszy z lewej) składają Jerzy Kropiwnicki, prezes SITPChem O/Gliwice, Elżbieta Jarguz, wiceprezes SITPChem O/Gliwice, i dr hab. inż. Aleksander Gwiazda, prezes NOT Federacja SNT Rada Miejska w Gliwicach (Foto: J.K.)



Członkowie SITPChem z Oddziałów w Gliwicach, Kędzierzyna-Koźła i Cieszyna (Foto: J.K.)

## SITPChem O/Oświęcim

W dniu 21 stycznia 2023 r. w Oświęcimiu odbyło się spotkanie świąteczno-noworoczne, w którym wzięli udział koleżanki i koledzy z Oddziału w Oświęcimiu, a także zaproszeni goście z Oddziałów z Krakowa i Cieszyna. W trakcie spotkania prezes oświęcimskiego Oddziału dr inż. Adam Tarniowy przypomniał najważniejsze aktywności członków Oddziału w minionym roku. Prezes przypomniał, że Oddział w Oświęcimiu należał kiedyś do największych w Polsce. W 1981 r. liczył prawie 1500 członków (obecnie 240). Obecnie w Oddziale działa 8 Kół: Projektowe, Ekonomistów, Technologów, Polimerowe, Analityków, Elektrociepłowni, Energetyków i Badawcze. W Oddziale działa mocna Sekcja bowlingowa i co roku odbywają się Turnieje Gry w Kręgle o Puchar Prezesa SITPChem Oddziału w Gliwicach. Wiosną 2022 r. odbył się Rodzinny turniej tenisa stołowego, a z okazji Mikołajków turniej tenisa stołowego dla dzieci szkół podstawowych. Członkowie SITPChem O/Oświęcim wzięli udział w wyjeździe do Teatru Polskiego w Bielsku-Białej, gdzie obejrzeli sztuki „Pomoc domowa” i „Sztukmistrz z miasta Lublina”. Oświęcimski Oddział jest także współorganizatorem konkursu chemicznego „Młody Chemik”, organizowanego przez Powiatowy Zespół nr 2 Szkół Ogólnokształ-



Spotkanie świąteczno-noworoczne w Oświęcimiu (pierwszy z prawej) prezes O/Oświęcim dr inż. Adam Tarniowy wraz z koleżankami i kolegami z Gliwic oraz gośćmi z Krakowa i Cieszyna (Foto: SITPChem)

cących Mistrzostwa Sportowego i Technicznych im. Ignacego Łukasiewicza w Oświęcimiu. Wzięło w nich udział 50 uczniów z 19 szkół podstawowych. W Oddziale bardzo aktywnie działa Sekcja Inżynierii Produkcji. Prezes podkreślił także silną współpracę z Małopolską Uczelnią Państwową im. rtm. Witolda Pileckiego w Oświęcimiu i firmą Synthos, w której pracuje na co dzień wielu członków SITPChem.

## SITPChem O/Toruń (Koło Farb i Tworzyw w O/Gliwice)



Dnia 9 grudnia 2022 r. w Toruniu, po zakończeniu gali jubileuszowej z okazji 60-lecia Łukasiewicz – IMPiB, licznie zaproszeni goście wzięli udział w uroczystym bankiecie oraz zabawie. Spotkanie odbywało się w iście świątecznej atmosferze. W kularach miały miejsce spotkania, rozmowy, była także możliwość wykonania pamiątkowego zdjęcia. W spotkaniu uczestniczyło wielu członków Stowarzyszenia na co dzień pracujących w Instytucie Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, Piastowie i Gliwicach.

Zespół Centrum Farb i Tworzyw należące do Sieci Badawcza Łukasiewicz – Instytutu Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu w towarzystwie Jerzego Klimczaka, prezesa ZG SITPChem, i Marioli Bodzek-Kochel, dyrektor Łukasiewicz – IMPiB (siedzą pierwsi z prawej) (Foto: SITPChem)

## SITPChem O/Cieszyn

Dnia 9 grudnia 2022 r. Oddział SITPChem w Cieszynie zorganizował dla swoich członków uroczyste spotkanie przedświąteczne w restauracji Zajazd Trzech Braci w Cieszynie. W miłej atmosferze, przy lampce wina i posiłku członkowie Oddziału wysłuchali prezentacji prezesa ZO kol. Jacka Nagórniewicza „SITPChem Oddział w Cieszynie – co robimy?”. Przedstawione zostały konkretne programy zrealizowane przez Oddział, w tym m.in. regularny projekt „Dzień Chemii” dedykowany młodzieży szkół średnich, omówiono udział w organizacji kongresu ETCC2022, współpracę z Politechniką Krakowską w organizacji studiów podyplomowych z chemii i technologii farb oraz bieżącą działalność na rzecz członków, a także plany i zamierzenia w najbliższej kadencji. Uczestnicy wysłuchali także wykładu: „Wokół tradycji i zwyczajów świąt Bożego Narodzenia na Śląsku Cieszyńskim”, który wygłosił dr hab. Grzegorz Studnicki.

Źródło: Inf. SITPChem, 3 lutego 2023 r.

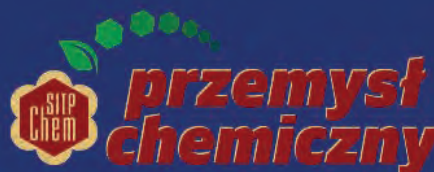


Spotkanie przedświąteczne SITPChem O/Cieszyn (Foto: J.K.)



**zapisz się już dziś**

**www.konferencja-przemyslchemiczny.pl**



## Konferencja Ochrona Środowiska w Ustroniu-Jaszowcu

W dniach 7–9 grudnia 2022 r. w Hotelu „Jawor” w Ustroniu Jaszowcu odbyła się XXI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona Środowiska – Nauka i przemysł dla ochrony Ziemi”. W Konferencji wzięło udział ponad 70 osób, reprezentujących instytucje naukowe i przede wszystkim jednostki przemysłowe. Organizatorami Konferencji byli: SITPChem O/Gliwice, Sekcja Ochrony Środowiska i Sekcja Wodorowa przy Zarządzie Głównym SITPChem oraz Rada Miejska FSNT-NOT w Gliwicach.

W trakcie konferencji odbyło się 5 sesji. Pierwszej przewodniczył dr inż. Dawid Lisicki, a w jej trakcie wygłoszono referat: „Nauka w ochronie środowiska” (prof. dr hab. Joanna Rzeszowska-Wolny), „Dekarbonizacja i decentralizacja produkcji ciepła wspierające ochronę środowiska i zasoby naturalne” (Krzysztof Szaliński, prezes zarządu PEC Gliwice Sp. z o.o.), „Kaduk czyli wielka niemoc – czy można naprawić środowisko nie niszcząc go?” (prof. dr hab. inż. Jacek Kijewski).

Sesję drugą poprowadził prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek, a wygłoszono w niej referaty: „Analiza emisji CO<sub>2</sub> w małych i średnich przedsiębiorstwach w aspekcie zastosowania innowacyjnego sorbentu FFH CO<sub>2</sub>” (mgr inż. Bożena Kuzio-Wasilewska, mgr inż. Grażyna Rymarz), „Technologia otrzymywania e-kaprolaktanu – od pomysłu do przemysłu” (prof. dr hab. Anna Chrobok), „Transformacja polskiej energetyki – jedno z najważniejszych wyzwań krajowej gospodarki” (dr inż. Janusz Steinhoff), „Wodór – paliwo przyszłości” (mgr inż. Lechosław Barchański, H-LAB, Air2Gas Sp. z o.o. Katowice), „Wodorowy system magazynowania energii z OZE” (dr inż. Stefan Wójtowicz, P.B-W. Frako-Term Sp. z o.o. Aleksander Kujawski).

Podczas trzeciej sesji, posterowej, odbył się konkurs na najlepszy poster. Przewodniczącą Jury była mgr inż. Bożena Kuzio-Wasilewska. Za najlepsze uznano *ex aequo* postery pt. „Wpływ preparatu redukującego emisję gazów na fermach drobiu na wartość nawozową obornika drobiowego” autorstwa dr. hab. prof. UWM Andrzeja Żołnowskiego, dr. hab. inż. prof. UWM Tadeusza Bakuły, dr inż. Elżbiety Rolki, dr. hab. inż. Andrzeja Klasy i mgr inż. Beaty Żołnowskiej z Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz pt. „Przyjazne czynniki utleniające w rozszczepieniu olefin do kwasów karboksylowych” autorstwa mgr inż. Kamila Peckha, dr inż. Dawida Lisickiego i dr. hab. inż. prof. PŚI Beaty Orlińskiej z Katedry Technologii Chemicznej Organicznej i Petrochemii Politechniki Śląskiej.

Sesji czwartej przewodniczyła prof. dr hab. inż. Anna Chrobok, a w jej trakcie wygłoszono referaty: „Systemy bioelektrochemiczne w ochronie środowiska” (prof. dr hab. inż. Beata Cwalina), „Rozwój technologii: przenoszenie skali w procesach chemicznych” (dr inż. Maksymilian Gądek, Losentech Sp. z o.o. w Rybniku), „Zagospodarowanie produktów z termicznego przekształcenia odpadów” (dr inż. Piotr Radomski, dr inż. Hałyna Kominko, dr inż. Anna K. Nowak i prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek), „Opracowanie innowacyjnej metody wydzielenia naftalenu z oleju popirolitycznego/frakcji C10+ za pomocą cieczy jonowych” (dr inż. Zbigniew Dąbrowski, dr inż. Anna Wiśniewska, prof. dr hab. inż. Urszula Domańska-Żelazna), „Spalanie odpadów medycznych – zło konieczne?” (prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek, dr inż. Anna K. Nowak).

Ostatnią, piątą sesję poprowadził dr. hab. inż. Andrzej Żołnowski. W tej sesji wygłoszone zostały referaty: „Zrównoważony rozwój – szansa utracona” (prof. dr hab. inż. Jerzy Zwoździak),



Wystąpienie dr. inż. Janusza Steinhoffa, Ministra Gospodarki w latach 1997–2002, wicepreziera Rady Ministrów w latach 2000–2001, eksperta BCC ds. gospodarki i energetyki (Foto: J.K.)



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek z Katedry Technologii Chemicznej i Analityki Środowiskowej Politechniki Krakowskiej w trakcie dyskusji podczas konferencji (Foto: J.K.)



Widok na salę obrad (Foto: J.K.)

„Wpływ czynnika genetycznego oraz elementów technologii produkcji na efektywność wykorzystania azotu przez pszenicę ozimą” (prof. dr hab. Grażyna Podolska), „Możliwość wykorzystania odpadów z oczyszczalni ścieków w przemyśle nawozowym” (dr inż. Hałyna Kominko, dr. hab. inż. prof. PK Katarzyna Gordaza, prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek), „Przyjazna dla środowiska technologia otrzymywania kwasu adypinowego na drodze utleniania cykloheksanonu” (dr inż. Dawid Lisicki, dr. hab. inż. prof. PŚ Beata Orlińska, mgr inż. Kamil Peckh, dr inż. Tomasz Piotrowski, mgr inż. Tomasz Martyniuk, mgr inż. Krzysztof Dziuba), „Wymiana ciepła odpadowego pomiędzy źródłem a zasobnikiem w instalacji konwersji niskotemperaturowego ciepła na energię elektryczną” (dr inż. Andrzej Paszek, mgr inż. Mariusz Nowak, dr inż. Aleksandra Przydróżna).

Konferencja jest cyklicznym, corocznym wydarzeniem i zawsze cieszy się bardzo dużym zainteresowaniem uczestników. Nie bez znaczenia jest wyjątkowa atmosfera tego wydarzenia, którą zawsze gwarantują organizatorzy. Już dzisiaj zapraszamy na kolejną edycję, która odbędzie się jesienią 2023 r.

Źródło: Inf. SITPChem,  
20 grudnia 2022 r.

Zebrał i opracował J.K. i A.S.

## Pierwsze posiedzenie Zarządu Głównego SITPChem w kadencji 2022–2026

Dnia 14 grudnia 2022 r. odbyło się I posiedzenie Zarządu Głównego SITPChem w kadencji 2022–2026. W trakcie posiedzenia dokonano podsumowania XXXII Walnego Zjazdu Stowarzyszenia oraz uroczystości jego 95-lecia. Omówione zostały m.in. zagadnienia dotyczące realizacji Uchwały XXXII WZ SITPChem łącznie z ustaleniem osób odpowiedzialnych za realizację poszczególnych punktów tej uchwały. Następnie przedstawiono propozycje prezydium Zarządu Głównego dotyczącą planu działalności poszczególnych Komisji i Sekcji Stowarzyszenia w kadencji 2022–2026. Zarząd Główny podjął decyzję o utworzeniu nowej Komisji ds. energetycznych. Dokonano wyboru przewodniczących tych organów, którzy będą odpowiedzialni za stworzenie poszczególnych zespołów tworzących Komisje i Sekcje. Członkowie Zarządu Głównego zapoznali się z planem pracy na 2023 r., który został przygotowany przez Prezydium ZG. Zarówno plan pracy, jak i plan przychodów i wydatków ZG na 2023 r. został jednogłośnie zaakceptowany.

Podczas spotkania został także zaakceptowany szereg zmian w Statucie Stowarzyszenia, do których Zarząd Główny został zobowiązany przez XXXII WZ Stowarzyszenia. Niewątpliwie ważnym punktem posiedzenia było głosowanie nad zatwierdzeniem regulaminów przyznawania Medalu im. Bogdana Kuranta oraz nadania najwyższej godności Członka Honorowego SITPChem. Zarząd Główny po wprowadzeniu jeszcze kilku poprawek dokonał przyjęcia obu regulaminów. Przeprowadzona została dyskusja na temat możliwości włączenia się SITPChem w realizację Planu działań w zakresie kształcenia i szkolenia zawodowego na lata 2022–2025 (dokument opracowany przez MEiN, zatwierdzony przez RM). Celem działań ujętych w Planie jest przygotowanie przyszłych pracowników na potrzeby nowoczesnej gospodarki. Zarząd Główny jest za włączeniem się do realizacji tego Planu poprzez podejmowanie



Posiedzenie Zarządu Głównego SITPChem, od lewej: Marcin Potempa O/Tarnów, Krzysztof Chmura O/Tarnów, Robert Przekop O/Poznań, Wiesław Bartyzel O/Oświęcim, Zbigniew Wzorek O/Kraków, Małgorzata Curyło O/Puławy, Janusz Kucharski O/Puławy, Marek Zatorski O/Puławy, Jerzy Marcinko O/Puławy, Maria Więcek O/Police, Teresa Wałga O/Cieszyn, Jerzy Klimczak O/Cieszyn, Roman Grycza O/Poznań, Teodor Bek O/Kędzierzyn-Koźle, Kazimierz Terelak O/Kędzierzyn-Koźle, Stanisław Gruszka O/Cieszyn, Józef Kozieł O/Cieszyn i Stanisław Oczkowicz O/Tarnów (Foto: SITPChem)

wanie działań spójnych z jego założeniami. Decyzją ZG ustanowiono stanowisko Koordynatora ds. współpracy z młodzieżą. Na to ważne stanowisko powołano w drodze głosowania kol. Teresę Wałgę z O/Cieszyn, która posiada duże doświadczenie w tym zakresie. Zarząd Główny, na wniosek GKR, która złożyła go podczas XXXII WZ w dniu 19.10.2022 r. w Warszawie, powołał także Zespół ds. członkostwa w Stowarzyszeniu. Przewodniczącym tego Zespołu został prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek z O/Kraków. Ważnym punktem spotkania było również powołanie dwóch kolejnych Zespołów zadaniowych: ds. opracowania Kroniki SITPChem i Almanachu Członków Honorowych SITPChem. Przewodniczącymi tych Zespołów zostali kol. Stefan Oborski z O/Toruń (Kronika) i kol. Teodor Bek z O/Kędzierzyn-Koźle (Almanach).

Ważnym punktem programu ZG było przedstawienie kandydatur do nowej Rady Programowej czasopisma *Przemysł Chemiczny*, która zgodnie z regulaminem powinna zostać powołana na nową kadencję 2022–

2026. Ostatecznie Zarząd Główny zaakceptował następujący skład Rady: prof. dr hab. Bogusław Buszewski (przewodniczący), prof. dr hab. Robert Pietrzak (wiceprzewodniczący), dr hab. inż. Arkadiusz Kamiński (sekretarz), prof. dr hab. inż. Krystyna Czaja, prof. dr hab. inż. Janusz Datta, prof. dr hab. inż. Janusz Jurczak, prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski, dr hab. inż. prof. CNBOP-PIB Maria Zielecka, prof. dr hab. Izabela Nowak, prof. dr hab. inż. Anna Chrobok, prof. dr hab. inż. Tomasz Wasilewski, prof. dr hab. inż. Dariusz Bogdał, prof. dr hab. inż. Zbigniew Wzorek, prof. dr hab. inż. Wioletta Raróg-Pilecka, prof. dr hab. inż. Małgorzata I. Szykowska-Jóźwik, dr Grzegorz Kądziewski, mgr inż. Zbigniew Paprocki i dr inż. Adam Tarniowy. Na II spotkaniu Zarządu Głównego, które odbędzie się w I kw. 2023 r., przewidziano przedstawienie kolejnych kandydatur.

Źródło: Inf. SITPChem,  
4 stycznia 2023 r.

## Spotkanie z prof. dr. hab. inż. Januszem Jurczakiem, przewodniczącym Komitetu Chemii PAN

W dniu 5 grudnia 2022 r. w siedzibie Zarządu Głównego SITPChem w Warszawie odbyło się spotkanie prezesa SITPChem Jerzego Klimczaka z przewodniczącym Komitetu Chemii Polskiej Akademii Nauk prof. Januszem Jurczakiem. W spotkaniu uczestniczył także kol. dr inż. Jerzy Polaczek, który jest członkiem Warszawskiego Oddziału SITPChem.

Podczas spotkania omówiono wiele różnych spraw związanych z potencjalnymi obszarami współpracy pomiędzy „nauką



Spotkanie w Biurze Zarządu Głównego w Warszawie, od lewej: dr inż. Jerzy Polaczek, prof. dr hab. inż. Janusz Jurczak i prezes Jerzy Klimczak (Foto: SITPChem)



Spotkanie w restauracji „Kuznia Smaków” w Warszawie, od lewej: dr inż. Jerzy Polaczek, redaktor w czasopiśmie *Przemysł Chemiczny*, prof. dr hab. inż. Janusz Jurczak, przewodniczący Komitetu Chemii PAN, i Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem (Foto: SITPChem)

i przemysłem”. Rozmawiano na tematy związane z ostatnio przyznaną Nagrodą Nobla w dziedzinie chemii (organicznej), którą otrzymali wspólnie: Barry Sharpless, Ryoji Noyori i Carolyn Bertozzi. Dużą część spotkania poświęcono tematyce procesów wysokociśnieniowych, w związku z tym, że w ostatnim czasie powrócił temat przechowywania wodoru. Stowarzyszenie aktywnie włącza się w proces kształcenia zawodowego także w tematyce wodorowej, dlatego poszukuje wszelkich możliwych ścieżek dotarcia do wiedzy na ten temat. Rozmawiano także o perspektywie rozwoju chemii z perspektywy polskiej nauki i przemysłu

chemicznego. Rozmowy kontynuowano w urokliwej restauracji „Kuznia Smaków”, a ich owocem będzie wywiad z prof. Jurczakiem, który ukaże się w styczniowym numerze *Przemysłu Chemicznego*.

Następnego dnia, 6 grudnia 2022 r., w trybie *on-line* odbyło się ostatnie już w tej kadencji posiedzenie Komitetu Chemii PAN. W spotkaniu z ramienia SITPChem uczestniczył prezes Jerzy Klimczak, który jest członkiem Komitetu.

Źródło: Inf. SITPChem,  
6 grudnia 2022 r.

Zebrał i opracował J.K. i A.S.

## Jubileusz 70-lecia Łukasiewicz – Instytutu Ciężkiej Syntezy Organicznej „Błachownia” w Kędzierzynie-Koźlu

Dnia 1 grudnia 2022 r. w Kędzierzynie-Koźlu Łukasiewicz – Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej „Błachownia” obchodził jubileusz 70-lecia istnienia. Niewątpliwie niespodzianką okazało się już samo przywitanie gości w progach Instytutu. Nikt nie spodziewał się powitania przez pracowników przebranych za Marię Skłodowską-Curie i Ignacego Łukasiewicza.

Otwarcia uroczystości dokonała dyrektor Łukasiewicz – ICSO „Błachownia” dr hab. Iwona Szwach. Pani Dyrektor przywitała wszystkich zaproszonych gości i ze wzruszeniem dziękowała wszystkim pracownikom Instytutu. Uczestnicy uroczystości mogli obejrzeć specjalnie przygotowany z tej okazji film o historii Instytutu „70 lat Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytutu

Ciężkiej Syntezy Organicznej „Błachownia”, a następnie miały miejsce przemówienia okolicznościowe przedstawicieli samorządu i największego partnera, jakim jest Grupa Azoty ZAK SA. Kolejnym punktem programu uroczystości była Konferencja Jubileuszowa „Tradycyjnie Innowacyjni”.

W trakcie konferencji uczestnicy mogli wysłuchać referatów w 3 sesjach. W sesji





Wspólne zdjęcie w sali posterowej, od lewej: prof. dr hab. inż. Leszek Rafalski, Jerzy Klimczak, dr Marlena Maślanka, pracownicy przebrani za Marię Skłodowską-Curie i Ignacego Łukasiewicza oraz dr hab. inż. Janusz Wójcik (Foto: SITPChem)



Dr Marcin Kraska, wiceprezes Sieci Badawcza Łukasiewicz, w towarzystwie dr. hab. Iwony Szwach, dyrektora Łukasiewicz – ICSO „Błachownia” (z prawej) i dr inż. Julii Woch z Łukasiewicz – ICSO „Błachownia”, prowadzącej konferencję (z lewej) (Foto: J.K.)



Uczestnicy konferencji z okazji 70-lecia Łukasiewicz – ICSO „Błachownia” w Kędzierzynie-Koźlu, w pierwszym rzędzie z prawej siedzi dr hab. Iwona Szwach, dyrektor Instytutu (Foto: J.K.)



Uroczyste otwarcie Centrum Gospodarki o Obiegu Zamkniętym w Łukasiewicz – ICSO „Błachownia” (Foto: J.K.)



Podpisanie listu intencyjnego dotyczącego współpracy Instytutu z przemysłem (Foto: J.K.)

pierwszej „Nowe produkty oparte na wiedzy” wygłoszony został przez prof. dr. hab. inż. Tomasza Wasilewskiego z Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu referat pt. „Implementacja rezultatów badań naukowych do praktyki przemysłowej na przykładzie przemysłu kosmetycznego i detergentowego”. Drugi referat pt. „Funkcjonalizowane nanomateriały krzemionkowe i ich zastosowanie jako komponenty środków smarowych” wygłosił mgr inż. Kamil Korasiak (prezentacja doktoratu wdrożeniowego Łukasiewicz – ICSO „Błachownia”). W drugiej sesji pt. „Gospodarka o obiegu zamkniętym i dla ochrony środowiska” wygłoszone zostały także dwa referaty: pierwszy pt. „Zielona przyszłość” przez prof. dr. hab. Mariana Łukasiewicza z Uniwersytetu Wrocławskiego, a drugi pt. „Otrzymywanie innowacyjnego bifunkcyjnego katalizatora Cu, Zn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do hydrogenolizy glicerolu” przez mgr inż. Marka Główkę (prezentacja doktoratu wdrożeniowego Łukasiewicz – ICSO „Błachownia”). W trzeciej sesji pt. „Innowacyjna firma” referat pt. „Innowacyjni z wyboru – przełomowe technologie zmieniające świat kawy” wygłosił Krzysztof Barabosz z firmy Hard Beans Coffee Roasters Sp. z o.o., a referat pt. „Opracowanie i zastosowanie nowych procedur analitycznych do oznaczania wybranych związków poli- i perfluoroalkilowych w próbkach środowiskowych” wygłosiła mgr inż. Magdalena Zarębska (prezentacja doktoratu wdrożeniowego Łukasiewicz – ICSO „Błachownia”). Ostatnim punktem programu było oficjalne otwarcie nowoczesnego Centrum Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, które zostało utworzone w sąsiedztwie Instytutu.

Gratulujemy Instytutowi znakomitej organizacji tego jubileuszu i dziękujemy za wyjątkowe niespodzianki, które z pewnością przyczynią się do tego, że uczestnicy tego wydarzenia zapamiętają na długo pobyt w Kędzierzynie-Koźlu. Obszerna relacja z tego wydarzenia ukaże się już niebawem na łamach *Przemysłu Chemicznego*.

Źródło: Inf. SITPChem, 6 grudnia 2022 r.

## Spotkanie klubu członków honorowych SITPChem



Spotkanie Klubu Członków Honorowych podczas inauguracji książki *Przemysł Chemiczny w Polsce w życiu Jerzego Paprockiego* w dniu 18 października 2022 r. w Sali kominkowej restauracji Avangarda znajdującej się w Warszawskim Domu Technika NOT (Foto: J.K.)

Dnia 18 października 2022 r. w siedzibie Stowarzyszenia w Warszawie (gmach FSNT-NOT) odbyło się spotkanie Klubu Członków Honorowych SITPChem. Na spotkanie zaproszono także rodzinę śp. Jerzego Paprockiego oraz członków prezydium Zarządu Głównego i Głównej Komisji Rewizyjnej, a także przedstawicieli Głównego Sądu Koleżeńskiego. W spotkaniu uczestniczyło ponad 40 osób.

Spotkanie otworzył kol. prezes Jerzy Klimczak, który powitał wszystkich uczestników i zaproszonych gości oraz przekazał prowadzenie spotkania kol. Stefanowi Oborskiemu (O/Toruń), który zastępował w tej roli nieobecnego na spotkaniu przewodniczącego KCH kol. Zbigniewa Ślęzaka z Oddziału Kędzierzyn-Koźle. Przewodniczący spotkania podkreślił, że jest to pierwsze stacjonarne spotkanie KCH po okresie pandemii w tej kadencji. Wyraził nadzieję, że w przyszłości będzie można spotykać się częściej, np. przy okazji centralnych obchodów Dnia Chemika, który został ustanowiony z inicjatywy SITPChem. Wyraził także nadzieję, że nowym władzom SITPChem nie zabraknie motywacji do pokazania, że chemicy nadal stanowią zwartą, integralną społeczność. Powiedział: *Jesteśmy przede wszystkim ludźmi, którzy razem tworzyli i tworzą przemysł chemiczny, którzy ze sobą zawsze, w 95-letniej historii*



Wspólne zdjęcie uczestników spotkania Klubu Członków Honorowych SITPChem wraz z rodziną śp. Jerzego Paprockiego; w pierwszym rzędzie (od lewej) córka Joanna Paprocka-Gajek i syn Piotr Paprocki (Foto: SITPChem)

*SITPChem współpracowali i tworzyli wyjątkową społeczność Stowarzyszenia.* Stefan Oborski podkreślił, że upływający nieubłagany czas, a szczególnie uwarunkowania ostatnich lat (pandemia) nie pozwalały nam rozwijać tych kontaktów, tak jakbyśmy chcieli. Powiedział, że trudne sytuacje będą nas spotykać coraz częściej – *młodszy nie będziemy*. Dlatego powinniśmy sobie pomagać w tych trudnych czasach. Kol. Stefan Oborski pogratulował wszystkim decyzji o przyjeździe na spotkanie

KCH do Warszawy i podziękował za obecność, dzięki której Koleżanki i Koledzy mieli możliwość porozmawiania o naszym Stowarzyszeniu. Podczas spotkania podsumowano działalność Klubu w okresie 2018–2022 r. Omówiono sprawy związane z przyszłością, a także poruszono kwestie, które powinny zostać poddane dyskusji na XXXII Walnym Zjeździe SITPChem.

Szczególnym wydarzeniem spotkania KCH była inauguracja książki *Przemysł chemiczny w Polsce w życiu Jerzego Paprockiego*, której autorem jest Stefan Oborski. W uroczystej inauguracji promocji książki



Kol. Stefan Oborski, autor książki *Przemysł chemiczny w Polsce w życiu Jerzego Paprockiego*, w trakcie wpisu dedykacji (Foto: J.K.)

uczestniczyli członkowie najbliższej rodziny śp. Jerzego Paprockiego: córka Joanna Paprocka-Gajek i syn, wydawca książki Piotr Paprocki (wydawnictwo Cultura Animi). Prezes ZG SITPChem w swoim wystąpieniu powiedział: *Oto przed Państwem książka, która powstała za sprawą Jerzego Paprockiego, bo opisuje jego życie i dzieło, ale także dzięki temu, że Jerzy swoją pracą, postawą, ogromną wiedzą i nieustającym poszukiwaniem zyskał nasz podziw, przyjaźń i pozostał po sobie niedościgniony wzór prawości, rzetelności i kompetencji. Z wielką przyjemnością, dumą i satysfakcją zapraszam do lektury tego wyjątkowego dzieła, które tworzył przez większość swojego zawodowego życia Jerzy Paprocki.* Podczas spotkania wszyscy uczestnicy otrzymali wspomnianą książkę i mieli możliwość otrzymać od autora osobistą dedykację.

Źródło: Inf. SITPChem,  
11 listopada 2022 r.

## Jubileusz 95-lecia SITPChem



Ostatniego dnia Walnego Zjazdu SITP-Chem, 20 października 2022 r. w reprezentacyjnej Sali warszawskiej siedziby Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT i Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego odbyła się uroczystość 95-lecia Stowarzyszenia. Na uroczystości obecni byli delegaci na XXXII WZ SITPChem oraz Członkowie Honorowi SITP-Chem i zaproszeni goście, a wśród nich m.in. prof. dr hab. Izabela Nowak, prezes PTChem, prof. dr hab. Robert Pietrzak, prodziekan ds. organizacyjnych Wydziału Chemii UAM (wiceprezes PTChem), prof. dr hab. inż. Stefan Góralczyk, wiceprezes FSNT-NOT, Pani Michalina Michniewicz, dyrektor Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego, Pan Grzegorz Kądziałowski wiceprezes Grupy Azoty SA, dr inż. Paweł Bielski, dyrektor Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Chemii Przemysłowej im. Profesora Ignacego Mościckiego, prof. dr hab. Marek Frankowicz z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Pani Elżbieta Gęca, dyrektor Prozap Sp. z o.o., st. bryg. dr inż. Paweł Janik, dyrektor Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowozarowej im. Józefa Tuliszkowskiego PIB w Józefowie, dr Marlena Maślanka, dyrektor Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, prof. dr hab. Piotr Młynarz, dziekan Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej, Pani Anna Rybacka-Dybcio, wiceprezes Wydawnictwa Sigma-NOT, prof. dr hab. inż. Władysław Wiczorek, dziekan Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej, dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz, redaktor naczelna czasopisma *Ochrona przed Korozją*, i dr hab. inż. Piotr Rusek reprezentujący dyrektora Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Nowych Syntez Chemicznych w Puławach. Z okazji Jubileuszu, SITP-Chem otrzymało liczne listy gratulacyjne od zaprzyjaźnionych organizacji i instytucji. Prezes Jerzy Klimczak podziękował za gratulacje i życzenia, które wpłynęły od: Polskiego Towarzystwa Chemicznego (prezes prof. dr hab. Izabela Nowak), Politechniki Poznańskiej (rektor prof. dr hab. inż. Teofil Jesionowski), Politechniki Śląskiej (dziekan Wydziału Chemicznego prof. dr hab. inż. Krzysztof Walczak), Politechniki Krakowskiej (prorektor ds. nauki prof. dr hab. inż. Dariusz Bogdał), Politechni-

ki Wrocławskiej (dziekan Wydziału Chemicznego prof. dr hab. Piotr Młynarz), Politechniki Łódzkiej (dziekan Wydziału Chemicznego prof. dr hab. inż. Małgorzata I. Szykowska-Jóźwik), Wydawnictwa Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT (prezes Zarządu Magdalena Borek-Daruk i wiceprezes Zarządu Anna Rybacka-Dybcio), Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników (dyrektor dr inż. Marlena Maślanka), Sieci Badawczej Łukasiewicz – Instytutu Chemii Przemysłowej im. Profesora Ignacego Mościckiego (dyrektor dr inż. Paweł Bielski), Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego (prezes dr inż. Tomasz Zieliński) oraz Stowarzyszenia Elektryków Polskich (prezes Zarządu Głównego Sławomir Cieślak). Prezes Zarządu SITPChem w sposób szczególny podziękował za współpracę i list gratulacyjny od Ministra Edukacji i Nauki prof. dr hab. Przemysława Czarnka, który napisał: *Szanowny Panie Prezesie, Szanowni Państwo, proszę przyjąć moje serdeczne gratulacje z okazji 95-lecia Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. Taki jubileusz to szczególna okazja zarówno do refleksji o początkach działalności, podsumowania dotychczasowych osiągnięć, jak i do rozważań o przyszłości jednostki. W tak ważnym dla Państwa dniu trudno nie podkreślić roli, jaką od początku swego istnienia Stowa-*

*rzyszenie odgrywa w rozwoju przemysłu chemicznego i ochronie środowiska. Niezwykle doceniam Państwa działalność, która oprócz reprezentowania interesów zrzeszonych w nim wysokiej klasy specjalistów, obejmuje także propagowanie wiedzy inżynierskiej oraz patriotyzmu gospodarczego. Stowarzyszenie może się poszczycić wszechstronną działalnością szkoleniową, edukacyjną, informacyjną, konsultacyjną, jak również wydawniczą. Nie sposób przecenić niezwykle aktywnej działalności Stowarzyszenia jako instytucji doradczej na rzecz przedsiębiorstw, instytucji i innych podmiotów, a także osób fizycznych. Słowa szczególnego uznania należą się Państwu za podejmowanie inicjatyw na rzecz rozwoju nauki oraz wszelakie działania innowacyjno-wdrożeniowe. Doceniam konsekwentne wspieranie systemów edukacji i oświaty, a także upowszechnianie wiedzy i kultury technicznej. Dziękuję za zaangażowanie, wieloletnią pracę i wytrwałe realizowanie powierzonej Państwu misji. Pragnę raz jeszcze złożyć serdeczne gratulacje z okazji jubileuszu. Gratuluję wszystkim osobom, które mając znaczny wpływ na rozwój Stowarzyszenia, przyczynią się jednocześnie do wzmocnienia gospodarczego Polski. Życzę pomyślności w realizacji wyznaczonych celów.*

W wystąpieniach Gości, obok gratulacji dla Stowarzyszenia, dominowała troska



Ceremonia otwarcia Jubileuszu 95-lecia SITPChem, oddanie honorów sztandarowi Stowarzyszenia (Foto: SITPChem)



Podziękowanie na ręce prezes PTChem prof. Izabeli Nowak za ścisłą współpracę pomiędzy SITPChem i PTChem (Foto: SITPChem)



Podziękowanie dla Anny Czumak-Bienieckiej, przewodniczącej XXXII WZ SITPChem, za prowadzenie miesięcznika *Chemik* jako redaktor naczelnej przez 21 lat (Foto: SITPChem)



Wiceprezes Grupy Azoty SA dr inż. Grzegorz Kądzielawski podczas wręczenia prezesowi ZG SITPChem Jerzemu Klimczakowi statuetki okolicznościowej z popiersiem inż. Eugeniusza Kwiatkowskiego (jednego z dwóch pierwszych członków honorowych SITPChem, obok prof. Ignacego Mościckiego) z okazji Jubileuszu 95-lecia SITPChem (Foto: SITPChem)



Wręczenie medalu im. Feliksa Kucharzewskiego, (od lewej) Jerzy Klimczak, prezes SITPChem, Śmieszek-Glanc, zastępca redaktora naczelnego czasopisma *Ochrona przed Korozją*, i prof. Stefan Góralczyk, wiceprezes FSNT-NOT (Foto: SITPChem)



Widok na Salę reprezentacyjną podczas uroczystości 95-lecia SITPChem (Foto: SITPChem)

o wysokie kwalifikacje inżynierów i wspólne dla całego środowiska działania w interesie branży chemicznej. Były adresy gratulacyjne, prezenty, kwiaty, życzenia dobrych następnych lat pracy i wielu dokonań z korzyścią dla chemii i przemysłu chemicznego w Polsce.

Z okazji Jubileuszu 95-lecia SITPChem zasłużonym członkom Stowarzyszenia przyznano wyróżnienia: Medal FSNT-NOT im. Feliksa Kucharzewskiego otrzymała Pani Małgorzata Śmieszek-Glanc, zastępca redaktora naczelnego czasopisma *Ochrona przed Korozją*, Diamentową Odznakę FSNT-NOT odebrał Jerzy Klimczak, prezes ZG SITPChem, Złotą Honorową Odznakę NOT otrzymali: Ewelina Ortyl (O/Wrocław) i Roman Grycza (O/Poznań). Dekoracji dokonywał prof. Stefan Góralczyk, wiceprezes FSNT-NOT.

Jubileusz 95-lecia SITPChem jeszcze raz pokazał, jak wielu Przyjaciół ma Stowarzyszenie, a także jak sami Członkowie



Prof. Izabela Nowak, prezes PTChem, podczas wystąpienia jubileuszowego (Foto: SITPChem)



Stanisław Oczkowicz, sekretarz generalny SITPChem, wraz z Małgorzatą Curyło, wiceprezesem SITPChem O/Puławy, i prof. Izabelą Nowak, prezesem PTChem (Foto: SITPChem)



Koncert fortepianowy z okazji 95-lecia SITPChem (Foto: SITPChem)



Kolega Stefan Oborski, autor książki o Jerzym Paprockim, z pierwszym jej egzemplarzem (Foto: SITPChem)

SITPChem są dumni ze swojej organizacji. W sposób szczególny podczas uroczystości została podkreślona silna więź i współpraca z Polskim Towarzystwem Chemicznym. Prezes PTChem prof. Izabela Nowak wygłosiła referat jubileuszowy pt. „Akademicka chemia – efektywności badań naukowych, dydaktyki oraz działań ukierunkowanych na współpracę z przemysłem”. Uroczystość uświetnił koncert fortepianowy w wykonaniu znakomitego pianisty Roberta Maciejowskiego, laureata wielu konkursów pianistycznych o zasięgu ogólnopolskim oraz międzynarodowym.

Wszyscy goście biorący udział w jubileuszu otrzymali egzemplarz książki pt. *Przemysł chemiczny w Polsce w życiu Jerzego Paprockiego*, 820-stronicowego wydawnictwa autorstwa kol. Stefana Oborskiego z Toruńskiego Oddziału SITPChem, przyjaciela śp. Jerzego Paprockiego. W książce znalazły się także biogramy chemików polskich i europejskich, niezwykle życiorysy i dorobek wybitnych naukowców, a jednocześnie ludzi oddanych nauce, ludzi wielkiej pracy i odwagi, nieustająco ciekawych świata i zjawisk, napisane przez Jerzego Paprockiego dla miesięcznika *Chemicz* w latach 2009–2016.

Podkreślano, że wydawnictwo ukazało się w 5. rocznicę śmierci Jerzego Paprockiego i w roku Jubileuszu 95-lecia SITPChem. Książka jest dostępna w Wydawnictwie Cultura Animi (e-mail: [piotr@cultura.org.pl](mailto:piotr@cultura.org.pl), tel.: +48 503-073-808) oraz w Zarządzie Głównym SITPChem w Warszawie (e-mail: [sekretariat@sitpchem.org.pl](mailto:sekretariat@sitpchem.org.pl), tel.: (22) 826-78-96)

Źródło: Materiały i zdjęcia SITPChem  
Opracowali J.K. i A.S.

