

KIERUNEK
CHEMIA**TEMAT NUMERU: DROGA DO ENERGETYCZNEJ
NIEZALEŻNOŚCI**

- 8 | **Niezależność energetyczna przemysłu. Kwadratura koła?**
Andrzej P. Sikora
- 12 | **Trendy energetyczne: oczywisty, smutny i zdumiewający**
Andrzej Szczęśniak
- 16 | **Energia z wiatru**
ORLEN Neptun
- 19 | **Zwycięstwo należy do najbardziej wytrwałych**
Maciej Tomecki
- 21 | **Energetyka jądrowa. Potencjał polskiego przemysłu**
Andrzej Sidło, Jacek Zalewski
- 29 | **Biogaz i biometan. Klucz do transformacji energetycznej**
Kamil Moskwik
- 34 | **Inowrocław nowa energia. Energia z odpadów dla przyszłej produkcji polskiej sody**
QEMETICA S.A.
- 38 | **Biowęgiel. Od biomasy do funkcjonalnego węgla przemysłowego**
Aleksandra Małachowska, Cyprian Olszewski, Natalia Łukasik
- 42 | **Energetyczna agencja w oku cyklonu**
Andrzej Szczęśniak

WODÓR

- 44 | **Wodorowe wsparcie dla gazu koksowniczego**
Mateusz Klejnowski, Katarzyna Stolecka-Antczak
- 48 | **Technologie niskoemisyjne w transporcie morskim**
Agnieszka Czekąta, Karolina Majewska

OCHRONA ŚRODOWISKA

- 53 | **Oczyszczalnia przyszłości. Filary Niebiesko-Zielonego Ładu**
Klara Ramm
- 56 | **Technologie membranowe w oczyszczaniu cieczy pofermentacyjnej**
Agnieszka Urbanowska

BEZPIECZEŃSTWO

- 59 | **Zarządzanie obejściami sygnałów blokadowych w Rafinerii Gdańskiej**
Rafał Falkowski

UTRZYMANIE RUCHU

- 65 | **Strategia UR w petrochemii. O cięciu kosztów bez cięcia niezawodności**
Gniewosz Marszałek
- 69 | **Drgania skrętne pobudzane przez maszyny**
Ryszard Nowicki

MOJA HISTORIA

- 77 | **Jak to z węglem było? Diamenty to węgiel, który wziął się do roboty, cz. II**
Jacek Kijewski

FELIETON

- 90 | **Różne światy**
Agnieszka Gajek

**TEMAT NUMERU: DROGA DO ENERGETYCZNEJ
NIEZALEŻNOŚCI**

Fot. Rafineria Gdańska



19

**ZWYCIĘSTWO NALEŻY
DO NAJBARDZIEJ WYTRWAŁYCH**

Maciej Tomecki

OCHRONA ŚRODOWISKA

53

Fot. 123rf

**OCZYSZCZALNIA PRZYSZŁOŚCI.
FILAR NIEBIESKO-ZIELONEGO ŁADU**

Klara Ramm

UTRZYMANIE RUCHU**STRATEGIA UR
W PETROCHEMII.
O CIĘCIU KOSZTÓW
BEZ CIĘCIA
NIEZAWODNOŚCI**

Gniewosz Marszałek

65



Fot. 123rf

Fot. 123rf

**Aleksandra Grądzka-Walasz**

redaktor wydania

tel. 32 415 97 74 wew. 20

tel. kom. 602 115 264

e-mail: aleksandra.walasz@e-bmp.pl

Czas zrozumieć energetyczną przyszłość

„Niczego w życiu nie należy się bać, należy to tylko zrozumieć” – słowa Marii Skłodowskiej-Curie, dziś towarzyszące kampanii Ministerstwa Energii: „Czas zrozumieć Atom”, podnoszącej poziom świadomości w zakresie funkcjonowania energetyki jądrowej, mogą być dla nas wyzwaniem. W czasie kiedy energetyka przemysłowa zmienia się szybciej niż kiedykolwiek, właśnie zrozumienie – nie strach – powinno wyznaczać kierunek rozmów, decyzji czy inwestycji.

Popatrzmy na to, co dzieje się w największych polskich zakładach. ORLEN – równocześnie pracując nad wielkimi projektami petrochemicznymi – rozwija własne źródła energii: od farm fotowoltaicznych, poprzez energetykę wiatrową, małe reaktory jądrowe, po plan osiągnięcia do 2035 roku 12,8 GW mocy w OZE, nie zapominając jeszcze o instalacjach wodorowych...

Ten „energetyczny kierunek” nie dotyczy oczywiście wyłącznie jednego koncernu. Cała branża chemiczna w Polsce stoi dziś wobec podobnych wyzwań: jak połączyć efektywność z dekarbonizacją? W jakie źródła inwestować i utrzymać tym samym konkurencyjność? Czy współczesny przemysł może uniezależnić się energetycznie? Jak na transformację energetyczną może wpłynąć chociażby wodór? – o co pyta m.in. Andrzej Sikora z Instytutu Studiów Energetycznych (str. 8).

W numerze „Kierunku Chemia” przyglądamy się tym problemom z bliska.

Rozmawiamy z ekspertami, praktykami i naukowcami, którzy – zgodnie z przesłaniem polskiej noblistki – nie straszą transformacją, ale pomagają ją zrozumieć.

O tym, co dzieje się w krajowym systemie elektroenergetycznym, o kierunkach jego zmian, bólach rynku pisze Andrzej Szczęśniak w artykule: „Trendy energetyczne: oczywisty, smutny i zdumiewający”, w którym zauważa, jak źródła odnawialne „rozpychają się” w polskim miksie energetycznym i biją kolejne rekordy. W centrum tych przemian znalazły się również rafinerie – przez dziesięciolecia traktowane jako filar bezpieczeństwa energetycznego i przemysłowego Europy. Dzisiaj ich przyszłość jest niepewna, co zauważa Maciej Tomecki (art. „Zwycięstwo należy do najbardziej wytrwałych”, str. 19), choć podkreśla, że: „Kurczący się rynek paliw, rosnące koszty emisji CO₂, spadające marże i napływ tańszych produktów spoza Unii sprawiają, że przetrwają tylko najsilniejsze zakłady. Rafineria Gdańska chce być jednym z nich”.

A kto zdobędzie przewagę w najbliższych latach? Zapewne ci, którzy nie tylko reagują i świadomie układają swoją energetyczną strategię, ale również przewidyują i pozostają odporni na turbulencje rynku. Ci, którzy rozumieją zmiany, jakie zachodzą i będą potrafili je dobrze wykorzystać. Proste?

Aleksandra Grądzka-Walasz

**Wydawca:**

BMP spółka z ograniczoną odpowiedzialnością spółka komandytowa

KRS: 0000406244, REGON: 242 812 437

NIP: 639-20-03-478

ul. Morcinka 35

47-400 Racibórz

tel./fax 32 415 97 74

tel.: 32 415 29 21, 32 415 97 93

e-mail: biuro@e-bmp.pl

www.kierunekchemia.pl

BMP to firma od ponad 30 lat integrująca środowiska branżowe, proponująca nowe formy budowania porozumienia, integrator i moderator kontaktów biznesowych, wymiany wiedzy i doświadczeń. To organizator branżowych spotkań i wydarzeń – znanych i cenionych ogólnopolskich konferencji branżowych, wydawca profesjonalnych magazynów i portali.

Rada Programowa:

Adam S. Markowski – Katedra Inżynierii Systemów Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej

Tomasz Zieliński – Polska Izba Przemysłu Chemicznego

Paweł Bielski – Grupa Azoty S.A.

Jacek Kijeński – Politechnika Warszawska

Andrzej Biskupski

Andrzej Szczęśniak – niezależny ekspert rynku paliw

Artur Kopeć – Grupa Azoty Polskie Konsorcjum Chemiczne sp. z o.o.

Andrzej Sikora – Instytut Studiów Energetycznych Sp. z o.o., Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Agnieszka Gajek – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Arkadiusz Kamiński – ORLEN S.A.

Dorota Brzezińska – Politechnika Łódzka

Wojciech Blew – Grupa Azoty Polyelefins S.A.

Prezes zarządu BMP Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp. k.
Mateusz Grzeszczuk

Redaktor naczelny
Przemysław Płonka

Redaktor wydania
Aleksandra Grądzka-Walasz

Redakcja techniczna
Marcelina Gąsior

Kolportaż
Rafał Ruczał

Sprzedaż
Aleksandra Mrowiec, Jolanta Mikołajec-Piela, Magda Widzińska, Marta Mika, Krzysztof Sielski, Monika Majewska

Magazyn kierowany jest do prezesów, dyr. ds. technicznych i głównych specjalistów (mechaników, automatyków, technologów) reprezentujących branżę chemiczną, organizatorów targów, sympozjów, imprez branżowych, urzędów, ministerstw, instytutów, wyższych uczelni oraz biur projektowych.

Redakcja nie odpowiada za treść reklam.
Niniejsze wydanie jest wersją pierwotną czasopisma

Wykorzystywanie materiałów i publikowanie reklam opracowanych przez wydawcę wyłącznie za zgodą redakcji. Redakcja zastrzega sobie prawo do opracowywania nadesłanych tekstów oraz dokonywania ich skrótów, możliwości zmiany tytułów, wyróżnień i podkreśleń w tekstach. Artykułów niezamówionych redakcja nie zwraca.