Informacje pierwotnie ukazały się na łamach *Przemysłu Chemicznego*



Robert PRZEKOP

Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań



Julia GŁOWACKA

Wydział Chemii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań



Agnieszka MARTYŁA

Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań

# Wykorzystanie ogniw paliwowych w gospodarce wodorowej

## The use of fuel cells in the hydrogen economy

DOI: 10.21303/2023.1.1

*Zastosowanie wodoru jako nośnika energii było rozpatrywane w literaturze naukowej i technicznej już w latach 60. XX w. Obecna sytuacja geopolityczna oraz zmiana wektorów w globalnej gospodarce energetycznej doprowadziła do sytuacji, w której potencjalna zmiana nośników energii staje się znacznie bardziej realna niż w ostatnich dekadach. Zrozumienie zależności występujących w gospodarce wodorowej wymaga znajomości nie tylko wielu pojęć z zakresu energetyki, inżynierii i technologii chemicznej, ale też powoduje konieczność zrozumienia relacji i zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami nowego systemu. W pracy przybliżono podstawowe relacje i zależności pomiędzy składowymi gospodarki wodorowej, wskazano przepływy i połączenia oraz zależności. W dalszej części przybliżono wybrany komponent wykonawczy (wykorzystujący wodór), jakim są ogniwa paliwowe. W kolejnych pracach zostaną przybliżone inne elementy tego złożonego systemu.*

**Słowa kluczowe:** wodór, transformacja energetyczna, ogniwa paliwowe, magazyny energii

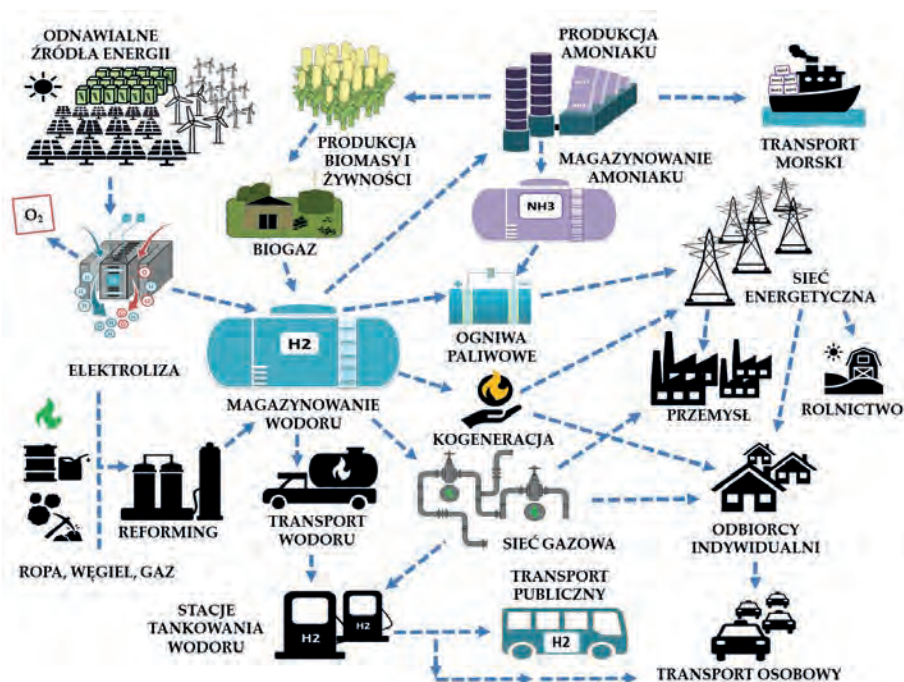
*The use of hydrogen as an energy carrier was considered in the scientific literature and technical literature as early as the 1960s. The current geopolitical situation and changing vectors in the global energy economy has led to a situation in which the potential change in energy carriers is becoming much more real than in recent decades. Understanding the interrelationships occurring in the hydrogen economy requires knowledge not only of many concepts in energy, engineering and chemical technology, but also makes it necessary to understand the relationships and dependencies between the various components of the new system. The paper introduces the basic relationships and dependencies between the components of the hydrogen economy, and identifies the flows and connections and dependencies. It goes on to introduce the selected executive component (using hydrogen), which is the fuel cell. Other components of this complex system will be approximated in subsequent work.*

Zastosowanie wodoru jako nośnika energii było rozpatrywane w literaturze naukowej i technicznej już w latach 70. ubiegłego wieku [1]. Jednak realne wdrożenie takiego sposobu magazynowania energii w skali większej niż pilotowa urzeczywistnia się dopiero w wyniku splotu czynników politycznych (przyjęcie określonych dyrektyw i założeń formalno-prawnych), czynników zewnętrznych, takich jak kryzys energetyczny wywołany konfliktem zbrojnym z udziałem największego dostawcy gazu ziemnego do Unii Europejskiej oraz czynnikami wynikającymi z przyjętych w obszarze Unii Europejskiej celów tzw. redukcji emisji CO<sub>2</sub>. Kolejne wdrażane regulacje prawne i dyrektywy zmierzające do ograniczenia emisji dwutlenku węgla prowadzą do stałego zmniejszania opłacalności technologii wykorzystujących kopalne źródła energii. Dzieje się tak w obszarze produkcji energii elektrycznej, transporcie czy produkcji energii cieplnej. Rozszerzenie tych reguł na kolejne obszary gospodarki powoduje nieuchronnie wymuszanie stosowania tzw. odnawialnych źródeł energii, opartych głównie na energii słonecznej (panele fotowoltaiczne), energetyce wiatrowej, wodnej czy biomasie. Pierwsze dwa źródła energii (słoneczna i wiatrowa) charakteryzują się zmiennością intensywności produkcji, zarówno w cyklu dziennie-nocnym jak i w zależności od pory roku. Rozbudowa instalacji fotowoltaicznych i elektrowni wiatrowych w nieuchronny sposób doprowadziła do niestabilności tradycyjnego systemu energetycznego. Jednym z rozwiązań zmierzających do bilansowania zarówno w cyklu dziennie-nocnym, jak i sezonowym jest rozbudowa systemów magazynów energii. O ile magazyny oparte na tradycyjnych systemach ogniw elektrochemicznych (tzw. baterie) są stosunkowo proste do wdrożenia, o tyle ich wielkoskalowe zastosowanie do magazynowania dużych ilości energii w skali gospodarki

(w szczególności do magazynowania sezonowego) jest niemożliwe z technicznego punktu widzenia (zbyt mała gęstość magazynowanej energii). Jedynym racjonalnym rozwiązaniem z punktu widzenia termodynamiki, strat energii oraz kosztów inwestycyjnych są chemiczne nośniki energii, takiej jak wodór, a w dalszej kolejności jego chemiczne pochodne, takie jak amoniak, metanol czy paliwa syntetyczne. Równoczesne wykorzystanie wodoru jako nośnika i magazynu energii może w przyszłości prowadzić do związania znacznych ilości CO<sub>2</sub> w postaci alkoholi i/lub węglowodorów. Dodatkowo, wodór jest istotnym substratem w produkcji kluczowego dla bezpieczeństwa żywnościowego związku chemicznego – amoniaku. Mając na uwadze powyższe czynniki możemy zrozumieć, jak istotny dla transformacji energetycznej jest ten pierwiastek.

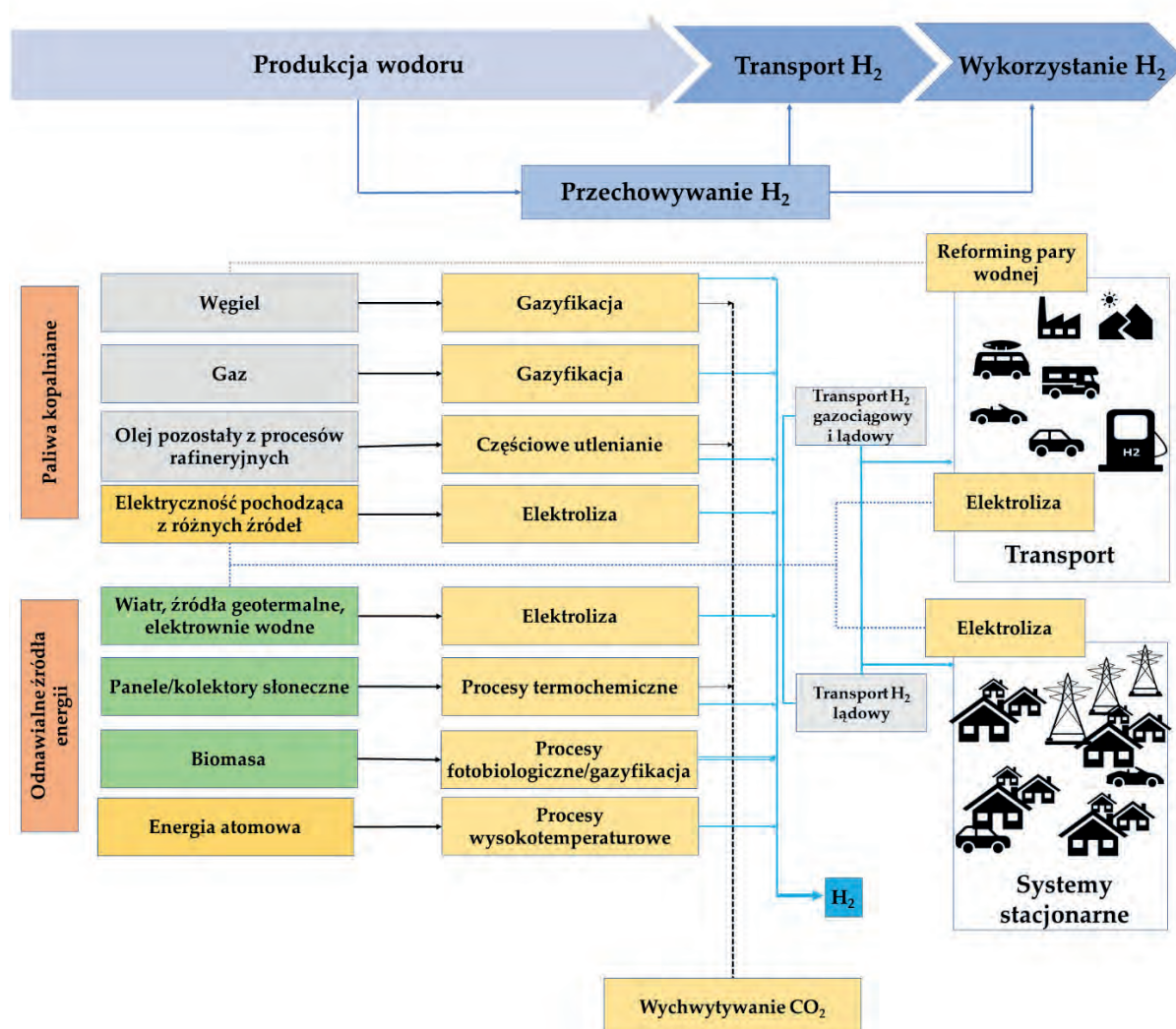
### Opis

Przepisy Unii Europejskiej, w tym plan aktów prawnych Fit for 55 nakładają na wszystkie kraje unijne nowy cel redukcji emisji gazów cieplarnianych w 2030 [2]. Działania mające na celu zarówno ochronę zasobów, jak i ograniczenie emisji dwutlenku węgla opierają się na trwającej już transformacji energetycznej, w której paliwa kopalne zastępowane są przez odnawialne źródła energii oraz paliwa alternatywne. Wśród istniejących odnawialnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna, czy energia wiatru, które są zależne od pogody, i paliw alternatywnych, takich jak biopaliwa, paliwa syntetyczne itd., to właśnie wodór został uznany za atrakcyjne źródło energii o dużym potencjale, który może stanowić podstawę do zmniejszenia zależności od – często importowanych – nieodnawialnych źródeł

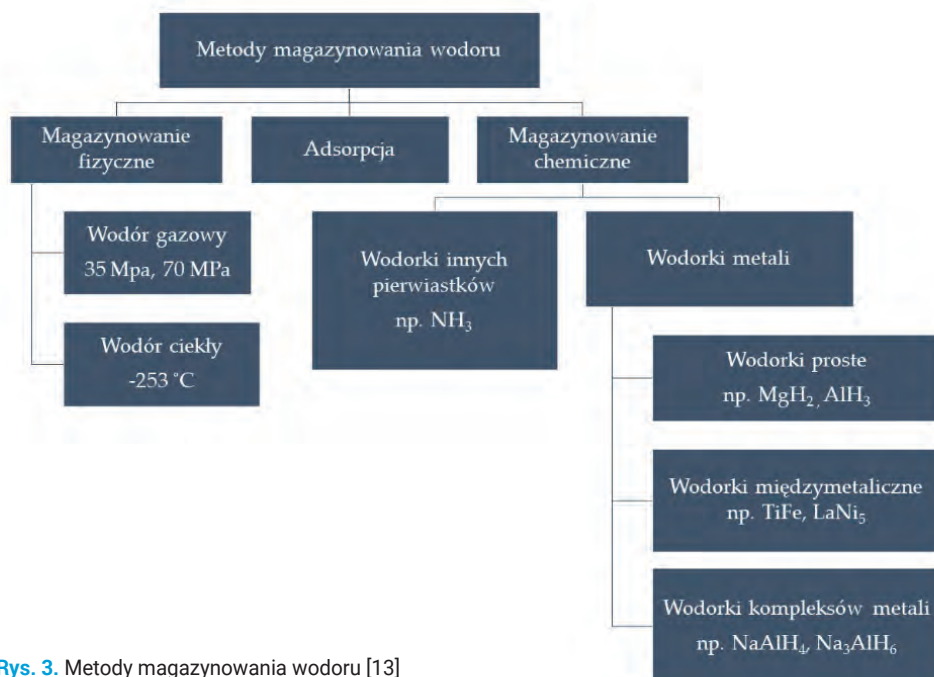


Rys. 1. Gospodarka wodorowa

energii. Udział odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym wzrósł znacząco w ostatniej dekadzie i stały się one jednymi z głównych źródeł energii elektrycznej w krajach takich jak Niemcy, Dania i Hiszpania [3]. W innych krajach europejskich takich jak np. Polska elektrownie w listopadzie 2022 r. wyprodukowały 15165,6 GWh energii elektrycznej, z tego 2301,6 GWh (15,1 %) pochodziło z odnawialnych źródeł energii [4]. Jednakże odnawialne źródła energii są zależne od warunków atmosferycznych (światło słoneczne oraz prędkość i kierunki wiatru) i mogą powodować fluktuacje w dostawach energii, stąd ciągle poszukiwania alternatywy. Jako atrakcyjne źródło energii został uznany wodór, który ma ogromny potencjał. Dzięki temu, że może on stanowić nośnik energii, paliwo, a także magazyn energii [5] jest niekwestionowanym kandydatem do odegrania kluczowej roli w rozwoju nowego systemu energetycznego.



Rys. 2. Metody otrzymywania wodoru [11]



Rys. 3. Metody magazynowania wodoru [13]

Wodór to najczęściej występujący pierwiastek we wszechświecie. Posiada on najwyższą grawimetryczną gęstość energii wśród wszystkich paliw niejądrowych (tj.  $120 \text{ MJ kg}^{-1}$  w porównaniu do ropy naftowej ( $47 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) i jest najlżejszym pierwiastkiem we wszechświecie [6]. Ze względu na swoje właściwości, wodór jest uważany za opłacalne paliwo alternatywne, które może zasilać bezemisyjne ogniwa paliwowe m.in. do pojazdów elektrycznych. Rozwiązałoby to nie tylko problem emisji gazów cieplarnianych przez pojazdy, ale także problem wyczerpujących się zasobów ropy naftowej. Poza tym, wodorowe ogniwa paliwowe w połączeniu z silnikami elektrycznymi są 2-3 razy bardziej wydajne w porównaniu z silnikami spalinowymi [7]. Jednakże wdrożenie go na szeroką skalę stawia wyzwania technologiczne, do których między innymi należy przyjazna dla środowiska produkcja, wydajna dystrybucja i magazynowanie oraz wykorzystanie [6].

Otrzymywanie wodoru może odbywać się kilkoma metodami. Do głównych technik pozyskiwania wodoru należy rozkład paliw kopalnych (tj. gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel), biomasy za pomocą procesów chemicznych, termochemicznych i biologicznych. Inną opcją jest dysocjacja wody na wodór i tlen poprzez wykorzystanie energii elektrycznej lub ciepłej pochodzącej z energii jądrowej lub źródeł odnawialnych (wiatru, słońca) [8]. Do niekonwencjonalnych metod otrzymywania wodoru należą techniki plazmowe, a wśród nich plazmowa elektroliza roztworu [9] i plazmowe metody otrzymywania katalizatorów reformingu [10]. Zestawienie metod otrzymywania wodoru przedstawiono na rysunku 2.

Jednym z kluczowych elementów zastosowania wodoru jest jego magazynowanie. Zasilanie pojazdu napędzanego ogniwem paliwowym do pokonania dystansu 500 km, wymaga magazynowania 5 kg wodoru w temperaturze 298 K i pod ciśnieniem 0,1 MPa [6]. Stosuje się różne sposoby klasyfikowania metod magazynowania wodoru. Te, które wynikają z charakteru oddziaływania pomiędzy wodorem a zbiornikiem lub materiałem magazynującym przedstawiono na rysunku 3 [12].

Takie ujęcie magazynowania wodoru wprowadza podział metod przechowywania wodoru na trzy główne grupy: (1) wodór może być przechowywany jako gaz lub ciecz w czystej, molekularnej postaci bez

znaczących wiązań fizyczno-chemicznych z innymi materiałami; (2) wodór cząsteczkowy może być adsorbowany na lub w materiale, utrzymywany przez stosunkowo słabe wiązania van der Waalsa; (3) wodór atomowy może być związany chemicznie (zaabsorbowany). Ponadto, użyteczne jest podzielenie technologii składowania opartej na wiązaniu chemicznym na dwie podkategorie: wodorki metali i wodorki chemiczne. Podział ten ma sens z uwagi na zasadniczo różne właściwości magazynowania wodoru przez te materiały. W wodorkach metali wodór może być bezpośrednio związany z atomem metalu (wodorki metali i wodorki międzymetaliczne) lub być częścią jakiegoś złożonego jonu, który jest związany z atomem metalu. Wodorki chemiczne składają się wyłącznie z pierwiastków niemetalicznych, na ogół pewnej kombinacji węgla, azotu, boru, tlenu i wodoru.

## Wykorzystanie wodoru do bezpośredniego otrzymywania energii elektrycznej - ogniwa paliwowe

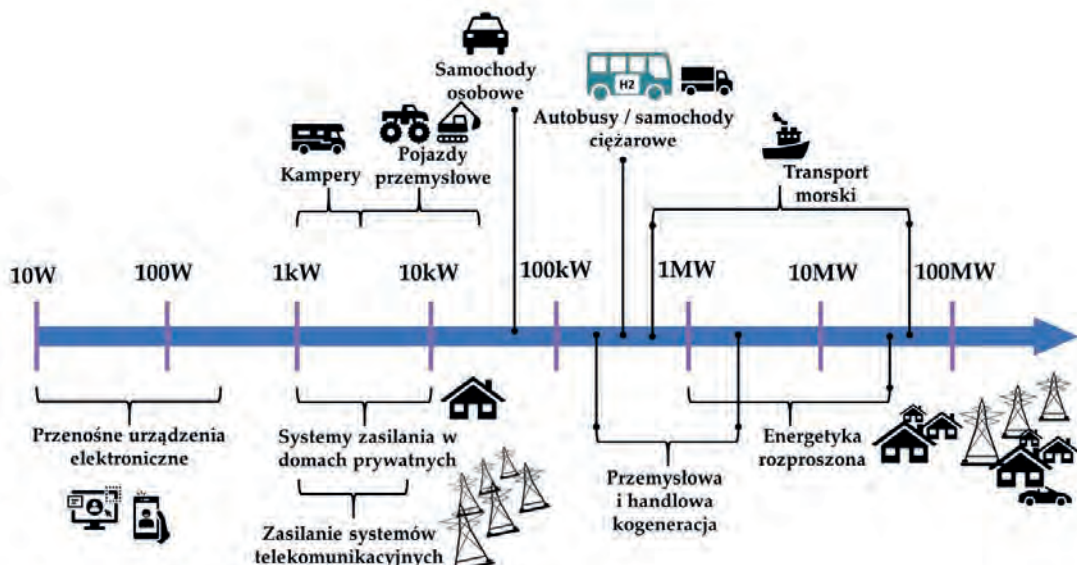
Wodór może być również stosowany do wytwarzania energii elektrycznej i obejmuje to zarówno zasilanie pojazdów w postaci ogniw paliwowych, jak i zasilanie produkcji rozproszonej. Pozwala to na wprowadzenie energii odnawialnej do lokalnego sektora transportu wodorowego, co przynosi znaczne korzyści w zakresie bezpieczeństwa energetycznego i ekonomicznego. Magazynowanie wodoru jest więc kluczowym elementem magazynowania energii [7]. Na rysunku 4 przedstawiono możliwości wykorzystania wodoru, jako nośnika energii w zależności od mocy.

Ogniwa paliwowe to urządzenia elektrochemiczne służące do przekształcania energii chemicznej w energię elektryczną. Oferują one wyższą sprawność elektryczną w porównaniu z konwencjonalnymi systemami wytwarzania energii elektrycznej, takimi jak np. silnik tłokowy (35 %), generator turbinowy (30–40 %), fotowoltaika (62 %) i turbiny wiatrowe (25 %). Ogniwa paliwowe produkują więcej energii elektrycznej z tej samej ilości paliwa wolnej od zanieczyszczeń. Bezgłośna praca i modułowa konstrukcja to dodatkowe cechy, które umożliwiają zastosowanie ogniw paliwowych w małych budynkach mieszkalnych, samochodach, przenośnych urządzeniach elektronicznych, a także do wytwarzania energii elektrycznej poza siecią w odległych miejscach, na morzu i w przestrzeni kosmicznej [14–15].

Ogniwa paliwowe mogą mieć wiele zastosowań, należą do nich m.in. obszary, w których wymagana jest niezawodność zasilania, minimalizacja lub eliminacja emisji spalin i gazów lub tam, gdzie występuje ograniczony dostęp do sieci energetycznej. Wobec takich wymagań, ogniwa paliwowe znajdują zastosowanie w następujących sferach:

- obiekty komputerowe, centrale telefoniczne, obiekty komunikacyjne, centra przetwarzania danych, zakłady produkcyjne wykorzystujące zaawansowane technologie.
- samochody, autobusy, obszary miejskie, obiekty przemysłowe, lotniska, strefy o surowych normach emisji.





Rys. 4. Zakres zastosowań wodoru jako nośnika energii w zależności od mocy [11]

■ obszary wiejskie lub odległe, maksymalna przepustowość sieci. Na tych terenach dostępne są biologiczne gazy odpadowe: zakłady przetwarzania odpadów, w których ogniwa paliwowe mogą przekształcać gazy odpadowe w energię elektryczną i ciepło przy minimalnej ingerencji w środowisko [16].

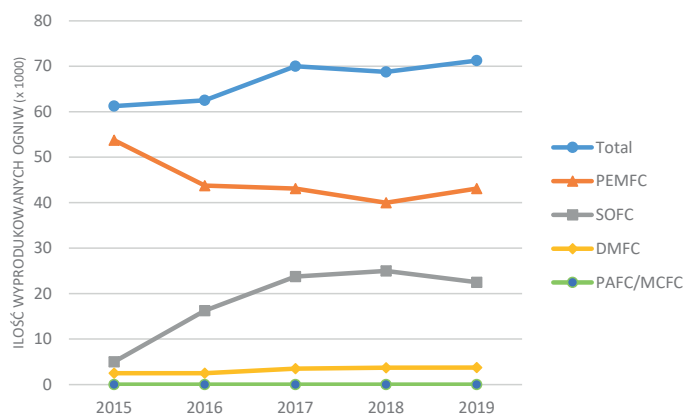
Ogniwo paliwowe wytwarza energię elektryczną i ciepło poprzez elektrochemiczne połączenie paliwa, którym jest wodór z gazem utleniającym, którym jest tlen z powietrza, przez elektrody i elektrolit przewodzący jony. Podczas tego procesu powstaje woda. Ogniwo paliwowe nie wyczerpuje się, nie wymaga ładowania, w przeciwieństwie do akumulatora będzie produkować energię tak długo, jak długo będzie dostarczane paliwo [16].

Podział ogniw paliwowych wynika najczęściej z temperatury ich pracy oraz rodzaju zastosowanego elektrolitu. Istnieje kilka rodzajów technologii ogniw paliwowych, opracowywanych dla różnych zastosowań, co podsumowano w tabeli 1.

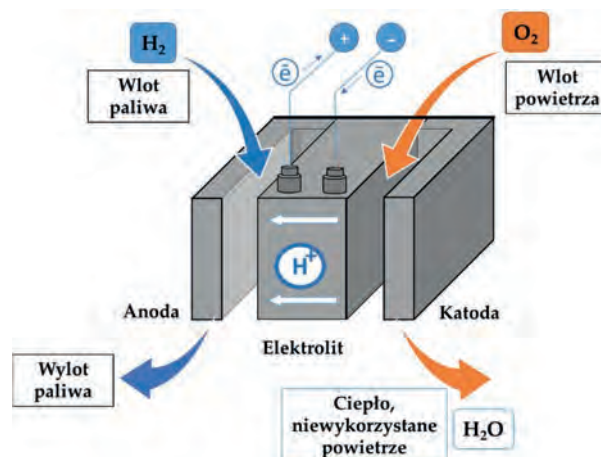
Tab. 1. Podział ogniw paliwowych

Rodzaj ogniwa	Elektrolit	Temperatura pracy, °C	Paliwo
AFC – Alkaline Fuel Cell	KOH	50-200	Wodór, hydrazyna
DMFC – Direct Methanol Fuel Cell	Polimer	60-200	Metanol
PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	160-210	Wodór z węglowodorów i alkoholu
SAFC Sulphuric Acid Fuel Cell	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80-90	Alkohol lub wodór
PEMFC Proton – Exchange Membrane Fuel Cell	Polimer	50-80	Wodór z węglowodorów lub metanol
MCFC Molten Carbonate Fuel Cell	Stopione sole tj. węglany, azotany, siarczany	630-650	Wodór, tlenek węgla, gaz ziemny, propan, ropa
SOFC Solid Oxide Fuel Cell	Stabilizowany tlenek cyrkonu, domieszkowane perowskity	600-1000	Gaz ziemny, propan

Śród ogniw wymienionych w tabeli 1, PEMFC jest najbardziej atrakcyjnym ogniwem paliwowym. W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój tego układu. Mocnymi stronami tego ogniwa są: lekkość, wysoka sprawność (>60%), niska temperatura pracy (80°C), brak emisji zanieczyszczeń, zerowa emisja gazów cieplarnianych (CO lub CO<sub>2</sub>) i woda, jako produkt uboczny reakcji. Według danych [17] produkcja tego typu ogniw jest wiodąca na rynku (rysunek 5).



Rys. 5. Wielkość produkcji ogniw paliwowych według typów [17]

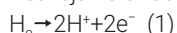


Rys. 6. Budowa ogniwa PEMFC

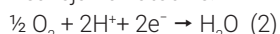
Ogniwo paliwowe PEMFC, z jonowymienną membraną polimerową, zbudowane jest z elektrod (katody i anody) oraz elektrolitu, w którym zanurzona jest półprzepuszczalna membrana. Elektrody z kolei tworzone są z nawęglonego papieru z dodatkiem platyny, która pełni rolę katalizatora. Membrana ma postać cienkiej warstwy polimeru, rozgraniczającej obydwie elektrody, jest nim najczęściej syntetyczny kopolimer tetrafluoroetenu i perfluorowanego eteru oligowinyloвого zakończony silnie kwasową resztą sulfonową, znany komercyjnie jako Nafion®. Membrana ta służy jako medium wymiany protonów pomiędzy anodą i katodą, jak pokazano na rysunku 6.

Mechanizm działania PEMFC polega na przekształcaniu gazowego wodoru i tlenu w wodę. Reakcje przebiegające w ogniwie paliwowym mają postać:

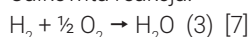
Reakcja na anodzie:



Reakcja na katodzie:



Całkowita reakcja:



Paliwem zasilającym ogniwo jest wodór, który – wprowadzany do porowatej anody – ulega jonizacji na protony oraz elektrony. Proces ładowania ogniwa paliwowego następuje podczas przenikania protonów przez półprzepuszczalną membranę (jest ona nieprzepuszczalna dla jonów tlenkowych oraz elektronów). Do katody ogniwa doprowadzany jest gazowy tlen, który przyłącza cztery elektrony, ładując się w ten sposób ujemnie. Następnie ujemnie naładowane jony tlenkowe reagują z dodatnimi jonami wodoru, w wyniku czego powstaje cząsteczka wody. Z kolei elektrony przepływają przez zewnętrzny obwód, tworząc prąd ogniwa.

Najważniejszą reakcją w PEMFC jest reakcja redukcji tlenu (ORR, z ang. oxygen reduction reaction), która silnie zależy od katalizatora platynowego. Jeżeli ładunek Pt zwiększa się, szybkość ORR wzrasta i daje większą moc. Jeśli natomiast ładunek Pt jest niski, wtedy moc maleje. Ze względu na fakt, że głównym składnikiem katalizatora jest platyna, jej koszt jest czynnikiem determinującym wejście na rynek ogniw paliwowych. Przeprowadzono wiele badań, które nadal trwają, aby zwiększyć szybkość reakcji ORR w ogniwie, stosując różne obciążenia katalizatora Pt lub poprzez modyfikację Pt innymi metalami, aby stworzyć stop lub zastąpić Pt innymi metalami [18].

## Zalety stosowania ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe mogą znacznie poprawić bezpieczeństwo energetyczne dzięki zwiększeniu ilości dostępnej na rynku energii elektrycznej. Nie jest konieczne stosowanie w nich ropy naftowej, co nie tylko wpłynie na zmniejszenie jej importu, ale przede wszystkim na ochronę jej zasobów.

Ogniwa paliwowe zasilane wodorem nie wymagają zastosowania określonej metody otrzymywania tego paliwa. Wodór może być pozyskiwany z różnych źródeł. Może to być gaz ziemny, metanol, woda. Ponieważ ogniwo paliwowe generuje energię w sposób ciągły, w przeciwieństwie np. do generatorów Diesla, jest niemal niezawodnym źródłem energii. Moc jest dostępna przez 99,99 % czasu pracy. Wysoka sprawność ogniw paliwowych, które przetwarzają

50–70% dostępnego paliwa na energię elektryczną z odzyskiem ciepła, zmniejsza koszty paliwa oraz chroni zasoby naturalne [15].

Wysoka wydajność systemu ogniw paliwowych pozwoli na obniżenie rachunków za energię, jeżeli produkcja ogniw paliwowych będzie prowadzona na masową skalę.

Praca ogniw paliwowych jest 100-1000 razy czystsza w porównaniu z tradycyjnymi silnikami spalinowymi, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> nie są uwalniane do środowiska, co zmniejsza o około 20 000 kg ilość kwaśnych deszczy oraz innych zanieczyszczeń powodujących smog. Dzięki temu zmniejsza się emisja dwutlenku węgla o ponad dwa miliony kg rocznie [19-20].

## Podsumowanie

Mając na uwadze potencjał energetyczny i zerową emisję, wiodące gospodarki świata uznały wodór za paliwo przyszłości. Wytwarzanie energii elektrycznej w ogniwach paliwowych, zarówno stacjonarnych jak i mobilnych, są obiecującą technologią. Alternatywne napędy, tj. stosowane w pojazdach elektrycznych, są uzależnione od kosztownych akumulatorów litowych, co znacznie ogranicza zakres ich użytkowania. Produkcja wodoru z odnawialnych źródeł energii, jego magazynowanie i wykorzystanie w ogniwach paliwowych do wytwarzania energii elektrycznej może być jednym z rozwiązań problemów [21] transformacji energetycznej.

**Prof. UAM dr hab. Robert PRZEKOP** jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Politechnice Poznańskiej w 2020 roku. Specjalizuje się w chemii materiałowej, katalizie heterogenicznej, biopaliwach.

W latach 2008-2010 zajmował stanowisko Wicedyrektora ds. Innowacji i Rozwoju Technologicznego w BGW WPH Sp. z o.o. W latach 2012-2014 Technolog w Poznańskim Parku Naukowo-Technologicznym Fundacji UAM. Od 2011 roku Profesor w Centrum Zaawansowanych Technologii UAM.

Od 2010 roku jest recenzentem w programach Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, autor ponad 300 ekspertyz i ocen na zlecenie tej agencji, głównie w obszarze badań stosowanych w przedsiębiorstwach i jednostkach naukowych.

Od roku 2019 przewodniczący panelu nauki Wielkopolskiej Platformy Wodorowej. Od roku 2022 członek Rady Koordynacyjnej ds. Gospodarki Wodorowej przy Ministerstwie Klimatu, przewodniczący Panelu Nauki w Platformie Wodorowej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Członek Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego w Warszawie.

Laureat programu LIDER (NCBiR) na UAM. W latach 2018-2019 przygotował i brał udział w przygotowaniu szeregu wniosków projektowych, m.in. w ramach działania – RPWP.01.01.00 (WRPO) POIR.02.03.02 (PARP), POIR.01.01.01 (NCBiR) POIR.04.04.00 (FNP) oraz wniosku w programie OPUS (NCN). W latach 2014-2020 brał udział w pracach w zespole przygotowującym do fazy operacyjnej i w fazie operacyjnej projektu Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych Technologii.

Jest promotorem oraz promotorem pomocniczym w 7 przewodach doktorskich, był promotorem 20 prac licencjackich, inżynierskich i prac magisterskich. Jest autorem i współautorem 90. publikacji oraz 8. zgłoszeń patentowych. Jego zespół zrealizował w latach 2018-2021 ponad 200 prac badawczych i ekspertyz dla przemysłu (w tym największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju – PKN ORLEN, GRUPA AZOTY, CIECH).

e-mail: rprzekop@amu.edu.pl

**Mgr inż. Julia GŁOWACKA** – absolwentka kierunku Inżynieria Materiałowa na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej (2019). W 2019 roku nagrodzona Stypendium naukowym Marszałka Województwa Wielkopolskiego za wybitne osiągnięcia na polu naukowym w obrębie nauk technicznych. Aktywna działaczka SITPChem. Studentka studiów doktoranckich w Szkole Nauk Ścisłych UAM. Zainteresowania naukowe skupiają się w szczególności na rozwoju wiedzy o kompozytach polimerowych i gospodarce obiegu zamkniętego. Jest współautorką 5. publikacji oraz 1. monografii o zasięgu międzynarodowym.

e-mail: julia.glowacka@amu.edu.pl

Dr Agnieszka MARTYŁA jest absolwentką Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zawodowo związana z chemią materiałową, charakterystyką fizykochemiczną, katalizą, chemicznymi źródłami prądu. Zawodowo, w latach poprzednich IMN CLAiO w Poznaniu, obecnie pracuje w Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W trakcie swojej pracy zawodowej realizowała i kierowała pracami wykonywanymi w ramach projektów finansowanych przez NCN, NCBR, czy ze środków unijnych, a także pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i opracowaniami tematycznymi realizowanymi dla ministerstw oraz przemysłu, w tym dla największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju: Grupa Azoty, KGHM, PKN ORLEN poruszającymi problematykę materiałów stosowanych w chemicznych i alternatywnych źródłach prądu, a także oczyszczania roztworów produkcyjnych, otrzymywania nowych materiałów wielofunkcyjnych, opracowywania założeń produkcyjnych.

Jest autorem i współautorem szeregu publikacji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek SITPChem oraz Platformy Wodorowej przy Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego.

Zainteresowania naukowe: nośniki energii, wodór, materiały katalityczne, ogniwa paliwowe, fotowoltaika, paliwa alternatywne.

e-mail: agnieszka.martyla@amu.edu.pl

## LITERATURA

- [1] Bielański A., Perspektywy wykorzystania wodoru jako paliwa przyszłości. *Nauka Polska* 1970,11, 53.
- [2] <https://300gospodarka.pl/explainer/fit-for-55-co-to-jest>, 16-02-2023.
- [3] Zivar A., Kumar S., Foroozesh J., Underground hydrogen storage: A comprehensive review. *International Journal of Hydrogen Energy* 2021, 46, 23462.
- [4] <https://www.rynekelektryczny.pl/energia-elektryczna-ze-zrodel-odnawialnych>, 16-02-2023.
- [5] Seo S.K., Yun D.Y., Lee C.J., Design and optimization of a hydrogen supply chain using a centralized storage model. *Applied Energy* 2020, 262, 114452.
- [6] Ramirez-Vidal P., Canevesi R. L. S., Sdanghi G., Schaefer S., Maranzana G., Celzard A., Fierro V., A Step Forward in Understanding the Hydrogen Adsorption and Compression on Activated Carbons. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 12562.
- [7] Singla M. K., Nijhawan P., Singh A., Oberoi A. S., Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 2021, 28, 15607.
- [8] Scipioni A.: *Hydrogen Economy Supply Chain, Life Cycle Analysis and Energy Transition for Sustainability*. Elsevier Ltd. 2017.
- [9] Bepalko S., Mizeraczyk J., Overview of the Hydrogen Production by Plasma-Driven Solution Electrolysis *Energies* 2022, 15, 7508.
- [10] Chen H.L., Lee H.M., Chen S.H., Chao Y., Chang M.B., Review of plasma catalysis on hydrocarbon reforming for hydrogen production—Interaction, integration, and prospects, *Applied Catalysis B: Environmental* 2008, 85, 1–9.
- [11] Conte M.: *Hydrogen Economy*. Elsevier B.V. 2009.
- [12] Andersson J., Grönkvist S. Large-scale storage of hydrogen. *Int. Journal of Energy* 2019, 44, 11901.
- [13] Zhu J., Dai L., Yu Y., Cao J., Wang L. Direct electrochemical route from oxides to TiMn2 hydrogen storage alloy. *Chin J Chem Eng* 2015, 23(11),1865.
- [14] Mahapatra M. K., Singh P. *Fuel Cells: Energy Conversion Technology*, chapter 24, in *Future Energy, Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet* Elsevier 2014, 511-547.
- [15] EG&G Technical Services, Inc., *Fuel Cell Handbook*, Seventh ed., 2004.
- [16] Stambouli B.A., Traversa E. Fuel cells, an alternative to standard sources of Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2002, 6, 297–306.
- [17] E4tech Ltd., 2019, The fuel cell industry review 2019. [www.Afhyac.org/documents/publications/rapports/TheFuelCellIndustryReview2019.pdf](http://www.Afhyac.org/documents/publications/rapports/TheFuelCellIndustryReview2019.pdf).20-02-2023.
- [18] Lin R., Cai X., Zeng H., Yu Z. Stability of high-performance Pt based catalysts for oxygen reduction reactions. *Adv. Mat.* 2018, 30(17), 1705332.
- [19] Koppel T., Reynolds J. A fuel cell primer, Rev 6. 2001.
- [20] Data from The International Fuel Cells, A United technology Company. *Fuel Cells Review*. 2000.
- [21] Oberoi A.S. Reversible electrochemical storage of hydrogen in activated carbons from Victorian brown coal and other precursors. RMIT University Australia PhD thesis. 2015.

KUJAWY POMORZE

# KUJAWSKO-POMORSKIE FORUM INNOWACJI, NAUKI, BIZNESU I SAMORZĄDU

*Hotel Filmar, Toruń  
5-7 listopada 2023*



Kujawsko-Pomorskie Forum Innowacji, Nauki, Biznesu i Samorządu to wydarzenie o charakterze naukowo-technologicznym poświęcone nowym technologiom, innowacjom, wynalazkom i nowatorskim inwestycjom zmieniającym kraj i region w oparciu o inteligentne specjalizacje. Wiodącymi tematami dyskusji będą wyzwania innowatorów związane z transferem wiedzy z sektora nauki do biznesu oraz z pomysłami wprowadzeniem na rynek nowych lub ulepszonych produktów i usług.

Konferencja promuje regionalny potencjał naukowy, innowacyjny oraz współpracę biznesową w ramach wszelkich sektorów istotnych z punktu widzenia rozwoju województwa, kraju i świata.

W ramach przedsięwzięcia przewidziano panele dyskusyjne, spotkania dedykowane kluczowym dla rozwoju regionu i kraju specjalistom, a także spotkania i wydarzenia promujące współpracę między nauką a biznesem z uwzględnieniem wsparcia administracji samorządowej.

Zarejestruj się na stronie: [www.rfi.biz.pl](http://www.rfi.biz.pl)

**Robert E. PRZEKOP**

Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza,

**Adam STOLARZ**

Fundacja Partnerstwa Technologicznego, Technology Partners

**Daria PAKUŁA,**

Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii

**Adam ŻUREK**

Niezależny ekspert

**Agnieszka MARTYŁA**

Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza

# Bezpieczeństwo surowcowe Unii Europejskiej w kontekście wyzwań dekarbonizacyjnych i gospodarki wodorowej

Raw material security of the European Union in the context of the decarbonisation challenge and the hydrogen economy

DOI: 10.21303/2023.1.2

*Dekarbonizacja gospodarki wymaga fundamentalnych zmian w sposobie, w jaki społeczeństwo dostarcza, transportuje i zużywa energię. Odejście od stosowania paliw kopalnianych, nie może być procesem, który ma pozbawić ludzkość paliw, energii czy obniżyć jakość życia, ale przebiegać w sposób planowany, zrównoważony oraz bezpieczny. Należy zdać sobie sprawę z faktu, że taka transformacja wymagać będzie znacznego zwiększenia mocy produkcyjnych czy wydobycia w obszarach, które do tej pory nie były kluczowe. Nowe technologie wytwarzania i przesyłu energii oraz rozwój tych już dojrzałych zwiększy zapotrzebowanie na szereg surowców określanych obecnie jako krytyczne. Dlatego też należy zwrócić uwagę na te elementy, które będą decydowały o bezpieczeństwie i niezależności, zarówno w ujęciu krajowym, jak i europejskim.*

*Słowa kluczowe: dekarbonizacja, źródła energii, gospodarka wodorowa, surowce krytyczne, pierwiastki krytyczne*

*Decarbonising the economic system requires fundamental changes in the way societies supply, transport and consume energy. The transition away from fossil fuels must not be a process that deprives humanity of fuel, energy or diminishes quality of life, but one that is planned, sustainable and safe. However, it is important to realise that such a transition will require a significant increase in production capacity or extraction in areas that have not previously been crucial. New energy generation and transmission technologies and the development of already mature ones will increase the demand for a number of raw materials currently identified as critical. Attention therefore needs to be paid to those elements that will determine security and independence, both nationally and in Europe.*

## Wstęp

Unia Europejska (UE) dąży do tego, aby do 2050 roku stać się pierwszym obszarem gospodarczym neutralnym dla klimatu. Dla realizacji tego celu kluczowe znaczenie ma dekarbonizacja sektora energetycznego, ponieważ produkcja i wykorzystanie energii odpowiada za ponad 75% emisji gazów cieplarnianych w UE (EEA, 2021). Niemal trzy czwarte systemu energetycznego UE opiera się na paliwach kopalnych. Ograniczenie spalania ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla, aż do ich wyhamowania może spowodować zatrzymanie postępującej degradacji środowiska oraz zwiększyć niezależność energetyczną. Z drugiej strony, społeczeństwa nadal potrzebować będą usług opartych na energii, takich jak transport, ogrzewanie, chłodzenie, oświetlenie i produkcja. Istnieje szereg alternatywnych opcji technologicznych i nośników energii, które mogą zastąpić paliwa kopalne. Należy do nich m.in. energia słoneczna, energia wiatrowa, elektrownie wodne, energia geotermalna, paliwa syntetyczne, elektrownie jądrowe, wodór, amoniak [1]. Przeprowadzenie transformacji



energetycznej jest kosztownym procesem, zarówno społecznie, jak i gospodarczo. Wymaga nie tylko zmian w świadomości społecznej, ale i wielu surowców, metali, które przy wykorzystaniu paliw kopalnianych nie brały udziału [2]. Co więcej, spora ich część nie występuje powszechnie i ich wydobyciu towarzyszą skomplikowane procesy

technologiczne. Lokalizacja złóż w miejscach w trudnej sytuacji geopolitycznej powoduje ograniczony do nich dostęp.

Fundamentalnym interesem każdego państwa jest bezpieczeństwo. Bezpieczeństwo w wymiarze biologicznym, ekonomicznym, terytorialnym. Pozwala ono zapewnić ogólno–cywilizacyjny rozwój, a także utrzymać i utrwalić suwerenność polityczną. Bezpieczeństwo nie jest stanem, lecz procesem którego zmienność i dynamika wynikają z dynamicznego, ciągle się zmieniającego charakteru ludzkiej aktywności we wszelkich jej sferach. Potwierdzają to opinie ekspertów m.in. R. Zięby, że jest to „... pewność istnienia, przetrwania i posiadania oraz funkcjonowania i rozwoju podmiotu. Pewność jest wynikiem nie tylko braku zagrożeń, ale także powstaje wskutek kreatywnej działalności danego podmiotu i jest zmienna w czasie, czyli ma naturę procesu społecznego” [3].

Bezpieczeństwo nie ma już dawno wymiaru jedynie militarnego czy generalnie siłowego. W początku lat 80. Kanadyjczyk Barry Buzan opublikował wpływową książkę „People, States and Fear” w której dowodził, że bezpieczeństwo w ujęciu międzynarodowym powinno być podstawowym przedmiotem badań stosunków międzynarodowych badanym bardziej kompleksowo. Wyróżnił on pięć wymiarów bezpieczeństwa: wojskowy, polityczny, ekonomiczny, społeczny, środowiskowy. Po zakończeniu zimnej wojny, Buzan rozwinął swoją koncepcję, wskazując na rosnącą rolę kwestii pozamilitarnych [4]. Bezpieczeństwo surowcowe będące głównym wątkiem niniejszego artykułu należy rozpatrywać w wymiarze ekonomicznym i środowiskowym, których to najbardziej dotyczy. W takim ujęciu jego definicja sformułowana została w pracy doktorskiej M.R. Grzywacza, że jest to proces o charakterze ciągłym, polegający na eliminacji przez organy państwa ryzyka wystąpienia niedoborów w bieżących i przyszłych dostawach strategicznych surowców mineralnych - energetycznych i nieenergetycznych – poprzez odpowiednie stosowanie instrumentów prawnych, ekonomicznych oraz społecznych, przeciwdziałających potencjalnym i realnym zagrożeniom w funkcjonowaniu gospodarki państwa, dbając jednocześnie o stan środowiska naturalnego [5].

W tym kontekście, w obecnej sytuacji geopolitycznej oraz gwałtownym wzroście zapotrzebowania, surowce krytyczne nabierają znaczenia dla strategicznego bezpieczeństwa Polski i Europy.

## Surowce krytyczne.

Termin materiały krytyczne (ang. CRM – Critical Raw Materials) odnosi się do materiałów, w tym metali, które są istotne dla gospodarki i przemysłu, ale jednocześnie charakteryzują się wysokim ryzykiem dostępności lub dostępnością w ograniczonych ilościach, która wynika z różnych czynników, takich jak koncentracja produkcji w jednym lub kilku krajach, trudności w wydobyciu lub przetworzeniu, polityczne ryzyko, lub wzrastające zapotrzebowanie. Niedobór tych metali może wpłynąć na różne sektory gospodarki, w tym na produkcję sprzętu elektronicznego, samochodów elektrycznych, energii odnawialnej i wielu innych [6]. Dlatego wiele krajów i organizacji stara się zdywersyfikować dostawę tych surowców i zamykać obieg materiałowy przez recykling oraz alternatywne technologie, aby zminimalizować ryzyko związane z ich niedoborem. Metale krytyczne są kluczowe w wielu gałęziach gospodarki i przemysłu, w tym przemysłu obronnego [7], lotniczego [8], elektroniki (produkcja sprzętu) [9], motoryzacji i energii odnawialnej [2,10]. W przemyśle obronnym używane do produkcji zaawansowanych technologii wojskowych, takich jak systemy rakietowe, radary czy elektronika do uzbrojenia. Niektóre metale krytyczne, takie jak berylowce, są używane w przemyśle lotniczym i kosmicznym w produkcji części ze względu na swoje właściwości mechaniczne,

termiczne i elektryczne. Mogą być wykorzystywane także do produkcji zaawansowanych materiałów, takich jak cienkowarstwowe magnesy i materiały nadprzewodzące. Kolejną dziedziną, gdzie znajdują zastosowanie jest medycyna (w obrazowaniu medycznym np. rezonans magnetycznym) [11]. Dużą rolę odgrywają także w energetyce odnawialnej, gdzie używane są w produkcji urządzeń takich jak turbiny wiatrowe, panele słoneczne i baterie litowo-jonowe.

Metale krytyczne są istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa gospodarki z kilku kluczowych powodów. Brak dostępu do tych metali może zakłócić produkcję, dostępność produktów i technologii niezbędnych do funkcjonowania społeczeństwa i systemu [12]. Ze względu na wykorzystywanie surowców w zaawansowanych technologiach wojskowych, niedostępność surowców może wpłynąć na zdolność wojska do obrony terytorialnej. Koncentracja produkcji metali krytycznych w kilku krajach lub regionach może sprawić, że dostawy tych surowców staną się podatne na zakłócenia, takie jak konflikty, polityczne zmiany czy ograniczenia eksportowe. To może prowadzić do braków surowców, które są kluczowe dla bezpieczeństwa narodowego. Metale odegrają kluczową rolę w skutecznym budowaniu europejskich łańcuchów wartości czystych technologii. W następstwie zakłóceń w dostawach spowodowanych pandemią COVID-19 i agresją Rosji na Ukrainę, brak odporności Europy na rosnące zapotrzebowanie na metale stało się strategicznym problemem [13,14]. Brak dostępu do metali krytycznych może wpłynąć na stosunki międzynarodowe, prowadząc do konkurencji o dostęp do tych zasobów lub do prób kontrolowania ich źródeł przez państwa lub firmy. Wspieranie badań i innowacji w zakresie zastępowania lub recyklingu metali krytycznych może zmniejszyć zależność od ich importu i zwiększyć odporność gospodarki na zakłócenia dostaw.

## Surowce krytyczne, a energia odnawialna.

Metale krytyczne uznawane są za kluczowe w wielu technologiach związanych z energią odnawialną. Stanowią składnik m.in. turbin wiatrowych, paneli fotowoltaicznych, baterii litowo-jonowych (Tabela 1) [15]. Neodym, dysproz i inne rzadkie ziemie są niezbędne do produkcji magnesów neodymowo-żelaznych, które są wykorzystywane w generatorach wiatrowych [16]. Panele słoneczne, zwłaszcza te oparte na tellurku kadmu (CdTe), wykorzystują tellur jako składnik materiału półprzewodnikowego, który jest rzadkim metalem krytycznym [17]. Kobalt, nikiel i mangan, są powszechnie używane w elektrodach baterii litowo-jonowych, które stanowią podstawę przechowywania energii w pojazdach elektrycznych, magazynach energii i urządzeniach przenośnych. Baterie litowo-jonowe są coraz bardziej popularne w magazynowaniu energii z źródeł odnawialnych, takich jak fotowoltaika i elektrownie wiatrowe, umożliwiając przechowywanie energii na okresy bezwietrzne lub pochmurne.

**Tabela 1.** Pierwiastki wykorzystywane w alternatywnych dla paliw kopalnianych źródłach energii.

Technologia	Pierwiastki
Turbiny wiatrowe	Dysproz, neodym, prazeodym, terb, żelazo, aluminium, chrom, nikiel, miedź, mangan, molibden, cynk, bor
Panele fotowoltaiczne	Krzem, srebro, miedź, aluminium, kadm, gal, german, ind, tellur, bor, nikiel
Ogniwa litowo-jonowe	Lit, kobalt, mangan, aluminium, żelazo, fosfor, grafit, miedź
Elektrolizery	Żelazo, nikiel, chrom, aluminium, węgiel, miedź, metale ziem rzadkich, stront, kobalt, platynowce, fluor, cyrkon

Tabela 2. Zestawienie metali, wykorzystywanych w alternatywnych technologiach czystej energii [18].

	Energia słoneczna [1]	Energia wiatrowa [1]	Biomasa [1]	CSP [1]	Energia geotermalna [1]	Energia hydrotermalna [1]	Energetyka jądrowa	Sieci elektroenergetyczne	Magazyny energii (akumulatory)	Pojazdy Elektryczne	Wodór
Al [a]	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Cu [a]	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Zn [a]	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Si [a]	×								×	×	
Li [b]									×	×	
Ni [b]	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×
Co [b]			×						×	×	×
Dy [c]		×					×				
Nd [c]		×					×		×		
Pr [c]		×							×		
Ag	×			×			×				
Au	×										
B		×									
Cd	×						×		×		
Cr		×		×	×	×	×				×
Ga	×										
Ge	×										
In	×						×		×		
Ir											×
Mn		×		×	×	×	×		×		×
Mo	×	×		×	×	×	×		×		
Pb	×		×			×	×		×		
Pd									×		×
Pt											×
Sc											
Sn	×				×				×		
Tb		×									
Te	×										
V									×		

[1] – odnawialne źródła energii; [a] – metale nieszlachetne i krzem; [b] – surowce do produkcji baterii; [c] – metale ziem rzadkich

Tabela 3. Zapotrzebowanie metalu w 2050 r. dla technologii czystej energii w porównaniu z całkowitym zużyciem w 2020 r. [18].

metal	Li	Dy	Co	Te	Sc	Ni	Pr	Ga	Nd	Pt	Ir
% <sup>1</sup>	2109%	433%	403%	277%	204%	168%	110%	77%	66%	64%	63%
metal	Si	Tb	Cu	Al	Sn	Ge	Mo	Pb	In	Zn	Ag
% <sup>1</sup>	62%	62%	651%	43%	28%	24%	22%	22%	17%	14%	10%

1 – procent zapotrzebowania metalu w 2050 r. w porównaniu z ogólnym zużyciem w 2020 r.

Zgodnie z różnymi scenariuszami Międzynarodowej Agencji Energii dotyczącymi technologii czystej energii, światowa transformacja energetyczna będzie wymagać prawie dwukrotnie większej ilości metali do 2050 r. niż świat kontynuujący obecną politykę klimatyczną (dla porównania ~ 80 Mt wymaganej nowej podaży metali w porównaniu z dzisiejszym rocznym zużyciem stali na poziomie 1 855 Mt i węgla na poziomie 8 561 Mt). Transformacja energetyki w Europie będzie głównym nowym czynnikiem wzrostu na większości rynków metali nieszlachetnych i krzemu. Rozwi-

nięcie energii słonecznej i wiatrowej wymaga dużych ilości metali (krzem, tellur, selen i metale ziem rzadkich) stanowiących materiały do produkcji paneli fotowoltaicznych i turbin wiatrowych. Rozwój pojazdów elektrycznych i magazynów energii opartych na bateriach litowo-jonowych zwiększa zapotrzebowanie m.in. na lit, kobalt, nikiel i mangan. Szacuje się, że w przypadku samych tylko baterii na potrzeby samochodów elektrycznych i magazynowania energii Europa będzie potrzebowała do 2030 r. nawet 18 razy więcej litu, a do 2050 r. – 60 razy więcej.

## Surowce krytyczne oraz strategiczne dla gospodarki Unii Europejskiej.

Surowce strategiczne dla polskiej gospodarki dzielą się na dwie podgrupy. Surowce strategiczne o podstawowym znaczeniu dla prawidłowego funkcjonowania gospodarki i zaspokojenia potrzeb bytowych społeczeństwa to surowce których trwała podaż musi być zapewniona, zarówno takie, których krajowa baza zasobowa jest duża i które dzięki jej wykorzystaniu są podstawą działania przemysłu, jak i ważne surowce deficytowe. Natomiast surowce strategiczne o podstawowym znaczeniu dla bezpieczeństwa narodowego i innowacyjnych technologii nie są w sposób wystarczający (min. 90%) pozyskiwane ze źródeł krajowych lub których możliwości trwałego pozyskania z tych źródeł są ograniczone lub zagrożone, oraz inne surowce niepozyskiwane w kraju (deficytowe) niezbędne dla obronności kraju i bezpieczeństwa narodowego oraz rozwoju innowacyjnych technologii [19].

16 marca 2023 r. Komisja Europejska opublikowała projekt rozporządzenia dotyczący surowców krytycznych i strategicznych dla gospodarki Unii Europejskiej. W ramach dokumentu ukazała się również nowa, zaktualizowana lista surowców krytycznych (CRM – Critical Raw Materials). Znaczenie strategiczne określa się na podstawie istotności surowca dla zielonej transformacji, technologii cyfrowych, zastosowań obronnych i kosmicznych. Dokument ten ma stanowić asumpt do stymulowania produkcji CRM poprzez intensyfikację nowych działań związanych z wydobyciem i recyklingiem na terenie Unii Europejskiej. Ponadto umożliwi zwiększenie świadomości o potencjalnych zagrożeniach związanych z dostawami surowców, łańcuchów przepływu towarów i związanych z nimi możliwości wśród krajów UE, przedsiębiorstw i inwestorów. W tabeli 4 przedstawiono listę surowców krytycznych (CRM). Na liście nie odnotowano złota, srebra i diamentów.

**Tabela 4.** Lista surowców krytycznych (CRM).

Antymon	Fluoryt	Hel	Nikiel	Stront
Arsen	Fosforyty	Kobalt	Niob	Tantal
Boksyty/ Aluminium	Fosfor	Krzem metaliczny	PGE- platynowce	Tytan metaliczny
Baryt	Gal	Lit	REE ciężkie <sup>[1]</sup>	Wanad
Beryl	German	Magnez	REE lekkie <sup>[1]</sup>	Węgiel koksowy
Bizmut	Grafit	Mangan	Skalenie	Wolfram
Bor/Borany	Hafn	Miedź	Skand	

<sup>[1]</sup> REE – metale ziem rzadkich

Europejski akt dotyczący surowców krytycznych ma wzmocnić zdolności UE w zakresie surowców krytycznych na wszystkich etapach łańcucha wartości, dlatego został podzielony na filary. Pierwszy z nich obejmuje określenie priorytetów działania, w ramach których określono poziomy odniesienia dla krajowych zdolności produkcyjnych w ramach łańcucha dostaw strategicznych surowców. Poziomy te mają zostać osiągnięte do 2030 r. i wynoszą: 10 % – roczne zapotrzebowanie UE na wydobycie; 40 % – przetwarzanie i 15 % – recykling. Drugim celem jest wzmocnienie swojego łańcucha surowców od ich wydobycia przez rafinację, oraz finalnie na przetwarzaniu i recyklingu. Trzeci filar dotyczy poprawy odporności UE na zakłócenia w łańcuchu dostaw. Istotnym punktem jest inwestowanie w badania naukowe, innowacje, wdrażanie przełomowych technologii w zakresie surowców kry-

tycznych. Ostatni filar obejmuje promowanie recyklingu surowców oraz rozwój rynku wtórnego.

Przyszła gospodarka o zerowej emisji będzie zależeć od ogromnego wzrostu podaży i popytu na energię elektryczną, wzrastając z globalnej sumy ~28 000 TWh w 2022 roku do ponad ~100 000 TWh do 2050 roku. Będzie to wymagało masowego wdrożenia energii słonecznej i wiatrowej, znacznej rozbudowy sieci elektroenergetycznych oraz ogromnego wzrostu produkcji akumulatorów i pojazdów elektrycznych oraz elektrolizerów do produkcji zielonego wodoru.

### Rynek surowców metali krytycznych.

Analizując rynek surowcowy Europy i świata nie trudno zauważyć, że dużą częścią pierwiastków dysponują Chiny. Należą tu między innymi: gal, skand, krzem, mangan, dysproz. Chiny są jednym z największych producentów i eksporterów metali krytycznych na świecie i dostarczają 98 % unijnych dostaw pierwiastków ziem rzadkich (REE). Kraj ten posiada znaczne zasoby rzadkich ziem, w tym neodymu, dysprozu i prazeodymu. Dominująca rola Chin w produkcji tych metali ma wpływ na światowy rynek surowców metali krytycznych. Rosja jest ważnym producentem metali krytycznych, takich jak pallad, platyna i inne metale rzadkie. Rosyjskie zasoby surowców są znaczące, zwłaszcza w kontekście metali grupy platyny.

Główne obszary wydobycia manganu znajdują się w Chinach, Rosji, Indiach, Gabonie i Australii. Aluminium pochodzi w głównej mierze z Chin, Rosji, Indii, Kanady. Warto wiedzieć, że zdecydowanie największymi producentami srebra na świecie są: Meksyk (5,6 tys. ton w 2020 r.), Peru (3,4 tys. ton) i Chiny (3,2 tys. ton). Następne w kolejności kraje pozostają wyraźnie w tyle za tą trojką, choć warto odnotować, że wśród nich z wynikiem 1,3 tys. ton znajduje się Polska; jest to zasługą przede wszystkim spółki KGHM, która jest (stan na czerwiec 2021 r.) jednym z największych pod względem produkcji srebra przedsiębiorstw na świecie. Duże ilości srebra produkowane są też w Rosji, Chile, Boliwii, Australii czy USA. Metale ziem rzadkich to Chiny, Wietnam, Indie, Brazylia, Rosja i pozostałe części świata [20]. Złoża miedzi to Chile, Peru, Chiny. Światowe zasoby niklu szacowane są obecnie na prawie 350 mln ton. Australia, Indonezja, RPA, Rosja i Kanada stanowią ponad 50 % światowych zasobów niklu. Największymi producentami produktów z boru są Turcja (dostarcza 98 % boru do Europy) i Stany Zjednoczone. Około dwóch piątych rud i koncentratów chromitu na świecie produkuje się w RPA, około jednej trzeciej w Kazachstanie, Indie, Rosja i Turcja są również znaczącymi producentami. Grafit to Chiny, Indie, Brazylia. Warto zaznaczyć, że zależnie od zmian na rynku surowców, nowych odkryć i technologicznych innowacji, dominujące państwa w produkcji metali krytycznych mogą ulegać zmianom. Jednak Chiny pozostają jednym z głównych graczy, ze względu na ich znaczącą produkcję pierwiastków rzadkich ziem [21].

Oprócz kwestii związanych z popytem i podażą, istnieją również ważne względy ekonomiczne i społeczne związane z wydobyciem minerałów. W szczególności ryzyko geopolityczne związane z koncentracją zasobów mineralnych i rezerw w małej liczbie krajów oraz kwestie społeczne związane z kobaltem wydobyciem rzemieślniczym i na małą skalę. Lit, kobalt i nikiel występują głównie w niewielkiej liczbie krajów. Demokratyczna Republika Konga (DRK) jest na przykład największym producentem kobaltu, dostarczającym ponad 60 % światowego kobaltu, podczas gdy kluczowe ilości litu znajdują się w Chile, Australii i Argentynie. Taka koncentracja zasobów stwarza istotne ryzyko wokół łańcucha dostaw i bezpieczeństwa dostaw. Kwestie związane z łańcuchem dostaw i bezpieczeństwem, wydobyci-

cie kobaltu w DRK wiąże się z dodatkowymi obawami dotyczącymi kwestii społecznych i praw człowieka.

Szybki wzrost popytu może doprowadzić do niedoborów w następnej dekadzie, jeśli nie zostaną podjęte odpowiednie działania. Konieczna jest poprawa wydajności materiałowej, zwiększenie recyklingu lub zwiększenie wydobycia. Bez tych działań istnieje ryzyko, że wysokie ceny materiałów mogą opóźnić transformację energetyczną. Zdecydowane działania mające na celu przyspieszenie rozwoju technologii, poprawę wydajności materiałów i zwiększenie recyklingu mogłyby zmniejszyć łączny popyt do 2050 r. o 20-60 % w przypadku większości materiałów. Recykling będzie odgrywał kluczową rolę od 2040 r. i później, ponieważ zasoby wdrożonych technologii czystej energii mogą zacząć się kończyć

## Bezpieczeństwo surowcowe Unii Europejskiej w kontekście wyzwań dekarbonizacyjnych.

Dekarbonizacja w kontekście politycznym to działania zmierzające do ochrony środowiska poprzez ograniczenie, a w ostateczności eliminację emisji dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) do atmosfery [22]. Rada Europejska wyznaczyła UE cel, który zakłada zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do 2030 roku o co najmniej 55 % w porównaniu z poziomem z 1990 roku, a do 2050 roku osiągnięcie neutralności klimatycznej [23]. Zgodnie z europejskim prawem klimatycznym cele te są wiążące dla UE i jej państw członkowskich. Komisja Europejska 14 lipca 2021 r. opublikowała pakiet propozycji legislacyjnych (tzw. pakiet „Gotowi na 55”, ang: „Fit for 55%”). „Gotowi na 55” zawiera wnioski, które mają zapewnić realizację polityki klimatycznej Unii Europejskiej, a co za tym idzie umocnić pozycję Unii Europejskiej jako lidera na światowej scenie w walce ze zmianami klimatycznymi [24]. Pakiet ten obejmuje m.in. umocnienie systemu handlu emisjami, w tym w lotnictwie, i jego rozszerzenie na gospodarkę morską, transport drogowy i budynki, aktualizację dyrektyw dotyczących opodatkowania energii, użytkowania gruntów, leśnictwa, stworzenie nowego mechanizmu dostosowywania cen na granicach z uwzględnieniem emisji CO<sub>2</sub>, zaostrzenie norm emisji CO<sub>2</sub> w przypadku samochodów osobowych i dostawczych, a także stworzenie nowej infrastruktury na potrzeby paliw alternatywnych oraz zaktualizowanie dyrektywy w sprawie odnawialnych źródeł energii.

W odniesieniu do promowania energii pochodzącej z odnawialnych źródeł, zwiększono cel ogólnounijny z 32 % do osiągnięcia 40 % udziału energii z odnawialnych źródeł energetycznych (OZE) w całkowitym zużyciu energii do roku 2030. Ponadto, wprowadzono konkretne cele w sektorach, które są kluczowe dla transformacji energetycznej dotyczące m.in. osiągnięcia 49 % udziału OZE w ogrzewaniu i chłodzeniu budynków do 2030 r., zaostrzenia kryteriów zrównoważonego rozwoju i rozszerzenia ich na małe instalacje, wprowadzenia pojęcia „paliw odnawialnych pochodzenia nie-biologicznego” w transporcie i przemyśle.

Główne cele dekarbonizacji obejmują zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna, wiatrowa i hybrydowa, w produkcji energii elektrycznej, rozwijanie energii jądrowej, która nie wytwarza emisji CO<sub>2</sub> podczas produkcji energii elektrycznej, rozwijanie technologii magazynowania energii, aby móc skutecznie wykorzystywać energię z odnawialnych źródeł, gdy nie jest ona dostępna w sposób stały (np. słońce, wiatr), rozwijanie infrastruktury ładowania elektrycznych pojazdów, aby zastąpić pojazdy spalinowe, redukcja emisji przemysłowych.

Surowce krytyczne odgrywają fundamentalną rolę w procesie dekarbonizacji gospodarki i przemysłu, przede wszystkim dlatego,

że są wykorzystywane w licznych technologiach związanych z odnawialnymi źródłami energii (moduły fotowoltaiczne, akumulatory do magazynowania energii, turbiny wiatrowe oraz ogniwa paliwowe). Pełnią istotną rolę także w wytwarzaniu urządzeń i technologii, które poprawiają efektywność energetyczną (magnesy neodymowe wykorzystywane w silnikach elektrycznych). Te innowacje przyczyniają się do obniżenia zużycia energii, co jest kluczowe w kontekście działań dekarbonizacyjnych. Rozwój transportu elektrycznego, który jest jednym z filarów dekarbonizacji, wymaga surowców krytycznych, zarówno do produkcji baterii samochodowych, jak i do silników elektrycznych. Dodatkowo, efektywne magazynowanie energii, szczególnie ważne w przypadku niestabilnych źródeł energii odnawialnej, takich jak wiatr i energia słoneczna, opiera się na surowcach krytycznych wykorzystywanych do produkcji zaawansowanych baterii i systemów przechowywania energii.

## Bezpieczeństwo surowcowe Unii Europejskiej w kontekście gospodarki wodorowej.

Gospodarka wodorowa opiera się na produkcji, magazynowaniu i wykorzystywaniu wodoru jako nośnika energii, co wiąże się z pewnymi wyzwaniami związanymi ze źródłami surowców potrzebnych do tej produkcji [25]. Wodorowe technologie są kluczowe w kontekście dekarbonizacji, szczególnie w sektorach, które są trudne do elektryfikacji, takich jak przemysł ciężki i transport [26]. W lipcu 2020 r. Komisja Europejska zaproponowała strategię wodorową dla Europy neutralnej dla klimatu, mającą na celu przyspieszenie rozwoju czystego wodoru i zapewnienie jego roli jako podstawy dla neutralnego dla klimatu systemu energetycznego do 2050 roku.

Unia Europejska zmniejsza swoją zależność od rosyjskich paliw kopalnych i dąży do osiągnięcia celu neutralności klimatycznej do 2050 roku, czego odpowiedzią jest strategia RepowerEU przedstawiona przez Komisję Europejską w 2022 roku. Celem jest promowanie dostępnej cenowo, bezpiecznej i ekologicznej energii. Zgodnie z tym planem, Unia Europejska ma zamiar zwiększyć produkcję wodoru z odnawialnych źródeł energii do roku 2030 poprzez zwiększenie rocznej ilości wodoru z 10 megaton do 20 megaton rocznie, co jest wyższym celem niż ten, który był proponowany w strategii wodorowej z 2020 roku [27]. Obecnie wodór odgrywa niewielką rolę w ogólnym zaopatrzeniu w energię ze względu na liczne wyzwania związane z jego konkurencyjnością kosztową, skalą produkcji, potrzebną infrastrukturą i kwestiami bezpieczeństwa. Oczekuje się jednak, że w przyszłości wodór będzie odgrywał kluczową rolę jako czysty nośnik energii w sektorze transportu, ogrzewania, procesów przemysłowych oraz w magazynowaniu energii między-sezonowej.

Gospodarka wodorowa, mimo swojego potencjału jako czysty nośnik energii, jest uzależniona od surowców o kluczowym znaczeniu. Proces produkcji wodoru za pomocą elektrolizy, wymaga elektrolitów przewodzących jony, takich jak membrany polimerowe i katalizatory, które są często oparte na platynie lub innych rzadkich metalach. Jako katalizatory w elektrolizerach wykorzystuje się m.in. Pt, Ir, Ru, natomiast jako składniki niektórych materiałów do magazynowania wodoru wykorzystywane są takie pierwiastki jak Ce, Ti, Al. Rozwój infrastruktury wodorowej i produkcja zielonego wodoru wymagają dostępu do zasobów surowcowych, w których kluczową rolę stanowią metale stosowane do produkcji komponentów technologii. Wodorowy system energetyczny wymaga efektywnych i bezpiecznych systemów dystrybucji i magazynowania, co może również wymagać specjalistycznych surowców i technologii. Podsumowując, rozwijanie gospodarki wodorowej jako elementu



dekarbonizacji będzie miało duży wpływ na bezpieczeństwo surowcowe UE. Wdrożenie tej technologii musi uwzględniać zarówno dostęp do surowców, zrównoważone praktyki wydobycia, produkcji, jak i recyklingu, aby zapewnić, że przyszłość energetyczna UE będzie ekologiczna i stabilna.

## Podsumowanie

Europa ma szansę położyć podwaliny pod wyższy poziom strategicznej autonomii i zrównoważonego rozwoju dla swoich metali strategicznych poprzez zoptymalizowany recykling, inwestycje w krajowy łańcuch wartości i bardziej aktywne globalne zaopatrzenie. Konieczne jest jednak szybkie podjęcie zdecydowanych działań w celu uniknięcia wąskich gardeł w przypadku wielu materiałów, których globalny niedobór może wystąpić pod koniec tej dekady. Podsumowując, należy podkreślić, że ryzyko związane z dostępnością i stabilnością dostaw surowców stanowi kluczową kwestię z punktu widzenia zagadnień bezpieczeństwa.

### LITERATURA

- Zachmann G., Holz B. F., Roth A., McWilliams B., Sogalla B.R., Meissner F., Kemfert C.: Decarbonisation of Energy Determining a robust mix of energy carriers for a carbon-neutral EU, STUDY Requested by the ITRE committee, Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies Bruegel PE 695.469. November 2021.
- Hofmann M., Hofmann H., Hagelüken C., Hool A.: Critical raw materials: A perspective from the materials science community. *Sustainable Materials and Technologies* 2018, 17, e00074. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2018.e00074>.
- R. Zięba, *Kategoria bezpieczeństwa w nauce o stosunkach międzynarodowych*, [w:] D.B. Bobrow, E. Haliżak, R. Zięba (red.), *Bezpieczeństwo narodowe i międzynarodowe u schyłku XX wieku*, Wyd. Naukowe Scholar, Warszawa 1997, s.10.
- B. Buzan, R. Little, *Systemy międzynarodowe w historii świata*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2011, 381-415.
- Grzywacz M.: *Prawnoadministracyjne instrumenty bezpieczeństwa surowcowego państwa*, Rozprawa doktorska, Warszawa, grudzień 2019.
- Surowce Krytyczne W Nowym Rozporządzeniu I Wykazie Komisji Europejskiej; Państwowy Instytut Geologiczny - PIB; 17 marzec 2023.
- Leal Filho W., Kotter R., Özuyar P.G., Abubakar I.R., Eustachio J.H.P.P., Matandirotya N.R.: Understanding Rare Earth Elements as Critical Raw Materials. *Sustainability* 2023, 15(3), 1919. <https://doi.org/10.3390/su15031919>.
- Lewicka E., Guzik K., Galos K.: On the Possibilities of Critical Raw Materials Production from the EU's Primary Sources. *Resources* 2021, 10(5), 50. <https://doi.org/10.3390/resources10050050>.
- Massari S. and Ruberti M.: Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. *Resources Policy* 2013, 38(1), 36–43. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.07.001>.
- Schmid M.: Challenges to the European automotive industry in securing critical raw materials for electric mobility: The case of rare earths. *Mineralogical Magazine* 2020, 84(1), 5-17. doi:10.1180/mgm.2020.9.
- Cimprich A., Young S.B., Schrijvers D. et al.: The role of industrial actors in the circular economy for critical raw materials: a framework with case studies across a range of industries. *Miner Econ* 2023, 36, 301–319. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00304-8>.
- Report On Critical Raw Materials For The Eu, Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, Maj 2014.
- Marel M., Zbroja P.: Wpływ pandemii na globalny łańcuch dostaw na przykładzie przedsiębiorstwa z branży AGD. *Translogistics* 2020, XVI Forum Studentów Transportu i Logistyki (16 ; 2020 ; Polska).
- Brząkała M.: Wpływ pandemii oraz ataku Rosji na Ukrainę na logistykę ostatniej mili z uwzględnieniem rozwoju zachowań konsumenckich oraz globalnych łańcuchów dostaw. DOI: 10.15611/2022.23.7.2 JEL Classification: L91, R40.
- Rabe W., Kostka G. Smith Stegen K.: China's supply of critical raw materi-

als: Risks for Europe's solar and wind industries? *Energy Policy* 2017, 101, 692–699. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.019>.

- Du X., Graedel T.E.: Global Rare Earth In-Use Stocks in NdFeB Permanent Magnets. *Journal of Industrial Ecology* 2011, 15(6), 836–843.
- Maani T., Celik I., Heben M.J., Ellingson R.J., Apul D.: Environmental impacts of recycling crystalline silicon (c-Si) and cadmium telluride (CDTE) solar panels. *Science of The Total Environment* 2020, 735, p.138827.
- Raport: Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge, KU Leuven, <https://eurometaux.eu/metals-clean-energy/>
- Radwanek-Bąk B., Galos K., Nieć M.: Surowce kluczowe, strategiczne i krytyczne dla polskiej gospodarki; *Przegląd Geologiczny*, 66(3), 2018, 153-159.
- Smakowski T.J., Surowce mineralne – krytyczne czy deficytowe dla gospodarki UE i Polski; *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energi Polskiej Akademii Nauk*; nr 81, rok 2011.
- Dvořáček J., Sousedíková R., Kudelová Z., Jureková Z.: Market for Critical Raw Materials and its Influence on Mineral Prices. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society* 2018, 43-46.
- Jankowska E., Dekarbonizacja Europejskich Gospodarek w ujęciu przestrzennym. *Studia i Prace WNEiZ US nr 44/2 2016*; DOI: 10.18276/sip.2016.44/2-01.
- Rada UE, Komunikat prasowy 25 kwietnia 2023.
- Biuletyn Europejski Biura Analiz Sejmowych, nr 3(45), 24 lutego 2022; Redakcja: Adamiec D., Bachrynowski S., Branna J., Firlej N., Graniszewski L., Groszkowska K., Krawczyk K., Kupis D., Sobolewski P., Szymanek J., Tazuszel A., Wasil W., Wąsowicz R.
- Sobolewski M.: Gospodarka wodorowa. *Infos zagadnienia społeczno-gospodarcze*, 2022, 6, 1–4. Available at: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1045304> [Accessed 30 Aug. 2023].
- Strategie wdrażania Zielonego Ładu II Międzynarodowa Konferencja Woda, Surowce i Energia PATRONAT HONOROWY MONOGRAFIA CZĘŚĆ II. (n.d.). doi:<https://doi.org/10.24425/stratziel2konf>.
- Komisja Europejska - Komunikat prasowy; REPowerEU: Plan prowadzący

**Prof. UAM dr hab. Robert PRZEKOP** jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Politechnice Poznańskiej w 2020 roku. Specjalizuje się w chemii materiałowej, katalizie heterogenicznej, biopaliwach.

W latach 2008-2010 zajmował stanowisko Wicedyrektora ds. Innowacji i Rozwoju Technologicznego w BGW WPH Sp. z o.o. W latach 2012-2014 Technolog w Poznańskim Parku Naukowo-Technologicznym Fundacji UAM. Od 2011 roku Profesor w Centrum Zaawansowanych Technologii UAM.

Od 2010 roku jest recenzentem w programach Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, autor ponad 300 ekspertyz i ocen na zlecenie tej agencji, głównie w obszarze badań stosowanych w przedsiębiorstwach i jednostkach naukowych.

Od roku 2019 przewodniczący panelu nauki Wielkopolskiej Platformy Wodorowej. Od roku 2022 członek Rady Koordynacyjnej ds. Gospodarki Wodorowej przy Ministerstwie Klimatu, przewodniczący Panelu Nauki w Platformie Wodorowej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Członek Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego w Warszawie. Laureat programu LIDER (NCBiR) na UAM. W latach 2018-2019 przygotował i brał udział w przygotowaniu szeregu wniosków projektowych, m.in. w ramach działania – RPWP.01.01.00 (WRPO) POIR.02.03.02 (PARP), POIR.01.01.01 (NCBiR) POIR.04.04.00 (FNP) oraz wniosku w programie OPUS (NCN). W latach 2014-2020 brał udział w pracach w zespole przygotowującym do fazy operacyjnej i w fazie operacyjnej projektu Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych Technologii.

Jest promotorem oraz promotorem pomocniczym w 7 przewodach doktorskich, był promotorem 20 prac licencjackich, inżynierskich i prac magisterskich. Jest autorem i współautorem 90. publikacji oraz 8. zgłoszeń patentowych. Jego zespół zrealizował w latach 2018-2021 ponad 200 prac badawczych i ekspertyz dla przemysłu (w tym największych przedsiębiorstwach chemicznych w kraju – PKN ORLEN, GRUPA AZOTY, CIECH).

e-mail: [rpzekop@amu.edu.pl](mailto:rpzekop@amu.edu.pl)

**Dr Adam Stolarz** doktor nauk o bezpieczeństwie - Akademia Sztuki Wojennej. Absolwent studiów magisterskich na kierunku finanse i rachunkowość przedsiębiorstw Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości im. Leona Koźmińskiego (obecna Akademia im. Leona Koźmińskiego), gdzie również ukończył studia podyplomowe z zakresu wyceny przedsiębiorstw i modelowania finansowego. Posiada bogate doświadczenie menedżerskie.

**Dr Agnieszka MARTYŁA** jest absolwentką Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zawodowo związana z chemią materiałową, charakterystyką fizykochemiczną, katalizą, chemicznymi źródłami prądu. Zawodowo, w latach poprzednich IMN CLAIo w Poznaniu, obecnie pracuje w Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W trakcie swojej pracy zawodowej realizowała i kierowała pracami wykonywanymi w ramach projektów finansowanych przez NCN, NCBR, czy ze środków unijnych, a także pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i opracowaniami tematycznymi realizowanymi dla ministerstw oraz przemysłu, w tym dla największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju: Grupa Azoty, KGHM, PKN ORLEN poruszającymi problematykę materiałów stosowanych w chemicznych i alternatywnych źródłach prądu, a także oczyszczania roztworów produkcyjnych, otrzymywania nowych materiałów wielofunkcyjnych, opracowywania założeń produkcyjnych.

Jest autorem i współautorem szeregu publikacji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek SITPChem oraz Platformy Wodorowej przy Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego.

Zainteresowania naukowe: nośniki energii, wodór, materiały katalityczne, ogniwa paliwowe, fotowoltaika, paliwa alternatywne.

e-mail: agnieszka.martyla@amu.edu.pl

**Mgr inż. Adam Żurek** – absolwent Politechniki Łódzkiej – Wydz. Chemiczny – mgr inż. chemik oraz Uniwersytetu Łódzkiego – Wydz. Ekonomiczno-Socjologiczny – mgr ekonomii, Studium Podyplomowego Kadry Kierowniczej o profilu organizacja i zarządzanie na Uniwersytecie Łódzkim, a także Szkoły Zarządzania-Centrum Promocji Kadr w Warszawie. Uczestnik cyklu szkoleń w zakresie komunikacji i pracy w zespole, m.in. dla Członków Rad Nadzorczych w Spółkach Skarbu Państwa, z Współczesnych Systemów Zarządzania Produkcją, dla Członków Zarządów Spółek NFI.

Aktualnie konsultant dla firm Termall i Energotherm w zakresie efektywności energetycznej procesów technologicznych (audyt technologii, optymalizacja zużycia czynników energetycznych i technologicznych), gospodarka odpadami.

2016- 2021 Dyrektor Korporacyjnej Strategii i Rozwoju Grupy Azoty S.A.

2011-2013 Dyrektor ds. ochrony środowiska „Energotherm”,

2007-2014 Dyrektor Departamentu Rozwoju,

Dyrektor Oddziału Odzysku Surowców – KGHM Ecoren S.A. w Lubinie;

2004 - 2007 Główny Specjalista ds. Inwestycji, Z-ca kier. Biura Prognoz, Analiz i Restrukturyzacji- ZCh. „POLICE”, S.A. w Policach

2002 - 2004 Członek Zarządu – „INFOREKO” sp. z o.o. w Zgierzu,

1999 - 2002 Likwidator -ZPB „BORUTA” S.A. w likwidacji w Zgierzu,

1982 – 1998 Członek Zarządu , Pełnomocnik ds. Restrukturyzacji, Szef Produkcji, Kierownik Wydziału, Technolog, Kierownik Zmiany - ZPB „BORUTA” w Zgierzu, 2016- 2017

Członek Rady Nadzorczej „PDH Polska”, „DOLEKO”- Organizacja Odzysku, Członek Rady Nadzorczej Spółki „EKO-BORUTA”, Przewodniczący Rady Nadzorczej Spółki „Energetyka-Boruta” sp. z o.o., Członek Komisji Rewizyjnej Zgierskiej Spółki Wodnej.

W swoim portfolio posiada m.in. prace konsultacyjne dla Poyry, Ashland Energotherm Rozruch – IMOS, Raków, IMOS Oświęcim, Technika Gliwice, Rafako, Chemoservis, na instalacji IMOS dla Kogeneracji Wrocław, Innovatora Gliwice, Tsupport, IMN-CLAIo- usuwanie metali z kwaśnych roztworów produkcyjnych dla ZCh Police, Energotherm Consulting. Prace przy instalacji pirolizy baterii, IMN-CLAIo – technologia utylizacji eluatów; oczyszczanie roztworów mocznika dla Grupa Azoty ZChPolice. Projekt i nadzór nad montażem uruchomienie, próby technologiczne – instalacja pilotażowa do usuwania metali ciężkich dla ZCh Police we współpracy z IMN- CLAIo. IMN – opracowanie wymagania w zakresie czystości związków manganu i cynku, odbiorcy produktów. „ZWG” Sp. z o.o. – technologia pirolizy gumi. „Polczar” – audyt technologiczno-energetyczny instalacji. Opracowanie dla ZCh „Police” we współpracy z IMN-CLAIo technologii oczyszczania roztworów substancji organicznych z niklu i chromu.


**Dr Agnieszka MARTYLA** absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zawodowo związana z chemią materiałową, charakterystyką fizykochemiczną, katalizą, chemicznymi źródłami prądu. Zawodowo, w latach poprzednich IMN CLAIo w Poznaniu, obecnie pracuje w Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W trakcie swojej pracy zawodowej realizowała i kierowała pracami wykonywanymi w ramach projektów finansowanych przez NCN, NCBR, czy ze środków unijnych, a także pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i opracowaniami tematycznymi realizowanymi dla ministerstw oraz przemysłu, w tym dla największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju: Grupa Azoty, KGHM, PKN ORLEN poruszającymi problematykę materiałów stosowanych w chemicznych i alternatywnych źródłach prądu, a także oczyszczania roztworów produkcyjnych, otrzymywania nowych materiałów wielofunkcyjnych, opracowywania założeń produkcyjnych.


Jest autorem i współautorem szeregu publikacji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek SITPChem oraz Platformy Wodorowej przy Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego.