Źródło grafiki na okładce: 123rf
Druk: Fischer sp. z o.o.



Czasopismo indeksowane w „Bazie danych o zawartości polskich czasopism technicznych BazTech” baztech.icm.edu.pl



TURBINY Z POLSKIMI GONDOLAMI

Na morskiej farmie wiatrowej Baltic Power zainstalowano kolejne turbiny o mocy 15 MW, w tym pierwsze trzy wyposażone w gondole wyprodukowane w polskich zakładach Vestas w Szczecinie. Inwestycja Grupy ORLEN i Northland Power to obecnie najbardziej zaawansowany projekt budowy morskiej farmy wiatrowej w polskiej części Bałtyku. Po zakładanym zakończeniu prac (spodziewanym w 2026 r.) farma będzie wytwarzać do 4 TWh energii rocznie, co stanowi 3% obecnego krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną

Źródło, fot.: ORLEN S.A.

AGENDA BADAWCZA GAZ-SYSTEM

GAZ-SYSTEM zaprezentował zaktualizowaną Agendę Badawczą – dokument, który przedstawia najważniejsze kierunki rozwoju działalności badawczo-rozwojowej spółki.

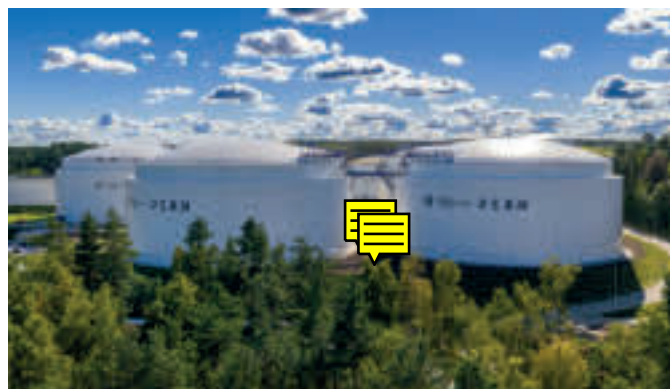
Agenda definiuje kluczowe zagadnienia naukowo-techniczne, w ramach których planowana jest realizacja projektów i inicjatyw wspierających bezpieczną, niskoemisyjną i nowoczesną infrastrukturę przesyłową.

Obejmują one m.in. technologie przesyłu wodoru i dwutlenku węgla, biometanu, innowacyjne materiały, monitoring infrastruktury oraz rozwiązania wspierające dekarbonizację.

– Synergia między GAZ-SYSTEM a środowiskiem naukowym pozwoli nam lepiej odpowiadać na wyzwania stojące przed sektorem gazowym oraz skuteczniej realizować zadania operatora przesyłowego i operatora magazynowania.

Stoimy przed wieloma wyzwaniami, ale też szansami – od transformacji energetycznej i bezpieczeństwa infrastruktury, po rozwój technologii związanych z przesyłem biometanu, wodoru i dwutlenku węgla. Właśnie dlatego dialog z nauką jest dziś tak ważny – mówi **Sławomir Hinc**, prezes zarządu GAZ-SYSTEM S.A.

Źródło, fot.: GAZ-SYSTEM



TRZY NOWE ZBIORNIKI

PERN S.A. zakończył inwestycję w Bazie Paliw nr 21 w Dębogórze, oddając do użytku trzy nowoczesne zbiorniki do magazynowania paliw płynnych o łącznej pojemności 150 tys. m³.

Inwestycja kosztowała blisko 150 mln zł i zwiększyła pojemność magazynową bazy do ponad 500 tys. m³, stając się aktualnie największym tego typu obiektem w Polsce.

– W obliczu dynamicznie zmieniającej się sytuacji geopolitycznej, zwiększenie krajowych możliwości magazynowych to jeden z filarów bezpieczeństwa energetycznego Polski. Dzięki inwestycjom takim jak ta w Dębogórze budujemy niezależność naszego systemu paliwowego i zapewniamy stabilność dostaw dla gospodarki i obywateli, nawet w sytuacjach kryzysowych – powiedział Wojciech Wrochna, pełnomocnik rządu ds. strategicznej infrastruktury energetycznej w Ministerstwie Energii.

Dębogórze to nie jedyna inwestycja PERN. Obecnie trwa faza projektowania kolejnych zbiorników: w Kuluszkach powstaną dwa nowe, do magazynowania paliw (o pojemności 33 tys. m³ dla produktów III klasy oraz o pojemności 24 tys. m³ dla produktów I klasy), a w Kawicach – zbiornik o pojemności 33 tys. m³ do magazynowania produktów III klasy.

Źródło, fot.: PERN



NITROCHEM I GRUPA AZOTY ROZWIJAJĄ WSPÓŁPRACĘ

NITRO-CHEM S.A. oraz PROZAP Sp. z o.o. zawarły umowę na wykonanie dokumentacji projektowej instalacji przeznaczonej do produkcji wysokoenergetycznych materiałów wybuchowych, w tym heksogenu oraz alternatywnie oktogenu.

Nowa instalacja stanowi odpowiedź na rosnące zapotrzebowanie przemysłu obronnego i klientów na wysokoenergetyczne materiały wybuchowe o najwyższych parametrach jakościowych.

– Podpisana umowa to ważny etap w realizacji naszej strategii rozwoju technologicznego i zdolności produkcyjnych. Dzięki współpracy z PROZAP i doświadczeniu Grupy Azoty przyspieszymy prace projektowe i przygotujemy solidne podstawy do budowy instalacji, która wzmocni pozycję NITRO-CHEM jako zaufanego dostawcy dla sektora obronnego w kraju i za granicą – zaznacza Arkadiusz Miszuk, prezes zarządu NITRO-CHEM S.A.

Źródło, fot.: Grupa Azoty

CIEKAWOSTKA

Reaktor Maria z bezterminowym zezwoleniem



W tym roku Narodowe Centrum Badań Jądrowych otrzymało bezterminowe zezwolenie na eksploatację reaktora badawczego Maria od prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

Uruchomienie reaktora w 1974 roku uważa się za jedno z największych osiągnięć polskich badań jądrowych i do dziś jest to wizytówka krajowej energetyki jądrowej, która przyciąga naukowców. Przedstawiciele NCBJ podkreślają, że dla dalszego rozwoju badań potrzebne są: długofalowa strategia i zapewnienie finansowania projektów.

Źródło: NCBJ, fot. 123rf



ORLEN MA KONTRAKT GAZOWY Z NAFTOGAZEM

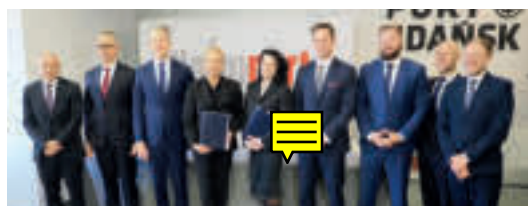
ORLEN podpisał z ukraińskim partnerem umowę na dostawę 300 mln metrów sześciennych gazu ziemnego z USA.

Kontrakt zakłada, że w pierwszym kwartale 2026 roku polska spółka dostarczy ukraińskiemu partnerowi gaz pochodzący z trzech dostaw amerykańskiego LNG. To efekt porozumienia zawartego przez spółki w trakcie szczytu współpracy transatlantyckiej (P-TEC), który odbył się na początku listopada 2025 r. w Atenach.

– Współpraca między naszymi spółkami buduje bezpieczeństwo energetyczne regionu, a jednocześnie zapewnia każdej z nich warunki do dalszego rozwoju biznesu i wzmocnienia pozycji rynkowej – powiedział Robert Soszyński, wiceprezes zarządu ORLEN ds. operacyjnych.

W ramach rozpoczętej w 2025 roku stałej współpracy handlowej z Naftogazem, ORLEN sprzedał na Ukrainę już 600 mln m³ gazu.

Źródło, fot.: ORLEN



ROZBUDOWA GDAŃSKIEGO NAFTOPORTU

Po rozbudowie Naftoportu zdolność przeładunkowa obiektu wzrośnie o ok. 9 mln ton rocznie.

Spółka Naftoport oraz zarząd Morskiego Portu Gdańsk podpisały z polską firmą DORACO umowę dotyczącą budowy szóstego stanowiska przeładunkowego w terminalu. W zeszłym roku terminal Naftoportu obsłużył 489 tankowców i przeładował łącznie ponad 40 mln ton ropy i paliw.

Planowane zakończenie prac budowlanych i rozpoczęcie przeładunków surowca to drugie półrocze 2028 roku. Koszt inwestycji wyniesie ok. 455 mln zł netto, z czego część finansowana przez Naftoport to ok. 239 mln zł, a przez ZMPG – ok. 216 mln zł.

Źródło, fot.: Ministerstwo Energii

ROZMAITOŚCI

400.

ładunek LNG
włynął 16 listopada
do gazoportu
w Świnoujściu.
Podczas przyjęcia
jubileuszowej
dostawy rozładowano
160 tys. m³ LNG

Źródło:

GAZ-SYSTEM

.....