Zainteresowania naukowe: nośniki energii, wodór, materiały katalityczne, ogniwa paliwowe, fotowoltaika, paliwa alternatywne.


e-mail: agnieszka.martyla@amu.edu.pl




**SKOLENIA CNBOP-PIB**  
stacjonarne / hybrydowe / on-line



**szkolenia dla rzeczoznawców ds. zabezpieczeń ppoż.**



**szkolenia dla projektantów, instalatorów i konserwatorów**



**szkolenia dotyczące wyrobów stosowanych w ochronie ppoż.**

PEŁNA OFERTA ORAZ TERMINARZ SZKOLEŃ NA STRONIE [WWW.CNBOP.PL](http://WWW.CNBOP.PL)

## TWÓJ PARTNER W BEZPIECZEŃSTWIE

### GWARANTUJEMY

- ✓ wysoki poziom merytoryczny
- ✓ zróżnicowany stopień zaawansowania – dostosowany do wiedzy i umiejętności kursantów
- ✓ optymalny dobór zagadnień
- ✓ wykwalifikowaną kadrę wykładowców

### OFERUJEMY

- ✓ aktualną wiedzę i praktyczne umiejętności w wybranym obszarze
- ✓ uznawany na rynku certyfikat lub zaświadczenie
- ✓ ćwiczenia projektowe

## WYKAZ SZKOLEŃ

- |   |  |
|---|--|
| <p><b>01</b> Szkolenie dla konserwatorów systemów sygnalizacji pożarowej</p> <p><b>02</b> Szkolenie dla rzeczoznawców do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych</p> <p><b>03</b> Szkolenie dla projektantów systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych</p> <p><b>04</b> Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów dźwiękowych systemów ostrzegawczych</p> <p><b>05</b> Szkolenie: Przegląd i konserwacja systemów wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych</p> <p><b>06</b> Szkolenie dla konserwatorów podręcznego sprzętu gaśniczego</p> <p><b>07</b> Szkolenie dla projektantów, instalatorów i konserwatorów systemów sygnalizacji pożarowej</p> <p><b>08</b> Szkolenie: Dyrektywa ATEX. Ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfer wybuchowych – podejście praktyczne</p> <p><b>09</b> Szkolenie: Instrukcja bezpieczeństwa pożarowego. Praktyczne wskazówki opracowania dokumentu z przykładami</p> | <p><b>10</b> Szkolenie: Stałe urządzenia gaśnicze tryskaczowe w ochronie przeciwpożarowej</p> <p><b>11</b> Szkolenie: Przeciwpożarowy wyłącznik prądu „PWP”</p> <p><b>12</b> Szkolenie: Planowanie i organizacja ewakuacji ludzi z budynków</p> <p><b>13</b> Szkolenie dla konserwatorów hydrantów zewnętrznych i wewnętrznych</p> <p><b>14</b> Szkolenie Inspektorów Ochrony Przeciwpożarowej</p> <p><b>15</b> Szkolenie: Stałe urządzenia gaśnicze gazowe w ochronie przeciwpożarowej</p> <p><b>16</b> Oświetlenie awaryjne – projektowanie, instalacja i konserwacja</p> <p><b>17</b> Szkolenie z zakresu ochrony ppoż. dotyczące drzwi i innych zamknięć przeciwpożarowych. Dobór, montaż, przegląd i konserwacja</p> <p><b>18</b> Warsztat tematyczny z zakresu „Wytycznych CNBOP-PIB W-0007:2020 Integracja Systemów Bezpieczeństwa Pożarowego Obiektów Budowlanych”</p> <p><b>19</b> Szkolenie: Oddymianie grawitacyjne</p> |
|---|--|

Zapytania w sprawie szkoleń prosimy kierować na adres e-mail: [szkolenia@cnbop.pl](mailto:szkolenia@cnbop.pl) lub tel. (+48) 22 76 93 221, 391, 368



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników  
Przemysłu Chemicznego

WYDAWNICTWO GOSKINIA-ART  
**przemysł  
chemiczny**



7

Lipiec  
2023

ROK ZAŁOŻENIA  
1917

PIKOBAR 1002/1617-73002023 PL 1058 0023-2486, e-1058 2449-1991 Wzrost biuletynu 68,00 zł (za typy 9% VAT)



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników  
Przemysłu Chemicznego

WYDAWNICTWO GOSKINIA-ART  
**przemysł  
chemiczny**



6

Czerwiec  
2023

ROK ZAŁOŻENIA  
1917

PIKOBAR 1002/1617-73002023 PL 1058 0023-2486, e-1058 2449-1991 Wzrost biuletynu 68,00 zł (za typy 9% VAT)



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników  
Przemysłu Chemicznego

WYDAWNICTWO GOSKINIA-ART  
**przemysł  
chemiczny**



5

Maj  
2023

ROK ZAŁOŻENIA  
1917

PIKOBAR 1002/1617-73002023 PL 1058 0023-2486, e-1058 2449-1991 Wzrost biuletynu 68,00 zł (za typy 9% VAT)



[www.przemyslchemiczny.com](http://www.przemyslchemiczny.com)

# przemysł chemiczny

Tradycja od 1917 r.

Miesięcznik Naukowo-Techniczny  
Stowarzyszenia Inżynierów  
i Techników Przemysłu Chemicznego



# 100 punktów

w wykazie  
czasopism MEiN

# IF 0,50

Impact Factor pisma  
za rok 2022

Miesięcznik adresowany jest do menedżerów krajowego 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.

[www.przemyslchemiczny.com](http://www.przemyslchemiczny.com)

PUBLIKACJE REKLAMA PRENUMERATA



Agnieszka MARTYŁA

Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adma Mickiewicza, Poznań



Robert E. PRZEKOP

Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adma Mickiewicza, Poznań



Anna ŁABĘDA

Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

# Odzysk surowców krytycznych z ogniw litowo-jonowych

## Recovery of critical raw materials from lithium-ion cells

DOI: 10.21303/2023.1.3

Rozwój technologii, postęp, wzrastająca liczba urządzeń mobilnych, pojazdów elektrycznych oraz rozwój stacjonarnych systemów magazynowania energii generują coraz większe ilości zużytych akumulatorów litowo-jonowych. Rosnąca liczba produkowanych ogniw litowo-jonowych wpływa zaś na wyczerpywanie się zasobów i powoduje zanieczyszczenie środowiska, dlatego recykling ogniw litowo-jonowych jest intensywnie rozwijającą się dziedziną badań. Konieczne jest rozwijanie i ulepszenie tej branży, nie tylko ze względu na nowe materiały będące komponentami tych ogniw, ale także ze względu na elementy procesu, wśród których wymienić należy duże emisje gazów, zużycie energii, toksyczne odczynniki i niską wydajność. W pracy przedstawiono rodzaje ogniw litowo-jonowych, ich budowę i skład, a także omówiono procesy zachodzące w głównych metodach stosowanych do przerobu ogniw litowo-jonowych ze wskazaniem materiałów możliwych do odzyskania.

**Słowa kluczowe**  
ogniwa litowo-jonowe, magazyny energii, samochody elektryczne, odzysk, recykling, pirometalurgia, hydrometalurgia

The development of technology, progress, the increasing number of mobile devices, electric vehicles and the development of stationary energy storage systems are generating increasing amounts of used lithium-ion batteries.

The increasing number of lithium-ion cells being produced is depleting resources and causing environmental pollution, so lithium-ion cell recycling is an intensely developing field of research. It is necessary to develop and improve this industry, not only because of the new materials that are the components of these cells, but also because of the elements of the process, among which are high gas emissions, energy consumption, toxic reagents and low efficiency.

This paper presents the types of lithium-ion cells, their structure and composition, and discusses the processes involved in the main methods used to process lithium-ion cells, with an indication of the materials that can be recovered.

### Wstęp

Zmiany klimatyczne spowodowały transformację energetyczną ograniczającą korzystanie z paliw kopalnianych. Ma to na celu ochronę zasobów naturalnych oraz łagodzenie skutków ich eksploatacji. Proces ten ma odbywać się poprzez wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, paliw syntetycznych, zastosowanie wodoru i procesy magazynowania energii. Magazynowanie energii może odbywać się na drodze kilku procesów, które przedstawiono na Rysunku 1. Jedną z możliwości magazynowania energii są ogniwa litowo-jonowe (Li-ion).

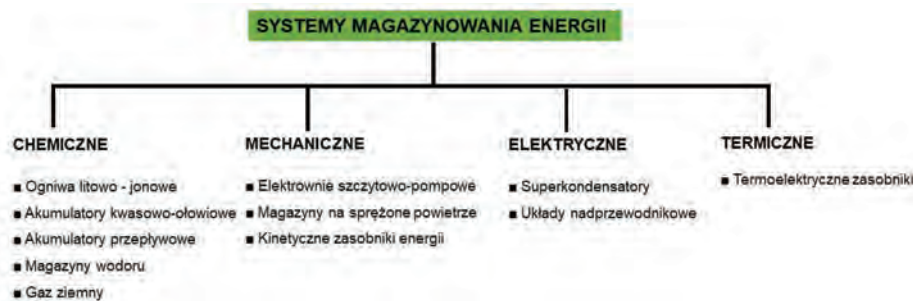
### Opis

Ogniwa litowo-jonowe występują na rynku nie tylko, jako magazyn energii, ale przede wszystkim jako chemiczne źródło prądu. Ich obecność na rynku jest niemal powszechna. Wynika to z ich właściwości i możliwości aplikacyjnych. Ogniwa litowo-jonowe zapewniają bezpieczeństwo i niezawodność zarówno urządzeń

podstawowych np. sprzęt medyczny, jak i dóbr luksusowych np. jachty. Można je stosować jako UPS lub zasilanie awaryjne, ponieważ zapewniają niemal natychmiastowe zasilanie w celu uruchomienia sprzętu, do którego są podłączone. Ze

względu na niewielką wagę i rozmiar, ogniwa litowo-jonowe zasilają pojazdy rekreacyjne i małe dostawcze pojazdy elektryczne. Niezawodna, stabilna i długotrwała moc jest bardzo dobrym rozwiązaniem w miejscach odległych od stałego zasilania. Ogniwa te są stosowane m.in. w zdalnych systemach monitorowania. Cechuje je długa żywotność i niewielkie rozmiary. Nie tracą one energii poprzez samorozładowanie w czasie, gdy system jest nieaktywny. Posiadają 10-krotnie niższy wskaźnik samorozładowania niż baterie kwasowo-ołowiowe. Z dużym powodzeniem służą jako magazyny energii pochodzącej z paneli fotowoltaicznych, ponieważ ładują się szybko, co pozwala zmaksymalizować potencjał magazynowania



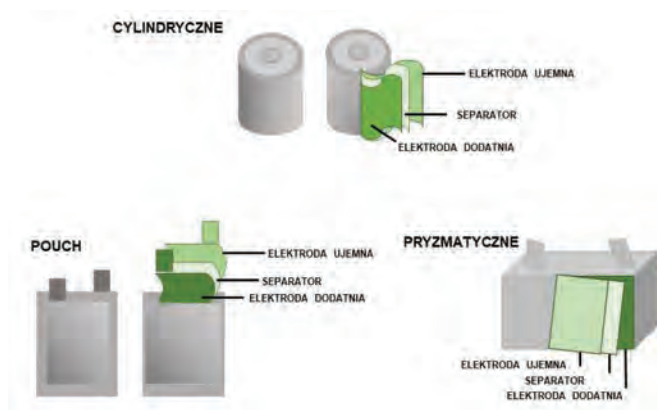


Rys. 1. Metody magazynowania energii [1]

energii słonecznej. Ogniwa litowo-jonowe są powszechnie używane w urządzeniach przenośnych. Długa żywotność, szybkie ładowanie, niski wskaźnik samorozładowania, sprawiają, że można je znaleźć w telefonach, przenośnych komputerach, ale także w wózkach inwalidzkich czy windach schodowych. Do ograniczeń stosowania tych ogniw należy degradacja w wysokiej temperaturze i podczas przechowywania pod wysokim napięciem, brak możliwości szybkiego ładowania w temperaturach ujemnych (<math><0^{\circ}\text{C}</math>, <math><32^{\circ}\text{F}</math>) oraz wymóg obwodu zabezpieczającego (zapobieganie niekontrolowanemu wzrostowi temperatury w przypadku obciążenia) [2].

Przemysł transportowy jest uważany jako drugi co do wielkości czynnik przyczyniający się do emisji gazów cieplarnianych. Alternatywą dla silników spalinowych są pojazdy z napędem elektrycznym [3]. Za pomocą ogniw Li-ion odbywa się proces elektryfikacji pojazdów. W 2023 roku ma nastąpić zakaz wprowadzania na rynek pojazdów inne niż elektryczne, a według BloombergNEF do 2040 roku, dwie trzecie światowej sprzedaży pojazdów osobowych będzie miało napęd elektryczny. Co więcej, zużyte baterie z pojazdów elektrycznych nadal mają 80% energii pierwotnej [4] i możliwe jest ich ponowne wykorzystanie w systemach magazynowania energii.

Ogniwa litowo-jonowe produkowane są w różnych kształtach i wielkościach (Rys. 2). Główny podział, co do typu akumulatora, pozwala na podział akumulatorów Li-ion ze względu na kształt ogniw na: akumulatory cylindryczne (głównie produkowane są akumulatory 18650) i pryzmatyczne (w różnych rozmiarach oraz w obudowach twardych) oraz laminowane akumulatory (ang. pouch).



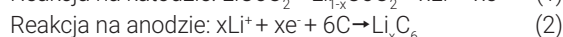
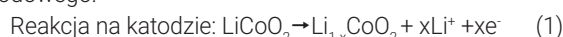
Rys. 2. Typy ogniw litowo-jonowych według kształtu [5]

Ogniwo litowo-jonowe generuje średnie napięcie rzędu 3,7 V i działa na zasadzie odwracalnej interkalacji jonów litu na katodzie i anodzie (Rys. 3). W przemyśle motoryzacyjnym ze względu na wymagania dotyczące mocy i energii odpowiednią liczbę ogniw łączy się w moduły, a moduły w baterię. Zwiększenie liczby ogniw

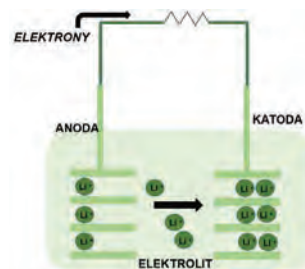
w module zmniejsza stosunek materiału aktywnego do obudowy ogniwa i komplikuje kwestię demontażu baterii. Ogniwa są hermetycznie zamknięte, a moduły i baterie są zazwyczaj zgrzewane lub klejone. Zestaw zasilający samochód składa się od ok. 100 do aż kilku tysięcy ogniw [6].

Najczęściej stosowanym materiałem katodowym w ogniwach litowo-jonowych jest tlenek litowo-kobaltowy ( $\text{LiCoO}_2$ ) o strukturze spinelu, natomiast materiałem anodowym w tego typu akumulatorach najczęściej jest grafit.

W trakcie całkowitego rozładowania ogniwa wszystkie jony litu znajdują się w strukturze przestrzennej materiału katodowego. W trakcie procesu ładowania jony  $\text{Li}^+$  są uwalniane z katody i migrują przez elektrolit do wolnych przestrzeni w strukturze materiału anodowego:



Reakcja odwrotna następuje podczas pracy (rozładowywania) akumulatora.



Rys. 3. Schemat działania ogniwa litowo-jonowego [7]

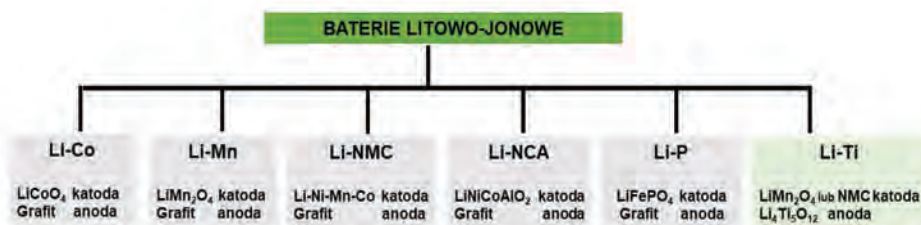
Głównymi komponentami ogniw litowo-jonowych są:

- katoda na nośniku z folii aluminiowej
- anoda na nośniku z folii miedzianej
- elektrolit i separator

Obecnie na rynku funkcjonuje kilka rodzajów związków stosowanych jako materiały katodowe i anodowe w ogniwach Li-ion litowo-jonowych – Rysunek 4.

Materiały katodowe do ogniw litowo-jonowych obejmują związki litu tzw litowane tlenki metali o strukturze spineli tj  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  i  $\text{Li}(\text{Ni}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z)\text{O}_2$ , czy  $\text{LiFePO}_4$  o strukturze oliwinu. Rodzaj materiału determinuje jego użycie (Rysunek 5).

Tlenek litowo-kobaltowy  $\text{LiCoO}_2$  (LCO) używany jest w bateriach do telefonów komórkowych, tabletek, laptopów i aparatów cyfrowych. Tlenek litowo-manganowy  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO) stosowany jest w elektronarzędziach, urządzeniach medycznych, elektrycznych układach napędowych, pojazdach hybrydowych i elektrycznych. Często miesza się go z NMC (tlenkiem litowo-niklowo-manganowo-kobaltowym), aby poprawić jego wydajność. Tlenek litowo-niklowo-manganowo-kobaltowy  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (NMC) pracuje w ogniwach do sprzętu elektrycznego, rowerów elektrycznych, urządzeń medycznych, pojazdów elektrycznych i innych elektrycznych układów napędowych. Fosforan litowo-żelazowy,  $\text{LiFePO}_4$  (LFP) jest jednym z najbezpieczniejszych akumulatorów litowo-jonowych. Stosowany jest na rynkach specjalnych, do magazynowania energii, na przenośne i stacjonarne potrzeby, ze względu na wysokie prądy obciążenia i trwałość. Tlenek litowo-niklowo-kobaltowo-glinowy,  $\text{LiNiCoAlO}_2$  (NCA) jest stosowany w urządzeniach medycznych, przemyśle-



Rys. 4. Rodzaje ogniw litowo-jonowych w zależności od zastosowanych materiałów elektrodowych [8]

wych, elektrycznych układach napędowych, które stosują głównie Panasonic i Tesla [8].

W początkowym okresie produkcji ogniw litowo-jonowych głównymi materiałami anodowymi były: grafit oraz twardy węgiel. W 2010 roku produkcję materiałów anodowych zdominował grafit. W zależności od wykorzystania ogniw stosuje się też tytanian litu Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (LTO). Titanian litu ma doskonałe właściwości rozładowywania w niskich temperaturach, stąd stosowany jest w UPS, elektrycznych układach napędowych (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV). Na etapie badań są anody wykonane z krzemu lub ze stopowych materiałów anodowych tj.: Li<sub>2</sub>M; gdzie M= Sn, Pb, Si, In, Al [8].

zasad oraz jonów metali ciężkich z elektrolitu. Skutkuje to zmianą wartości pH gleby, wytworzeniem toksycznych gazów (HF, HCl), a także wywieraniem szkodliwego wpływu na zdrowie ludzkie. Jako przykład warto podać kobalt, który przedostając się do organizmu może prowadzić do zaburzeń jelitowych, głuchoty oraz niedokrwienia mięśnia sercowego [11]. Krajami wydobywającymi największe ilości rudy zawierającej lit są Australia, Chile i Chiny. Ten ostatni kraj jest głównym eksporterem związków litu o jakości chemicznej - węglanu i wodorotlenku [12]. W 2020 roku w samych Chinach wyprodukowano ponad 0,5 mln ton materiałów litowych [13]. Ogólnie rzecz biorąc, tak duża i szybko rozwijająca się branża wymaga skutecznych strategii odzyskiwania cennych składników. Nie więcej niż 51% (dane różnią się w zależności od źródła) zużytych ogniw litowo-jonowych podlega recyklingowi [14,15] za pomocą, energochłonnych, zanieczyszczających środowisko, często nieefektywnych procesów odzyskiwania cennych metali. Wielkość rynku ogniw litowo-jonowych pozytywnie koreluje z liczbą zużytych ogniw. 200 000 ton gotowych do recyklingu ogniw litowo-jonowych w 2020 roku ma przekroczyć ilość 1 200 000 ton w 2030 roku [16]. Dlatego też konieczne jest opracowanie, skomercjalizowanie bardziej wydajnych, opłacalnych i przyjaznych dla środowiska procesów recyklingu.

**ZASTOSOWANIE BATERII LITOWO-JONOWYCH**

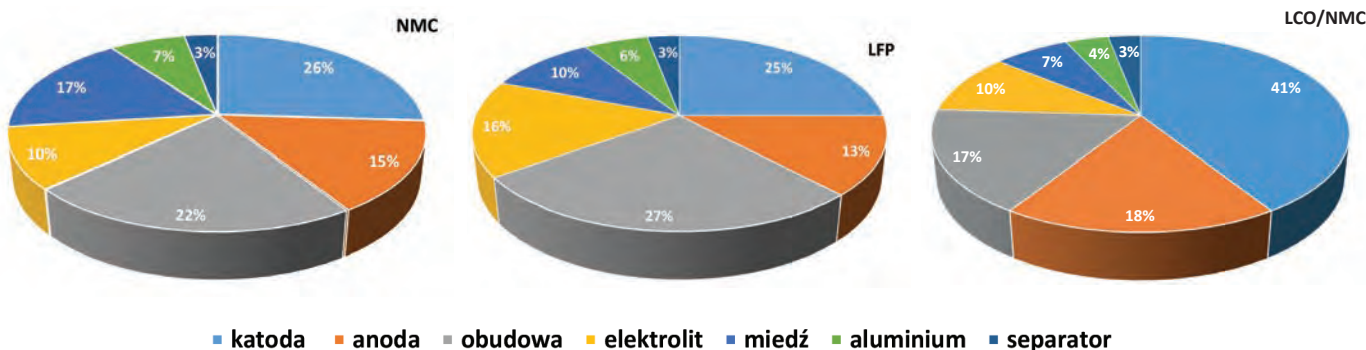


Rys. 5. Zastosowanie ogniw litowo-jonowych w zależności od zastosowanych materiałów elektrodowych [8]

W zależności od zastosowanych materiałów katodowych zmianie ulega skład pozostałych komponentów – Rysunek 6.

Według raportu Sphericalinsights prognozowana wielkość globalnego rynku ogniw litowo-jonowych osiągnie 273,8 mld USD do 2030 roku, przy CAGR na poziomie 19,3% (okres prognozy 2021-2030). Spowodowane jest to zachodzącą transformacją energetyczną oraz zwiększającą się świadomością dotyczącą ochrony klimatu i środowiska. Wzrasta ilość rozwiązań związanych z energią odnawialną wymagającą magazynowania (przy użyciu ogniw

Ogólnie ujmując proces recyklingu polega na rozdrabnianiu baterii i oczyszczaniu złożonej mieszaniny. Skutkuje to bardzo drogimi procesami z produktami o często niskiej wartości. W rezultacie recykling staje się procesem droższym niż wydobycie litu w celu wyprodukowania nowych baterii. Recykling jest preferowanym podejściem, jeśli koszt związany z ponownym użyciem jest niższy w porównaniu z kosztem przerobu. Niemniej jednak rosnąca liczba wycofywanych, odpadowych ogniw litowo-jonowych przekroczy możliwości rynku wtórnego wykorzystania. Może dojść do sytuacji, w której wszystkie

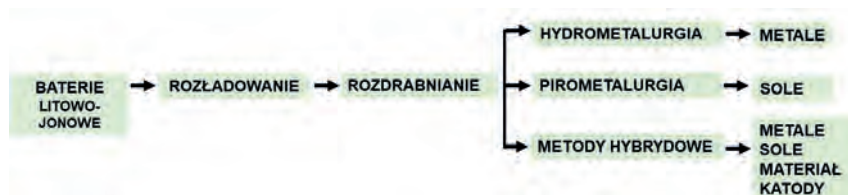


Rys. 6. Skład ogniw litowo-jonowych w zależności od zastosowanych materiałów elektrodowych [9]

wycyfowane z rynku ogniwa litowo-jonowe będą musiały zostać podane recyklingowi. Hydrometalurgia, pirometalurgia i bezpośredni recykling to trzy główne metody wykorzystywane do przerobu zużytych ogniw litowo-jonowych. Pirometalurgia odnosi się do obróbki ogniw w podwyższonych temperaturach. Hydrometalurgia polega na wykorzystaniu roztworów wodnych do rozpuszczania cennych metali ze zużytych ogniw litowo-jonowych i odzyskiwania metali poprzez koncentrację. Bezpośredni recykling oznacza, że struktura materiałów aktywnych baterii jest przywracana. Obecnie w przemyśle stosowane są procesy pirometalurgiczne i hydrometalurgiczne, podczas gdy technika bezpośredniego recyklingu jest stosowana głównie na poziomie laboratoryjnym [17].

Proces przerobu ogniw litowo-jonowych można podzielić na następujące etapy (Rysunek 7):

- segregacja
- wstępna obróbka, najczęściej mechaniczna mająca za zadanie oddzielenie poszczególnych elementów baterii
- oddzielenie poszczególnych składników, hydrometalurgiczne i pirometalurgiczne procesy, którym poddawane są baterie litowo-jonowe
- odzysk cennych składników t.j. Cu, Al, Fe, Co, Li, Ni, Mn, C oraz tworzywa sztuczne [18]



Rys. 7. Podział głównych metod recyklingu ogniw litowo-jonowych [13]

## Główne procesy technologiczne

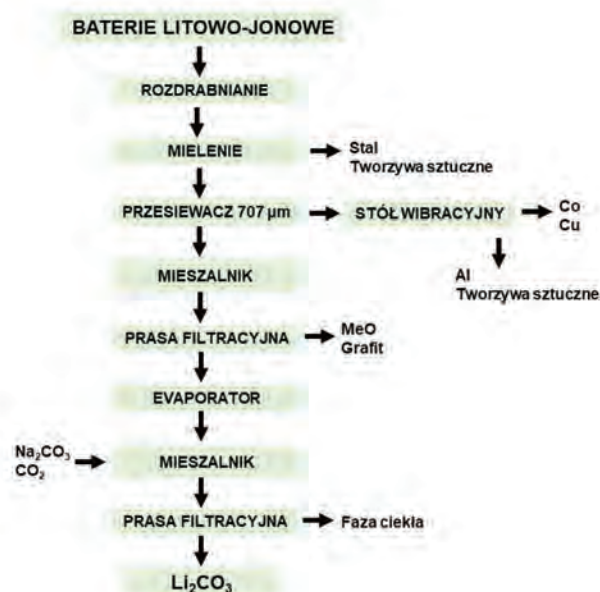
Każdy z tych etapów składa się z wielu procesów i jest obarczony wieloma ryzykami wynikającymi przede wszystkim z chemii tych układów. Pierwsze działanie ze zużytymi ogniwami litowo-jonowymi to ich rozładowanie, które ma zapobiec zwarciu i samozapłonowi. Dopiero rozładowane baterie można demontować. Proces ten odbywa się ręcznie lub mechanicznie stosując kruszenie lub rozdrabnianie. Miażdżenie lub kruszenie zużytych ogniw litowo-jonowych bezpiecznie jest prowadzić w atmosferze obojętnej lub kriogenicznej. Taka atmosfera zapobiega gwałtownej reakcji litu z wodą, w trakcie której tworzy się wodorotlenek litu i gazowy wodór. Ponadto, atmosfera obojętna pozwala uwięzić elektrolit, który zawiera toksyczne i łatwopalne związki. Następnym etapem jest sortowanie według ich właściwości fizycznych. Prowadzi się to za pomocą stołów wibracyjnych, flotacji, różnicując gęstość poszczególnych elementów, czy separatorów magnetycznych (usuwanie elementów zawierających żelazo) [18,19].

Hydrometalurgia pozwala uzyskać wysoki stopień odzysku metali o wysokiej czystości, przy niskich emisjach gazów [20]. Charakteryzuje się wysoką selektywnością oraz wydajnością [21], ale w trakcie procesu powstają duże ilości ścieków, które trzeba zneutralizować i zagospodarować. Procesy hydrometalurgiczne nie wymagają dużych ilości energii, ponieważ nie ma potrzeby stosowania podwyższonych temperatur, a lit jest odzyskiwany w postaci węglanu [22,23]. Procesy stosowane w hydrometalurgii obejmują: ługowanie czarnej materii, a następnie krystalizację, ekstrakcję rozpuszczalnikiem, separację membranową, przetwarzanie elektrochemiczne i wytrącanie. Ługowanie polega na ekstrakcji rozpuszczanego pierwiastka z ciała

stałego za pomocą rozpuszczalnika. Podczas procesu ługowania, czarna substancja jest rozpuszczana w silnym kwasie nieorganicznym, takim jak kwas solny (HCl), kwas siarkowy ( $H_2SO_4$ ), kwas azotowy ( $HNO_3$ ) lub kwas fosforowy ( $H_3PO_4$ ). Prowadzone są również badania nad dodawaniem środków redukujących w celu ułatwienia ługowania np.  $H_2O_2$ , poprawiając odzysk kobaltu i litu z 40% i 75% do 85%. Kwasy organiczne, takie jak kwas cytrynowy, kwas jabłkowy i kwas asparaginowy były również testowane w procesie ługowania [24,25]. Procesy hydrometalurgiczne wykorzystywane są w technologiach takich firm jak: Toxco, Recupyl, Sony Sumitomo.

W Retriev Technology/TOXCO po demontażu i wstępnym rozdrobnieniu materiał przerabiany trafia do kruszarki, która pracuje na mokro, aby zmniejszyć emisję lotnych związków. Produkt jest rozdzielany na trzy fazy. Pierwsza faza to produkt miedziowo-kobaltowy. Druga faza to puch litowo-jonowy, który jest traktowany węglanem sodu w celu wytrącenia węglanu litu. Następnie jest on czyszczony i sprzedawany. Trzecia faza to szlam, który jest filtrowany, w wyniku czego powstaje szlam zawierający kobalt, miedź, nikiel, mangan i żelazo. Jest on następnie przetwarzany w celu uzyskania produktu kobaltowo-manganowego sprzedawanego do hut – Rysunek 8 [26].

RECUPYL prowadzi rozdrabnianie i kruszenie w atmosferze argonu, co zapobiega gwałtownej reakcji litu z powietrzem. Po procesie rozdrabniania uzyskuje się: drobną frakcję bogatą w węgiel i metale, frakcję magnetyczną, frakcję złożoną z Al i Cu oraz mieszaninę tworzyw sztucznych i papieru. Następnie wydzielone materiały są sortowane, a drobne frakcje wprowadza się do specjalnego zbiornika z wodą (reakcja litu zawartego w tych frakcjach przebiega z wydzieleniem wodoru). Odzysk Li z roztworu zawierającego wodorotlenek litu następuje poprzez dodanie sodu lub kwasu fosforowego. Pozostałe metale uzyskuje się przez rozpuszczanie i ługowanie z materiału katodowego za pomocą kwasu solnego, oddzielanie litu od innych metali przez ekstrakcję rozpuszczalnikiem, strącanie chemiczne i procesy elektrochemiczne [27,28,29,30].



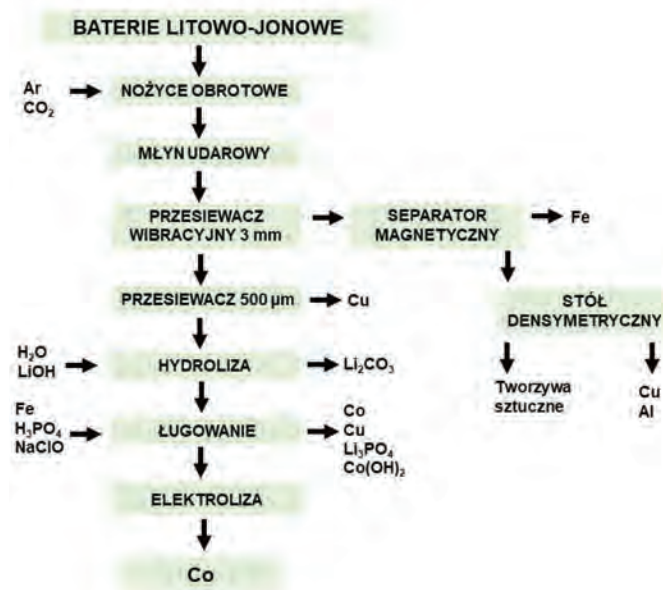
Rys. 8. Proces TOXCO

Proces Recupyl walibat, o nominalnej wydajności 110 ton/rok, został opracowany jako niskotemperaturowa technologia recyklingu ogniw litowo-jonowych – Rysunek 9. Wsadem mogą być pierwotne lub wtórne ogniwa [31]. Baterie są poddawane dwuetapowemu rozdrabnianiu. Jako pierwsze odbywa się cięcie w atmosferze Ar lub CO<sub>2</sub> w celu odsłonięcia materiałów wewnętrznych. Wtórne mielenie odbywa się w młynie udarowym. Docelowy rozmiar cząstek uzyskuje się za pomocą sita wibracyjnego, tworząc w ten sposób frakcje nadwymiarowe i niewymiarowe. Frakcja nadwymiarowa jest przetwarzana za pomocą separatora magnetycznego w celu usunięcia metali żelaznych. Frakcja niemagnetyczna jest następnie przetwarzana za pomocą stołu densymetrycznego. Względna różnica w gęstości tworzy frakcję o wysokiej gęstości (zawierającą Cu i Al) oraz frakcję o niskiej gęstości, utworzoną przez papier i tworzywa sztuczne [31]. Frakcja niewymiarowa na sicie 3 mm jest dalej klasyfikowana przy użyciu sit o wielkości otworu 500 μm. Tam większość pozostałych cząstek Cu jest usuwana, a przechodzący materiał zawiera tylko <0,3% Cu [31,32]. Usunięcie Cu jest kluczowym krokiem, ponieważ metal ten jest zanieczyszczeniem, które wpłynie na kolejne etapy hydrometalurgii. Bogata w materiał elektrodowy drobna frakcja (tj. <500 μm) jest następnie mieszana z wodą. Ten etap uwalnia H<sub>2</sub> w wyniku hydrolizy. Sole Li są następnie rozpuszczane w fazie wodnej, pozostawiając MeO i grafit zawieszony w roztworze, które należy oddzielić w procesie filtracji. Na tym etapie możliwe jest odzyskanie Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> lub LiCoO<sub>2</sub> z fazy ciekłej poprzez dodanie gazowego CO<sub>2</sub> lub poprzez separację ciała stałe/ciecz [31]. Pozostała frakcja stała przechodzi serię etapów ługowania, najpierw jest poddawana działaniu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> w temperaturze 80°C. Materiał węglowy jest odfiltrowany z roztworu, a Cu jest cementowana stałą, tj. zredukowana do postaci pierwiastkowej. Ewentualny pozostały Li można wytrącić w tym momencie jako Li<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> przez dodanie H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Wreszcie, Co można odzyskać jako Co(OH)<sub>2</sub> w obecności NaClO lub jako elementarny Co w procesie elektrolizy [31].

w piecu wysokotemperaturowym, który pracuje w atmosferze azotu. Metale i tlenki z akumulatorów są topione i przekształcane w miedź, kobalt, żelazo i stop niklu w temperaturze 500-600°C. Dodatkowe procesy separacji następują po obróbce pirometalurgicznej, a procesy hydrometalurgiczne odzyskują te metale. Tlenki glinu i litu zwykle stają się częścią żużla i nie są odzyskiwane. Jeśli w procesie ma być odzyskane aluminium, to proces musi być przeprowadzony w warunkach próżni. Produktami przerobu są stopy, gazy i żużel [33,34,35].

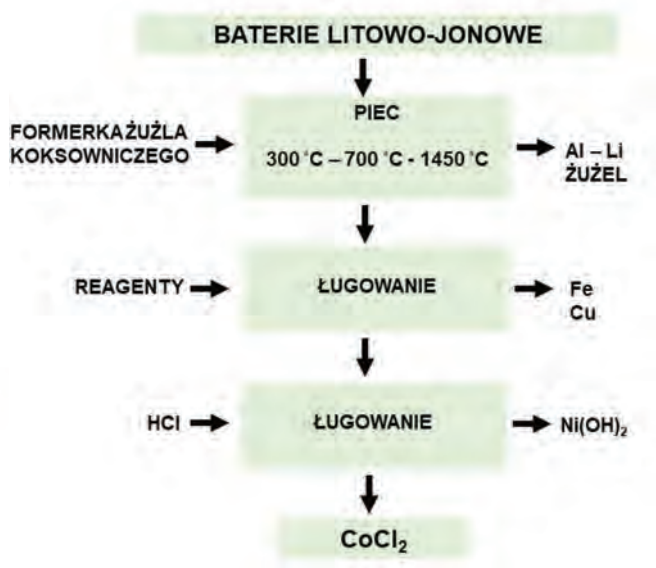
Proces pirometalurgiczny jest jednym z etapów przerobu baterii, po nim musi nastąpić hydrometalurgia. Technologie wykorzystujące pirometalurgię są tak naprawdę procesami hybrydowymi.

Proces Umicore koncentruje się na odzyskiwaniu Co i Ni, głównie z ogniw litowo-jonowych i NiMH, i charakteryzuje się największą wydajnością spośród omawianych procesów, wynoszącą 7000 ton/rok [36]. Obejmuje on połączenie etapów piro- i hydrometalurgicznych, jak przedstawiono na Rysunku 10. Baterie poddawane są wstępnemu demontażowi, podczas którego usuwane są zbędne elementy, a następnie ogniwa wprowadza się do pieca szybowego, który w tym przypadku można podzielić na trzy różne sekcje w zależności od temperatury: niska = 300°C; średnia = 700°C; i wysoka = 1200-1450°C [32,37]. Każda sekcja realizuje pirolizę różnych materiałów. Sekcja niskotemperaturowa: odparowanie elektrolitu, średniotemperaturowa to piroliza tworzyw sztucznych, a wysokotemperaturowa odpowiada za wytapianie i redukcję (1200-1450°C). Produkt zawiera Cu, Co, Ni, Li i śladowe ilości Fe, podczas gdy Al, Si, Ca, Fe, Mn, Li i pierwiastki ziem rzadkich (REE) trafiają do żużla [32,38]. Obecność Al i Fe w żużlu jest kluczowa, ponieważ są one uważane za zanieczyszczenia na kolejnych etapach ługowania [37,39]. Stop metaliczny jest następnie przetwarzany metodami hydrometalurgicznymi. Początkowo Fe i Cu są wzbogacane przez roztwór ługujący. Pozostała frakcja jest poddawana działaniu HCl, w wyniku czego powstaje roztwór Ni(OH)<sub>2</sub> i CoCl<sub>2</sub>, a ten ostatni może być przetwarzany w celu uzyskania katodowego LiCoO<sub>2</sub> [38,40].



Rys. 9. Proces RECUPYL

Procesy występujące w przetwarzaniu pirometalurgicznym baterii litowo-jonowych obejmują: pirolizę, wytapianie, destylację i rafinację. Główny etap pirometalurgii obejmuje procesy zachodzące



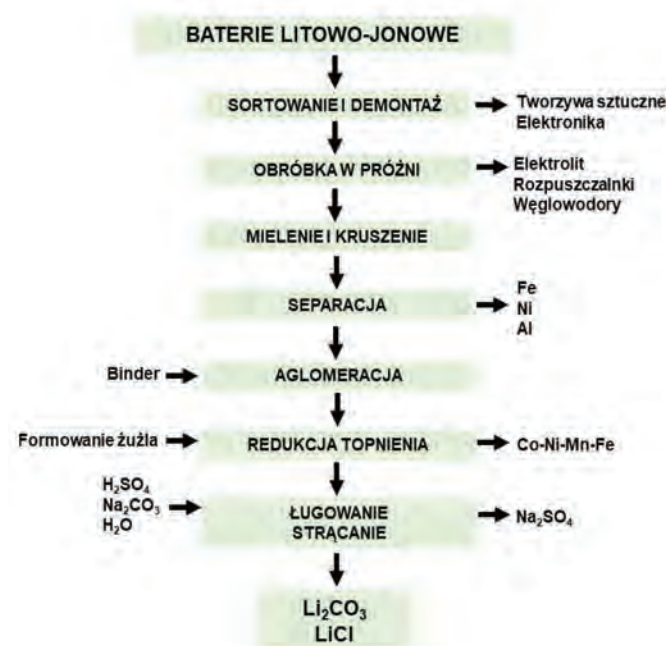
Rys. 10. Proces Umicore

Proces Sony, o wydajności 150 ton/rok, został opracowany we współpracy między Sony Electronics i Sumitomo Metal Mining Company [36,41]. Proces Sony rozpoczyna się od etapu kalcynacji w celu usunięcia elektrolitu i innych materiałów organicznych. Pozostałe frakcje są poddawane transformacji pirometalurgicznej, prowadzącej do odzyskania stopu metalicznego składającego się z Co, Ni i Fe,



podczas gdy Li jest w żużlu. Węgiel jest następnie ekstrahowany ze stopu metalicznego w procesie ługowania. Głównym produktem procesu Sumitomo-Sony jest CoO o wystarczającej jakości, aby można go było wykorzystać do produkcji ogniw litowo-jonowych [41]. Cu i Fe są produktami ubocznymi, które są oddzielane mechanicznie [41,42].

Proces zaprojektowany przez niemiecką firmę Accurec jest połączeniem procesów mechanicznych, pirometalurgicznych i hydrometalurgicznych mających na celu odzyskanie prekursora katody  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  i stopu Co-Ni-Mn – Rysunek 11. Proces rozpoczyna się od sortowania, czyszczenia i ręcznego demontażu zużytych ogniw. Zdemontowany wsad jest transportowany do próżniowej obróbki termicznej ( $250^\circ\text{C}$ ) w celu usunięcia elektrolitów, rozpuszczalników i lotnych węglowodorów [43,44]. Wytworzona frakcja jest następnie transportowana do mielenia i rozdrabniania w celu odsłonięcia zamkniętych składników. Zmielony materiał przechodzi serię etapów separacji mechanicznej składającej się z sita wibracyjnego, separatora magnetycznego i klasyfikatora zygakowatego. Separacja mechaniczna wytwarza frakcje Fe-Ni, Al i Al-Cu, z których można ekstrahować metale. Pozostała frakcja jest wysyłana do aglomeracji i dwuetapowego procesu pirometalurgicznego. Pierwszy etap pirometalurgiczny jest przeprowadzany w piecu obrotowym w temperaturze  $800^\circ\text{C}$ . Druga operacja pirometalurgiczna jest przeprowadzana w elektrycznym piecu łukowym, w którym zużywa się grafit w celu zwiększenia odzysku Co lub Mn, w zależności od składu wcześniej dodanego żużla. Według Georgi-Maschler [37], stop Co odzyskany na tym etapie ma wartość handlową. Podobnie jak Mn, Li jest tracony w żużlu lub ulatnia się jako pył spalinowy podczas pracy pieca. Stężenie Li w pyłe spalinowym i żużlu oszacowano na 5 razy wyższe niż w nadawie, co daje możliwość odzysku metodami hydrometalurgicznymi do postaci prekursora katodowego  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . W takich przypadkach żużel jest przetwarzany mechanicznie w celu uzyskania cząstek o wielkości  $<100\ \mu\text{m}$ , podczas gdy frakcja pyłu spalinowego jest wysyłana bezpośrednio do obróbki hydrometalurgicznej. Li jest następnie ługowany przy użyciu  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dając  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  jako produkt uboczny. Po ekstrakcji Li jest wytrącany w postaci  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Proces Accurec pozwala osiągnąć odzysk  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  na poziomie 90%. Może on być następnie wykorzystany jako prekursor katody lub jako surowiec do produkcji szkła [37].



Rys. 11. Proces ACCUREC

## Co można odzyskać?

Prace naukowe i doświadczalne w zakresie przerobu odpadowych baterii litowo-jonowych spowodowały istotne zmiany w tych procesach. Odzyskuje się już nie tylko metale, ale także prekursor katod przy jednoczesnym zmniejszaniu strat materiałowych. Procesy pirometalurgiczne pozwalają uzyskać stop metali, ale charakteryzują się dużymi stratami. Bardziej złożone procesy obejmujące hydro-, pirometalurgię i obróbkę mechaniczną, nawet kilkietapową, pozwalają uzyskać większą liczbę materiałów o wysokiej użyteczności tj.  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  (Toxco, Recupyl). Ale to z kolei rodzi pytania o ich rentowność w porównaniu z prostszymi procesami termicznymi. Na przykład proces Battery Resources wymaga zużycia różnych odczynników chemicznych (np.  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{NiSO}_4$  i  $\text{CoSO}_4$ ), co pozwala uzyskać produkt odpowiedni do zastosowania jako materiał katodowy. Niektóre z technologii wymagają odczynników chemicznych uznawanych za niebezpieczne, np. bromoformu stosowanego w procesie OnTo do separacji anody i katody, lecz proces ten odzyskuje składniki elektrolitu, tj. rozpuszczalnik i sól litu [45,46,47]. Proces OnTo posiada możliwości odzysku około 80% składników ogniw litowo-jonowych [48]. Podobnie jest w procesie Aalto, ale odzyskane formy wymagają dalszego przetwarzania, aby mogły być uważane za użyteczne surowce.

Różnorodność składu chemicznego katod stanowi dodatkowe wyzwanie dla przerobu, ponieważ mogą wymagać różnych warunków procesowych. W związku z tym ich jednoczesne przetwarzanie może zwiększyć wymagane zasoby (np. energię i czas przeznaczony na sortowanie) lub może mieć negatywny wpływ na jakość odzyskiwanych komponentów [26].

Tabela 1 przedstawia zestawienie przedsiębiorstw zajmujących się przerobem ogniw litowo-jonowych wraz z stosowanymi technologiami i odzyskiwanymi materiałami.

Wrz z rosnącym popytem na ogniwa litowo-jonowe, recykling zużytych ogniw staje się wyzwaniem dla przemysłu akumulatorowego i motoryzacyjnego. Usprawnienie procesu przerobu ogniw litowych, a w konsekwencji umożliwienie ponownego wykorzystania ich części, przywróci wartość już dostępnym akumulatorom. Prowadzone są liczne prace mające na celu zrównoważenie energii, odpadów i kosztów. Są to skomplikowane procesy technologiczne, wymagające dużej wiedzy i świadomości pracy z materiałami, które nieodpowiednio traktowane mogą być niebezpieczne.

Dr Agnieszka MARTYLA absolwentka Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zawodowo związana z chemią materiałową, charakterystyką fizykochemiczną, katalizą, chemicznymi źródłami prądu. Zawodowo, w latach poprzednich IMN CLAIo w Poznaniu, obecnie pracuje w Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W trakcie swojej pracy zawodowej realizowała i kierowała pracami wykonywanymi w ramach projektów finansowanych przez NCN, NCBR, czy ze środków unijnych, a także pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i opracowaniami tematycznymi realizowanymi dla ministerstw oraz przemysłu, w tym dla największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju: Grupa Azoty, KGHM, PKN ORLEN poruszającymi problematykę materiałów stosowanych w chemicznych i alternatywnych źródłach prądu, a także oczyszczania roztworów produkcyjnych, otrzymywania nowych materiałów wielofunkcyjnych, opracowywania założeń produkcyjnych. Jest autorem i współautorem szeregu publikacji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek SITPChem oraz Platformy Wodorowej przy Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego.

Zainteresowania naukowe: nośniki energii, wodór, materiały katalityczne, ogniwa paliwowe, fotowoltaika, paliwa alternatywne.  
e-mail: agnieszka.martyla@amu.edu.pl

**Prof. UAM dr hab. Robert PRZEKOP** jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Politechnice Poznańskiej w 2020 roku. Specjalizuje się w chemii materiałowej, katalizie heterogenicznej, biopaliwach.

W latach 2008-2010 zajmował stanowisko Wicedyrektora ds. Innowacji i Rozwoju Technologicznego w BGW WPH Sp. z o.o. W latach 2012-2014 Technolog w Poznańskim Parku Naukowo-Technologicznym Fundacji UAM. Od 2011 roku Profesor w Centrum Zaawansowanych Technologii UAM.

Od 2010 roku jest recenzentem w programach Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, autor ponad 300 ekspertyz i ocen na zlecenie tej agencji, głównie w obszarze badań stosowanych w przedsiębiorstwach i jednostkach naukowych.

Od roku 2019 przewodniczący panelu nauki Wielkopolskiej Platformy Wodorowej. Od roku 2022 członek Rady Koordynacyjnej ds. Gospodarki Wodorowej przy Ministerstwie Klimatu, przewodniczący Panelu Nauki w Platformie Wodorowej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Członek Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego w Warszawie. Laureat programu LIDER (NCBiR) na UAM. W latach 2018-2019 przygotował i brał udział w przygotowaniu szeregu wniosków projektowych, m.in. w ramach działania – RPWP.01.01.00 (WRPO) POIR.02.03.02 (PARP), POIR.01.01.01 (NCBiR) POIR.04.04.00 (FNP) oraz wniosku w programie OPUS (NCN). W latach 2014-2020 brał udział w pracach w zespole przygotowującym do fazy operacyjnej i w fazie operacyjnej projektu Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych Technologii.

Jest promotorem oraz promotorem pomocniczym w 7 przewodach doktorskich, był promotorem 20 prac licencjackich, inżynierskich i prac magisterskich. Jest autorem i współautorem 90. publikacji oraz 8. zgłoszeń patentowych. Jego zespół zrealizował w latach 2018-2021 ponad 200 prac badawczych i ekspertyz dla przemysłu (w tym największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju – PKN ORLEN, GRUPA AZOTY, CIECH).

e-mail: rprzekop@amu.edu.pl

**Mgr inż. Anna Łabęda** – absolwentka Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej (studia inżynierskie i magisterskie). Kandydatka do Szkoły Doktorskiej Politechniki Warszawskiej w dyscyplinie Inżynierii Materiałowej. Doświadczenie naukowe w tematyce materiałów kompozytowych, głównie modyfikacji chemicznej i laserowej powłok poliuretanowych. Zainteresowania naukowe: lodofobowość, hydrofobowość, laserowe usuwanie powłok, laserowa teksturyzacja powierzchni.

#### LITERATURA

- 1] <https://globenergia.pl/magazyn-energii-a-dostepne-technologie-ktore-sa-najbardziej-popularne/>, 29-06-2023.
- 2] <https://robu.in/working-of-lithium-ion-battery/>, 29-06-2023.
- 3] Kwade, A. Recycling of Lithium-Ion Batteries. Springer International, 2018. Web.
- 4] Ahmadi L., Young S.B., Fowler M., Fraser R.A., Achachlouei M.A.: A cascaded life cycle: reuse of electric vehicle lithium-ion battery packs in energy storage systems. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2015, 22(1), 1-14. <https://www.hotdiskinstruments.com/applications/anisotropy-thermal-conductivity-tests-of-batteries/>, 29-06-2023.
- 5] Thompson D., Hartley J., Lambert S., Shiref M., Harper G., Kendrick, E., Abbott, A. P. The Importance of Design in Lithium Ion Battery Recycling – A Critical Review. *Green Chemistry* 2020.
- 6] <https://onlinestores.factoryoutlets2023.com/content?c=zasada+dzia%C5%82ania+baterii+lutowo+jonowej&id=8>, 29-06-2023.
- 7] <https://recyclinginside.com/e-waste-recycling/lithium-ion-battery-cathode-types-and-usage-areas/29-06-2023>.
- 8] Golubkov A.W., Fuchs D., Wagner J., Wiltsche H., Stangl C., Fauler G., Voitic G., Thaler A., Hackere V.: Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. *RSC Adv.* 2014, 4, 3633-3642.
- 9] <https://www.sphericalinsights.com/reports/lithium-ion-battery-market>, 29-06-2023.
- 10] Yu X, Li W, Gupta V, Gao H, Tran D, Sarwar S, Chen Z. Current Challenges in Efficient Lithium-Ion Batteries' Recycling: A Perspective. *Glob Chall.* 2022 8(6)(12), 2200099.
- 11] Fan E., Li L., Wang Z., Lin J., Huang Y., Yao Y., Chen R., Wu F.: Sustainable Recycling Technology for Li-Ion Batteries and Beyond: Challenges and Future Prospects. *Chem. Rev.* 2020, 120, 7020-7063.
- 12] Akhmetov N., Manakhov A., Al-Qasim A.S.: Li-Ion Battery Cathode Recycling: An Emerging Response to Growing Metal Demand and Accumulating Battery Waste. *Electronics* 2023, 12, 1152-1190.
- 13] Eurostat Statistics. Eurostat. Available online: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_waspb/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_waspb/default/table?lang=en). 29-06-2023.
- 14] Yanamandra K., Pinisetty D., Daoud A., Gupta N.: Recycling of Li-Ion and Lead Acid Batteries: A Review. *J. Indian Inst. Sci.* 2022, 102, 281–295.
- 15] Garole D.J., Hossain R., Garole V.J., Sahajwalla V., Nerkar J., Dubal D.P.: Recycle, Recover and Repurpose Strategy of Spent Li-Ion Batteries and Catalysts: Current Status and Future Opportunities. *ChemSusChem* 2020, 13, 3079–3100.
- 16] Dobó Z., Dinh T., Kulcsár T.: A review on recycling of spent lithium-ion batteries. *Energy Reports* 2023, 9, 6362-6395.
- 17] Zeng X., Li J., Singh N., Recycling of Spent lithium-Ion Battery: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 2014, 44, 1129–1165.
- 18] Georgi-Maschler T., Friedrich B., Weyhe R., Heegn H., Rutz M.: Development of a recycling process for Li-ion batteries, *Journal of Power Sources* 2012, 207, 173- 182.
- 19] Jha M. K., Kumari A., Jha A.K., Kumar V., Hait J., Pandey B.D.: Recovery of lithium and cobalt from waste lithium ion batteries. *Journal of Waste management* 2013, 33, 1890-1897.
- 20] <https://elibama.files.wordpress.com/2014/10/v-d-batteries-recycling1.pdf>, 29-06-2023.
- 21] Gao W., Zhang X., Zheng X., Lin X., Cao H., Zhang Y., Z.H.I. Sun: Lithium Carbonate Recovery from Cathode Scrap of Spent Lithium-Ion Battery: A Closed-Loop Process, *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51(3), 1662–1669.
- 22] Dwivedi A., Madaan J., Santibanez Gonzalez E.D.R., Muktadir M.A.: A two-phase approach to efficiently support product recovery systems in a circular economy context. *Manag. Decis.* 2022, 60, 2060–2091.
- 23] Ali H., Khan H.A., Pecht M.G.: Circular economy of lithium-ion batteries: Technologies and trends. *J. Energy Storage* 2021, 40, 102690-102706.
- 24] Sattar R., Ilyas S., Bhatti H.N., Ghaffar A.: Resource recovery of critically - rare metals by hydrometallurgical recycling of spent lithium-ion batteries. *Sep. Purif. Technol.* 2019, 209, 725–733.
- 25] Velázquez-Martínez O., Valio J., Santasalo-Aarnio A., Reuter M., Serna-Guerrero R.: A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. *Batteries* 2019, 5(68), 33 strony.
- 26] Xu J., Thomas H.R., Francis R.W., Lum K.R., Wang J., Liang B.: A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries. *J. Power Sources* 2008, 177(2), 512-527.
- 27] Contestabile M., Panero S., Scrosati B.: A laboratory-scale lithium-ion battery recycling process. *J. Power Sources* 2001, 92(1–2), 65-69.
- 28] Castillo S., Ansart F., Laberty-Robert C., Portal J.: Advances in the recovering of spent lithium battery compounds. *J. Power Sources* 2002, 112(1), 247-254.
- 29] Espinosa D.C.R., Bernardes A.M., Tenório J.A.S.: An overview on the current processes for the recycling of batteries. *J. Power Sources* 2004, 135(1–2), 311-319.
- 30] Tedjar F., Foudraz J.C.: Method for the Mixed Recycling of Lithium-Based Anode Batteries and Cells. U.S. Patent 7,820,317 B2, 26 October 2010.
- 31] Vezzini A.: Manufacturers, Materials and Recycling Technologies in Lithium-Ion Batteries Advances and Application; Elsevier BV: Rome, Italy, 2014, 529–551.
- 32] Neumann J., Petranikova M., Meeus M., Gamarra J.D., Younesi R., Winter M., Nowak S.: Recycling of Lithium-Ion Batteries— Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling. *Adv. Energy Mater.* 2022, 12, 2102917, 26 stron.
- 33] Richa K., Babbitt C.W., Gaustad G.: Eco-Efficiency Analysis of a Lithium-Ion Battery Waste Hierarchy Inspired by Circular Economy. *J. Ind. Ecol.* 2017, 21, 715–730.
- 34] Gaines L.: Lithium-ion battery recycling processes: Research towards a sustainable course. *Sustain. Mater. Technol.* 2018, 17, e00068.
- 35] Lv W., Wang Z., Cao H., Sun Y., Zhang Y., Sun Z.H.: A Critical Review and Analysis on the Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2018, 6, 1504–1521.
- 36] Georgi-Maschler, T.; Friedrich, B.; Weyhe, R.; Heegn, H.; Rutz, M. Development of a recycling process for Li-ion batteries. *J. Power Sources* 2012, 207, 173–182
- 37] Commission for Environmental Cooperation. Environmentally Sound Management of End-of-Life Batteries from Electric-Drive Vehicles in North America; Commission for Environmental Cooperation: Montreal, Canada, 2015.
- 38] Cheret D., Santen S.: Battery Recycling. U.S. Patent 7,916,920 B2, 30 January 2007.
- 39] Gaines L.: The future of automobile battery recycling 2014, [www.anl.gov/energy-systems/publication/future-automobilebatteryrecycling](http://www.anl.gov/energy-systems/publication/future-automobilebatteryrecycling), 29-06-2023.
- 40] Cardarelli F., Dube J.: Method for Recycling Spent Lithium Metal Polymer Rechargeable Batteries and Related Materials. U.S. Patent 7,192,564 B2, 20 March 2007.
- 41] Al-Thyabat S., Nakamura T., Shibata E., Izuka A.: Adaptation of minerals processing operations for lithium-ion (LiBs) and nickel metal hydride (NiMH) batteries recycling: Critical review. *Miner. Eng.* 2013, 45, 1-4.
- 42] Accurec Recycling GmbH, Accurec 2019. Available online: <https://accurec.de/lithium>, 29-06-2023.
- 43] Meshram P., Pandey B., Mankhand T.: Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. *Hydrometallurgy* 2014, 150, 192–208.
- 44] Sloop S.E.: System and Method for Removing and Electrolyte from Energy Storage and/or Conversion Device Using a Supercritical Fluid. U.S. Patent 7,858,216 B2, 28 December 2010.
- 45] Sloop S.E., Parker R.: System and Method for Processing an End-of-Life or Reduced Performance Energy Storage and/or Conversion Device Using a Supercritical Fluid. U. S. Patent 8,067,107 B2, 29 November 2011.
- 46] Dunn J., Gaines L., Barnes M., Wang M., Sullivan J.: Material and Energy Flows in the Materials Production, Assembly, and End-of-Life Stages of the Automotive Lithium-Ion Battery Life Cycle; Argonne National Laboratory: Chicago, IL, USA, 2012.
- 47] Gaines L., Sullivan J., Burnham A., Belharouk I.: Life-Cycle Analysis of Production and Recycling of Lithium Ion Batteries. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2011, 2252, 57–65.

W ramach programu Ministerstwa Edukacji i Nauki

## Rozwój czasopism naukowych

czasopismo

# ochrona przed korozją

realizuje projekt RCN/SN/0650/2021/1<sup>2</sup>



Czas realizacji projektu: lata 2023–2024.

Serdecznie zapraszamy autorów do nadsyłania artykułów z obszaru korozji i ochrony przed korozją.

Zakwalifikowane do druku prace zostaną bezpłatnie przetłumaczone na język angielski.

Przybliżony czas oczekiwania na publikację 3–6 miesięcy.

Czasopismo „Ochrona przed Korozją” publikuje artykuły naukowe w Otwartym Dostępie.

<https://www.sigma-not.pl/czasopisma-40-ochrona-przed-korozja.html>

<https://ochronapredkorozja.pl/>

ochrona  
przed korozją



WYDAWNICTWO  
SIGMA NOT



**Marcelina JÓŹWIAK**

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska.  
Grupa Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn S.A.

**Ewa PANKALLA**

Grupa Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn S.A.

**Józef HOFFMANN**

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska

**Magdalena BRAUN-GIERSKA**

Katedra Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska

# Wpływ dodatku surowców pochodzenia organicznego na wytrzymałość mechaniczną granulatów na bazie dolomitu

The influence of the addition of organic raw materials on the mechanical strength of dolomite-based granules

DOI: 10.21303/2023.1.4

Przedstawiono wyniki badań procesu granulacji mączki dolomitowej z dodatkiem surowców pochodzenia organicznego, w tym biomasy odpadowej. Zbadano wpływ takiego rodzaju dodatku na wytrzymałość powstającego w procesie granulatu. Oceniono jakość wytworzonych produktów oraz przebieg procesu aglomeracji na podstawie wyników analizy sitowej oraz badania wytrzymałości mechanicznej granul na zgniatanie.

**Słowa kluczowe:** dolomit, biomasa, granulacja talerzowa

*The results of the granulation process of dolomite flour with the addition of organic raw materials, including waste biomass, are presented. The influence of this type of additive on the strength of the granulate produced in the process was investigated. The quality of the manufactured products and the course of the agglomeration process were evaluated on the basis of the results of the sieve analysis and the mechanical strength test of the granules.*

**Key words:** dolomite, biomass, disc granulation

## Wstęp

Kamień dolomitowy jest minerałem w skład którego wchodzi sól podwójna węgla wapnia i magnezu. Głównym kierunkiem zastosowania dolomitu jest produkcja środków wapnujących oraz nawozów mineralnych, a także mineralno-organicznych. Surowiec ten wykorzystywany jest w procesie produkcyjnym nawozów azotowych w Grupie Azoty ZAK S.A. Stosowany jest jako wypełniacz, jednocześnie poprawiając bezpieczeństwo procesowe produkcji nawozów. Aplikacja dogłębowa granulowanych produktów na bazie mączki dolomitowej pozwala na dostarczenie składników niezbędnych do prawidłowego wzrostu roślin, w szczególności wapnia i magnezu. Ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne dolomit poprawia strukturę gleby, neutralizuje jej kwaśny odczyn oraz powoduje zwiększenie efektu działania nawozów mineralnych czy mineralno-organicznych. Nawozy zawierające wysoką zawartość dolomitu mogą zostać wzbogacone o inne składniki pokarmowe, w tym różnego rodzaju dodatki organiczne [1-3].

Konceptja zrównoważonego nawożenia, konieczność zwiększenia efektywności nawozów mineralnych i obniżenia ich zużycia, z jednoczesnym uwzględnieniem potrzeby racjonalnego gospo-

darowania surowcami uzasadnia opracowanie nowych receptur opartych na organiczno-mineralnych połączeniach, wykorzystujących innowacyjne komponenty, materiały organiczne, bioodpady i zasoby wtórne. Jest to również zgodne z aktualnymi wytycznymi UE. Wpływ na to mają zmiany w prawie unijnym (Zmiana Rozporządzenia (WE) nr 2003/2003 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 2003 r. w sprawie nawozów) [4], uwzględniające nawozy organiczne w obrocie unijnym, konieczność podnoszenia zawartości próchnicy w glebie oraz postępowanie zgodnie z zasadami zrównoważonego rolnictwa i gospodarki biocykularnej. Zatem temat ten jest jak najbardziej aktualny. Nowe Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii (UE) 2019/1009 promujące zwiększenie wykorzystania materiałów organicznych i bioodpadów w produkcji nawozów organicznych i organiczno-mineralnych obowiązuje w całości od 16 czerwca 2022 roku [4-6].

Naturalnym i bogatym źródłem substancji próchnicznych w glebie są materiały węglonośne, a ich zastosowanie jako komponentu nawozowego jest racjonalnym sposobem wykorzystania dostępnych zasobów surowców. O celowości wykorzystania węgla brunatnego czy torfu w rolnictwie świadczy znaczna zawartość substancji humusowych w tych materiałach organicznych. Substancje te wyka-

zują podobieństwo do substancji próchnicznych gleby, a z tego faktu wynikają z kolei ich cenne właściwości nawozowe [5,6]. Obecnie ważnym obszarem badawczym są również zagadnienia dotyczące zastosowania nowoczesnych technik ekstrakcji pożądanych frakcji substancji humusowych jako prekursora intensyfikacji w metodach konwencjonalnych. Pozwala to na potencjalne usprawnienie procesu, zmniejszenie kosztów, a także na skrócenie czasu jego prowadzenia [7].

Ważnym aspektem produkcji preparatów mineralno-organicznych jest zatem wykorzystanie odpadów z jednych procesów jako surowców dla innych, zamykając tym samym pętle procesów. W przetwórstwie owoców pestkowych wykorzystuje się do produkcji dżemów, pulp czy marmolad wyłącznie ich miąższ. Efektem działalności produkcyjnej są bardzo duże ilości problematycznego odpadu, jakim są pestki owoców. Rozkład zdrewniałych części owoców w środowisku zachodzi bardzo powoli, co utrudnia ich kompostowanie. Ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne pestki owoców wykazują wysoki potencjał do zagospodarowania w innych dziedzinach przemysłu niż spożywcza. Jedną z perspektyw wykorzystania pestek owoców jest ich zagospodarowanie jako surowca do produkcji nawozów mineralno-organicznych.

Algi jako składnik w nawozach mogą być bogatym źródłem aminokwasów roślinnych, witamin, mikro- i makroskładników oraz fitohormonów, które są charakterystyczne dla roślin wyższych. Algi wprowadzane są do nawozów głównie w postaci ekstraktów. Sposób prowadzenia procesu ekstrakcji jest bardzo istotny, ponieważ ma on wpływ na skład oraz stężenie substancji bioaktywnych w powstających ekstraktach. Zaletą aplikacji ekstraktów z alg jest ich aktywność już przy bardzo niskich stężeniach, są one biodegradowalne i nietoksyczne. Wykazują bardzo pozytywne działanie na rośliny, zmniejszają ich obciążenie na czynniki stresogenne (susza, brak słońca, zmiany temperatur czy nadmiar wody), zwiększają efektywność zachodzenia procesu fotosyntezy oraz wpływają pozytywnie na metabolizm komórkowy [8]. Oprócz ekstraktów stosowanych jako dodatek do nawozów wykorzystuje się również susz z alg morskich. Surowiec ten pozyskiwany jest głównie z nadmorskich plaż, gdzie algi są wyrzucane na brzeg w czasie burz i sztormów, stanowiąc tym samym uciążliwy odpad.

Granulacja proszków lub pyłów w większe granule znajduje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Proces ten pozwala na przeprowadzenie półproduktów lub surowców w formy ułatwiające lub niekiedy umożliwiające przebieg różnych etapów technologicznych takich jak transport, magazynowanie czy zwiększenie wydajności dozowania [9-10]. Dobór stosowanej techniki granulacji uzależniony jest od właściwości reologicznych i fizykochemicznych surowców wykorzystywanych do procesu [11-12]. Materiały w postaci proszkowej lub pylistej (w tym mączka dolomitowa) mogą wymagać zastosowania odpowiedniej ilości cieczy zwilżającej lub lepiszczy, które umożliwią zachodzenie procesu aglomeracji [12]. W przypadku układów o wysokiej zawartości mączki dolomitowej potencjalnymi substancjami mogącymi wspomagać proces granulowania są lignosulfoniany sodu oraz wapnia [13].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dodatku substancji pochodzenia organicznego na przebieg granulacji mączki dolomitowej oraz wytrzymałość powstających produktów. Jako źródło biomasy zastosowano pestki porzeczki oraz algi bałtyckie. Oceny przebiegu procesu aglomeracji oraz jakości otrzymanych granulatów dokonano na podstawie analizy sitowej oraz badania wytrzymałości mechanicznej pojedynczych granul na ściskanie.

## Opis

### 1.1. Część doświadczalna

#### 1.1.1. Surowce i aparatura

Do badań wykorzystano kamień dolomitowy dostarczony przez Grupę Azoty Zakłady Azotowe Kędzierzyn S.A. zmielony na mączkę, dodatki pochodzenia naturalnego (pestki porzeczki (P) oraz algi bałtyckie (A)), spoiwa usprawniające zachodzenie procesu granulacji (siedmiowodny siarczan magnezu (MS) oraz półwodny siarczan wapnia (G)), jako ciecz aglomerującą stosowano wodę oraz roztwory lignosulfonianu wapnia (LSCa). W badaniach wstępnych jako ciecz zwilżająca wykorzystano również roztwór wodny lignosulfonianu sodu (LSNa). Do badań granulacji wykorzystano laboratoryjny granulador talerzowy ERWEKA AR 403. Oceny jakości uzyskanych produktów procesu aglomeracji przeprowadzono na podstawie badania wytrzymałości mechanicznej na zgniatanie przy pomocy aparatu ERWEKA TBH 20. W tym z celu z frakcji granul o średnicy większej niż 3,15 mm, a mniejszej niż 4,0 mm wybierano losowo 20 granulek i mierzono ich wytrzymałość na aparacie.

W celu określenia wydajności procesu granulacji przeprowadzono analizę sitową otrzymanych granulatów zgodnie z normą PN-EN 1235:1999. Po ostygnięciu materiału, otrzymane granulaty przesiewano przez sita o rozmiarach oczek: 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm, 3,15 mm, 4,0 mm oraz 5,0 mm. Uzyskane w ten sposób frakcje ważono, a na podstawie ich mas obliczano procentowy udział każdej z nich w całkowitej masie otrzymanego produktu, zgodnie ze wzorem (1), przedstawionym poniżej:

$$\%fr_i = \frac{m_i}{m_{i1} + m_{i2} + m_{i3} \dots} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: %fr<sub>i</sub> – procentowy udział frakcji i;

m<sub>i</sub> – masa frakcji i;

i – poszczególne frakcje:

poniżej 0,5 mm;

0,5 mm < frakcja < 1,0 mm;

1,0 mm < frakcja < 1,5 mm;

1,5 mm < frakcja < 2,0 mm

2,0 mm < frakcja < 3,15 mm

3,15 mm < frakcja < 4,0 mm

4,0 mm < frakcja < 5,0 mm.

#### 1.1.2. Metodyka badań

Pierwszy etap prac stanowiły testy granulacji dolomitu w układach trójskładnikowych przy użyciu wody jako cieczy aglomerującej. Badano wpływ poszczególnych parametrów na przebieg procesu granulacji oraz jakość otrzymanego produktu, co pozwoliło na wskazanie większości parametrów jako wartości stałych oraz wyznaczenie optymalnego składu mieszaniny granulacyjnej. Każdorazowo na obracającym się talerzu granuladora umieszczano układ składający się z mączki dolomitowej wymieszanej z odpowiednią ilością założeń dodatków. Mieszanek stopniowo zwilżano cieczą wiążącą w postaci rozproszonej, natryskując surowiec w jednakowych odstępach czasu. Po zakończeniu procesu aparat opróżniano, a otrzymane granulaty suszono w temperaturze 80°C. Po ostudzeniu produkty poddano ocenie jakości, wykonując analizę granulometryczną oraz badanie wytrzymałości mechanicznej na zgniatanie.

Wstępne testy optymalizacji składu mieszaniny trójskładnikowej wykonano dla mieszanek zawierających zmielony kamień dolomitowy, siedmiowodny siarczan magnezu oraz półwodny siar-

czan wapnia (gips). Założono stałą zawartość siarczanu magnezu w mieszankach na poziomie 10%. Dodatek gipsu do takich układów skutkowało wzrostem stopnia przegrulowania masy, przy jednoczesnym zachowaniu odpowiedniego kształtu granul. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla mieszanek, w których zawartość półwodnego siarczanu wapnia nie przekraczała 10%.

Wykonano testy granulacji dla powyższej mieszanki, stosując jako ciecz aglomerującą 20% roztwory lignosulfonianu wapnia oraz sodu. Parametry granulacji były identyczne jak w poprzednim etapie. Zastosowanie roztworu lignosulfonianu wapnia w procesie skutkowało otrzymaniem granulatów drobniejszych i bardziej wytrzymałych. Dla tych próbek otrzymano najlepsze rezultaty, które przewyższały wyniki otrzymane w próbach pierwotnych zarówno dla stopni zgranulowania, jak i wytrzymałości mechanicznej otrzymanego produktu. W przypadku roztworu lignosulfonianu sodu tendencja ta była odwrotna. Na tej podstawie wytypowano jako ciecz wiążącą 20% roztwór lignosulfonianu wapnia do dalszych badań z zastosowaniem dodatku substancji organicznych.

Przeprowadzono testy granulacji dla wytypowanego optymalnego składu mieszanki w obecności dodatku pochodzenia organicznego (pestki porzeczki oraz algi bałtyckie). Badanie granulacji wykonano zgodnie z założeniami zestawionymi w tabeli nr 1.

**Tabela 1.** Założenia procesu granulowania mieszanek zawierających dodatek substancji organicznej

Lp.	Parametr	Wartość
1.	Sumaryczna masa mieszanki surowców	300 g
2.	Zawartość siedmiowodnego siarczanu magnezu w mieszance	10 % mas.
3.	Zawartość półwodnego siarczanu wapnia w mieszance	10% mas.
4.	Zawartość substancji organicznej w mieszance (pestki porzeczki/algi bałtyckie)	22 % mas.
5.	Prędkość obrotów talerza granulacyjnego	80 rpm
6.	Kąt nachylenia talerza granulacyjnego	45°
7.	Rodzaj cieczy zwilżającej	lignosulfonian wapnia i sodu
8.	Temperatura cieczy zwilżającej	25 °C
9.	Stężenie cieczy zwilżającej	20 % mas.
10.	Czas prowadzenia procesu	10 min.

**Tabela 2.** Zestawienie uśrednionych wyników badań wytrzymałości mechanicznej granulatów dla wybranych mieszanek

Oznakowanie próbki	Siła niszcząca strukturę granul [N]	Średnica [mm]
10MS/10G/WODA	4,00	3,02
10MS/10G/20LSCa	6,61	3,62
10MS/10G/20LSCa	11,94	3,26
10MS/10G/20LSCa/22P	4,82	3,60
10MS/10G/20LSCa/22A	7,45	3,75

Każda mieszanka użyta do granulacji zawierała 22% wag. substancji organicznej, co pozwoliło na spełnienie warunku potraktowania preparatu jako mineralno-organicznego.

## Wyniki

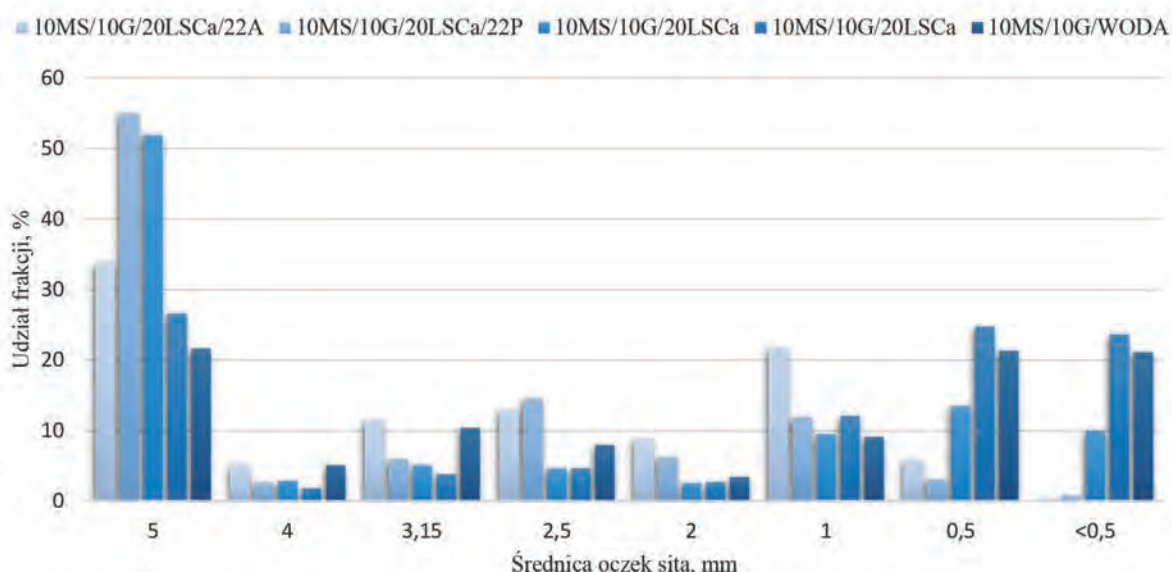
W tabeli nr 2 zestawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla wybranych mieszanek w celu porównania oddziaływania dodatku substancji organicznych – w tym przypadku pestek porzeczki oraz alg bałtyckich – na wytrzymałość otrzymywanych granulatów na bazie mączki dolomitowej.

Z kolei rysunek nr 1 przedstawia zestawienie udziału procentowego poszczególnych frakcji dla wybranych mieszanek granulatów na bazie dolomitu z dodatkami.

## Podsumowanie i wnioski

Wprowadzenie do układów na bazie dolomitu pestek porzeczki znacząco zmniejsza wytrzymałość uzyskanych produktów. Proces aglomeracji mieszanek przebiegał sprawnie, jednakże otrzymane granulaty cechowały się dużą porowatością, co jest bezpośrednim powodem obniżenia wytrzymałości mechanicznej końcowego produktu. Zmieszanie takiego rodzaju materiału organicznego przyczyniło się do nieznacznej zmiany wytrzymałości granulatów. Osiągnięte rezultaty nie były zadowalające, przez co odrzucono pestki porzeczki jako interesujący surowiec organicznych w formulacjach nawozowych.

Granulacja układów na bazie dolomitu z dodatkiem alg bałtyckich jest procesem trudnym i wymaga specyficznych warunków jego



**Rys. 1.** Analiza sitowa wybranych próbek

prowadzenia, dostosowanych do rodzaju pozostałych dodatków w mieszaninie. Dla odpowiednich parametrów granulacji uzyskano wyższe wartości wytrzymałości granul oraz stopnia zgranulowania układu w porównaniu do mieszanek zawierających pestki porzeczek. Zwiększenie wytrzymałości mechanicznej końcowego produktu jest wynikiem włóknistej postaci alg, które tworzą z masą dolomitową pewnego rodzaju wiązania wzmacniające otrzymany granulaty.

Dodatek substancji organicznych do mieszanek zawierających dolomit oraz substancje usprawniające zachodzenie procesu nie przyniósł zadowalających efektów. Zarówno algi bałtyckie, jak i pestki owoców nie zwiększyły znacząco wytrzymałości mechanicznej powstającego granulatu ani nie poprawiły wydajności zachodzenia procesu.

*Praca realizowana w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych Politechniki Wrocławskiej (K24W03D05).*

**Mgr inż. Marcelina JÓŹWIAK** w 2016 roku ukończyła studia inżynierskie na Wydziale Chemii Politechniki Rzeszowskiej. Studia magisterskie zrealizowała na Wydziale Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w 2018. Od 2018 roku jest pracownikiem Grupa Azoty ZAK S.A. Specjalność – analityka chemiczna.

Doktor nauk technicznych **Ewa PANKALLA** w roku 1992 ukończyła studia na Wydziale Matematyki, Fizyki, Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Od 1995 roku jest pracownikiem Zakładów Azotowych Kędzierzyn (dziś Grupa Azoty ZAK S.A.) Specjalność chemia organiczna i inżynieria reakcji chemicznych oraz chemia analityczna.

**Prof. dr hab. inż. Józef HOFFMANN** w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Pracuje w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych (K-24), Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska. Specjalność – technologia chemiczna – nieorganiczna.

**Mgr inż. Magdalena BRAUN-GIWERSKA** w roku 2017 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej. Od 2018 pracuje w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych Politechniki Wrocławskiej. Specjalność technologia chemiczna nieorganiczna oraz substancje humusowe.

#### Literatura

- [1] BOROWIK M., SCHAB S., BISKUPSKI A., RUSEK P., BOGUSZ P., KOWALSKI Z., *Badania granulacji nawozowego wapna węglanowego metodą talerzową*, „Przemysł Chemiczny” 2015, vol. 94, nr 11, s. 2019-2021. DOI: 10.15199/62.2015.11.24.

- [2] LITVINOVICH A., SALAEV I., PAVLOVA O., LAVRISHCHEV A., BURE V., SALJINKOV E., *Utilization of Large-Sized Dolomite By-Product Particles and Losses of Cations from Acidic Soil*, „Communications in Soil Science and Plant Analysis” 2019, vol. 50, nr 7, s. 869-877. DOI: 10.1080/00103624.2019.1589490.
- [3] FELIKS J., *Badania procesu granulowania dolomitów i wapieni w granulatorze wibracyjnym*, [w:] „Granulacja 2015: X ogólnopolskie sympozjum: Stan techniki oraz nowe zastosowania procesów i aparatury do granulacji: Nałęczów 6-8 maja 2015 r.”, materiały konferencyjne.
- [4] *Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiające przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE, zmieniające rozporządzenia (WE) nr 1069/2009 i (WE) nr 1107/2009 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 2003/2003.*
- [5] HUCULAK-MĄCZKA M., BRAUN-GIWERSKA M., HOFFMANN J., HOFFMANN K., *Badania nad możliwością ekstrakcji substancji humusowych z wybranych surowców*, „Przemysł Chemiczny” 2018, vol. 97, nr 10, s. 1680-1683. DOI: 10.15199/62.2018.10.9.
- [6] HUCULAK-MĄCZKA M., HOFFMANN J., HOFFMANN K., *Evaluation of the possibilities of using humic acids obtained from lignite in the production of commercial fertilizers*, „Journal of Soils and Sediments” 2018, vol. 18, nr 8, s. 2868-2880. DOI: 10.1007/s11368-017-1907-x.
- [7] NIEWEŚ D., HUCULAK-MĄCZKA M., BRAUN-GIWERSKA M., MARECKA K., TYC A., BIEGUN M., HOFFMANN K., HOFFMANN J., *Ultrasound-assisted extraction of humic substances from peat: assessment of process efficiency and products' quality*, „Molecules” 2022, vol. 27, nr 11, s. 1-17. DOI: 10.3390/molecules27113413.
- [8] TUHY Ł., WITKOWSKA Z., SAEID A., CHOJNACKA K., *Zastosowanie ekstraktów glonowych w wytwarzaniu nawozów, pasz, żywności i kosmetyków*, „Przemysł Chemiczny” 2012, vol. 91, nr 5, s. 1031-1034.
- [9] GLUBA T., *Badania procesu granulacji talerzowej w układzie ciągłym*, „Chemik” 2012, vol. 66, nr 5, s. 360-369.
- [10] SIUDA R., KWIATEK J., SZUFA S., OBRANIAK A., PIERSA P., ADRIAN Ł., MODRZEWSKI R., ŁAWIŃSKA K., SICZEK K., OLEJNIK T.P., *Industrial Verification and Research Development of Lime-Gypsum Fertilizer Granulation Method*, „Minerals” 2021, vol. 11, nr 2, s. 119-140. DOI: 10.3390/min11020119.
- [11] HEIM A., *Granulacja – proces wciąż ważny*, „Chemik” 2012, vol. 66, nr 5, s. 356-359.
- [12] KWIATEK J., SIUDA R., GLUBA T., OLEJNIK T.P., OBRANIAK A., MARSZAŁEK-GUBIEC A., PIETRASIK T., *Granulacja mączki wapiennej przy użyciu wybranych cieczy wiążących*, „Przemysł Chemiczny” 2018, vol. 97, nr 9, s. 1542-1548. DOI: 10.15199/62.2018.9.31.
- [13] SCHWAEBLE C.F., POTT R.W.M., GOOSEN N.J., *The effect of sodium alginate, lignosulfonate and bentonite binders on agglomeration performance and mechanical strength of micro-fine agricultural lime pellets*, „Particulate Science Technology” 2021, vol. 39, nr 7, s. 820-831. DOI: 10.1080/02726351.2020.1833387.