”

– Koncentrujemy się na działaniach restrukturyzacyjnych, które mają umożliwić kontynuację działalności przez Grupę Azoty Poliolefin. Złożenie wniosku o ogłoszenie upadłości wynika z kwestii formalnych i nie oznacza samej upadłości

– **Andrzej Skolmowski**,
prezes zarządu
Grupy Azoty

Źródło: Grupa Azoty

QEMETICA SZUKA INNOWACJI

Grupa QEMETICA uruchamia nową jednostkę biznesową – QEMETICA Future, której celem jest przyspieszenie wdrażania innowacji w polskim przemyśle chemicznym.

Projekt stawia na współpracę z uczelniami, startupami i środowiskiem naukowym, tworząc przestrzeń do komercjalizacji przełomowych technologii. Pierwszą inicjatywą jest QEMETICA Industrial Challenge – konkurs dla zespołów akademickich, który łączy naukę z realnymi wyzwaniami przemysłowymi. Na zwycięzców czeka nagroda 200 tys. zł oraz możliwość komercjalizacji wyników badań i współpracy z inżynierami QEMETICA w warunkach przemysłowych.

– Globalna konkurencja nie czeka, dlatego przyszłość polskiej chemii musi opierać się na ścisłej współpracy z nauką i odwadze w sięganiu po nowe technologie – podkreśla Kamil Majczak, prezes Grupy QEMETICA.

Źródło, fot.: QEMETICA



GRUPA AZOTY OPUBLIKOWAŁA STRATEGIE

Grupa Azoty opublikowała strategię do 2030 roku, w której wyznaczyła ambitne cele finansowe i operacyjne.

W najbliższych latach Grupa planuje osiągnąć przychody na poziomie 17-18 mld zł oraz EBITDA w zakresie 1,9-2,0 mld zł, co przełoży się na marżę EBITDA przekraczającą 10%. Istotnym elementem strategii jest utrzymanie dyscypliny finansowej, wyrażającej się wskaźnikiem zadłużenia netto do EBITDA poniżej 2,5 razy. W latach 2025-2030 Grupa Azoty przeznaczy na inwestycje od 3 do 4 mld zł, w tym z wykorzystaniem finansowania zewnętrznego.

– Zgodnie z przyjętą strategią koncentrujemy swoją działalność na tym, na czym w Grupie Azoty znamy się najlepiej – produkcji i sprzedaży nawozów dla rolnictwa. To wokół nawozów budujemy stabilną organizację, zdolną skutecznie konkurować i odpowiadać za bezpieczeństwo żywnościowe Polski oraz całego regionu – komentuje Andrzej Skolmowski, prezes zarządu Grupy Azoty.

Źródło, fot.: Grupa Azoty

NIEZALEŻNOŚĆ ENERGETYCZNA PRZEMYSŁU

Kwadratura koła?

dr inż. Andrzej P. Sikora
Instytut Studiów Energetycznych

Czy współczesny przemysł może naprawdę uniezależnić się energetycznie, czy to raczej tylko ambitna iluzja i współczesna kwadratura koła? Jak na transformację energetyczną może wpłynąć wodór?

Revolucja przemysłowa była procesem zmian technologicznych, gospodarczych, społecznych i kulturalnych, zapoczątkowanym w XVIII wieku w Anglii i Szkocji – najbogatszych wówczas regionach świata, które miały także wydajne rolnictwo i bogactwa naturalne zapewniające energię (węgiel kamienny). To tam wynaleziono też maszynę parową. Stosowanie napędu wiatru czy koła wodnego nie było jednak wszędzie możliwe, więc wynalazcy szukali innych rozwiązań.

W 1763 James Watt zmodernizował silnik parowy Thomasa Newcomena (1663-1729) z 1712 r. oraz zbudował mechanizm, z pomocą którego ruch posuwisto-zwrotny tłoków był zamieniany na ruch obrotowy. W 1784 powstała pierwsza fabryka przędzalnicza, gdzie użyto silników parowych Watta.

Zapotrzebowanie na maszyny parowe powodowało wzrost znaczenia górnictwa i hutnictwa, rozwijała się metalurgia – stosowano do wytopu surówki koks



Fot. 123rf

$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$ prawo Gaussa dla elektryczności
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$ prawo Gaussa dla magnetyzmu
 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\phi_B}{dt}$ prawo Faradaya
 $\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt} + \mu_0 I$ uogólnione prawo Ampère'a

RYS. 1
Podstawowe prawa
w energetyce

o znacznie wyższej kaloryczności niż węgiel drzewny czy kamienny (wzrost wydajności i jakości). Przemysł był niezależny energetycznie – to znaczy sam sobie musiał zapewnić źródła energii, surowiec energetyczny, aby przejść od gospodarki opartej na rolnictwie oraz produkcji manufakturowej bądź rzemieślniczej do tej bazującej głównie na mechanicznej produkcji fabrycznej na dużą przemysłową skalę, która wymagała coraz większych zasobów energetycznych.

Tak zaczęła się rewolucja energetyczna...

Jej początek nastąpił pewnie z 200 lat temu, gdzieś w 1820 roku, gdy Michael Faraday i Joseph Henry dokonali prawdopodobnie najważniejszego wkładu w rozwój nowoczesnych systemów energetycznych: wynaleźli prymitywny silnik elektryczny, a w 1831 roku udokumentowali, że prąd elektryczny można „wytworzyć”, czyli wymusić ruch elektronów w przewodzie poruszającym się w pobliżu magnesu, co stanowiło demonstrację zasady działania generatora.

”

Reakcja fuzji jądrowej może być niewyczerpalnym źródłem energii

„Prawa Faradaya Gaussa” to połączenie dwóch oddzielnych, fundamentalnych praw fizyki: prawa indukcji Faradaya, które opisuje indukcję elektromagnetyczną na podstawie zmiany strumienia magnetycznego, oraz prawa Gaussa, określającego związek między ładunkiem elektrycznym a polem, które on wytwarza. Oba prawa są częścią równań Maxwella i charakteryzują zjawiska elektryczności i magnetyzmu.

W moich szkolnych czasach w liceum uczyli tych wzorów¹, a rachunek różniczkowy i całkowy był obowiązkiem do matury co najmniej w podstawie (tu: bez całek okrężnych). Różniczki i całki mają fundamentalne znaczenie w fizyce i naukach ścisłych, a ich podstawy zostały odkryte niezależnie przez Izaaka Newtona (pra-

wie 200 lat wcześniej!) i Gottfrieda Leibniza – świetnie opisuje on prąd elektryczny, który formalnie nie jest wytwarzany (kiedyś pochylę się nad deltą Diraca.)

Czy za czasów Kopernika nie było prądu elektrycznego?

Był, ale wtedy nikt nie rozumiał, że dywergencja pola elektrycznego jest równa gęstości ładunku! To spowodowanie różnicy potencjałów elektrycznych w materiałach, w których istnieją zdolne do ruchu nośniki ładunku, wywołuje zjawisko przewodzenia prądu elektrycznego. Nic nie wytwarzamy! Zamieniamy tylko jedną formę energii w inną – światło słoneczne w ruch elektronów. Spalanie węgla podgrzewa wodę, która parując obraca łopatkę/turbinę – identycznie jak wiatr, tylko z inną sprawnością.

Według raportów MAE, w latach 2010-2021 liczba osób na świecie bez dostępu do energii elektrycznej zmniejszyła się niemal o połowę, ale w 2023 r. nadal 750 mln ludzi nie miało prądu². W ostatnich latach roczne tempo zmniejszania tej luki spadło. Energia i surowce energetyczne, takie jak węgiel, ropa naftowa i gaz ziemny, będą pewnie – dzięki decyzjom Trumpa³ (myślę o „The One Big Beautiful Bill Act” – akronimy OB3; OBB-BA; OBBB; BBB, także Big Beautiful Bill) – jeszcze przez dekady wykorzystywane jako pierwotne źródła energii.

Dostęp do surowców energetycznych

Dla nowoczesnej transformacji energetycznej niezbędne są również materiały krytyczne, takie jak lit, kobalt i nikiel – do akumulatorów, oraz metale ziem rzadkich do turbin wiatrowych i silników elektrycznych. Ponadto surowce, takie jak miedź, żelazo i aluminium, a także złoto, platyna są niezbędne technologiom energetycznym. Dostęp do nich decyduje o bezpieczeństwie energetycznym kraju, jego stabilności gospodarczej i zdolności do osiągnięcia celów transformacji, w szczególności przejścia na technologie energii odnawialnej.

Ograniczony dostęp lub zakłócenia w łańcuchu dostaw podstawowych materiałów, takich jak lit, kobalt lub pierwiastki ziem rzadkich, mogą prowadzić do zmienności cen, utrudniać rozwój zielonych technologii i stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego czy jakości życia. Stąd państwa, chroniąc swoje zasoby, zapewniają bezpieczeństwo energetyczne i niejako zdejmują z nas (z obywateli, z przemysłu) problem zapewnienia szeroko pojętej energii, ciepła (dziś także i chłodu). Doprowadziło to do sytuacji, że znaczna część ludzkości (dzieci) sądzi, że PRĄD JEST Z GNIAZDKA! (Mleko z kartonu, a pieniądze z bankomatu!). I niech nikt nie mówi, że jest inaczej! Czyż nie widać, że Ziemia jest płaska (sic!)⁴?