[www.przemyslchemiczny.com](http://www.przemyslchemiczny.com)

IF 0,50

Impact Factor pisma  
za rok 2022

100 punktów

w wykazie  
czasopism MEIN

**przemysł  
chemiczny**

Tradycja od 1917 r.

PUBLIKACJE NAUKOWE REKLAMA PRENUMERATA

**Małgorzata OLEJARCZYK**

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii,  
Przedsiębiorstwo Budowlane „Waciński” Witold Waciński,

**Włodzimierz URBANIAK**

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
Wydział Chemii

**Iwona RYKOWSKA**

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii

**Witold WACIŃSKI**

Przedsiębiorstwo Budowlane „Waciński” Witold Waciński

# Możliwości wykorzystania wapna posodowego z produkcji sody metodą Solvay'a

Possibilities of using post-soda lime from the production  
of soda ash by the Solvay method

DOI: 10.21303/2023.1.5

*Polska jest drugim producentem sody kalcynowanej w Europie. Roczna produkcja sody w naszym kraju szacowana jest na 1,2 mln ton. Stosowany do produkcji sody proces Solvay'a generuje znaczne ilości współproduktów, które w zależności od składu i właściwości mogą mieć charakter produktu ubocznego lub odpadu, stanowiąc istotny problem zakładów produkujących sodę. Należy do nich tzw. wapno posodowe, które w praktyce powstaje na kilku etapach produkcji sody, różniąc się w sposób istotny składem i właściwościami. W konsekwencji opis składu i właściwości takiego materiału, z pominięciem dokładnego źródła powstania w procesie technologicznym, jest często niejednoznaczny. Prowadząc badania nad wapnem posodowym konieczne jest zatem zróżnicowane podejście do różnych frakcji wapna posodowego jako odmiennych, niezależnych materiałów.*

*Poland is the second producer of soda ash in Europe. The annual production of soda in Poland is estimated at 1.2 million tonnes. However, the Solvay process used for the production of soda ash generates significant amounts of co-products, which, depending on the composition and properties, may be a by-product or waste, constituting a significant problem for soda production plants. They include the so-called "post-soda lime", which in practice is formed at several stages of soda production, differing significantly in composition and properties. As a consequence, the description of the composition and properties of such material, omitting the exact source of its formation in the technological process, is often ambiguous. When conducting research on post-soda lime, it is, therefore, necessary to have a differentiated approach to different fractions of post-soda lime as separate, independent materials.*

*This study is a review of knowledge on the formation, properties, and possibilities of using post-soda lime from the production of soda ash using the Solvay method. Keywords: postsoda lime, circular economy, neutralization of fluorides, industrial waste, sorbents*

Niniejsze opracowanie stanowi przegląd wiedzy na temat powstawania, właściwości oraz możliwości wykorzystania wapna posodowego z produkcji sody kalcynowanej metodą Solvay'a.

## Wstęp

Soda kalcynowana (węglan sodu) jest jednym z podstawowych surowców chemicznych używanych w przemyśle i jednocześnie produktem znajdującym szerokie zastosowanie w codziennym życiu. Aż do końca XVIII wieku, soda pochodziła wyłącznie ze źródeł naturalnych. Obecnie podstawowym źródłem pozyskiwania sody są metody syntezy chemicznej, głównie wykorzystującej proces Solvay'a. Polska jest drugim największym producentem sody kalcynowanej w Europie. Roczna produkcja sody w naszym kraju szacowana jest na 1,2 mln ton. Obecnie produkcja jest prowadzona w Inowrocławiu i Janikowie, w zakładach należących do spółki CIECH Soda Polska S.A, która dysponuje mocami produkcyjnymi na poziomie 2,6 mln ton i czterema zakładami sody: dwoma w Polsce (Inowrocław i Janikowo) i po jednym w Niemczech (Stassfurt) i Rumunii (Ramnicu

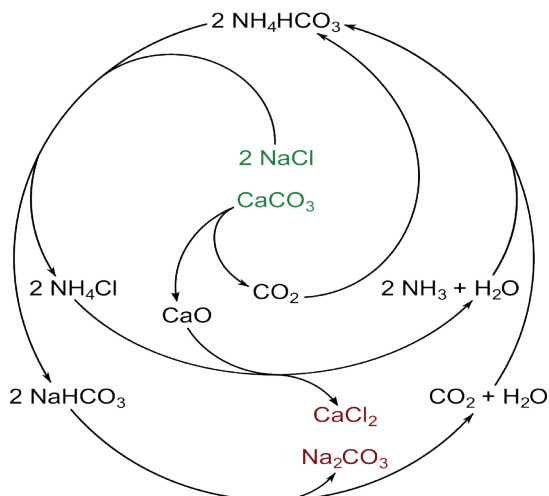
Valcea). Lokalizacja zakładów produkcyjnych została wybrana ze względu na występowanie w tej okolicy złóż podstawowych surowców do produkcji, tj. złóż soli kamiennej oraz wapieni [1]. Udział ilościowy grupy w rynku sody kalcynowanej w Polsce sięga ok. 95%, w Europie wynosi 1618%, a na rynku światowym ok. 4% [2]. We wszystkich zakładach jest wykorzystywana metoda Solvay'a, generująca znaczne ilości współproduktów, często o charakterze odpadów. Jednym z głównych tego typu materiałów jest tzw. wapno posodowe, którego wykorzystanie ma duże znaczenie zarówno z punktu widzenia ekonomii jak i zielonej chemii (GOZ).

## Produkcja sody metodą Solvay'a

Metoda Solvay'a jest znana od połowy XIX wieku i jest dobrze opisana w literaturze fachowej. Klasyczny schemat technologiczny przedstawiono na rysunku 1.

Należy zauważyć, że w ogólnym schemacie produkcji sody metodą Solvay'a nie występuje wapno posodowe jako odpad czy produkt uboczny (współprodukt), mimo iż wskaźniki wynikające z konkluzji





Rys. 1. Schemat otrzymywania węglanu sodu metodą Solvaya [3]

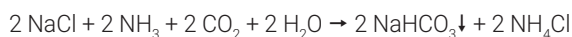
Najlepszych Dostępnych Technik (BAT – Best Available Technology) dla produkcji sody z wykorzystaniem metody Solvay'a, opisanej w dokumentach referencyjnych Wielkotonazowych Chemikaliów Nieorganicznych (LVIC-S - Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Others Industry)[4] [5], wskazują, iż w Polsce, przy założeniu rocznej produkcji 1,2 mln ton sody, powstaje ok. 600–800 tysięcy ton wapna posodowego.

Tak duża ilość wapna posodowego wynika z faktu, że soda syntetyczna jest wytwarzana głównie z surowców naturalnych, zawierających często zanieczyszczenia, które w procesie produkcyjnym muszą być usuwane. W wyniku tych procesów mogą powstawać strumienie materiałów, które w zależności od możliwości wykorzystania są produktami zbywalnymi (współprodukty, produkty uboczne) lub odpadami. Zawierają one głównie inertywny materiał zawarty w strumieniach surowców dodawanych zazwyczaj w nadmiarze w stosunku do warunków stechiometrycznych, np. wapieni z kamienia wapiennego i chlorki z solanki.

Tym samym, aby w pełni zobrazować proces Solvay'a, należy przyjąć, że podczas produkcji sody powstają trzy główne strumienie materiałów (rys. 2). Jest to soda kalcynowana będąca głównym produktem, chlorek wapnia stanowiący współprodukt posiadający również wartość handlową oraz wapno posodowe mające cechy produktu ubocznego bądź odpadu, w zależności od parametrów osiągniętych w procesie produkcyjnym.

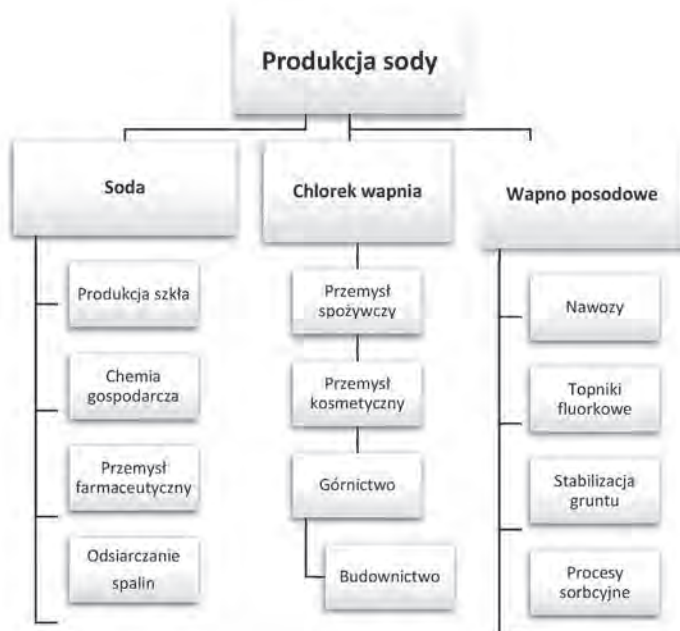
### Powstawanie wapna posodowego w procesie produkcji sody

W sumarycznym równaniu reakcji powstawania sody nie występuje wapń ani jego związki:

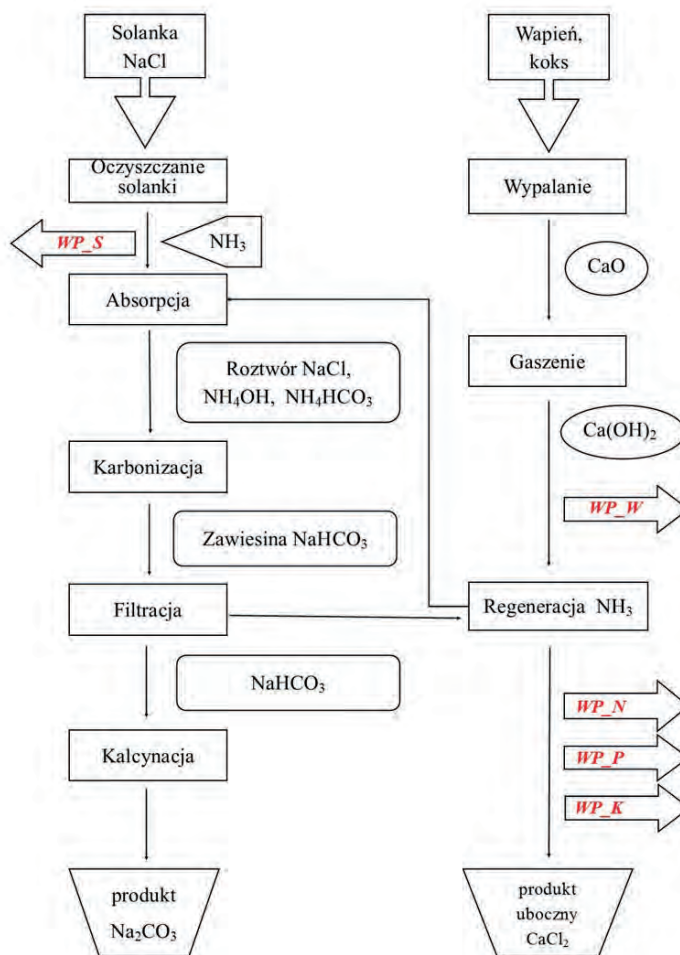


jednakże produkty/odpady, których podstawowym składnikiem są związki wapnia, powstają na kilku etapach produkcji sody. Zazwyczaj są określane ogólnie jako „wapno posodowe”, ale mogą w sposób istotny różnić się właściwościami. Dlatego przy ocenie możliwości wykorzystania, należy zawsze brać pod uwagę etap produkcyjny, z którego pochodzi dana partia „wapna posodowego”.

Produkcję sody metodą Solvay'a, ze szczególnym uwzględnieniem miejsc, w których występują związki wapnia, ilustruje schemat



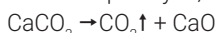
Rys. 2. Produkty powstające w procesie Solvay'a i ich główne zastosowania



Rys. 3. Schemat produkcji sody metodą Solvay'a. Opracowanie własne na podstawie [6]. Oznaczenia na schemacie:  $\text{WP}_S$  – wapno posodowe z oczyszczania solanki,  $\text{WP}_W$  – wapno posodowe z przygotowania mleka wapiennego,  $\text{WP}_N$  – wapno posodowe nawozowe,  $\text{WP}_P$  – wapno posodowe pozaklasowe,  $\text{WP}_K$  – wapno posodowe z klarownika.

przedstawiony na Rysunku 3, zawierający szereg etapów, krótko scharakteryzowanych poniżej.

**Wypalanie kamienia wapiennego i gaszenie wapna** – jest to proces, który polega na rozkładzie termicznym kamienia wapiennego w piecach wapiennych, wg równania:



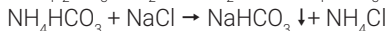
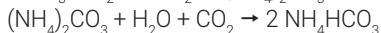
Kamień wapienny (wapień) do produkcji sody nie może zawierać mniej niż 90%  $\text{CaCO}_3$ .

Powstający ditlenek węgla jest podstawowym surowcem w procesie karbonizacji solanki, a tlenek wapnia (wapno palone) wykorzystuje się w postaci wapna gaszonego (mleko wapienne) do regeneracji amoniaku. Mleko wapienne – zawiesinę koloidalną wodorotlenku wapnia w wodzie, otrzymuje się w wyniku reakcji wody z wapnem palonym. Ta część wapienia, która nie wypaliła się (skała płonna) lub wypaliła nieprawidłowo (niedopały), nie tworzy mleka wapiennego i jest wydzielana jako odpad. Jest to rodzaj wapna posodowego o stosunkowo dużym uziarnieniu i zawierający duże ilości wodorotlenku wapnia (na schemacie oznaczony jako WP\_W).

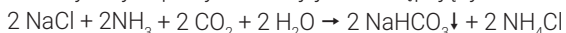
**Oczyszczanie solanki** – solankę w postaci nasyconego roztworu otrzymuje się przez ługowanie wodą pokładów soli kamiennej. Taki roztwór, oprócz  $\text{NaCl}$ , zawiera również jony  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  oraz  $\text{SiO}_2$ . Solanka do produkcji sody powinna zawierać ok. 300–315 g/L  $\text{NaCl}$  i nie może zawierać zanieczyszczeń, które usuwa się przez strącanie wodorotlenkiem sodu i wapnia oraz węglanem sodu. Na tym etapie powstają znaczne ilości osadów w postaci związków węglanowych, siarczanów oraz wodorotlenków. Z uwagi na wysoką zawartość wapnia, osady te są określane jako wapno posodowe (oznaczone jako WP\_S). Ze względu na bardzo duże zasolenie pozostałością solanki (zawartość chlorków często przekracza 10 %), są zbierane oddzielnie lub łączone z innymi strumieniami wapna posodowego kierowanego do składowania.

**Absorpcja amoniaku przez solankę** – ditlenek węgla źle rozpuszcza się w solance, dlatego nasyca się ją amoniakiem, otrzymując tzw. solankę amoniakalną, w której ditlenek węgla rozpuszcza się dobrze. Z tego względu pierwszym etapem produkcji sody jest absorpcja amoniaku w solance.

**Karbonizacja amoniakalnego roztworu solanki** - jest to podstawowa operacja technologiczna w produkcji sody. W wyniku karbonizacji zachodzi przemiana chlorku sodu w wodorowęglan sodu stanowiący półprodukt, z którego bezpośrednio otrzymuje się sodę. Jest to proces kilkietapowy.



Sumaryczny zapis tych reakcji jest następujący:



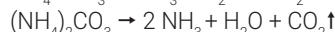
Warto zwrócić uwagę na fakt, iż pomimo zużywania wapienia w ilościach porównywalnych ze zużyciem solanki, związki wapnia nie występują w podstawowych równaniach reakcji syntezy sody.

**Kalcynacja bikarbonatu** - odfiltrowany osad wodorowęglanu sodu (bikarbonat) poddaje się termicznemu rozkładowi według reakcji:



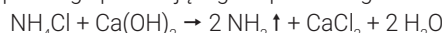
Wytworzona w ten sposób soda jest podstawowym produktem procesu.

**Regeneracja amoniaku i ditlenku węgla** – ług macierzysty po oddzieleniu bikarbonatu zawiera amoniak w postaci węglanów i chlorku amonu. Węglany amonu już w temperaturze  $50^\circ\text{C}$  rozkładają się z wydzielaniem amoniaku i ditlenku węgla, które są zwracane do produkcji:



Rozkład chlorku amonu następuje w reakcji z wodorotlenkami.

Przy produkcji sody jest to wodorotlenek wapnia w postaci mleka wapiennego powstającego w procesie gaszenia wapna palonego :



W praktyce, do ługu pokryształacyjnego po oddzieleniu kryształów  $\text{NaHCO}_3$  dodaje się mleko wapienne i poddaje destylacji w celu oddzielenia amoniaku i ditlenku węgla.

Z płynu podestylacyjnego odzyskuje się chlorek wapnia, który stanowi produkt uboczny, podobnie jak faza stała oddzielona z płynu podestylacyjnego – nazywana wapnem posodowym, którego największe ilości powstają na tym etapie. Skład płynu podestylacyjnego zależy wprost od jakości surowców, tj. kamienia wapiennego i solanki oraz od stopnia przemiany sody, co ma istotny wpływ na właściwości i skład powstającego w procesie wapna posodowego, które ponadto zawiera nieprzereagowany chlorek sodu, chlorek wapnia, będący wynikiem reakcji mleka wapiennego z chlorkiem amonu, zanieczyszczenia z mleka wapiennego (m. in. związki magnezu, krzemionka) oraz nadmiar mleka wapiennego.

## Wyodrębnianie wapna posodowego

Najstarszą metodą wydzielania wapna posodowego ze ścieków poprodukcyjnych jest osadzanie w kaskadach stawach osadowych, tzw. lagunach, w których następuje sedymentacja i naturalne osuszenie. Na laguny są zazwyczaj kierowane wszystkie osady po-



**Rys. 4.** Zdjęcie wapna posodowego pozaklasowego (z lewej) oraz klarownika (z prawej). Źródło: wykonanie własne

wstające w procesie, w tym wapno posodowe z procesu otrzymania mleka wapiennego czy z oczyszczania solanki, gdzie są one mieszane z wapnem posodowym z procesu regeneracji amoniaku. Obecnie na tym etapie, do wydzielania wapna posodowego stosowane są prasy filtracyjne, które umożliwiają uzyskanie pełnowartościowego wapna nawozowego.

Odcieki z lagun oraz z pras filtracyjnych, przed skierowaniem do cieków wodnych, przepływają przez tzw. klarowniki, w których sedymentują najdrobniejsze cząstki wapna posodowego. Wapno posodowe z klarowników charakteryzuje się bardzo drobnym uziarnieniem – ok 2µm i stosunkowo wysoką zawartością chlorków, sięgającą do 15% zawartości w suchej masie.

W związku z tym można na tym etapie wyodrębnić 3 rodzaje powstającego wapna posodowego, tj.:

- wapno posodowe mokre – powstaje podczas wydzielania części stałych na prasie filtracyjnej, spełniające wymagania wapna nawozowego (oznaczone jako WP\_N)
- wapno posodowe pozaklasowe - pochodzące z prasy filtracyjnej, jednak nie spełniające parametrów dla wapna nawozowego (oznaczone jako WP\_P) (Rysunek 4.)
- wapno posodowe z klarownika – osad z odcieków po prasie filtracyjnej, powstający w klarowniku (oznaczone jako WP\_K) (Rysunek 4.)

## Główne kierunki zagospodarowania wapna posodowego

Jak wynika z przedstawionych informacji, skład i właściwości wapna posodowego są silnie uzależnione od etapu produkcyjnego, w którym powstaje, co determinuje możliwości jego wykorzystania. Wapno posodowe, poza związkami wapnia w postaci węglanów, wodorotlenków i siarczanów, zawiera także krzemionkę, związki magnezu i glinu, a także pozostałości nieodmytego chlorku wapnia oraz sodu. Stosunek poszczególnych składników zależy od czasu deponowania (wodorotlenek wapnia z czasem ulega konwersji do węglanu wapnia przez reakcję z ditlenkiem węgla zawartym w powietrzu) oraz procesu, w którym powstało. Inny skład ma wapno posodowe powstałe podczas procesu oczyszczania solanki, inny wapno posodowe z procesu destylacji, przy czym znaczące różnice występują między wapnem posodowym z pras filtracyjnych, lagun czy klarowników.

Na podstawie dostępnych informacji zawartych w literaturze można wskazać następujące zastosowania wapna posodowego.

## Rolnictwo

Podstawowym sposobem wykorzystania wapna posodowego jest zastosowanie w rolnictwie jako wapno nawozowe i do wapnowania gleb. Jednakże, aby wapno to mogło być wprowadzane do obrotu jako nawóz, musi spełniać kryteria określone w odpowiednich przepisach [7], [8], dotyczących m.in.:

- dopuszczalnych zawartości kadmu i ołowiu w wapnie nawozowym;
- kryterium minimalnej zawartości CaO;
- maksymalnego uwilgotnienia w zależności od odmiany i typu wapna;
- w niektórych przypadkach także stężenie chlorków i siarczków.

Dzięki zastosowaniu pras filtracyjnych w zakładach Ciech Soda Polska, obecnie roczna produkcja wapna posodowego w postaci wapna nawozowego wynosi ok. 450 tys. ton/rok [9]. Pozostała część jest składowana w lagunach, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie zakładów produkcyjnych. Pozwalają one na lepsze od-

wodnienie deponowanego materiału oraz odmycie rozpuszczalnych zanieczyszczeń, np. jonów chlorkowych [10]. Największym ograniczeniem stosowania wapna w rolnictwie jest wilgotność i zasolenie. Głównie są to sole zawierające jony chlorkowe, których zawartość w wapnie posodowym może się mieścić w przedziale od 1 do 11% w suchej masie wapna. Do celów rolniczych nie stosuje się wapna zawierającego powyżej 3% chlorków [8].

W związku z tym podejmowane są próby wykorzystania wapna posodowego w zastosowaniach, w których to ograniczenie nie jest kluczowe.

## Budownictwo

Jednym z głównych kierunków może być np. przemysł budowlany [11]- [14]. Z przeglądu literatury wynika, że były prowadzone badania (w skali laboratoryjnej) nad zastosowaniem wapna posodowego jako wypełniacza przy produkcji asfaltobetonu [11]. Prowadzono również badania nad zastosowaniem wapna posodowego do stabilizacji gruntów, do budowy konstrukcji ziemnych, oraz do mineralizacji gleb organicznych przy stabilizacji cementem. W polskim opisie patentowym PL 191946 opisano kompozyt, wiążący na bazie cementu (30%), fosfogipsu (20%) oraz wapna posodowego (20%) z dodatkiem chlorków w postaci chlorku wapnia ( $\text{CaCl}_2$ ), cementu i żużla z elektrowni [12]. Kompozyt ten może być stosowany w budownictwie, drogownictwie i górnictwie.

## Stabilizacja gruntu

Stabilizacja ekspansywnej gleby przez dodanie wapna to starożytna praktyka, która jest stosowana na całym świecie [15]. Jest skutecznym środkiem do miękkich i ekspansywnych gruntów, może ogromnie zwiększyć urabialność i wytrzymałość przy jednoczesnym ograniczeniu zmian objętości. Wapno ma wiele zastosowań w praktyce inżynierii geotechnicznej, takich jak chodniki, stabilizacja podłoża gruntowego na autostradach, zapory ziemne, okładziny kanałów i konstrukcje budowlane. Jako wapno wykorzystywane jest: CaO (tlenek wapnia lub wapno palone),  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (wapno hydratyzowane) i  $\text{CaCO}_3$  (węglan wapnia) [16]. Według Eadesa i Grima [17], długotrwałą reakcją, która powoduje przyrost siły, jest reakcja pucolanowa. Produktem tej reakcji są trudnorozpuszczalne w wodzie uwodnione krzemiany wapnia, tzw. faza CSH. Dodanie wapna powoduje wzrost pH wody porowej, a w konsekwencji uwalnianie krzemionki i tlenku glinu z gliny - stają się one rozpuszczalne. Reakcja z wapnem powoduje stopniowe wzmacnianie się gruntu w czasie. W glebach gliniastych występują dwie główne reakcje stabilizacji wapnem – krótkoterminowa i długoterminowa. Proces krótkotrwały polega na wymianie jonów między jonami wapnia z wapna a kationami przy powierzchni cząstki gliny, który zachodzi tylko wtedy, gdy jon wapnia ma wyższy ładunek, lub ich stężenie jest większe niż kationów przy powierzchni cząstki gliny [18]. Procentowy dodatek wapna do gleby zależy od zapotrzebowania gleby na wapno. Metoda powszechnie stosowana do określania zapotrzebowania gleby na wapno opiera się na pomiarze wartości pH roztworu gleby wapiennej [19]. Zastosowanie wapna w stabilizacji powoduje zmianę właściwości inżynierskich gleby. Wpływa na: poprawę wytrzymałości, odporności na zmęczenie i trwałe odkształcenia, zmniejszenie pęcznienia, poprawę właściwości sprężystych i odporności na szkodliwe działanie wilgoci. Najlepsze efekty uzyskuje się w przypadku stosowania wapna w gruntach średnioprobnych i drobnoziarnistych, powodując zmniejszenie plastyczności i pęcznienia gruntów ekspansywnych oraz wzrost ich urabialności i właściwości wytrzymałościowych.



Rys. 5. Orientacja cząstek gruntu po wysyceniu jonami sodu oraz wapnia [20]

Spowodowane jest to wymianą jonową zachodzącą w glebie, podczas której jony  $\text{Na}^+$  są wymieniane na jony  $\text{Ca}^{2+}$  (Rysunek 5). Towarzyszy temu zjawisko flokulacji oraz aglomeracji cząstek gruntu, w wyniku czego grunt plastyczny ulega przekształceniu w grunt quasi-piaskowy dający się zagęszczać. Wskaźnik plastyczności  $I_p$  ulega zmniejszeniu przez podwyższenie granicy plastyczności, a to oznacza, że właściwości mechaniczne gruntu stają się mniej zależne od ilości wody zawartej w gruncie [20].

Badania prowadzone przez Indiramma i in. [16] wykazały, że wapno może być skutecznym stabilizatorem w glebach o zawartości gliny zaledwie 7% oraz w glebach o wskaźniku plastyczności poniżej 10. Stabilizacja wapnem będzie skuteczna tylko w przypadku materiałów zawierających wystarczającą ilość gliny, aby zaszła pozytywna reakcja. Zazwyczaj wapno dodaje się w postaci stałej, ale można je również mieszać z wodą i stosować w postaci zawiesiny. Wapno hydratyzowane jest szeroko stosowane do stabilizacji gruntu, zwłaszcza gruntu o dużej zawartości gliny, gdzie najważniejszą zaletą jest podniesienie granicy plastyczności gruntu gliniastego [21]. Dzięki zastosowaniu wapna palonego osiągnięto bardzo szybką stabilizację podmokłych miejsc. Stabilizacja wapnem węglanowym następuje po dłuższym okresie utwardzania, ze względu na mniejszą dostępność jonów wapniowych. Materiałem pośrednim, pomiędzy wapnem palonym, a wapnem węglanowym jest wapno posodowe powstające podczas produkcji mleka wapiennego. Badania opisane przez Olejarczyk i wsp. [22] wykazują, że wapno posodowe z produkcji mleka wapiennego wykazuje lekkie właściwości puzolanowe, i może być dobrym materiałem do stosowania w mieszankach spoiw drogowych.

## Adsorbenty do usuwania barwników

Adsorpcja jest skutecznym procesem usuwania barwników ze ścieków. Barwniki anionowe są na ogół bardziej problematyczne niż barwniki kationowe. Przeważnie ładunek powierzchniowy tych adsorbentów jest odwracany na dodatni przez wstępną adsorpcję niektórych kationów wielowartościowych przed próbą adsorpcji [23]. Jednym z najpowszechniejszych adsorbentów jest węgiel aktywowany, ze względu na swoje zdolności adsorpcyjne i dobrze rozwiniętą powierzchnię właściwą. Jednak jego wysoki koszt sprawia, że ciągle są poszukiwane inne adsorbenty o podobnej skuteczności, jednakże generujące znacznie niższe koszty. W ostatnich latach pojawiło się rosnące zainteresowanie wykorzystaniem tanich adsorbentów do usuwania barwników ze ścieków.

Savaş Şener w swojej pracy [24] zbadał adsorpcję anionowego barwnika reaktywnego Procion Crimson H-EXL (Reactive Red 231) na odpadach stałych z instalacji sody kalcynowanej. W badaniach uwzględniony został wpływ temperatury i pH na izotermę oraz wpływ początkowych stężeń barwnika i temperatura na kinetykę procesu adsorpcji. Badania potwierdziły, że wapno posodowe może być z powodzeniem stosowane jako adsorbent do usuwania anionowego

barwnika Procion Crimson H-EXL z roztworów wodnych. pH roztworów odgrywa ważną rolę w wydajności adsorpcji. Model kinetyczny pseudo-drugiego rzędu odpowiada dynamicznemu zachowaniu adsorpcji barwnika na wapnie posodowym w różnych początkowych stężeniach barwnika i temperaturach, w całym badanym zakresie. Jednak spadek stałej szybkości pseudo-drugiego rzędu i nieznaczny wzrost współczynników korelacji modelu pseudo-pierwszego rzędu wraz ze wzrostem stężenia początkowego może sugerować, że proces jest kontrolowany nie tylko chemicznie na etapie kontroli szybkości, ale wiąże się również z pewną adsorpcją fizyczną, ze względu na siłę napędową przy wyższych stężeniach początkowych [24].

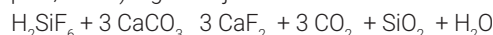
## Usuwanie jonów fosforanowych i siarczanowych

Ziółkowska i in. [25], [26] wykazali, że zastosowanie wapna posodowego nie pogarsza istotnie skuteczności usuwania jonów  $\text{PO}_4^{3-}$  z roztworu. Odpad z produkcji sody nadaje się do usuwania fosforanów ze skutecznością 90 – 96%. Yan Y. i in. [27] doszli do podobnych wniosków; ponadto uznali oni, że zużyty materiał po adsorpcji jonów fosforanowych może znaleźć zastosowanie w rolnictwie jako nawóz fosforanowy, co pozwala zagospodarować jeden odpad, nie produkując jednocześnie kolejnego [28].

Wapno posodowe znajduje również zastosowanie w usuwaniu jonów fosforanowych z roztworów wodnych, zwłaszcza ze ścieków [25]. Wskazano także na możliwość usuwania jonów siarczanowych [29], [30]. Niestety nie znalazły one szerokiego zastosowania w praktyce przemysłowej.

## Topniki fluorkowe

Interesującym kierunkiem jest wykorzystanie wapna posodowego do produkcji topników fluorkowych stosowanych w przemyśle ceramicznym czy cementowym [1], [31]. Syntetyczny topnik fluorkowy zazwyczaj otrzymuje się w wyniku reakcji kwasu heksafluorkrzemowego ze związkami wapnia – naturalnym węglanem wapnia (wapień, kreda) wg reakcji:



Główną trudnością tego procesu jest konieczność zmielenia kamienia wapiennego do wielkości cząstek poniżej 100 mikrometrów, gdyż inaczej tworzący się na powierzchni ziarna trudnorozpuszczalny fluorek wapnia blokuje dalszą reakcję i w efekcie znaczna część wapnia pozostaje nieprzereagowana. W opisie patentowym PL237455 [32] został opisany sposób wykorzystania wapna posodowego do otrzymywania topnika fluorkowego. Według tego wynalazku, jako źródło wapnia stosuje się wapno posodowe z produkcji sody, korzystnie pochodzące z klarowników. Wapno takie charakteryzujące się bardzo drobnym uziarnieniem i zawiera znaczne ilości chlorków, które w tym przypadku nawet pomagają w przebiegu reakcji [1].

## Usuwanie zanieczyszczeń fluorkowych

Związki wapnia były używane do neutralizacji fluoru już w latach 30. XX w. Jony wapniowe reagują z jonami fluorków w wodzie, w wyniku czego powstaje nierozpuszczalny osad. Mimo, iż technologia wytrącania fluorków za pomocą wapnia jest znana już od bardzo dawna, to procesy te nadal są aktualne i stosowane. Poszukuje się ciągle nowych materiałów, które mogłyby poprawić sprawność tego procesu, ale nadal powszechnie stosowanymi materiałami do usuwania  $\text{F}^-$  są głównie alun, wapno palone, wapno gaszone, wapień, węgiel drzewny, fosforan wapnia, siarczan wapnia, chlorek wapnia

itp. Badania wskazują, że materiały te są stosowane w różny sposób, jednakże podstawowa zasada ich działania jest niezmienna [33]. Chemikalia, takie jak  $\text{CaCl}_2$  i  $\text{CaO}$ , często są dodawane do wstępnego wytrącania fluoru w ściekach. Każda metoda ma swoje zalety i ograniczenia, i może być eksploatowana z odpowiednią wydajnością pod warunkiem, że parametry procesu są właściwie dobrane do usuwania fluoru w odpowiednim zakresie stężeń [34]–[36]. Dodatek wapna jest stosowany głównie do ścieków o wysokiej zawartości fluorów. Rozpuszczenie wapna zwiększa aktywność jonów wapniowych w wodzie, przesycając wodę w stosunku do fluorytu ( $\text{CaF}_2$ ). Wynikające z tego wytrącenie fluorytu może obniżyć stężenie fluoru do poziomu poniżej 10 mg/L. Teoretyczna dolna granica wynosi około 2 mg/L. Ta dolna granica stężenia jest rzadko osiągnięta w praktyce. Główną wadą wapnowania, jest wysokie pH uzdatnionej wody. Ponadto, gdy przepisy dotyczące ochrony środowiska wymagają aby pH nie przekraczało określonego poziomu, konieczne jest regularne monitorowanie, w celu zapewnienia prawidłowego dawkowania [37], [38].

## Kompozyty o właściwościach sorpcyjnych

Biorąc pod uwagę obecny stan techniki (na podstawie dostępnej literatury), wydaje się, że jednym z bardziej obiecujących zastosowań wapna posodowego, szczególnie frakcji nienadających się do celów nawozowych, może być wytwarzanie kompozytów mineralno-organicznych, w których obok wapna posodowego wykorzystuje się szlasy papiernicze z przerobu makulatury, które także są odpadem przemysłowym powstającym w znacznych ilościach przy produkcji papieru [39]. Kompozyt opracowany przez Olejarczyk i wsp. [22], [30], jest materiałem na bazie wapna posodowego z klarownika, naniesionego na włókna celulozowe pochodzące ze szlamów z przerobu makulatury. Impregnacja wapnem posodowym włókien celulozowych obecnych w szlamach, poprawia wodoprzepuszczalność otrzymanego materiału w porównaniu do wodoprzepuszczalności samego wapna. Wysoka zawartość związków wapnia powoduje, że opracowany kompozyt może być stosowany jako skuteczny adsorbent do usuwania fluorów, siarczanów czy fosforanów z wód i ścieków.

Taki kompozyt, dzięki obecności włókien celulozowych, może być praktycznie dowolnie kształtowany, np. do postaci granulek, pelletów, płaskich membran, płyt, cylindrów itp., w zależności od potrzeb użytkownika. Po wykorzystaniu właściwości sorpcyjnych, zużyty kompozyt zachowuje swoją pierwotną formę i może być wykorzystany jako dodatek do kruszyw, np. w budownictwie drogowym lub jako dodatek/wypełniacz przy produkcji materiałów budowlanych [30, 39].

## Podsumowanie

Otrzymywanie sody metodą Solvay'a jest znane od prawie 150 lat. Nadal jednak wprowadzane są modyfikacje zwiększające efektywność procesu oraz zwiększające możliwości wykorzystania ubocznych produktów i odpadów, w tym głównie wapna posodowego. Wprawdzie w większości znajduje ono racjonalne zastosowanie, jednakże ciągle poszukiwane są nowe możliwości wykorzystania, uwzględniające specyficzne właściwości poszczególnych strumieni wapna posodowego. Jedną z takich modyfikacji było wprowadzenie pras filtracyjnych do odwadniania osadów podestylacyjnych – wapna posodowego – zamiast odwadniania ich, wraz z innymi strumieniami odpadów zawierających wapń, na tzw. lagunach. W efekcie możliwe stało się wyodrębnienie poszczególnych strumieni wapna

posodowego. Identyfikacja właściwości wyodrębnionych strumieni umożliwiła opracowanie nowych zastosowań uwzględniających ich specyfikę. Konsekwencją takich działań jest zmniejszenie ilości powstających odpadów, a nawet całkowita ich eliminacja, co jest celem Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (GOZ).

**Podziękowania:** Badania współfinansowane ze środków Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014-2020; nr umowy RPPM.01.01.01-22-0040/18-00

## LITERATURA

- [1] Z. Kowalkiewicz, "Otrzymywanie i właściwości syntetycznych topników fluorkowych," Rozprawa doktorska, UAM, Poznań, 2017.
- [2] "Powstała największa na świecie instalacja do produkcji sody kalcyonowanej." <https://www.chemiaibiznes.com.pl/artykuly/powstala-najwieksza-na-swiecie-instalacja-do-produkcji-sody-kalcyonowanej> [dostęp 03.02.2022].
- [3] "Metoda Solvaya – Wikipedia, wolna encyklopedia." [https://pl.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_Solvaya](https://pl.wikipedia.org/wiki/Metoda_Solvaya) [dostęp:07.11.2022].
- [4] "Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals-Solids and Others industry," 2007. <http://eippcb.jrc.es> [dostęp: 05.03.2023].
- [5] B. Cichy, "Odpady nieorganiczne przemysłu chemicznego - foresight technologiczny" - podsumowanie badań - Chemik - Tom Vol. 66, nr 3, 2012.
- [6] E. B. Krzysztof Schmidt-Szałowski, M. Szafran, J. Sentek, *Technologia chemiczna*, Wydanie I. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2013. <https://libra-1ibuk-1pl-1niywslrt94de.han.amu.edu.pl/book/62609> [dostęp: 11.05.2021]
- [7] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu, Dz.U. 2008 nr 119 poz. 765;
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 września 2010 r. w sprawie sposobu pakowania nawozów mineralnych, umieszczania informacji o składnikach nawozowych na tych opakowaniach, sposobu badania nawozów mineralnych oraz typów wapna nawozowego. Dz.U. 2010 nr 183 poz. 1229;
- [9] J. Dombek, "Doświadczenia Grupy CIECH S.A. w ochronie środowiska", 2017. <https://powermeetings.eu/konferencja/forum-ochrony-srodowiska/wp-content/uploads/sites/18/2017/12/11-Jacek-Dombek-CIECH.pdf> [dostęp: 27.09.2021].
- [10] J. Siuta, "Rekultywacyjna efektywność osadów ściekowych na składowisku odpadów posodowych w Janikowie," *Inżynieria Ekologiczna*, vol. Nr 36, 2014, doi: 10.12912/2081139X.07.
- [11] A. Nowacki, "Badania nad zastosowaniem wapna posodowego do wytwarzania asfaltobetonu," *Drogownictwo*, vol. 5, s. 155–157, 1975.
- [12] Z. Konik, W. Parnicki, S. Pobiegly, S. Skoczylas, A. Stok, and H. Tworek, "Sposób otrzymywania kompozytu wiążącego," P334174, 1991
- [13] S. Piesik, "Eko-rozwiązania na jutro w sektorze budownictwa," 2021. [www.min-pan.krakow.pl](http://www.min-pan.krakow.pl) [dostęp 24.07.2022]
- [14] B. Dębska, "Materiały budowlane produkowane z wykorzystaniem odpadów," *Izolacje*, 2010.
- [15] F. G. Bell, "Stabilisation and treatment of clay soils with lime: part 1 – basic principles," *Ground Engineering*, vol. 21, no. 1, 1988, doi: 10.1016/0148-9062(88)90321-x.
- [16] P. Indiramma, C. Sudharani, and S. Needhidasan, "Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment - An experimental study," in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 22, s. 694–700. doi: 10.1016/j.matpr.2019.09.147.
- [17] J. L. Eades and R. E. Grim, "Reaction of hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization." <https://trid.trb.org/view/118473> [dostęp: 27.02.2022].
- [18] D. N. Little, Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates volume 1: summary of findings prepared for the national lime association. 1999.
- [19] J. L. Eades and R. E. Ponury, "A quick test to determine lime requirements for lime stabilization." <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1966/139/139-005.pdf> [dostęp: 27.02.2022].