W Europie okazało się, że energia stała się za droga, że bogata Unia Europejska – troszcząc się o środowisko, o klimat, o ubogich – energetycznie przeszarżowała z regulacjami. A technologie ciągle jeszcze nie nadążają (co wcale nie oznacza, że się nie pojawiają – historia

pokazuje, że wcześniej niż się spodziewamy). Skoro nie paliwa kopalne, skoro OZE nie daje gwarancji pełnego bezpieczeństwa energetycznego, nawet z magazynowaniem, to więc co...?

”

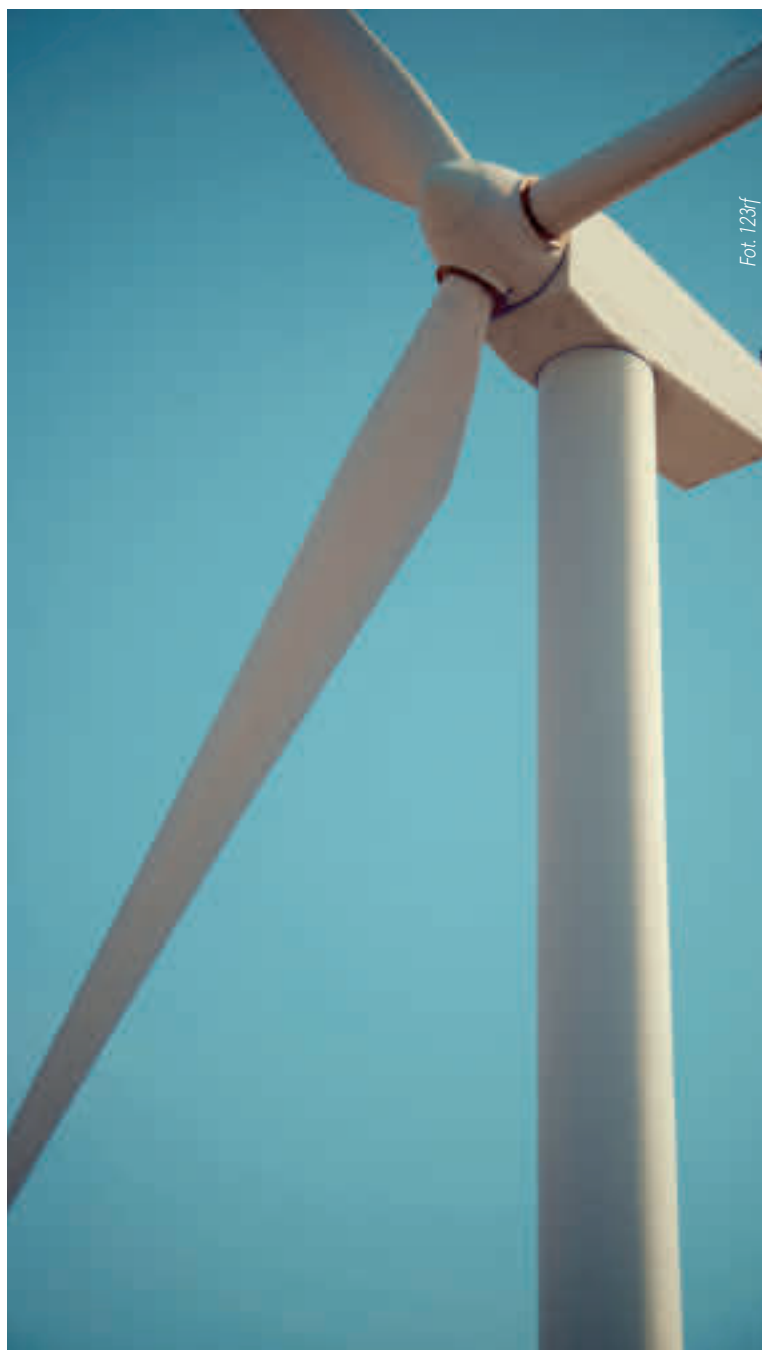
Dostęp do surowców energetycznych decyduje o bezpieczeństwie energetycznym kraju, jego stabilności gospodarczej i zdolności do osiągnięcia celów transformacji energetycznej

I pojawił się wodór, jako surowiec energetyczny...

Nawet sceptycy potwierdzają istnienie procesów tworzenia się naturalnego wodoru w skorupie ziemskiej, co nie jest równoznaczne z powstawaniem złóż wodoru naturalnego, tak jak jednak miało to miejsce w Mali w Bourakebougou⁵. W poszukiwania naturalnych, podziemnych złóż wodoru angażują się najbogatsi – np. dwóch miliarderów: Jeff Bezos i Bill Gates⁶ przez „startup” Koloma, który – zajmując się czystymi paliwami – ogłosił plany wykorzystania wiedzy specjalistycznej w zakresie węglowodorów do poszukiwania białego wodoru. Także Fortescue – jedna z największych australijskich firm górniczych – postanowiła zainwestować w poszukiwania podziemnego wodoru⁷, kupując spółkę HyTerra w Australii. W przyszłości Fortescue zamierza zainwestować ok. 60 mld USD w poszukiwania i eksploatację tego gazu. Poszukiwania prowadzone są na perspektywnym obszarze Stanów Zjednoczonych pomiędzy Kansa City a Wichita. I tam pojawiają się już w niewielkich ilościach izotopy wodoru, na których tak bardzo nam zależy w fuzji jądrowej.

Najciekawsze z nich to deuter i tryt – izotopy wodoru, który nie posiada neutronu w swoim jądrze, tylko jeden proton (stąd nazwa prot i liczba masowa równa 1; aż 99,985% atomów wodoru to prot właśnie). Deuter, o liczbie masowej równej 2, zawiera proton i neutron; tryt – o liczbie masowej równej 3 – neutronów posiada aż dwa, przy jednym protonie.

Fuzja jądrowa jest źródłem energii Słońca – procesem, w którym dwa atomy wodoru łączą się ze sobą, tworząc w rezultacie atom helu. W trakcie reakcji część masy wodoru zamienia się w energię. Reakcją, którą najłatwiej przeprowadzić, jest fuzja deuteru z trytem, w wyniku której powstaje hel, neutron i bardzo dużo energii. Na Ziemi deuter występuje w wodzie natural-



Fot. 123rf

MATERIAŁY KRYTYCZNE

Dla nowoczesnej transformacji energetycznej niezbędne są materiały krytyczne, takie jak lit, kobalt i nikiel – do akumulatorów, czy metale ziem rzadkich – do turbin wiatrowych i silników elektrycznych. Dostęp do nich decyduje o bezpieczeństwie energetycznym kraju i jego stabilności gospodarczej

nej (tzw. ciężka woda, czyli ta naturalna, gdzie atomy wodoru zostały zastąpione atomami jego izotopu, czyli deuteru), natomiast tryt może być produkowany w reakcji fuzji neutronu (powstałego w reakcji fuzji) z litem. Lit to metal lekki, również powszechnie występujący w naturze.

Reakcja fuzji jądrowej może być niewyczerpalnym źródłem energii. W lutym 2025 agencje podały⁸, że francuski reaktor WEST Tokamak pobił światowy rekord, utrzymując reakcję fuzji przez ponad 22 minuty,

bijąc dotychczasowy chiński rekord. Naukowcy zdołali podgrzać plazmę do 50 mln°C i utrzymać ją w stabilnym stanie przez rekordowe 1337 sekund (ponad 22 minuty). Jest to wzrost o 25% w porównaniu do poprzedniego chińskiego rekordu, gdzie ich tokamak (w styczniu) utrzymał reakcję przez 1066 sekund⁹.

„[...] Jednak stworzenie reaktora, który generowałby więcej energii niż zużywa, pozostaje wyzwaniem. Największą trudnością jest nie samo wywołanie fuzji, lecz stworzenie warunków, w których reakcja stanie się samowystarczalna. Oznacza to utrzymanie temperatur w zakresie 100-150 mln°C, odpowiedniego ciśnienia oraz stabilności plazmy przez długi czas. Perspektywa, że cokolwiek mogłoby w tej temperaturze wymknąć się spod kontroli, jest głęboko nieprzyjemna, dlatego tokamaki wykorzystują gigantyczne magnesy i ekranowane ściany (często zbudowane z wolframu), aby zatrzymać reakcję. Wymaga ona również zaawansowanych systemów magnetycznych i ekranowania ścian reaktora, aby zapobiec erozji i zanieczyszczeniom.

Choć WEST Tokamak nigdy nie będzie komercyjnie produkować energii, to francuski sukces toruje drogę do ITER – gigantycznego międzynarodowego projektu, który ma być pierwszym reaktorem zdolnym do wytwarzania więcej energii, niż sam zużywa. Zapowiedziano już kolejne testy, które mają wydłużyć czas trwania reakcji i zwiększyć jej temperaturę¹⁰. To nie oznacza perpetuum mobile, a jedynie to, że słynne $E = mc^2$ staje się faktem. Masa atomów wodoru łączących się do helu uwalnia olbrzymie ilości potrzebnej nam energii.

Żyjemy w ciekawych czasach. Ciekaw jestem, czy tak jak 30 lat temu telefon komórkowy otworzył nowy rozdział w komunikacji, tak dziś wodór ze swoimi izotopami (wodór kopalny) zapoczątkuje nową erę w energetycznej historii świata? Uwolni nas od sieci, od gniazdka, da wolność i niezależność energetyczną?

A jeśli nie, to będziemy sobie dalej „wytwarzać” i przysłać, i magazynować, i regulować, i uchwałać stałe ceny energii. Wtedy nikt już, przy takim jak dziś kształceniu, nie uwierzy, że prąd można bez drutu, bez gniazdka. A błyskawicom będziemy oddawać hołd i się im kłaniać już w kolejnym pokoleniu... I na koniec: rotacja pola elektrycznego jest równa szybkości zmian pola magnetycznego – mówi Wam to coś? Droga do niezależności energetycznej przemysłu to droga do samodzielności i wolności. Czy jesteś na to gotowy?

Przypisy

- ¹ http://stareaneksy.pwn.pl/podstawy_fizyki/?id=758; uczyłem się z Banach S., „Rachunek różniczkowy i całkowy” PWN.
- ² <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity>
- ³ Por.: <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/1/text>; <https://www.woodmac.com/blogs/energy-pulse/big-beautiful-bill-us-energy/>

- ⁴ Z punktu widzenia części użytkowników internetu: na pewno tak, bo kłamią nam wszyscy – od szkoły po NASA. Wbrew wszelkim dowodom empirycznym, satelitarnym zdjęciom, zapisanym lotom kosmicznym i tysiącom lat postępu – wiara w to, że żyjemy na płaskim dysku, nadal ma się dobrze. A może nawet coraz lepiej. Por.: <https://www.onet.pl/styl-zycia/ckm/zrozumiec-plaskoziemcow-dlaczego-niektorzy-wciaz-uwazaja-ze-ziemia-jest-plaska/8y7ndxe,0666d3f1>
- ⁵ <https://www.nature.com/articles/s41598-023-38977-y>
- ⁶ www.oilprice.com [dostęp 21/09/2024]
- ⁷ <https://hyterra.com/fortescue-counts-on-white-hydro-gen-with-21-9m-investment-in-hyterra/>
- ⁸ <https://www.cea.fr/english/Pages/Welcomes.aspx>
- ⁹ https://www.theregister.com/2025/01/22/china_tokamak_plasma_record_claim/
- ¹⁰ <https://energetyka24.com/atom/wiadomosci/francja-wyprzedza-chiny-w-naukowym-wyscigu-padl-nowy-rekord-fuzji-jadrowej> ■

Reklama



Silnik ognioszczelny w klasie sprawności IE4 (Ex db eb, IIC) z chłodzeniem obcym, do zasilania z przetwornika częstotliwości

Cantoni® GROUP

Silniki elektryczne
od 0,04 kW do 7000 kW
m.in. do przemysłu petrochemicznego

BESEL® since 1920
CELMA indukta® since 1878
EMIT®

www.cantonigroup.com

TRENDY ENERGETYCZNE:

oczywisty, smutny
i zdumiewający



Fot. 123rf

Andrzej Szczęśniak
niezależny ekspert

W powodzi bieżących informacji na temat energetyki w Polsce gubią się pewne kluczowe trendy. Co się dzieje w krajowym systemie elektroenergetycznym, patrząc z trochę dalszej perspektywy niż codzienna „newsowa bieżączka”?

Dla P.T. Czytelników kwartalnika „Kierunek Chemia” spróbowałem wyekstrahować kilka najważniejszych kierunków zmian. Pierwsze są dość oczywiste, drugi – dość smutny (przynajmniej dla mnie), a trzeci – zdumiewający...

W systemie energetycznym na koniec sierpnia mieliśmy prawie 75 gigawatów (GW) mocy – z tego 36,5 GW w odnawialnych źródłach (OZE). Mamy więc system energetyczny podzielony praktycznie na połowę; pod względem mocy 49% całości stanowią OZE. Jednak ich generacja jest trzykrotnie niższa niż energetyki konwencjonalnej, która wyprodukowała prawie trzy czwarte energii w 2024 roku, pomimo konieczności podporządkowania się kapryśnym źródłom pogodowym, mającym zagwarantowane pierwszeństwo w dostępie do sieci. Ta sterowalna, przewidywalna część systemu, jest natomiast w recesji. Moce węglowe w ubiegłym roku spadły do 32 GW, za to gazowe wzrosły o 1,4 GW (do 6 GW).

Trend dość oczywisty, biorąc pod uwagę agresywność polityki klimatycznej Brukseli i fakt, że polska elektroenergetyka decyzyjnie i finansowo całkowicie zależy od Unii Europejskiej. Druga część tego trendu jest aż do bólu przewidywalna...

Rekordy OZE

Źródła odnawialne, „pieszczoch” unijnej transformacji energetycznej, ostro rozpychają się w polskim miksie energetycznym i biją kolejne rekordy. Łącznie moce wiatru i słońca sięgają 37 gigawatów i już o 16% przewyższają moce energetyki opartej na węglu. A czerwiec 2025 roku był pierwszym w naszej historii miesiącem, gdy produkcja energii z OZE okazała się większa niż z węgla.

Moc bowiem w OZE jest ogromna, ale dwie podstawowe gałęzie tego segmentu – wiatr i słońce – rozwijają się bardzo różnie. W wietrze mamy mniejszą część odnawialnych mocy, niecałe 13 gigawatów. Wiatraki cie-

sza się też znacznie słabszą przychylnością władzy, ze względu na uciążliwość dla sąsiedztwa. Ostatnio branża ta przegrała najważniejsze dla siebie starcie – o rozszerzenie obszaru działania. Prezydent RP nie zgodził się, by te „zielone monstra” wyrastały o 200 metrów bliżej wiejskich domostw. Dlaczego monstra? Wyobraźmy sobie, że w przed naszym domem staje gigantyczna konstrukcja, porównywalna wysokością z Pałacem Kultury w Warszawie, który ma 188 metrów wysokości, a z anteną – 237 m (gdy najwyższy w Polsce wiatrak sięga 210 metrów). Oczywiście więc, że ekspansja tej odnawialnej gałęzi energetyki prowadzi do protestów.

Branża wiatrowa pozostaje zatem daleko z tyłu za fotowoltaiką. Ale nie, żeby jej się jakaś krzywda działa – w ubiegłym roku moce wiatrowe wzrosły o 805 MW, a w 2023 r. – aż o 1157 MW. Więc wskaźniki wzrostu (12% w 2023 r.) wcale nie najgorsze. Jednak „wiatr” ma apetyt na więcej, odległość 500 metrów umożliwia postawienie aż 44 GW. Można zatem być pewnym, że nacisk będzie trwał, branża nie podda się.

Wiatraki przegrywają z panelami

Wydaje mi się, że „strona wiatrowa” ma umiarkowane szanse na wygraną. W krajach rozwijających energię wiatru wypracowuje się pewną równowagę między interesami deweloperów a prawami mieszkańców. W Ameryce nie ma problemów z terytorium – jest ogromne i w większości puste. Średnia gęstość zaludnienia w USA to 38 osób na km², gdy w Polsce – 122 osoby. Dodatkowo mamy problem niskiej urbanizacji naszego kraju – w miastach mieszka zaledwie 60% ludności. W USA wskaźnik ten wynosi tymczasem 83%, w Niemczech 85%, w Danii – nawet 88%. To dodatkowo zacieśnia przestrzeń dla ekspansji tej „terenozerczej” branży.

Lobby wiatrowe nie ma jednak prawa narzekać – widać już pierwsze wiatraki na polskim Bałtyku. Na początku roku wystawały tylko szczątkowe oznaki przyszłej obecności – potężne betonowe monopale, ale już w przyszłym będziemy mogli otrzymywać pierwszy „prąd od morza”.

Znacznie większa moc niż w polskim wietrze drzemie w prawie 24 gigawatach paneli fotowoltaicznych (PV), czyli prawie dwukrotnie więcej niż wiatrowe 13 GW. I rośnie błyskawicznie – w ubiegłym roku przybyło 4,3 gigawata, a więc moc wzrosła aż o 23%! (Jak dumnie głosi branża: „jesteśmy jednym z liderów Europy i świata!”). W tym roku zwiększa się jednak znacznie wolniej – kończy się podstawowy resurs, czyli wolne płaszczyzny dachów polskich gospodarstw (a i dopłaty nie są już tak hojne, jak to niegdyś bywało).

Akceptacja opinii społecznej wobec paneli jest ogromna. Zupełnie odwrotnie niż wobec wiatraków. Ośmielam się jednak podejrzewać, że chodzi tu bardziej o hojne dopłaty od państwa do tych instalacji. Nie bez przyczyny ponad półtora miliona domów przyozdobiły instalacje PV. Tylko co dziesiąty wat mocy należy do zawodowych producentów energii elektrycznej.