- [20] S. Gąsiorowski, "Ulepszenie i stabilizacja gruntów spoiwem wapiennym," *Buduj z Głową*, 2011, <https://bzg.pl/poradnik/artykul/ulepszenie-i-stabilizacja-gruntow-spoiwem-wapiennym/id/14135> [dostęp 26.07.2022]
- [21] P. Indiramma and C. Sudharani, "Scanning Electron Microscope Analysis of Fly Ash, Quarry Dust Stabilized Soil," *Sustainable Civil Infrastructures*, s. 284–296, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-61902-6\_22.
- [22] M. Olejarczyk, "Opracowanie technologii kompleksowego zagospodarowania odpadów z produkcji i stosowania sody. Nowe materiały z wapna posodowego," Rozprawa doktorska, UAM, Poznań, 2023.
- [23] A. Gücek, S. Şener, S. Bilgen, and M. A. Mazmanci, "Adsorption and kinetic studies of cationic and anionic dyes on pyrophyllite from aqueous solutions," *J Colloid Interface Sci*, vol. 286, no. 1, s. 53–60, 2005, doi:10.1016/J.JCIS.2005.01.012.
- [24] S. Şener, "Use of solid wastes of the soda ash plant as an adsorbent for the removal of anionic dyes: Equilibrium and kinetic studies," *Chemical Engineering Journal*, vol. 138, no. 1–3, s. 207–214, 2008, doi: 10.1016/J.CEJ.2007.06.035.
- [25] D. Ziółkowska i in. "Zastosowanie odpadów z produkcji sody metodą Solvay'a do usuwania jonów fosforanowych," *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, vol. 11, no. 3, pp. 95–104, 2009, Accessed: Jul. 28, 2022. [Online]. Available: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BSL7-0055-0008>
- [26] D. Ziółkowska, A. Shychuk, M. Cichurska, "Odpadowy kalcynowany kamień wapienny z produkcji sody jako efektywny środek do usuwania jonów fosforanowych," *Przemysł Chemiczny*, vol. 92/11, s. 2076–2080, 2013
- [27] M. Wang, J. Yang, W. He, J. Li, Y. Zhu, and X. e. Yang, "Vertical distribution of fluorine in farmland soil profiles around phosphorous chemical industry factories," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 1, s. 855–866, Jan. 2019, doi: 10.1007/s11356-018-3647-x.
- [28] Y. Yan *et al.*, "Removal of phosphate from etching wastewater by calcined alkaline residue: Batch and column studies," *J Taiwan Inst Chem Eng*, vol. 45, no. 4, s. 1709–1716, Jul. 2014, doi: 10.1016/J.JTICE.2013.12.023.
- [29] W. Waciński, M. Olejarczyk, W. Urbaniak, and I. Rykowska, "Sposób usuwania jonów fluorkowych z zanieczyszczonych nimi wód, szczególnie ścieków," polskie zgłoszenie patentowe P.440957 (2022);
- [30] W. Waciński, M. Olejarczyk, W. Urbaniak, and I. Rykowska, "Sorberent, zwłaszcza do usuwania z roztworów wodnych jonów w postaci trudno rozpuszczalnych soli oraz sposób jego otrzymywania," polskie zgłoszenie patentowe P.440956 (2022);
- [31] W. Urbaniak and Z. Kowalkiewicz, "Fluoride flux and method of preparation thereof," europejskie zgłoszenie patentowe WO 2017217876 A1;
- [32] Z. Kowalkiewicz and W. Urbaniak, "Sposób zagospodarowania wapna posodowego," patent polski PL 237455 B1(2021);
- [33] S. K. Nath and R. K. Dutta, "Significance of calcium containing materials for defluoridation of water: a review," *New pub: Balaban*, vol. 53, no. 8, s. 2070–2085, 2015, doi: 10.1080/19443994.2013.866056.
- [34] A. Iljina, K. Baltakys, A. Bankauskaite, A. Eisinias, and S. Kitrys, "The stability of formed CaF<sub>2</sub> and its influence on the thermal behavior of C–S–H in CaO–silica gel waste-H<sub>2</sub>O system," *J Therm Anal Calorim*, vol. 127, s. 221–228, 2017.
- [35] W. Tang, P. Kovalsky, D. He, and T. D. Waite, "Fluoride and nitrate removal from brackish groundwaters by batch-mode capacitive deionization," *Water Res*, vol. 84, pp. 342–349, 2015, doi: 10.1016/J.WATRES.2015.08.012.
- [36] A. Lhassani, M. Rumeau, D. Benjelloun, and M. Pontie, "Selective demineralization of water by nanofiltration application to the defluorination of brackish water," *Water Res*, vol. 35, no. 13, s. 3260–3264, 2001, doi: 10.1016/S0043-1354(01)00020-3.
- [37] E. J. Reardon and Y. Wang, "A limestone reactor for flouride removal from wastewaters," *Environ Sci Technol*, vol. 34, no. 15, pp. 3247–3253, 2000, doi:10.1021/ES990542K/ASSET/IMAGES/LARGE/ES990542KF00008.JPEG.
- [38] S. Saha, "Treatment of aqueous effluent for fluoride removal," *Water Res*, vol. 27, no. 8, pp. 1347–1350, 1993, doi: 10.1016/0043-1354(93)90222-4.
- [39] M. Olejarczyk, W. Urbaniak, I. Rykowska, "A new sorberent for the removal of fluoride ions from aqueous solutions" Materiały konferencyjne, SSCHE 2022 & PERMEA 2022 Conference, Słowacja, 2022

More info: <https://internanopoland.com>



11th - 12 th October, 2023  
Novotel Katowice Centrum  
BUSINESS-TO-SCIENCE  
SCIENCE-TO-BUSINESS





**Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego** realizuje swoją Misję poprzez pracę Komisji i Sekcji, organizację konferencji, sympozjów naukowo-technicznych, współpracę z krajowymi i międzynarodowymi organizacjami chemicznymi, a także z **Federacją Stowarzyszeń Naukowo Technicznych NOT** oraz **Polskim Towarzystwem Chemicznym** i **Polską Izbą Przemysłu Chemicznego**.



**nauka**



**biznes**



**tradycja**



**współpraca**



**od 1927 r.**

Zarząd Główny

Adres: ul. Tadeusza Czackiego 3/5  
00-043 Warszawa

Tel.: (22) 826 78 96

e-mail: sekretariat@sitpchem.org.pl  
www.sitpchem.org.pl

Tel.: +48 516 934 423



Marcin SZYMAŃSKI

Centrum Zaawansowanych Technologii UAM, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań

# Bioaktywne substancje i właściwości farmakologiczne *Fomitopsis betulina*

## Bioactive substances and pharmacological properties of *Fomitopsis betulina*

DOI: 10.21303/2023.1.6

Związkami chemicznymi występującymi w pniarku brzoazowym są: polisacharydy ((1→3)- $\alpha$ -D-glukany), kwasy poliporenowe, wolne cukry (mannitol, trehaloza), kwasy tłuszczowe (palmitynowy, stearynowy, oleinowy, linolowy), witaminy (kwas askorbowy), karotenoidy (b-karoten, likopen),  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tokoferole, flawonoidy. Badania farmakologiczne różnych wyciągów z pniarka wykazały działanie: przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe (wyciągi: eterowy, octanu etylu), neuroprotektoryjne, immunomodulujące oraz przeciwnowotworowe (wyciągi: wodny i eterowy).

**Słowa kluczowe:** *Fomitopsis betulina*, grzyby lecznicze, chemizm, farmakologia

The chemical compounds present in the birch stump are: polysaccharides ((1→3)- $\alpha$ -D-glucans), polyporenic acids, free sugars (mannitol, trehalose), fatty acids (palmitic, stearic, oleic, linoleic), vitamins (ascorbic acid), carotenoids (b-carotene, lycopene),  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -tocopherols, flavonoids. Numerous studies have confirmed the biological activity. Pharmacological studies of various extracts from the plant have shown the following effects: anti-inflammatory, antibacterial, antiviral (extracts: ether, ethyl acetate), neuroprotective, immunomodulatory and anticancer (extracts: aqueous and ether). Pharmacological studies have shown the following effects: anti-inflammatory, antibacterial, antiviral, neuroprotective, immunomodulatory and anticancer.

**Key words:** *Fomitopsis betulina*, medicinal mushrooms, chemistry, pharmacology

### Wprowadzenie

*Fomitopsis betulina* (dawniej *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.) (Pniarek brzoazowy, birch polypore, birch bracket) należy do rodziny *Fomitopsidaceae*. Jest szeroko rozpowszechnionym grzybem poliporooidalnym, rosnącym tylko na osłabionych brzoazach (*Betula pendula* Roth) oraz drewnie brzoazowym. Występuje od sierpnia do listopada, pojedynczo lub w niewielkich grupach. Miąższ owocnika jest początkowo miękki, watowaty z czasem staje się twardy i korkowy, po wyschnięciu kruchy i lekki. Pniarek brzoazowy wywołuje intensywną zgniliznę brunatną, na początku twardzieli, później bielu (1).

Owocniki tego grzyba znalazły zastosowanie w pszczelarstwie do okadzania dymem uli umożliwiając wykonanie koniecznych prac. W XIX wieku owocniki pniarka brzoazowego dzięki szorstkiej powierzchni wykorzystywano do ostrzenia brzytw (2). Do początku XX wieku miąższ pniarka brzoazowego miał zastosowanie jako poduszka do noży i igieł, chroniąca je przed korozją (3,4). Dzięki bardzo małej gęstości miąższu, znalazł on zastosowanie do wyrobu korpusu woblery, to znaczy sztucznej przynęty, imitującej naturalny pokarm ryb drapieżnych (5). Entomolodzy wykorzystują paski miąższu pniarka brzoazowego do prezentowania spreparowanych owadów (3,6). Dawniej z wypalonych owocników otrzymywano węgiel do rysowania (7).

W medycynie ludowej cienkie paski miękkiego i elastycznego miąższu pniarka brzoazowego stosowano jako plastry na rany, natomiast odwaru z miąższu używano jako odżywczego, stymulującego i uspokajającego napoju (5).

### Skład chemiczny

Z metanolowego wyciągu z owocników *Fomitopsis betulina* wyizolowano kwasy triterpenowe typu lanostanu: kwas polipore-

nowy A (Rys.1) i jego pochodne: kwasy (25S)-(+)-12a-hydroksy-3a-malonyloksy-24-metylołanosta-8,24(31)-dien-26-owy (Rys.2), (25S,3'S)-(+)-12a-hydroksy-3a-(3'-hydroksy-3'-metyloglutaryloksy)-24-metylołanosta-8,24(31)-dien-26-owy (Rys.3), (25S,3'S)-(+)-12a-hydroksy-3a-(3'-hydroksy-4'-metoksykarbonylo-3'-metylobutyryloksy)-24-metylołanosta-8,24(31)-dien-26-owy (Rys.4) oraz kwas poliporenowy C (Rys.5) oraz kwas (+)-12a,28-dihydroksy-3a-(3'-hydroksy-3'-metyloglutaryloksy)-24-metylołanosta-8,24(31)-dien-26-owy, (+)-12a,28-dihydroksy-3a-(3'-hydroksy-3'-metyloglutaryloksy)-24-metylołanosta-8,24(31)-dien-26-owy (Rys. 6) (8). W ekstrakcie eterowym z wysuszonych owocników *Fomitopsis betulina* wyizolowano również kwas poliporenowy B (Rys. 7) (9,10,11).

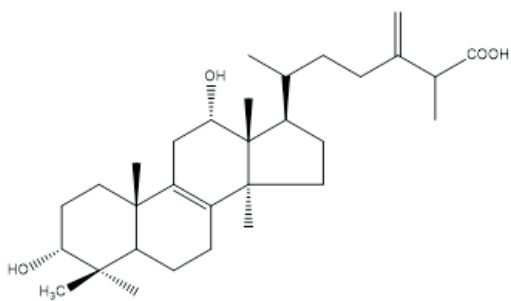
W innych badaniach z metanolowego wyciągu wyizolowano kwasy, które nazwano piptolinowymi F – J, poliporenowymi E-M oraz fomitocydy L-O, a także siedemnaście znanych wcześniej analogów kwasów. Kwasy piptolinowe F-I były triterpenoidami 24-metylołanostanu, a związek J był pochodną 3,4-seco-lanostanu. Ich struktury ustalono na podstawie szeroko zakrojonej analizy spektroskopowej (1D, 2D NMR i HRESIMS) (12, 13).

Zidentyfikowano także związek o strukturze chinonu: (E)-2-(4-hydroksy-3-metylo-2-butenylo)-hydrochinon (Rys. 8), który hamował działanie endopeptydazy MMPs (matrix metallo-proteinase). Takie samo działanie wykazywał kwas poliporenowy C (14,15,16).

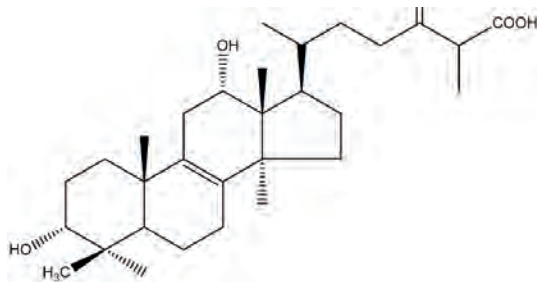
Piptamina (Rys.9) wykryta w *Fomitopsis betulina* jest trzyciorzędową aminą, o właściwościach antybiotycznych, aktywna w stosunku do bakterii Gram +, grzybów i drożdży (17).

Zidentyfikowano również alkohol cukrowy mannitol (0,36±0,04 g/100 g s.m.) i disacharyd – trehalozę (12,15±0,65 g/100 g s.m.), ponadto w wyciągu otrzymanym przez alkaliczną ekstrakcję 5% wodnym roztworem KOH wysuszonych i sproszkowanych owocników *Fomitopsis betulina*, po uprzedniej ekstrakcji w aparacie Soxhleta

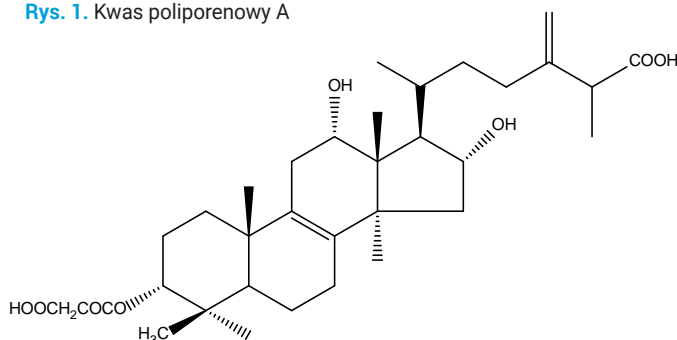




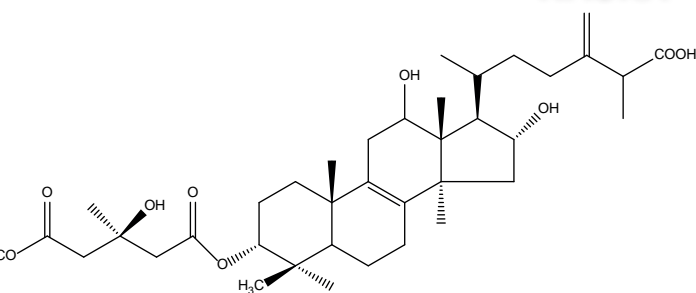
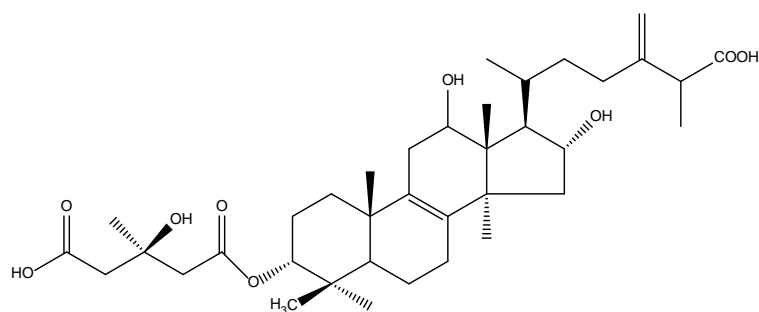
Rys. 1. Kwas poliporenowy A



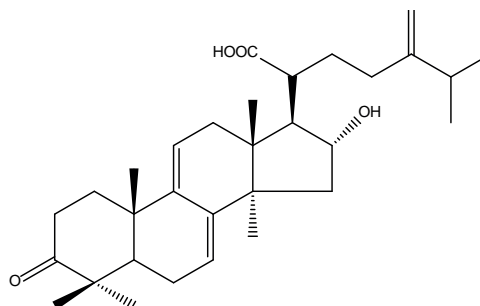
Rys. 2. Kwas (25S)(+)-12a-hydroksy-3a-malonyloksy-24-metylanosta-8,24(31)-dien-26-owy



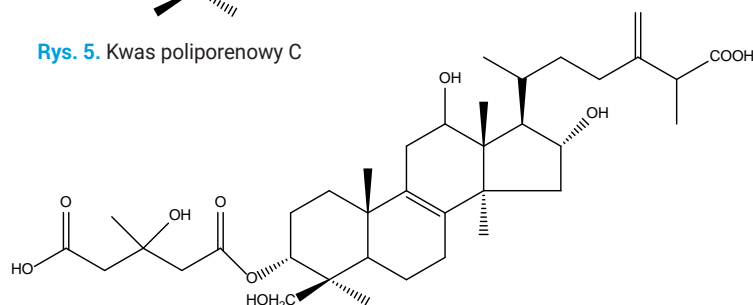
Rys. 3. Kwas (25S,3'S)(+)-12a-hydroksy-3a-(3'-hydroksy-3'-metyloglutaryloksy)-24-metylanosta-8,24(31)-dien-26-owy



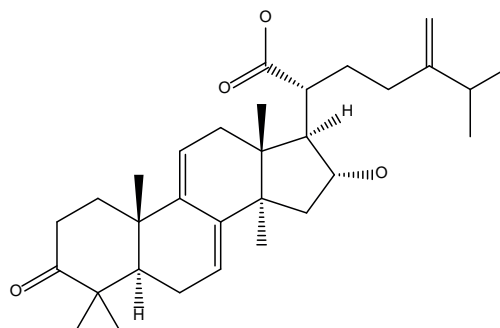
Rys. 4. Kwas (25S,3'S)(+)-12a-hydroksy-3a-(3'-hydroksy-4'-metoksykarbonyl-3'-metylobutyryloksy)-24-metylanosta-8,24(31)-dien-26-owy



Rys. 5. Kwas poliporenowy C



Rys. 6. Kwas (+)-12a,28-dihydroksy-3a-(3'-hydroksy-3'-metyloglutaryloksy)-24-metylanosta-8,24(31)-dien-26-owy



Rys. 7. Kwas poliporenowy B

chloroformem, octanem etylu i metanolem zidentyfikowano również ptoporan I – rozgałęziony glukan o masie cząsteczkowej 270 kDa, zbudowany z  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glukopiranozy, podstawionej w pozycji C-6  $\beta$ -D-glukopiranozą (18, 19).

Na drodze hydrolizy kwasowej z  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glukanu wyizolowanego z owocników *Fomitopsis betulina* otrzymano  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glukooligosacharydy ( $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-GOS) (20).

W liofilizowanych i sproszkowanych (20 mesh) owocnikach *Fomitopsis betulina* zidentyfikowano i oznaczono metodą GC-FID procentową zawartość kwasów tłuszczowych: palmitynowego (11,96 $\pm$ 0,01 %), stearynowego (6,17 $\pm$ 0,30 %), oleinowego (8,67 $\pm$ 0,05 %), linolowego (60,94 $\pm$ 0,39 %), i pozostałych (12,26%), ogólnie nasycone kwasy tłuszczowe występowały na poziomie (29,10 $\pm$ 0,27%), mononienasycone kwasy tłuszczowe (8,92 $\pm$

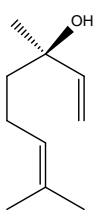
0,06%), polinienasycone kwasy tłuszczowe (61,98 $\pm$ 0,33%). Całkowita zawartość tokoferoli zidentyfikowana i oznaczona metodą HPLC wynosiła 577,62 $\pm$ 52,95  $\mu$ g/100 g s.m. (gdzie:  $\alpha$ -tokoferol – 3,76 $\pm$ 0,08;  $\beta$ -tokoferol – 301,91 $\pm$ 27,98;  $\gamma$ -tokoferol – 254,25 $\pm$ 25,07,  $\delta$ -tokoferol – 17,70 $\pm$ 0,02  $\mu$ g/100 g s.m.), kwas askorbowy – 87,9 $\pm$ 3,09  $\mu$ g/100 g s.m.,  $\beta$ -karoten – 0,09 $\pm$ 0,00  $\mu$ g/100 g s.m. i likopen – 0,23 $\pm$ 0,00 mg/100 g s.m.

Sumę polifenoli oznaczono na poziomie 34,94 $\pm$ 0,01 mg GAE/g ekstraktu a flawonoidów 6,79 $\pm$ 0,03 mg CE/g ekstraktu (18).

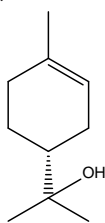
We frakcji octanu etylu wyciągu wodnego, otrzymanej przez 14 godzinną ekstrakcję 130 g pniarka brzozowego w 2600 ml wody, a następnie ekstrakcję ciecz-ciecz z octanem etylu, oznaczono alkohol benzylowy (15,46%), benzaldehyd (7,42%), 3,4-dimetyloheksan-2,5-dion (5,44%), kwas benzoowy (4,38%), ftalan dioktylu (3,78%), hek-

sadekan (3,00%), oktadekan (2,34%), kwas tetradekanowy (2,07%), 2-(4-piperidylo)-2-propanolol (0,54%) (21).

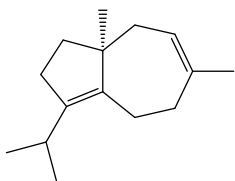
W świeżych owocnikach *Fomitopsis betulina* poddanych ekstrakcji z n-heksanem a następnie oczyszczeniu na kolumnie wypełnionej żelazem krzemionkowym i analizie na enancjoselektywnej kapilarnej chromatografii gazowej (enantioselective capillary gas chromatography) zidentyfikowano i oznaczono (zawartość procentowa we frakcji): alifatycznych alkoholi, ketonów i aldehydów (1-okten-3-ol (45,0%), 3-oktanol (27,0%), (Z)-2-okten-1-ol (0,8%), 1-oktanol (4,7%), (Z)-1,5-oktadien-3-ol (3,2%), 3-oktanon (6,1%), terpeny (linalol (0,9%) (Rys. 10),  $\alpha$ -terpineol (trace) (Rys. 11),  $\alpha$ -pinen (tr.),  $\Delta$ -3-karen (tr.), pentalenen (tr.),  $\alpha$ -kubeben (tr.), (S)-(-)-daucen (tr.) (Rys. 12),  $\beta$ -kubeben (0,8%),  $\beta$ -elemen (0,6%), tujopsen (1,6%), (+)- $\alpha$ -barbaten (6,4%) (Rys. 13), izobazzanen (8,2%) (Rys. 14), (-)- $\beta$ -barbaten (0,2%) (Rys. 15), kadina-1(6),4-dien (tr.),  $\beta$ -chamigren (1,2%), selina-4,11-dien (0,3%),  $\alpha$ -kuprenen (0,4%),  $\alpha$ -chamigren (1,5%),  $\delta$ -kadinen (tr.), b-bazzanen (0,5%), cyklobazzanen (0,4%), (R)-*trans*-nerolidol (0,8%) (Rys. 16), T-kadinol (tr.), 1-epi-kubenol (tr.), związki aromatyczne (benzaldehyd (0,1%), aldehyd metyloanyżowy (tr.)) (22).



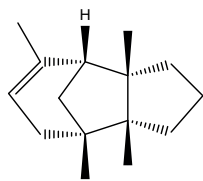
Rys. 10. (R)-(-)-Linalol



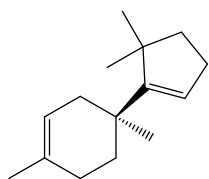
Rys. 11. (S)-(-)-a-Terpineol



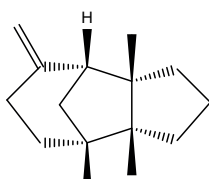
Rys. 12. (S)-(-)-Daucen



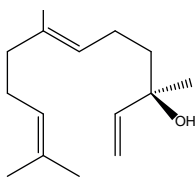
Rys. 13. (+)-a-Barbaten



Rys. 14. Izobazzanen



Rys. 15. (-)-b-Barbaten



Rys. 16. (R)-*trans*-Nerolidol

Poddano badaniu wyciągi z owocników pniarka pozyskanego z brzozy żywej i obumarłej. Wykazano znaczne różnice w zawartości metali ciężkich (chromu, miedzi, żelaza, manganu, ołowiu, cynku) oraz glinu, wapnia, magnezu, fosforu i siarki oraz sumy związków polifenolowych i aktywność antyoksydacyjnej. Zawartość pierwiastków w wyciągach z owocników zebranych z brzozy żywej okazał się bardziej bogaty. Największe różnice występowały dla miedzi, chromu i żelaza, były odpowiednio 25, 18 i 7-krotnie większe. Zawartość sodu, potasu i strontu była na podobnym poziomie w obu przypadkach, natomiast rubidu było więcej w owoc-

niku z brzozy obumarłej. Suma związków polifenolowych oraz aktywność antyoksydacyjna była wyższa w owocniku zebranym z brzozy żywej. Badania wykazały, że stosowanie lecznicze owocników pniarka brzozowego zebranego z żywych drzew jest bardziej korzystne, wiąże się to jednak z ryzykiem związanym z większą podatnością na metale ciężkie (23).

## Działanie farmakologiczne

*Fomitopsis betulina* (Bull.: Fr.) P. Karst wykorzystywany jest w leczeniu ludowym na terenie Azji i Europy Wschodniej. W Czechach stosowany był tradycyjnie w leczeniu raka odbytnicy i żołądka (16). W latach 30-tych XX wieku na Wileńszczyźnie wykorzystany w leczeniu chorób nowotworowych raka żołądka (5). Franciszkanin ojciec Andrzej Czesław Klimuszko, znany polski zielarz, w przypadku chorób nowotworowych zalecał spożywanie odwaru przygotowanego z *Fomitopsis betulina* (Pniarek brzozowy) i *Inonotus obliquus* (Błyskoporek podkorowy) zmieszanych w równych ilościach. Odwar sporządzano z jednej łyżki mieszaniny hub, zalanej szklanką wody i gotowanej przez 10 minut (24).

Przeprowadzono badania *in vitro* frakcji octanu etylu z wyciągu wodnego z *Fomitopsis betulina* na proliferację, ruchliwość i żywotność komórek zdrowych i nowotworowych raka płuc (A549) i raka gruczołowego okrężnicy u ludzi (HT-29) oraz glejaka szczura (C6). Oznaczenie toksyczności badanej frakcji przeprowadzono na zdrowych komórkach ludzkich fibroblastów skóry (HSF), komórkach śródbłonna aorty bydła (BAEC), oligodendrocytach szczura (OLN-93), hepatocytach (FAO), astroglejach szczura i neuronach myszy (P19).

Badany wyciąg hamował proliferację komórek guza, zmniejszał ruchliwość i indukcję zmian morfologicznych jego komórek. Wyciąg charakteryzował się niską toksycznością w stosunku do komórek zdrowych (21).

Ekstrakt z grzybni wykazywał znaczące działanie cytotoksyczne wobec komórek raka prostaty, podczas gdy ekstrakt z owocników wykazywał umiarkowany wpływ na żywotność czerniaka i raka prostaty (25).

Potencjał przeciwnowotworowy  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-glukooligosacharydów oceniano w testach *in vitro* na modelu komórek raka okrężnicy. Testowany  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-GOS wykazywał właściwości antyproliferacyjne (test MTT) i proapoptotyczne (technika aneksyny V-FITC i PI) w stosunku do raka okrężnicy, ale nie w stosunku do normalnych komórek nabłonka okrężnicy. Ponadto nie zaobserwowano aktywności cytotoksycznej (testy neutralnej czerwień i dehydrogenazy mleczanowej)  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-GOS wobec kilku typów normalnych linii komórkowych. Wykazano potencjał przeciwnowotworowy  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-GOS w modelu raka okrężnicy. Działanie przeciwnowotworowe  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3)-GOS jest związane z indukcją apoptozy (20).

Wyciąg eterowy z *Fomitopsis betulina* zawierający kwasy poliporenowe A i B hamował wzrostu ludzkich komórek nowotworowych. Badania przeprowadzono na komórkach raka tarczycy (FTC238), neuroblastomy (SK-N-AS), raka piersi (T47D), raka krtani (Hep-2), raka szyjki macicy (Hela). Badany wyciąg charakteryzował się silną aktywnością cytotoksyczną w stosunku do wszystkich przebadanych komórek nowotworowych. Pozytywny efekt pojawił się po 24 godzinach inkubacji i pogłębiał w ciągu kolejnych 24 godzin. Aktywność cytotoksyczna rosła wraz ze wzrostem dawki. Komórki raka tarczycy (FTC238) i neuroblastoma (SK-N-AS) wykazywały największą wrażliwość na działanie ekstraktu, już dawka 25 mg/ml powodowała całkowite zahamowanie oddychania mitochondrialnego komórek po 24 godz. Komórki raka piersi (T47D) były hamowane przy dawce

50 mg/ml po 48 godz., a komórki raka krtani (Hep-2) i raka szyjki macicy (HeLa) wykazały pośrednią wrażliwość na cytotoksyczne działanie wyciągu z *Fomitopsis betulina* (26).

Fomitozyd L i fomitozyd N wykazywały cytotoksyczność wobec komórek białaczki HL60 (IC<sub>50</sub> = odpowiednio 15,8 i 23,7 μM). Wśród znanych związków wyraźną cytotoksyczność wobec komórek białaczki HL60 oraz selektywność względem zdrowych komórek MRC-5 odnotowano dla kwasu dehidropachymowego (IC<sub>50</sub> = 10,9 μM, SI 8,6), kwasu pachymowego (IC<sub>50</sub> = 11,0 μM, SI 9,8), kwasu 3-epi-dehydrotumulozowego (IC<sub>50</sub> = 19,9 μM, SI 5,8) i kwasu 12α-hydroksy-3α-(3'-hydroksy-4'-metoksykarbonylo-3'-metylobutyryloksy)-24-metylolanosta-8,24-(31)-dien-26-owego (IC<sub>50</sub> = 19,2 μM, SI 2,2) (13).

Wielonienasycone kwasy tłuszczowe obecne w pniarku są prekursorami eikozanoidów, cząsteczek sygnałowych niezbędnych do prawidłowej regulacji procesów komórkowych w mięśniach, naczyniach krwionośnych, komórkach nerwowych oraz w układzie odpornościowym (25).

Kwas poliporenowy A i jego pochodne oraz kwas poliporenowy C, wykazały właściwości przeciwzapalne w modelu zapalenia ucha, indukowanego 12-O-tetradekanoilforbol-13-octanem (TPA) u myszy (8).

Zbadano aktywność przeciwdrobnoustrojową wodno-alkoholowych frakcji ekstraktu z pniarka. Wykazano, że frakcja niskopolarna otrzymana przy użyciu chloroformu jako ekstrakta ma najwyższą aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec *Staphylococcus aureus* (6,7±0,8 mm), *Serratia marcescens* (14,9±0,4 mm) i *Bacillus subtilis* (9,8±0,5 mm), porównywalną z działaniem antybiotyków stosowanych w medycynie. Zgodnie z danymi literaturowymi działanie przeciwdrobnoustrojowe można powiązać z kwasami triterpenowymi z serii lanostanów (kwasy poliporenowe A i C, 3β-acetoksy-16α-hydroksy-24-okso-5α-lanosta-8-en-21-owy) i antybiotykiem piptaminą (27,28).

## Podsumowanie

*Fomitopsis betulina* jest szeroko rozpowszechnionym grzybem poliporoidalnym, rosnącym tylko na osłabionych brzozech (*Betula pendula*) oraz drewnie brzożowym.

Składnikami chemicznymi owocników pniarka brzożowego są między innymi kwasy poliporenowe, wolne cukry, kwasy tłuszczowe, witaminy, karotenoidy, tokoferole i flawonoidy. Grzyb ten był szeroko stosowany w lecznictwie ludowym na terenie Azji i Europy Wschodniej. Badania aktywności wyciągów z pniarka brzożowego wykazały ich działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe, neuroprotektoryjne, immunomodulujące oraz przeciwnowotworowe.

### LITERATURA

- Łakomy P., Kwaśna P. 2008. Atlas Hub, Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Rolfe R.T., Rolfe F. W. 1974. The romance of the fungus world: an account of fungus life in its numerous guises, both real and legendary, Dover Publications, New York.
- Peintner U., Pöder R., Pümpel T. 1998. The iceman's fungi, Mycological Research 102(10): 1153-1162.
- Schmidt O. Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Springer-Verlag, 2006, Germany.
- Szczepkowski A.: Grzyby nadrzeczne w innym świetle – użytkowanie owocników. Studia i Materiały CEPL w Rogowie, 2012, 14, 32 / 3.
- Thoen D.: Usage et légendes liés aux polypores. Note d'ethnomycologie. Bulletin Trimestriel de la Societe Mycologique de France 1982, 98, 289-318.
- Dominik T.: Huby. Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, 1957. Warszawa
- Kamo T., Asanoma M., Shibata H., Hirota M.: Anti-inflammatory Lanostane-Type Triterpene Acids from *Piptoporus betulinus*. Journal of Natural Products 2003, 66, 1104-1106.
- Kaczor J.: Izolacja i określenie przeciwwirusowego działania substancji z *Piptoporus betulinus*. Praca doktorska, 1983. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Kandefer-Szerszeń M., Kaczor J., Kawecki Z. 1981. Ekstrakty z grzybów jako źródło substancji o aktywności przeciwwirusowej. II. Zastosowanie metod chromatograficznych do izolacji substancji przeciwwirusowych z *Piptoporus betulinus* (Bull. ex Fr.). Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska 1981, 36, 1-20.
- Kawecki Z., Kandefer-Szerszeń M., Kaczor J.: Ekstrakty z grzybów jako źródło substancji o aktywności przeciwwirusowej. I. Zastosowanie rozpuszczalników organicznych do ekstrakcji substancji przeciwwirusowych. Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska 1980, 35, 1-12.
- Khalilov Q., Li L., Liu Y., Tohtahon Z., Chen X., Akber Aisa H., Yuan T.: Piptolinic acids F–J, five new lanostane-type triterpenoids from *Piptoporus betulinus*. Natural Product Research 2019, 33:21, 3044-3051.
- Sofrenić I., Anđelković B., Todorović N., Stanojković T., Vujisić L., Novaković M., Milosavljević S., Tešević V.: Cytotoxic triterpenoids and triterpene sugar esters from the medicinal mushroom *Fomitopsis betulina*. Phytochemistry, 2021, 181, 112580.
- Kawagishi H., Hamajima K., and Inoue Y., 2002. Novel Hydroquinone as a Matrix Metallo-proteinase Inhibitor from the Mushroom, *Piptoporus Betulinus*, Biosci. Biotechnol. Biochem., 66 (12), 2748-2750
- Zaidman B., Yassin M., Mahajana J., Wasser, S.P. 2005. Medicinal mushroom modulators of molecular targets as cancer therapeutics. Appl. Microbiol. Biotechnol. 67, 453-468
- Lindequist, U.; Niedermeyer, T.H.J.; Julich W.-D., 2005. The Pharmacological potential of mushrooms. eCAM. 2, 285-299
- Schlegel B., Luhmann U., Hartl A. and Grafe U., 2000. Piptamine, a New Antibiotic Produced *Piptoporus betulinus* Lu 9-1. The Journal of Antibiotics. 53, 9, 973 – 974
- Reis F.S., Pereira E., Barros L., João Sousa M., Martins A. and Ferreira I.C.F.R., 2011. Biomolecule Profiles in Inedible Wild Mushrooms with Antioxidant Value. Molecules, 16, 4328-4338
- Olenikov D. N., Agaonova S. V., Rokhin A. V., Penzina T. A., and Borovskii G. B., 2012. Branched Glucan from the Fruiting Bodies of *Piptoporus betulinus* (Bull.:Fr) Karst., Applied Biochemistry and Microbiology. 48, 1, 65–70
- Czerwonka A., Wiater A., Komaniecka I., Adamczyk P., Rzeski W., Pleszczyńska M. 2019. Antitumor effect of glucooligosaccharides obtained via hydrolysis of α-(1 → 3)-glucan from *Fomitopsis betulina*. Molecular Biology Reports 46, 5977–5982
- Lemieszek M. K., Langner E., Kaczor J., Kandefer-Szerszeń M., Sanecka B., Mazurkiewicz W., Rzeski W., 2009. Anticancer Effect of Fraction Isolated from Medicinal Birch Polypore Mushroom, *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr) P. Karst. (Aphyllorphomycetidae): In Vitro Studium, Int. J. Med. Mushr. 11(4), 351-364
- Rösecke J., Pietsch M., König W. A., 2000. Volatile constituents of wood-rotting basidiomycetes, Phytochem. 54, 747-750
- Szymański M., Olszewska A., Szymański A.: Występowanie pierwiastków i substancji biologicznie czynnych w Białoporku brzożowym. Ekologia i Technika 2014, XXII, 2, 53-58.
- Klimuszko A.C., 2011. Wróćmy do ziół leczniczych. Oficyna Wydawnicza Rytm, Warszawa
- Sułkowska-Ziaja K., Szewczyk A., Galanty A., Gdula-Argasińska J., Muszyńska B. 2018. Chemical composition and biological activity of extracts from fruiting bodies and mycelial cultures of *Fomitopsis betulina*. Molecular Biology Reports 45, 2535–2544
- Kaczor J., Klecha I. M., Rzeski W., Paduch R., Zdzisińska B., Pożarowski P., Kandefer-Szerszeń M.: Ekstrakt z porka brzożowego (*Piptoporus betulinus* Bull. Fr.) jako inhibitor wzrostu ludzkich komórek nowotworowych. Postępy Fitoterapii 2004, 2, 62-66.
- Harbatsevich H.I.: Antimicrobial Activity Of The *Piptoporus Betulinus* Water-Alcohol Extract. Medical Scientific Bulletin of Central Chernozemnye (Naučno-medicinskij vestnik Central'nogo Černozem'á) 2022, 89, 34-38.
- Sułkowska-Ziaja K., Motyl P., Muszyńska B., Firlej A.: *Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst. – bogate źródło związków aktywnych biologicznie Postępy Fitoterapii 2015, (16)2: 89-95

**Dr Marcin SZYMAŃSKI – Wykształcenie:** 2009 r. – uzyskanie tytułu doktora nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; 2004 r. – uzyskanie tytułu magistra w zakresie chemii środowiska, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Chemii, kierunek chemia środowiska;  
**Doświadczenie zawodowe:** 01.05.2018 – nadal, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Centrum Zaawansowanych Technologii na stanowisku Starszego Specjalisty; 16.01.2011 – 17.12.2017 Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Katedra i Zakład Farmakognozji na stanowisku adiunkta;  
Liczba publikacji: 56; doniesień konferencyjnych: 43; recenzji artykułów naukowych: 68; zainteresowania naukowe: fitochemia, fitoterapia, mykochemia, toksykologia e-mail: marcin.szymanski@amu.edu.pl; tel. 618291978



Anna KACZMAREK

Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław



Beata KIZIOR

Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław



Wiktor ZIERKIEWICZ

Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska, Wrocław



Aneta JEZIERSKA

Uniwersytet Wrocławski, Wydział Chemii, Wrocław

# Właściwości kwasu salicylowego i jego wybranych pochodnych w świetle metod modelowania molekularnego

Properties of salicylic acid and its selected derivatives in the light of molecular modeling methods

DOI: 10.21303/2023.1.7

Salicylany są stosowane od wieków jako leki na różne dolegliwości. Wiele związków z tej grupy powstało w wyniku modyfikacji kwasu salicylowego, np. kwasu acetylosalicylowego (popularnego leku aspiryny) czy salicylanu fenylu (Salolu). Interesującym związkiem jest również kwas salicylowy, będący głównym metabolitem salicylanów. Dla wspomnianych cząsteczek wykonano symulacje kwantowo-chemiczne w oparciu o Teorię Funkcjonału Gęstości (DFT) w fazie gazowej, a także w obecności rozpuszczalnika. Wpływ wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego, obecnego w kwasie salicylowym i salicylanie fenylu, na właściwości cząsteczek został również uwzględniony w badaniach. Analizę topologiczną i struktury elektronowej badanych cząsteczek wykonano według Kwantowej Teorii Atomów w Cząsteczkach (QTAİM) oraz Indeksu Oddziaływań Niekowalencyjnych (NCI).

**Słowa kluczowe:** kwas salicylowy, salicylany, wiązanie wodorowe, DFT, QTAİM, NCI

Salicylates have been used for centuries as medicine for various ailments. Many compounds of this group were obtained as a result of modification of salicylic acid, such as acetylsalicylic acid (a popular aspirin drug) and phenyl salicylate (Salol). Salicylic acid, which is the main metabolite of salicylates, is also an interesting compound. Quantum-chemical simulations based on Density Functional Theory (DFT) in the gas phase, as well as in the presence of a continuum solvation model, were performed for the mentioned molecules. The effect of intramolecular hydrogen bonding, present in salicylic acid and phenyl salicylate, on the properties of the molecules was taken into account in the study. Topological and electron structure analyses of the molecules were carried out according to the Quantum Theory of Atoms in Molecules (QTAİM) and the Non-Covalent Interactions (NCI) index.