Jednak popularność nie zastąpi efektywności. Polska potrzebuje średnio prawie 20 gigawatów mocy (między 10 a 28 GW). Gdyby fotowoltaika pracowała z efektywnością porównywalną z blokiem węglowym (w niegdyśszych czasach było to 80%), to wytworzyłaby dokładnie tyle energii, ile nasz kraj potrzebuje. Trochę wiatru, kilka magazynów i mamy bilans domknięty. No, ale panele pracują z zaledwie 12-procentową sprawnością, produkując do 1,1 kWh na 1 kW mocy zainstalowanej. Mocy więc wiele, ale pożytku niewiele.

No właśnie, a co z węglem?

”

Czerwiec 2025 roku był pierwszym w naszej historii miesiącem, gdy produkcja energii z OZE była większa niż z węgla

Węgiel odchodzi

Jak zielone rośnie, to czarne upada. Trend jest wyraźny: odchodzimy od naszego rodzimego „czarnego złota”, budującego kiedyś pomyślność Śląska – zasilał go rozwój tamtejszej energetyki i przemysłu ciężkiego. Jeśli w 2021 roku węgiel (kamienny i brunatny) dostarczał aż 80% energii produkowanej w Polsce, to w 2024 roku było to już tylko 57%.

Szybko zmniejsza się więc wydobycie surowca. Do końca 2022 roku corocznie spadało o kilka procent, ale przez ostatnie dwa lata – już o 9% (w bieżącym będzie to 8%). Węgiel schodzi ze sceny polskiej energetyki, wypierany przez szybko rosnące na unijnych drożdżach źródła pogodozależne.

A wraz z upadkiem węgla kurczy się przemysłowy Śląsk i jego aglomeracja. Katowice – stolica najbardziej zurbanizowanego polskiego województwa – w 1987 r. liczyły 369 tys. mieszkańców, a do dzisiaj straciły ich aż jedną czwartą. Drugie największe miasto Śląska – Częstochowa – ze szczytu rozwoju w 1993 r. zmniejszyło liczbę ludności o 22%. Sosnowiec jeszcze gwałtowniej się skurczył – prawie o 30%, a Gliwice – o 25%. Równocześnie powoli wygasają wielkie piece. Uff... może już starczy...

Jednak najbardziej zdumiewającym trendem jest...

Recesja elektroenergetyki

Powyższe trendy były dość łatwo przewidywalne, gdyż włożono w nie ogrom pracy, finansów i decyzji politycznych. Ale jest jeszcze trzeci, rozwijający się wbrew pryncypiom transformacji energetycznej, w których dominuje teza o „rosnącym zapotrzebowaniu na ener-



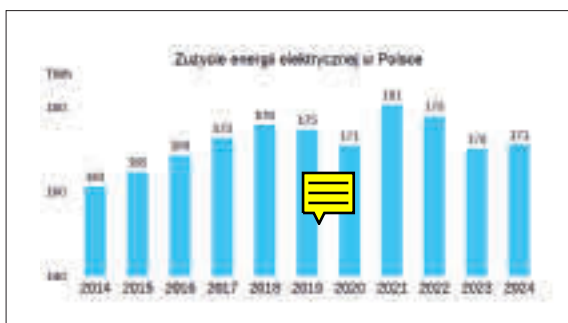
Fot. 123rf

OZE BIJĄ REKORDY

Źródła odnawialne w polskim miksie energetycznym biją kolejne rekordy. Łącznie moce wiatru i słońca sięgają 37 gigawatów (24 GW – PV) i o 16% przewyższają moce energetyki opartej na węglu

RYS. 1

Zużycie energii elektrycznej w Polsce (źródło: wg danych ARE i GUS)



gię elektryczną”. To przecież najnowocześniejsza, najbardziej cywilizacyjnie zaawansowana forma energii.

Polska także weszła tu w trend spadkowy, jeśli bowiem mieliśmy dość dynamiczny wzrost zużycia energii elektrycznej do 2018 roku, to kilku dobrych lat zużywamy coraz mniej prądu. I to pomimo silnego odbicia pocovidowego w 2021 roku, a nawet niewielkiego wzrostu zużycia w 2024 roku (o niecały procent). W efekcie cofnęliśmy się do poziomu sprzed ośmiu lat.

Także w bieżącym roku zapotrzebowanie spadło o 2,2%. Regres jest znaczący i niepokojący, przecież konsumpcję prądu miała zwiększać „nowa energia” – pompy ciepła, samochody elektryczne... A mamy ponad 800 tysięcy pomp ciepła, prawie 200 tysięcy samochodów EV... I co? Zużycie wciąż spada?

Jeśli ktoś czyta moje publikacje na kierunkuchemia.pl doskonale wie, że to, co się dzieje od kilku lat w Polsce, jest tylko opóźnionym o dobrych kilka lat trendem unijnym. W latach 90. ubiegłego i jeszcze na początku XXI wieku Unia Europejska zwiększała zużycie energii elektrycznej, roczny wzrost był przyzwoity i wynosił 1,5%. Jednak od globalnego kryzysu 2008 roku (ta data się powtarza jako po-

”

Polska potrzebuje prawie 20 gigawatów mocy

czątek wielu negatywnych zjawisk europejskich) zaczął się odczuwalny trend „w dół”. Unia zaczęła wykorzystywać znacznie mniej prądu, roczny spadek wynosił 0,6%. W ostatnich latach pogłębił się do trzech procent – tak w 2022, jak i 2023. Zużycie, które według wszelkich scenariuszy miało ROSNAĆ (i rośnie – np. w USA czy Chinach), w Unii – SPADA!

Cóż więc dziwnego, że i nas również dosięgła ta ukryta cecha unijnego zrównoważonego rozwoju? ■

Wesołych Świąt
i
Szczęśliwego Nowego Roku!



Grupa Ecol
ecol.eu

ENERGIA Z WIATRU

ORLEN Neptun

W obliczu globalnych wyzwań geopolitycznych i konieczności dywersyfikacji źródeł energii, Grupa ORLEN konsekwentnie rozwija sektor morskiej energetyki wiatrowej.

ŚWINOUJŚCIE OFFSHORE TERMINAL

W czerwcu 2025 r. ORLEN Neptun uruchomił w Świnoujściu terminal instalacyjny dla morskich farm wiatrowych. To pierwszy w Polsce i jeden z najnowocześniejszych w Europie tego typu obiektów

Zgodnie z realizowaną strategią Grupa ORLEN planuje do 2035 roku osiągnąć 12,8 GW mocy za instalowanych w odnawialnych źródłach energii. Dzięki zabezpieczeniu pięciu nowych lokalizacji dla morskich farm wiatrowych potencjał wytwórczy Grupy może wkrótce wzrosnąć o ok. 5,2 GW, osiągając łącznie ok. 6,4 GW mocy zainstalowanych w morskich

farmach wiatrowych. Za rozwój drugiej fazy offshore wind odpowiada spółka ORLEN Neptun, która stanowi centrum kompetencji morskiej energetyki wiatrowej.

To właśnie ORLEN, w partnerstwie z Northland Power, buduje pierwszą morską farmę wiatrową w Polsce – Baltic Power, która dostarczy energii elektrycznej dla ponad 1,5 miliona gospodarstw domowych.

Druga faza offshore wind szansą na transformację energetyczną Polski

17 grudnia odbędzie się aukcja systemu wsparcia rozwoju morskich farm wiatrowych, organizowana przez Urząd Regulacji Energetyki. W jej ramach wybrane zostaną projekty, które otrzymają wsparcie w postaci kontraktu różnicowego. Spółka ORLEN Neptun przygotowuje do tej aukcji najbardziej zaawansowany projekt tzw. drugiej fazy offshore – Baltic East.

Projekt Baltic East ma już wydane wstępne warunki przyłączenia do sieci przesyłowej, pozwolenie na wznoszenie lub wykorzystywanie sztucznych wysp, konstrukcji i urządzeń, a także pozwolenie na układanie i utrzymywanie kabli na obszarach morskich wód wewnętrznych i morza terytorialnego.

Projekt otrzymał również decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach wydaną przez Regionalną Dyрекcję Ochrony Środowiska w Gdańsku. Uzyskanie takiej decyzji dla Baltic East to krok milowy w stronę udziału w pierwszej w Polsce aukcji offshore wind, która odbędzie się w grudniu.

Decyzję środowiskową poprzedziły kompleksowe badania i analizy, które wykazały, że proponowane przez Baltic East rozwiązania techniczne i organizacyjne skutecznie ograniczą wpływ projektu na środowisko, co oznacza, że farma nie będzie miała istotnych negatywnych efektów środowiskowych. Między innymi stworzono korytarz umożliwiający przeloty migracyjne ptaków przez obszar morskiej farmy wiatrowej oraz uwzględniono odpowiednie rozwiązania chroniące środowisko morskie przed hałasem. Opracowanie raportu, stanowiącego podstawę oceny wpływu przedsięwzięcia na środowisko i określenia warunków realizacji wskazanych w decyzji, poprzedzono wieloletnimi badaniami i analizami wykonywanymi w przeważającej mierze przez polskie firmy, a obejmującymi m.in. badania fauny i flory, monitoringi szlaków migracji, ocenę parametrów środowiska, modelowanie hałasu podwodnego, analizy jakości wody i osadów, a także oddziaływań farmy na obszar Natura 2000 czy skumulowanego wpływu wszystkich projektów wiatrowych w okolicy.

Zwycięstwo w aukcji przybliżyłoby projekt o mocy ok. 1 GW do realnych działań w kierunku przygotowania, budowy i eksploatacji morskiej farmy wiatrowej z potencjałem dostarczania czystej energii dla około 1,25 miliona gospodarstw domowych w Polsce. Pierwszy prąd z farmy Baltic East może popłynąć już w 2032 roku. Równolegle rozwijany jest projekt Baltic West, obejmujący cztery koncesje w rejonie Ławicy Odrzańskiej, które zgodnie z założeniami strategii Grupy ORLEN również są przygotowywane do udziału w polskim systemie wsparcia dla morskich farm wiatrowych. Pełna realizacja wszystkich projektów nastąpi do 2040 roku.

Terminal instalacyjny w Świnoujściu

W czerwcu 2025 r. ORLEN Neptun uruchomił w Świnoujściu terminal instalacyjny dla morskich farm wia-

trowych. To pierwszy w Polsce i jeden z najnowocześniejszych w Europie tego typu obiektów, który będzie kluczowym zapleczem koncernu dla realizacji projektów wiatrowych drugiej fazy. Z terminala już dziś korzystają także zewnętrzni operatorzy. Ta inwestycja to szansa rozwojowa dla całego regionu i polskich firm obsługujących morską energetykę wiatrową. Terminal w Świnoujściu ma potencjał stać się najważniejszym centrum instalacyjnym offshore wind w regionie Morza Bałtyckiego.

Lokalizacja terminala zapewnia dogodny dostęp kolejowy, promowy, lotniczy i drogowy. Ponadto położenie w głębi łądu gwarantuje optymalne warunki pogodowe w trakcie eksploatacji inwestycji. Świnoujście Offshore Terminal jest już aktywnym polskim produktem – dzisiaj ma dwóch klientów na wykorzystanie infrastruktury.

”

Pierwszy prąd z farmy Baltic East może popłynąć już w 2032 roku

Umowa zawarta przez ORLEN Neptun z hiszpańsko-francuskim konsorcjum Ocean Winds zakłada wynajem niemal całej powierzchni terminala. Będzie on wykorzystywany przy realizacji projektu morskiej farmy wiatrowej BC-Wind, oddalonej od portu w Świnoujściu o około 150 mil morskich, czyli mniej więcej 228 kilometrów. Terminal posłuży do dostaw, składowania oraz wstępnego przygotowania fundamentów, które następnie zostaną przetransportowane na miejsce instalacji. W Świnoujściu odbywać się będzie także załadunek komponentów na specjalistyczne jednostki instalacyjne. Obsługę przeładunków i usługi portowe świadczyć będą lokalne firmy, posiadające międzynarodowe doświadczenie.

We wrześniu spółka ORLEN Neptun ogłosiła kolejny kontrakt na wykorzystanie infrastruktury morskiego terminala instalacyjnego w Świnoujściu. Na mocy porozumienia zawartego z firmą Smulders, odpowiedzialną za produkcję wewnętrznych platform dla projektu morskiej farmy wiatrowej Baltica 2, w zachodniopomorskim terminalu Grupy ORLEN magazynowane i montowane będą stalowe komponenty farmy.

Terminal w Świnoujściu to nie tylko symbol inwestycji w przyszłość, ale realna infrastruktura niezbędna do montażu, przeładunku i logistyki wielkoskalowych elementów morskich farm wiatrowych, tj. fundamenty monopolowe, wieże, łopaty, gondole, elementy służące do okablowania farm wiatrowych, etc. Obiekt umożliwia magazynowanie, wstępne przygotowanie fundamentów oraz załadunek komponentów na jednostki instalacyjne.

MOC WIATRU NA MORZU

W samej Europie zainstalowano obecnie 37 GW mocy wiatru na morzu, a do 2030 roku przewiduje się, że osiągnie ona poziom 111 GW. W Polsce mowa o 5,9 GW do 2030 r. i 18 GW do 2040 r.



Fot. ORLEN S.A.

Dla Polski i Grupy ORLEN terminal to strategiczne zaplecze, które pozwala realizować projekty offshore wind w skali przemysłowej. Świnoujście staje się kluczowym punktem dla całego łańcucha dostaw: od montażu, przez transport, po serwis, zwiększając szanse zatrudnienia i budując zaplecze nowego sektora Polski.

”

Offshore wind może stać się motorem napędowym polskiej gospodarki

Dla bezpieczeństwa i niezależności energetycznej Polski

Realizacja projektów offshore wind ma wymiar strategiczny z punktu widzenia bezpieczeństwa energetycznego – zarówno Polski, jak i regionu. Wytwarzana energia będzie pochodzić ze stabilnego, odnawialnego źródła, co ogranicza zależność od surowców z importu. To szczególnie istotne w kontekście geopolitycznej niestabilności.

Energetyka wiatrowa na morzu rozwija się dynamicznie zarówno w Europie, jak i w Polsce. Na kontynencie zainstalowano obecnie 37 GW mocy wiatru na morzu, a do 2030 roku przewiduje się, że osiągnie ona poziom 111 GW. W Polsce natomiast mowa o 5,9 GW do 2030 r. i 18 GW do 2040 r. Do realizacji tych ambitnych celów przyczynia się m.in. Grupa ORLEN – lider rynku offshore wind w Polsce.

Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w naszym kraju to konsekwentne budowanie nowego filaru bezpieczeństwa energetycznego oraz tworzenie innowacyjnej gałęzi gospodarki. To jeden z największych projektów infrastrukturalnych w historii kraju po II wojnie światowej. Offshore wind może stać się motorem napędowym polskiej gospodarki – zwiększając produkcję, generując tysiące miejsc pracy i kreując zapotrzebowanie na nowe kompetencje.

Polska może realnie stać się europejskim centrum przemysłowym w obszarze morskiej energetyki wiatrowej. Atutem jest nasze wyjątkowe położenie geograficzne, rozwijające się zaplecze portowo-stoczniowe, silne kompetencje inżynierskie oraz dynamicznie rosnąca pozycja w regionie. Te przewagi już dziś czynią z Polski naturalnego lidera Bałtyku. ■

ZWYCIĘSTWO NALEŻY DO NAJBARDZIEJ WYTRWAŁYCH

Maciej Tomecki

kierownik projektu, Rafineria Gdańska Sp. z o.o.

Słowa Rolanda Garrosa, że „zwycięstwo należy do najbardziej wytrwałych”, zaskakująco dobrze pasują nie tylko do sportowej rywalizacji, lecz także do przyszłości europejskich rafinerii. Po latach stabilnego wzrostu sektor wchodzi w czas głębokiej transformacji: dla jednych oznacza ona bolesną restrukturyzację, dla innych – szansę na nowe otwarcie. Rafineria Gdańska chce być przykładem zakładu, który łączy przemysłową tradycję z technologiami przyszłości.

Europejski sektor paliwowy znalazł się dziś w miejscu, które dekadę temu wydawało się odległe, choć kierunek zmian był już widoczny. Z jednej strony narasta presja regulacyjna mająca przyspieszyć odchodzenie od ropy. Z drugiej – zwłaszcza w Polsce – zużycie paliw wciąż rośnie, a wdrażanie zielonych technologii nie przebiega tak szybko ani tak niskokosztowo, jak wcześniej oczekiwano.

W centrum tych przemian znalazły się rafinerie – przez dziesięciolecia filar bezpieczeństwa energetycznego i przemysłowego Europy. Dziś ich przyszłość jest niepewna. Kurczący się rynek paliw, rosnące koszty emisji CO₂, spadające marże i napływ tańszych produktów spoza Unii sprawiają, że przetrwają tylko najsilniejsze zakłady. Rafineria Gdańska chce być jednym z nich – „last man standing” w branży i musi nauczyć się funkcjonować w nowej epoce energetycznej.

Między nowym a starym – złożoność transformacji energetycznej.

W debacie o zielonej energii często pojawia się przekonanie, że nowe źródła – wiatr, słońce, wodór – w krótkim czasie zastąpią paliwa kopalne. Rzeczywistość jest jednak bardziej złożona.

Dzisiejsza transformacja energetyczna, choć często przedstawiana jako szybka droga do świata bez emisji, okazuje się procesem znacznie wolniejszym, bardziej wielowymiarowym i kosztownym, niż zakładano jeszcze kilka lat temu. Historia pokazuje, że zmiany w systemach energetycznych zawsze trwały dekady, a nawet stulecia – od pierwszej udanej destylacji ropy w 1852 roku, przez Ignacego Łukasiewicza, po dominację ropy minęły dziesiątki lat, a każda kolejna epoka nie zastępowała poprzedniej, lecz dokładała nowe źródła energii. Podobnie dziś: świat notuje rekordy produkcji energii wiatrowej i słonecznej, ale jednocześnie zużywa więcej ropy, węgla i gazu niż kiedykolwiek, a realizacja kluczowych celów – od zielonego wodoru, po offshore – wyraźnie się opóźnia. Skala wyzwania, rosnące koszty, napięcia polityczne, powracające znaczenie bezpieczeństwa energetycznego, zróżnicowane interesy bogatych państw i krajów rozwijających się, a także nowe bariery związane z minerałami, geopolityką i rosnącym zapotrzebowaniem na energię dla AI sprawiają, że transformacja nie przebiega linearnie. Coraz bardziej oczywiste staje się, że będzie ona następować w różnym tempie w różnych krajach i że wymaga równoczesnych inwestycji w OZE, technologie niskoemisyjne oraz – choć to mało popu-



Fot. Rafineria Gdańska

larne – w konwencjonalne źródła energii, które nadal stanowią fundament globalnej gospodarki.