**Keywords:** salicylic acid, salicylates, hydrogen bond, DFT, QTAİM, NCI

## 1. Wstęp

Historia kwasu salicylowego sięga I połowy XIX w., kiedy to został on otrzymany przez Raffaele Piria z wcześniej stosowanego w medycynie specyfiku – salicyny [1,2]. Salicyna jest  $\beta$ -glukozydem alkoholu salicylowego, który w przeszłości był stosowany m.in. jako środek przeciwgorączkowy i przeciwbólowy [1]. Hermann Kolbe, profesor chemii na Uniwersytecie w Marburgu, odkrył strukturę chemiczną kwasu salicylowego i zdołał go zsyntetyzować w 1859 roku [2]. Obecnie wiadomo, że salicyna w organizmie ludzkim ulega przekształceniu do kwasu salicylowego [3]. Kwas salicylowy był produkowany na skalę przemysłową, gdzie występował w postaci salicylanu sodu [2]. Zaobserwowano jednak, że jego stosowanie jako leku powoduje pojawienie się skutków ubocznych, np. podrażnienia żołądka, a także wielu pacjentom przeszkadza również jego smak [2]. Obecnie kwas salicylowy jest stosowany w małych ilościach w ko-

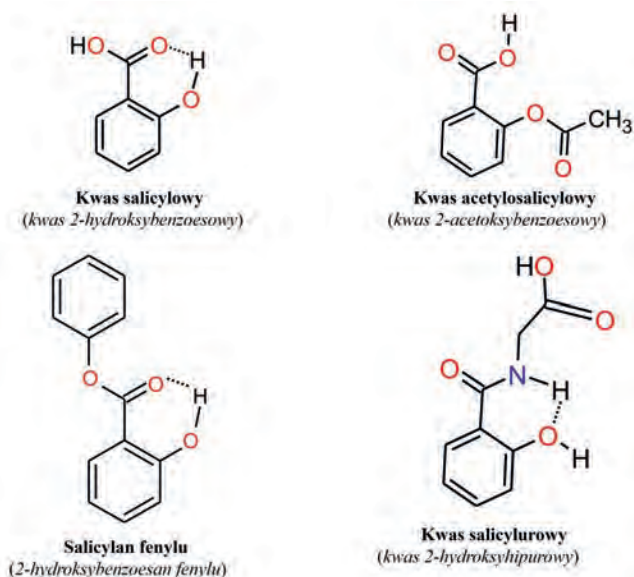
smetykach do pielęgnacji skóry ze względu na właściwości złuszczonej skóry oraz w preparatach do walki z trądzikiem, co wynika z właściwości antybakteryjnych [4].

Próby modyfikacji kwasu salicylowego doprowadziły do wprowadzenia na rynek kwasu acetylosalicylowego, szerzej znanego pod nazwą handlową „aspiryna” [5,6]. Związek ten jest jednym z najpopularniejszych niesteroidowych leków przeciwzapalnych (NLPZ) [1,7]. Jego działanie opiera się na blokowaniu grupy enzymów – cyklooksygenaz (COX) w wyniku acetylacji jednej z reszt aminokwasowych. Enzym COX-1 związany jest z agregacją płytek, ochroną błony śluzowej żołądka oraz utrzymywaniem homeostazy, natomiast COX-2 przyczynia się do rozwoju reakcji zapalnej [7,8]. Blokowanie cyklooksygenaz hamuje powstawanie tromboksanu, prostacyklin i prostaglandyn, skąd wynikają właściwości przeciwzakrzepowe, przeciwbólowe, przeciwzapalne oraz przeciwgorączkowe kwasu acetylosalicylowego [7,8].

Salicylan fenylu (Salol), wykazuje właściwości przeciwbólowe, przeciwgorączkowe oraz antyseptyczne [9]. Związek ten początkowo był stosowany w leczeniu reumatoidalnego zapalenia stawów, także jako następca salicylanu sodu [10]. Był też wykorzystywany jako filtr przeciwsłoneczny ze względu na absorpcję w zakresie 290-330 nm, jednak z czasem został wyparty przez nowo powstałe produkty [9]. Obecnie salicylan fenylu wykorzystuje się m.in. jako lek skojarzony wraz z metenaminą do leczenia zakażenia dróg moczowych z uwagi na jego właściwości przeciwbólowe i przeciwwzapalne [11].

Kwas salicylowy różni się od poprzednich związków. Jest on głównym metabolitem kwasu salicylowego i jego pochodnych [12]. Kwas salicylowy jest koniugatem kwasu salicylowego i glicyny [13].

Przyjrzyjmy się budowie chemicznej analizowanych związków. Kwas salicylowy należy do grupy aromatycznych kwasów karboksylowych [14]. W przypadku kwasu acetylosalicylowego do grupy hydroksylowej pierścienia aromatycznego przyłączona jest grupa acetylowa poprzez wiązanie estrowe [12]. W cząsteczce salicylanu fenylu do grupy karboksylowej przyłączona jest reszta fenylowa [15]. W kwasie salicylowym wiązanie amidowe łączy grupę karboksylową z cząsteczką glicyny [13]. W kwasie salicylowym, salicylanie fenylu, a także w kwasie salicylowym występuje wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe [16-18]. Wzory półstrukturalne omawianych związków przedstawiono na Rys. 1.



**Rys. 1.** Wzory półstrukturalne kwasu salicylowego i jego wybranych pochodnych. Linia przerywaną zaznaczono wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe. Opracowanie własne na podstawie [12-15].

Kwas salicylowy i jego wybrane pochodne posłużyły do zilustrowania zastosowania metod modelowania molekularnego w obszarze nauk chemicznych/farmaceutycznych. Modelowanie molekularne jest zbiorem różnych metod stosowanych w chemii obliczeniowej do rozwiązywania problemów z zakresu np. chemii, biologii, fizyki oraz farmacji [19,20]. W oparciu o te metody możliwe jest przewidywanie właściwości fizykochemicznych nie tylko małych, prostych cząsteczek, ale również złożonych układów, np. białek, kwasów nukleinowych, kryształów, a także struktur polimerowych [19-21]. Modelowanie molekularne jest nierozdzielnie związane z postępem w dziedzinie

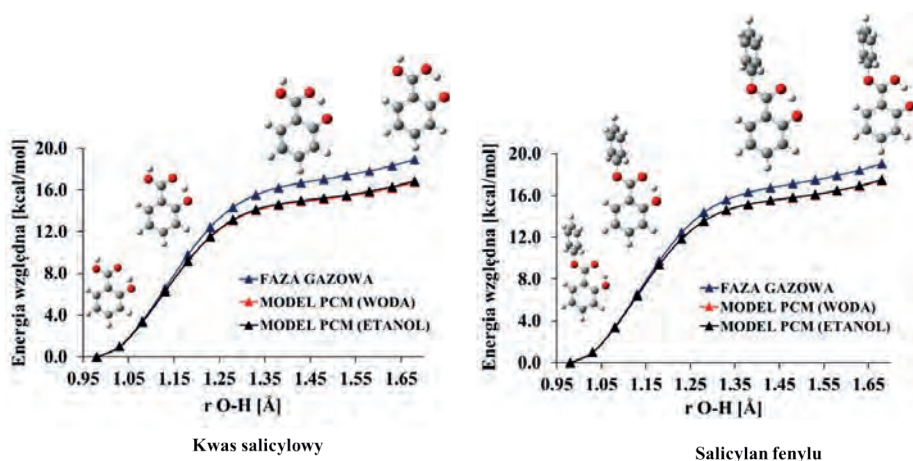
komputerów, a zwłaszcza komputerów o dużej mocy obliczeniowej (HPC) ang. *High Performance Computing* [21,22]. Zbudowane są one z wielu tysięcy procesorów i jeszcze większej liczby rdzeni połączonych ze sobą, aby w efektywny i szybki sposób rozwiązać zadanie z prędkością petaskali na sekundę [23]. Moc obliczeniowa, którą obecnie dysponujemy pozwala nam np. modelować ścieżki reakcji chemicznych, badać oddziaływania wewnątrz- i międzycząsteczkowe, projektować substancje o pożądanych właściwościach istotnych z punktu widzenia komputerowo wspomaganego projektowania leków, jak i materiałów.

## 2. Metody obliczeniowe zastosowane do charakterystyki właściwości kwasu salicylowego i jego wybranych pochodnych

Symulacje kwantowo-chemiczne zostały wykonane dla kwasu salicylowego i jego trzech pochodnych (Rys. 1) w oparciu o Teorię Funkcjonału Gęstości (DFT) [24,25]. Zastosowano funkcjonał B3LYP i bazę funkcyjną 6-311+G(d,p) [27-29]. Symulacje wykonano w fazie gazowej, a także z uwzględnieniem ciągłego modelu rozpuszczalnikowego (IFE-PCM) [30], w którym rolę rozpuszczalnika pełniła woda oraz etanol. Modele do badań teoretycznych zostały przygotowane w oparciu o struktury krystaliczne [16-18,31]. Dla badanych cząsteczek zostały również policzone częstości harmoniczne, w celu potwierdzenia, że otrzymane struktury odpowiadają minimum na powierzchni energii potencjalnej (PES). Dla kwasu salicylowego i salicylanu fenylu wykonano tzw. skan z optymalizacją wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego (z krokiem co 0.05Å dla wiązania O-H, zamrożonym kątem O-H...O oraz optymalizacją pozostałego fragmentu cząsteczki). Dla otrzymanych struktur równowagowych zostały wygenerowane funkcje falowe, które wykorzystano do analizy topologicznej i struktury elektronowej. W tym celu zastosowano Kwantową Teorię Atomów w Cząsteczkach (QTAIM) [32] oraz Indeks Oddziaływań Niekowalencyjnych (NCI) [33]. Symulacje kwantowo-chemiczne zostały wykonane w pakiecie obliczeniowym Gaussian 16 [34]. Analizy QTAIM oraz NCI wykonano w programach AIMAll [35] oraz Multiwfn [36]. Graficzna prezentacja otrzymanych wyników została wykonana w programach VMD [37], GaussView [38] oraz Gnuplot [39].

## 3. Wyniki badań i ich dyskusja

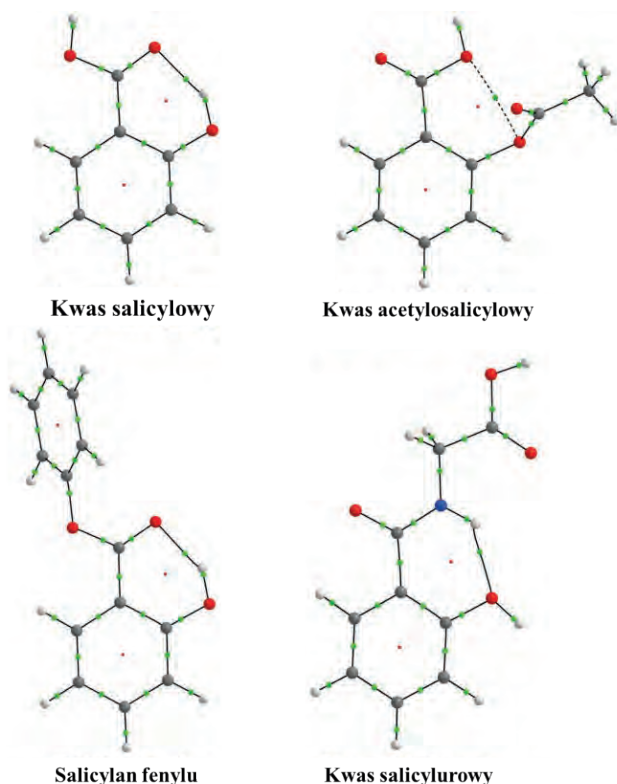
Ogromne znaczenie oddziaływań niekowalencyjnych w przyrodzie, a także ich znacząca rola w wielu procesach chemicznych czy biologicznych są jednym z kluczowych powodów, dla których badania nad nowymi/różnymi typami oddziaływań o charakterze niekowalencyjnym pozostają w centrum zainteresowania na przestrzeni ostatnich lat [40-43]. Jak dotąd najbardziej znanym i najlepiej opisanym oddziaływaniem niekowalencyjnym jest wiązanie wodorowe. Wiązanie wodorowe to oddziaływanie o charakterze elektrostatycznym tworzącym się pomiędzy dodatnio naładowanym atomem wodoru (H), związanym kowalencyjnie z atomem elektroujemnym (np. O, S, F oraz N zwanym donorem) i wolną parą atomu akceptora wiązania wodorowego [44,45]. Nie ulega wątpliwości, że wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe wpływa stabilizująco na strukturę badanego układu, a także powoduje zmiany



Rys. 2. Profile energii potencjalnej odległości O-H w mostku wodorowym uzyskane dla kwasu salicylowego i salicylanu fenylu.

w parametrach spektroskopowych i strukturalnych cząsteczki [42-44]. Najogólniej wiązania wodorowe możemy podzielić na wewnętrz- i międzycząsteczkowe, a także ze względu na siłę wiązania - na słabe, średniej mocy i silne [46,47]. W kwasie salicylowym występuje wewnętrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe o średniej mocy [48,49]. Teoretyczne badanie ścieżki przeniesienia protonu w mostku wodorowym zostało wykonane dla kwasu salicylowego i salicylanu fenylu. Rezultaty badań na poziomie obliczeniowym B3LYP/6-311+G(d,p) w fazie gazowej i z uwzględnieniem dwóch rozpuszczalników (wody i etanolu) zostały przedstawione na Rys. 2.

Jak pokazano na Rys. 2, w obu badanych związkach występuje jedno minimum energetyczne przy ca. 0.98 Å w obu cząsteczkach. Obecność rozpuszczalników obniżyła barierę energetyczną. Wartości



Rys. 3. Grafy molekularne cząsteczek kwasu salicylowego oraz jego trzech pochodnych z zaznaczonymi punktami krytycznymi wiązań (zielone punkty) oraz punktami krytycznymi pierścieni (czerwone punkty) otrzymanymi z teorii QTAIM.

energii uzyskane dla symulacji w otoczeniu polarnym mają zbliżone wartości dla wody i etanolu. Na podstawie otrzymanych rezultatów można zauważyć, że forma z przeniesionym protonem na stronę atomu akceptora jest nieuprzywilejowana.

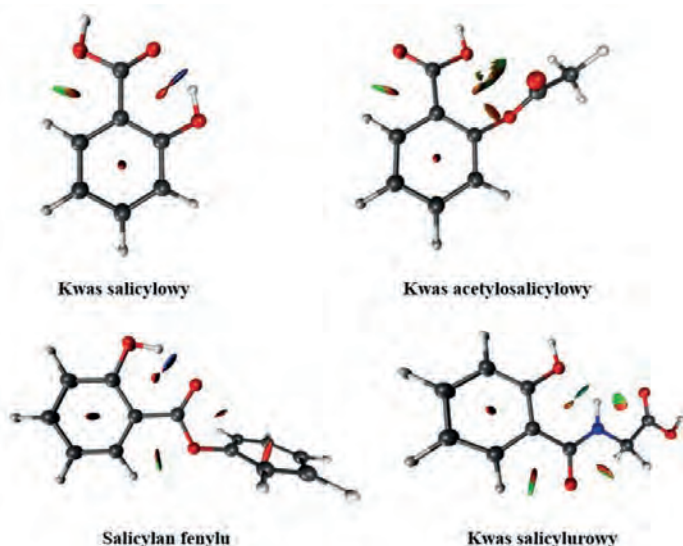
Analizę topologiczną i struktury elektronowej kwasu salicylowego i jego pochodnych wykonano według Kwantowej Teorii Atomów w Cząsteczkach (QTAIM) [50]. W oparciu o tę teorię można potwierdzić np. obecność wiązania wodorowego. Teoria ta bazuje na rozkładzie gęstości elektronowej, czyli analizie prawdopodobieństwa znalezienia elektronów w konkretnym miejscu w przestrzeni [51]. Gęstość elektronowa umożliwia wyznaczenie punktów krytycznych, takich jak

maksima, minima czy punkty siodłowe. Wynika to z faktu, że gradient gęstości elektronowej w tych punktach przyjmuje wartość zero [50]. Najczęściej analizowana jest wartość gęstości elektronowej w punktach krytycznych wiązań (*ang.* Bond Critical Point (BCP)) oraz punktów krytycznych pierścieni (*ang.* Ring Critical Point (RCP)). Punkty krytyczne wiązań wodorowych oraz punkty krytyczne pierścienia odpowiadają minimum gęstości elektronowej, co wynika z lokalnego rozrzedzenia gęstości elektronowej pomiędzy oddziaływującymi atomami (które nie tworzą wiązania kowalencyjnego) lub atomami pierścienia [50,51]. Grafy molekularne badanych układów z wyszczególnionymi punktami krytycznymi wiązań i pierścieni przedstawiono na Rys. 3. Obecność wewnętrzcząsteczkowego wiązania wodorowego skutkuje utworzeniem tzw. *quasi*-pierścienia w przypadku badanych związków. Wewnętrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe stabilizuje konformację cząsteczki. Na Rys. 3 utworzenie *quasi*-pierścienia zostało potwierdzone poprzez obecność RCP. W kwasie acetylosalicylowym analiza QTAIM wskazała na istnienie punktu krytycznego wiązania pomiędzy atomami tlenu. Jednak istniejącego oddziaływania nie możemy określić mianem wiązania.

W celu rozróżnienia, czy w punkcie krytycznym znajduje się minimum/maksimum lub punkt siodłowy gęstości elektronowej, wykorzystuje się macierz drugich pochodnych funkcji po kombinacjach współrzędnych (macierz Hessego). Sumę wartości własnych hesjanu stanowi tzw. Laplasjan gęstości elektronowej [51]. Dla wiązań kowalencyjnych Laplasjan przyjmuje wartości do-

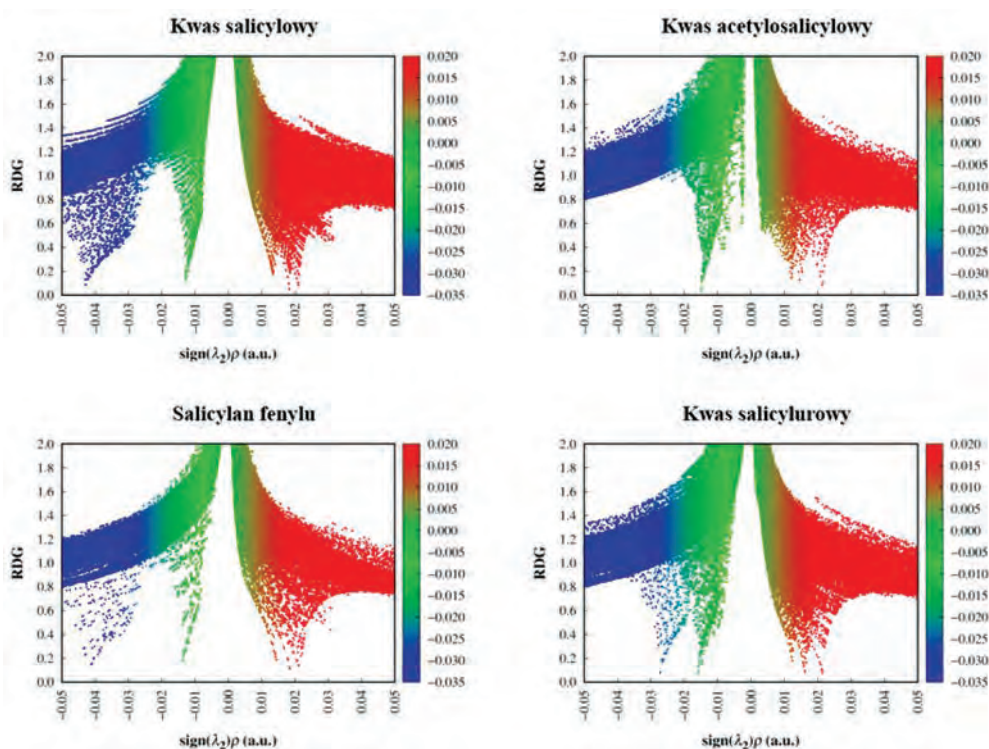
Tab 1. Wartość punktu krytycznego (BCP) wiązania wodorowego w kwasie salicylowym i jego pochodnych otrzymana jako rezultat analizy QTAIM.

Cząsteczka	Faza gazowa		Model rozpuszczalnikowy IFE-PCM (woda)	
	Gęstość elektronowa ( $\rho = e/a_0^3$ )	Laplasjan ( $\nabla^2_\rho = e/a_0^5$ )	Gęstość elektronowa ( $\rho = e/a_0^3$ )	Laplasjan ( $\nabla^2_\rho = e/a_0^5$ )
<b>Mostek wodorowy O-H...O</b>				
Kwas salicylowy	0.0414	0.1316	0.0429	0.1341
Salicylan fenylu	0.0419	0.1331	0.0425	0.1341
<b>Mostek wodorowy N-H...O</b>				
Kwas salicylurowy	0.0255	0.1102	0.0274	0.1165



Rys 4. Diagramy NCI otrzymane dla cząsteczki kwasu salicylowego i jego pochodnych.

datnie, natomiast dla oddziaływań niekwalencyjnych wartości ujemne [50]. W Tabeli 1 przedstawiono wartości gęstości elektronowej oraz jej Laplasjanu w punkcie krytycznym wiązania wodorowego. Najmniejsza wartość gęstości elektronowej jest w punkcie krytycznym wiązania wodorowego kwasu salicylurowego. Największą wartość gęstości elektronowej w punkcie krytycznym wiązania wodorowego otrzymano dla salicylanu fenylu. Dodatnia wartość Laplasjanu otrzymana dla kwasu salicylowego i jego pochodnych potwierdza obecność wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego w badanych cząsteczkach. Obecność środowiska polarnego zwiększa wartość gęstości elektronowej w punkcie krytycznym wiązania wodorowego (Tab. 1).



Rys 5. Wykresy powierzchni RDG otrzymane jako rezultat analizy NCI dla cząsteczki kwasu salicylowego i jego pochodnych.

Na zakończenie naszych rozważań przeanalizujemy inne słabe oddziaływania o charakterze niekwalencyjnym występujące w cząsteczce kwasu salicylowego i jego pochodnych. W tym celu zastosowano indeks oddziaływań niekwalencyjnych (*ang.* *Non-Covalent Interactions (NCI) index*) oparty na zredukowanym gradiencie gęstości elektronowej (RDG). Podejście to, za pomocą trój kolorowego kodu, określa charakter słabych oddziaływań niekwalencyjnych, w których wyróżnia się silne oddziaływania przyciągające (wiązania wodorowe), siły van der Waalsa i efekty steryczne [33]. Analizując, Rys. 4 widzimy, że w oparciu o indeks NCI otrzymaliśmy powierzchnie w kolorze niebieskim (ujemne wartości  $\text{sign}(\lambda_2)\rho(r)$ ) występujące tylko w trzech cząsteczkach (kwasie salicylowym, salicylanie fenylu oraz kwasie salicylurowym), co wskazuje na istnienie wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego. Dodatkowo na wykresach powierzchni RDG przedstawionych na Rys. 5 można zaobserwować ujemny skok gradientu zredukowanej gęstości elektronowej, co również potwierdza obecność wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego w strukturze badanych cząsteczek.

Analiza NCI, pokazała również, że w kwasie salicylowym i jego pochodnych, poza wiązaniem wodorowym, występują również oddziaływania odpychające (czerwone powierzchnie), a także słabe siły van der Waalsa (zielone powierzchnie) - Rys. 4 i 5.

## 4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono rezultaty badań kwantowo-chemicznych wykonanych dla kwasu salicylowego i jego trzech pochodnych w oparciu o Teorię Funkcjonału Gęstości (DFT). Związki wybrane do badań wykazują aktywność biologiczną, a nawet znalazły praktyczne zastosowanie jako leki. Kwas salicylowy oraz jego dwie pochodne wybrane do badań, zawierają wewnątrzcząsteczkowe wiązanie wodorowe typu O-H...O/N. Dla dwóch cząsteczek przebadano ścieżkę

przeniesienia protonu pomiędzy atomami donora i akceptora w fazie gazowej oraz w rozpuszczalnikach: wodzie i etanolu. Zaobserwowano, że obecność rozpuszczalników nieznacznie obniża barierę, ale obecność jednego minimum powoduje, że proton jest zlokalizowany po stronie atomu donora. Wykonana analiza QTAIM potwierdziła obecność wewnątrzcząsteczkowego wiązania wodorowego w trzech z czterech badanych związków, co zgodne jest z dostępnymi danymi krystalograficznymi [16-18]. Analiza NCI również potwierdziła obecność wiązań wodorowych w kwasie salicylowym i jego dwóch pochodnych, a ponadto w całej grupie wybranych do badań związków, pozwoliła scharakteryzować inne obecne oddziaływania niekwalencyjne, takie jak oddziaływania van der Waalsa, czy też oddziaływania odpychające. Umiejętność scharakteryzowania oddziaływań

niekowalencyjnych może przyczynić się np. do lepszego zrozumienia właściwości fizykochemicznych badanych układów, a także przyspieszyć proces projektowania związków o określonych właściwościach.

**Anna KACZMAREK ORCID (A.K.):** 0009-0007-5192-8844 – studentka studiów II stopnia na kierunku Chemia Medyczna Uniwersytetu Wrocławskiego. Jej zainteresowania naukowe obejmują wykorzystanie metod obliczeniowych w obrębie chemii biologicznej i chemii medycznej. • e-mail: 315124@uwr.edu.pl

**Beata KIZIOR ORCID (B.K.):** 0000-0001-8090-9721 – doktorantka na Politechnice Wrocławskiej w Katedrze Chemii Analitycznej i Metalurgii Chemicznej. Tytuł magistra chemii uzyskała w 2020 r. na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Jej obecne zainteresowania naukowe koncentrują się na opisie oddziaływań niekowalencyjnych w kryształach molekularnych oraz kompleksach. • e-mail: beata.kizior@pwr.edu.pl

**Wiktor ZIERKIEWICZ ORCID (W.Z.):** 0000-0002-4038-5959 – ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego (1995). Stopień doktora nauk chemicznych otrzymał na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej (2003), a doktora habilitowanego nauk chemicznych na tym samym wydziale (2014). Jego zainteresowania badawcze skupiają się na problematyce oddziaływań niekowalencyjnych. W jego dorobku naukowy znajduje się ponad 110 publikacji, które ukazały się w czasopiśmie naukowym o zasięgu międzynarodowym. • e-mail: wiktor.zierkiewicz@pwr.edu.pl

**Aneta JEZERSKA ORCID (A.J.):** 0000-0001-6601-9124 – ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, gdzie obecnie jest zatrudniona na stanowisku profesora. Obecnie jej zainteresowania naukowe skupiają się wokół małych i dużych układów o znaczeniu biologicznym. W swoich badaniach stosuje zaawansowane metody nowoczesnej chemii obliczeniowej, zwłaszcza metody dynamiki molekularnej *ab initio*. • e-mail: aneta.jeziarska@uwr.edu.pl

### Podziękowania

Autorzy pragną podziękować Wrocławskiemu Centrum Sieciowo-Superkomputerowemu (WCSS) oraz Poznańskiemu Centrum Superkomputerowo-Sieciowemu (PCSS) za udostępnienie infrastruktury, czasu obliczeniowego i oprogramowania, a także wszelką pomoc w trakcie realizacji projektu. Praca ta została sfinansowana z części dotacji przeznaczonych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na działalność statutową dla Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej.

### BIBLIOGRAFIA

- Montinari M.R., Minelli S., De Caterina R.: *The first 3500 years of aspirin history from its roots – A concise summary*. *Vascul. Pharmacol.* 2019, **113**, 1-8.
- Jack D.B.: *One hundred years of aspirin*. *Lancet.* 1997, **350**, 437-439.
- Waliszewska B., Dokiewicz H.: *Wykorzystanie wierzby w farmacji*, Zeszyty Naukowe Wydziału Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej. 2014, **18**, 57-66.
- Kapuścińska A., Nowak I.: *Zastosowanie kwasów organicznych w terapii trądziku i przebarwień skóry*. *Postepy Hig. Med. Dosw.* 2015, **69**, 374-383.
- Mahmud S., Rosen N.: *History of NSAID Use in the Treatment of Headaches Pre and Post-industrial Revolution in the United States: the Rise and Fall of Antipyrine, Salicylic Acid, and Acetanilide*. *Curr. Pain Headache Rep.* 2019, **23**, 6.
- Elwood P.C.: *Aspirin: past, present and future*. *Clin. Med. (Lond.)*. 2001, **1**, 132-137.
- Czyż M., C. Watała C.: *Aspiryna – cudowne panaceum? Molekularne mechanizmy działania kwasu acetylosalicylowego w organizmie*. *Postepy Hig. Med. Dosw.* 2005, **59**, 105-115.
- Ganong W.F.: *Fizjologia*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2009.
- Calnan C.D., Cronin E., Rycroft R.J.: *Allergy to phenyl salicylate*. *Contact Derm.* 1981, **7**, 208-211.
- Levinstein I.: *Notes on a few chemical substances recently introduced into the field of chemical industry*. *Pharm. J.* 1887, **17**, 527-530.
- Kowalska-Krochmal B., Woron J., Dydak K.: *Ocena wrażliwości szczepów wzorcowych bakterii na metenaminę z salicylanem fenylu (lek Urosal®)*. *Forum Zakazeń.* 2021, **12**, 157-162.
- Miles S., Furman B.L.: *Aspirin*, w: Reference Module in Biomedical Sciences, Elsevier, 2018.
- Patel D.K., Notarianni L.J., Bennett P.N.: *Comparative metabolism of high doses of aspirin in man and rat*. *Xenobiotica.* 1990, **20**, 847-854.
- Furman B.L.: *Salicylic Acid*, w: Reference Module in Biomedical Sciences, Elsevier, 2018.
- Lapczynski A., Jones L., McGinty D., Bhatia S.P., Letizia C.S., Api A.M.: *Fragrance material review on phenyl salicylate*. *Food Chem. Toxicol.* 2007, **45**, S472-476.
- Montis R., Hursthouse M.B.: *Surprisingly complex supramolecular behaviour in the crystal structures of a family of mono-substituted salicylic acids*. *CrystEngComm* 2012, **14**, 5242.
- Smeets W.J.J., Kanters J.A., Venkatasubramanian K.: *Structure of N-Salicyloylglicyne, C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>NO<sub>4</sub>*. *Acta Cryst. C* 1985, **41**, 272-274.

- Hammond R.B., Jones M.J., Roberts K.J., Kutzke H., Klapper H.: *A structural study of polymorphism in phenyl salicylate: determination of the crystal structure of a meta-stable phase from X-ray powder diffraction data using a direct space systematic search method*. *Z. Kristallogr.* 2002, **217**, 484-491.
- Jensen F.: *Introduction to Computational Chemistry 2nd Edition*. John Wiley & Sons, 2007.
- Harvey J.: *Chemia obliczeniowa*. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, 2019.
- Kaczmarek-Kędziera A., Ziegler-Borowska M., Kędziera D.: *Chemia obliczeniowa w laboratorium organicznym*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 2014.
- Kizior B., Panek J.J., Jezierska A.: *Olejki eteryczne. Opis wybranych składników w oparciu o metody modelowania molekularnego*. *Aesth. Cosmetol.* 2020, **9**, 489-497.
- Intel „https://www.intel.pl/”, data dostępu: 8.07.2023.
- Hohenberg P., Kohn W.: *Inhomogeneous Electron Gas*. *Phys. Rev.* 1964, **136**, B864-B871.
- Kohn W., Sham L.: *Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects*. *Phys. Rev.* 1965, **140**, A1133-A1138.
- Becke A.: *Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange*. *J. Chem. Phys.* 1993, **98**, 5648-5652.
- McLean A., Chandler G.: *Contracted Gaussian basis sets for molecular calculations. I. Second row atoms, Z=11-18*. *J. Chem. Phys.* 1980, **72**, 5639-5648.
- Clark T., Chandrasekhar J., Spitznagel G., Schleyer P.: *Efficient diffuse function-augmented basis sets for anion calculations. III. The 3-21+G basis set for first-row elements, Li-F*. *J. Comput. Chem.* 1983, **4**, 294-301.
- Frisch M., Pople J., Binkley J.: *Self-consistent molecular orbital methods 25. Supplementary functions for Gaussian basis sets*. *J. Chem. Phys.* 1984, **80**, 3265-3269.
- Barone V., Cossi M.: *Quantum Calculation of Molecular Energies and Energy Gradients in Solution by a Conductor Solvent Model*. *J. Phys. Chem. A* 1998, **102**, 1995-2001.
- Varughese S., Kiran M.S.R.N., Solanko K.A., Bond A.D., Ramamurthy U., Desiraju G.R.: *Interaction anisotropy and shear instability of aspirin polymorphs established by nanoindentation*. *Chem. Sci.* 2011, **2**, 2236-2242.
- Bader R.F.W.: *Atoms in Molecules, A Quantum Theory*. Oxford University Press, 1990.
- Johnson E.R., Keinan, S., Mori-Sánchez, P., Contreras-Garcia, J., Cohen, A.J., Yang W.: *Revealing Noncovalent Interactions*. *J. Am. Chem. Soc.* 2010, **132**, 6498-6506.
- Frisch M.J., Trucks G.W., Schlegel H.B., Scuseria G.E., Robb M.A., Cheeseman J.R., Scalmani G., Barone V., Petersson G.A., Nakatsuji H., Li X., Caricato M., Marenich A.V., Bloino J., Janesko B.G., Gomperts R., Mennucci B., Hratchian H.P., Ortiz J.V., Izmaylov A.F., Sonnenberg J.L., Williams-Young D., Ding F., Lipparini F., Egidi F., Goings J., Peng B., Petrone A., Henderson T., Ranasinghe D., Zakrzewski V.G., Gao J., Rega N., Zheng G., Liang W., Hada M., Ehara M., Toyota K., Fukuda R., Hasegawa J., Ishida M., Nakajima T., Honda Y., Kitao O., Nakai H., Vreven T., Throssell K., Montgomery Jr J.A., Peralta J.E., Ogliaro F., Bearpark M.J., Heyd J.J., Brothers E.N., Kudin K.N., Staroverov V.N., Keith T.A., Kobayashi R., Normand J., Raghavachari K., Rendell A.P., Burant J.C., Iyengar S.S., Tomasi J., Cossi M., Millam J.M., Klene M., Adamo C., Cammi R., Ochterski J.W., Martin R.L., Morokuma K., Farkas O., Foresman J.B., Fox D.J.: *Gaussian 16, rev. C.01*. Inc. Wallingford, 2016.
- Keith T., Gristmill T.: *AIMAll (Version 19.10.12)*. Software. Overland Park KS, 2019.
- Lu T., Chen F.: *Multifw: a multifunctional wavefunction analyzer*. *J. Comput. Chem.* 2012, **33**, 580-592.
- Humphrey W., Dalke A., Schulten K.: *VMD – Visual Molecular Dynamics*. *J. Mol. Graph.* 1996, **14**, 33-38.
- Dennington R., Keith T.A., Millam J.M.: *GaussView Version 6*. Semicem Inc.: Shawnee, KS. 2019.
- Williams T., Kelley, C.: *Gnuplot 4.4: an interactive plotting program*. URL „http://gnuplot.sourceforge.net”, data dostępu: 8.07.2023.
- Grabowski S.: *Hydrogen Bonding: New Insights*. Springer, 2006.
- Scheiner S.: *Assessment of the Presence and Strength of H-Bonds by Means of Corrected NMR*. *Molecules* 2016, **21**, 1426.
- Kizior B., Michalczyk M., Panek J. J., Jezierska A.: *Unraveling the Nature of Hydrogen Bonds of “Proton Sponges” Based on Car-Parrinello and Metadynamics Approaches*. *Int. J. Mol. Sci.* 2023, **24**, 1542.
- Pauling L., Corey R. B., Branson H.R.: *The structure of proteins: Two hydrogen-bonded helical configurations of the polypeptide chain*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1951, **37**, 205-211.
44. Arunan E., Desiraju G.R., Gautam R., Klein R.A., Sadlej J., Scheiner S., Alkorta I., Clary D.C., Crabtree R.H., Dannenberg J.J., Hobza P., Kjaergaard H.G., Legon A.C., Mennucci B., Nesbitt D.J.: *Definition of the hydrogen bond(IUPAC Recommendations 2011)*. *Pure Appl. Chem.* 2011, **83**, 1637-1641.
- Pauling L.: *The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals; An Introduction to Modern Structural Chemistry*. Cornell University Press, 1960.
- Gale P. A., Steed J. W.: *Supramolecular Chemistry: From Molecules to Nanomaterials*. John Wiley & Sons, 2012.
- Desiraju G. R., Steiner T.: *The Weak Hydrogen Bond*. Oxford University, 1999.
- Steed J. W., Atwood J. L.: *Supramolecular Chemistry*. John Wiley & Sons, 2009.
- Kwon, Y.: *Theoretical study on salicylic acid and its analogues: intramolecular hydrogen bonding*. *J. Mol. Struct. Theochem* 2000, **532**, 227-237.
- Grabowski S.J.: *Wiązanie wodorowe i inne oddziaływania typu kwas Lewisa-zasada Lewisa*. *Wiad. Chem.* 2011, **65**, 975-1002.
- Bankiewicz B., Rybarczyk-Pirek A., Małecka M., Domagała M., Palusiak M.: *Zastosowanie topologicznej analizy gęstości elektronowej do opisu oddziaływań niekowalencyjnych*. *Wiad. Chem.* 2014, **68**, 457-486.



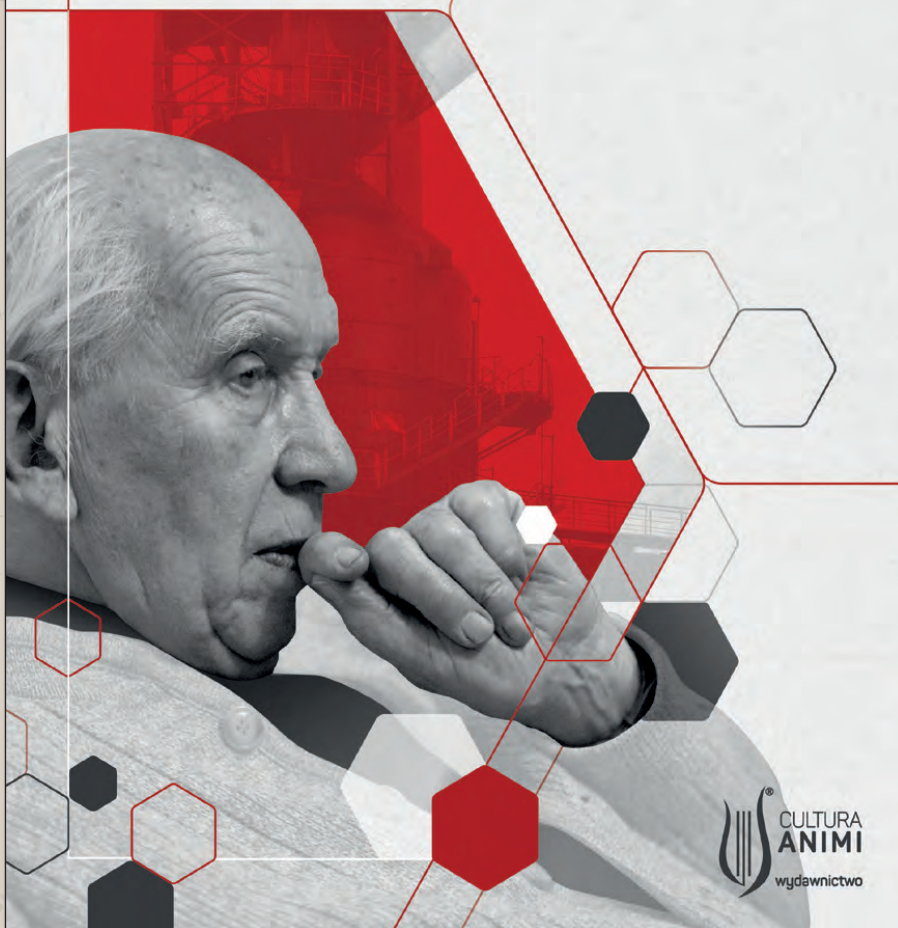
# POLECAMY

## STEFAN OBORSKI

Przemysł chemiczny w Polsce  
w życiu Jerzego Paprockiego

## JERZY PAPROCKI

Kalendarium chemików polskich



## DZIEJE PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO W POLSCE

Książka przez pryzmat życia i działalność Jerzego Paprockiego pokazuje w szerokim ujęciu, w formie monograficznej dzieje przemysłu chemicznego w Polsce w latach 1950–2017.

## POLSKA CHEMIA ZAWDZIĘCZA MU WIELE

To już 5 lat od śmierci Jerzego Paprockiego. Był On jednym z największych współtwórców przemysłu chemicznego w Polsce.

## SYLWETKI CHEMIKÓW POLSKICH

W książce zostało zamieszczonych ponad 100 Jego felietonów przedstawiających sylwetki chemików polskich, które były publikowane w magazynie „Chemik” w latach 2009–2016.

**Książkę można zamówić bezpośrednio:**

**w Wydawnictwie Cultura Animi**

tel. +48 503 073 808; e-mail: piotr@cultura.org.pl;

**w Zarządzie Głównym SITPChem**

tel. (22) 826 78 96; e-mail: sekretariat@sitpchem.org.pl

Wydawnictwo Cultura Animi – imprint Fundacja Cultura Animi

Wydanie I, Warszawa 2022; ISBN 978-83-01-19993-7

Format 160 mm x 235 mm, 804 strony, oprawa twarda

**Cena: 84,00 zł** (w tym 5% VAT)

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT 

ponad **70** LAT NA RYNKU

**34** TYTUŁY

**150 000** PUBLIKACJI

WYGODNY DOSTĘP  
DO ARTYKUŁÓW FACHOWYCH

*Bądź bardziej EKO*

KORZYSTAJ Z ZASOBÓW  
PORTALU INFORMACJI TECHNICZEJ





**ŚRODKOWOEUROPEJSKIE  
FORUM TECHNOLOGII  
WODOROWYCH**

ZAPRASZA

**mtp**  
GRUPA



**ŚRODKOWOEUROPEJSKIE  
FORUM  
DEKARBONIZACJI**

**2024 POZNAŃ**



Międzynarodowe  
Targi Poznańskie



**WIĘCEJ INFORMACJI**  
na stronie

**[www.h2poland.com.pl](http://www.h2poland.com.pl)**





KONFERENCJA

# przemysł chemiczny

WARSZAWA

05-07.12.2023



EDUKACJA  
I NAUKA



ROZWÓJ  
I TECHNOLOGIA



OCHRONA  
ŚRODOWISKA

*honorowy patron medialny*

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT 



**zapisz się już dziś**

[www.konferencja-przemyslchemiczny.pl](http://www.konferencja-przemyslchemiczny.pl)

tel. +48 22 826 78 96

[sekretariat@sitpchem.org.pl](mailto:sekretariat@sitpchem.org.pl)