W efekcie Europa stoi przed dylematem: jak odchodzić od ropy nie tracąc przy tym odporności przemysłowej i energetycznej.

Rafinerie jako filary bezpieczeństwa przemysłowego

W publicznej debacie często sprowadza się rolę rafinerii wyłącznie do produkcji paliw – benzyny, diesla czy LPG. To błąd. Rafineria stanowi fundament gospodarki przemysłowej. Dostarcza nie tylko paliwa, lecz także komponenty dla petrochemii: naftę, gazy, półprodukty, z których powstają tworzywa sztuczne, nawozy, farmaceutyki czy kosmetyki.

Trzy strategiczne ścieżki dla europejskich rafinerii

W tych warunkach wybór kierunku rozwoju staje się dla zakładów kwestią przetrwania. W praktyce europejskie rafinerie mają do dyspozycji trzy scenariusze:

- Strategia „last man standing” – stawianie na modernizację, głębokie przeroby, efektywność energetyczną i inwestycje w nowe technologie. Tylko najbardziej konkurencyjne zakłady przetrwają spadek popytu, dzięki przewadze kosztowej i jakościowej.
- Konwersja do produkcji biopaliw – przejście na mniejsze wolumeny, lecz w segment o rosnącej wartości. Produkcja HVO, SAF czy bio-naft może stać się źródłem solidnych marż i odpowiedzią na potrzeby rynku niskoemisyjnego transportu.
- Transformacja w terminal logistyczny – odejście od przerobu ropy i koncentracja na imporcie paliw oraz komponentów spoza UE. To model mniej kapitałochłonny, ale oznaczający utratę krajowych mocy produkcyjnych i uzależnienie regionu od zewnętrznych dostaw.

Pragmatyczna transformacja – realizm zamiast ideologii

Jak pogodzić cele klimatyczne z realiami gospodarki? Odpowiedzią jest pragmatyzm – podejście, które zakłada, że zamiast burzyć to, co działa, należy modernizować i dostosowywać istniejące aktywa. Właśnie to proponuje Michael Liebreich, jeden z czołowych ekspertów w dziedzinie energetyki. Jego koncepcja zakłada, że transformacja ma być uporządkowana, sprawiedliwa i wiarygodna, czyli taka, która nie zniszczy przemysłu w imię pośpiechu.

Dla rafinerii oznacza to kilka konkretnych kierunków:

- modernizacja zamiast likwidacji – rafinerie nie są przeżytkiem, lecz gotową infrastrukturą do rozwoju nowych technologii, np. biopaliw czy wodoru, które mogą wspierać transformację energetyczną i redukcję emisji,
- wykorzystanie aktywów brownfield (istniejących zasobów) – terminale, rurociągi, zbiorniki i wykwalifikowana kadra to bezcenne zasoby. Ich ponowne

wykorzystanie jest tańsze i szybsze niż budowa wszystkiego od nowa.

Pragmatyczna transformacja nie polega na rezygnacji z ropy z dnia na dzień, ale na stopniowym przesuwaniu akcentów. Rafinerie, które chcą przetrwać, muszą zwiększać udział produkcji nafty dla petrochemii – to rynek stabilniejszy, mniej wrażliwy na zmiany polityczne i elektryfikację transportu. Z drugiej strony, muszą rozwijać biopaliwa i paliwa syntetyczne – szczególnie dla lotnictwa i żeglugi, gdzie alternatywy elektryczne są wciąż nierealne. Produkcja SAF i HVO może stać się jednym z filarów przyszłych przychodów.

Niezależność przemysłowa – nowa logika Europy

Transformacja energetyczna to nie tylko kwestia emisji, ale także tego, kto kontroluje dostęp do energii, surowców i technologii. Europa musi zadać sobie pytanie, jakie będą konsekwencje rezygnacji z własnych rafinerii i uzależnienia się od importu paliw oraz chemikaliów z regionów o niższych standardach środowiskowych. Przejście na czyste technologie oznacza też nowe uzależnienia – tym razem od Chin, które dominują w łańcuchach dostaw metali i komponentów dla OZE.

Utrzymanie zdolności rafineryjnych, opartych na lokalnych zasobach i modernizacji procesów, staje się więc kluczowym elementem europejskiej niezależności przemysłowej. Rafinerie, takie jak ta w Gdańsku, mają w tym szczególną rolę – dzięki nowoczesnym instalacjom, dostępowi do morza i kompetencjom inżynierskim mogą łączyć funkcję tradycyjnej rafinerii z nowoczesnym centrum energetyczno-chemicznym.

Europa w odwrocie – przetrwają tylko najsilniejsi

Fakty są nieubłagane: europejski rynek paliw kurczy się szybciej niż rozwija się rynek biopaliw. W ostatnich latach wiele rafinerii w Niemczech, Francji czy Włoszech zakończyło działalność, a import z Azji i Bliskiego Wschodu stale rośnie. Wysokie koszty energii, opłaty środowiskowe i niepewność regulacyjna sprawiają, że bycie rafinerią w Europie to dziś gra o przetrwanie. Pozostaną te zakłady, które są najbardziej odporne, zdywersyfikowane, zmodernizowane i zakorzenione w lokalnej gospodarce. Rafineria Gdańska ma potencjał, by być jednym z nich – silnym graczem w Europie Północnej, który łączy przemysłową tradycję z nowoczesnością i innowacjami.

Transformacja energetyczna to nie wyścig do świata bez ropy, lecz maraton, w którym liczy się wytrwałość, realizm i zdolność adaptacji. Dla Rafinerii Gdańskiej to nie koniec pewnej epoki, lecz jej naturalna ewolucja – w stronę biopaliw, nowych technologii i zrównoważonego przemysłu. W świecie pełnym napięć i niepewności właśnie takie miejsca – odporne, nowoczesne i zakorzenione w realnej gospodarce – są dziś najbardziej potrzebne. ■

ENERGETYKA JĄDROWA

Potencjał polskiego przemysłu

Andrzej Sidło, Jacek Zalewski

Departament Energii Jądrowej, Ministerstwo Energii

Polski przemysł ma kompetencje do wejścia w jądrowe łańcuchy dostaw. Największe braki, które należy nadrobić, znajdują się w obszarze polityki zapewnienia i kontroli jakości, w tym bardzo niewymiernych zagadnień tzw. „jądrowej kultury bezpieczeństwa”, która jest diametralnie inna niż w projektach energetyki konwencjonalnej.

Należy wskazać, że na poziomie światowym nie ma idealnych, modelowych rozwiązań dla zagwarantowania – finalnie – dużego, czy określonego udziału lokalnego przemysłu w całości inwestycji jądrowych. Zarówno na poziomie światowym, jak i UE sprawy te nie zostały jednoznacznie uregulowane. Wynika to z faktu, że realizacja inwestycji w wielkoskalowe jednostki jądrowe to

przedsięwzięcie unikalne. Każdy kraj, a nawet każdy projekt jest tu wyjątkowy, tak więc w zależności od jego uwarunkowań należy zaprojektować określone rozwiązania i je realizować.

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej¹ sformułowała jednak określone rekomendacje w tym zakresie; zostały one również powielone przez inne międzynarodowe agencje czy instytucje².

Wielkość programu jądrowego

W przypadku krajów importujących technologie jądrowe udział własnego przemysłu w całości inwestycji może warunkować kilka czynników, w tym wielkość programu jądrowego, czyli planowana na początku wdrażania programu liczba reaktorów do zbudowania.

Ocenia się, że w przypadku 1-2 reaktorów nie ma ekonomicznego czy technicznego uzasadnienia do podejmowania szerszych działań przygotowujących krajowy przemysł tak, aby osiągnąć poziom *local content* wyższy niż tzw. naturalny³. Taki przypadek miał miejsce podczas stawiania jednoblokowej elektrowni jądrowej Borselle w Holandii (reaktor PWR 515 MWe, podłączony do sieci w 1971 r.), kiedy zapadła decyzja o niepodjęciu działań w kierunku zwiększenia *local content*, uznając je jako nieperspektywiczne (z punktu widzenia wydatkowania funduszy publicznych czy prywatnych). Podczas dedykowanych temu zagadnieniu konferencji międzynarodowych dostawcy głównych technologii jądrowych informowali, że w przypadku kraju realizującego budowę minimum 4-6 bloków jądrowych w tej samej technologii ma już sens ulokowanie w danym państwie produkcji kluczowych komponentów dla reaktora, tzw. ciężkich odkuwek.

”

Dotychczas blisko 100 polskich przedsiębiorstw zaangażowało się w realizację projektów jądrowych na świecie

Aktualne założenia polskiego programu energetyki jądrowej PPEJ (aktualizacja programu z 2020 r.) mówią o budowie dwóch wielkoskalowych elektrowni jądrowych; w każdej 2-3 reaktory, w zależności od wybranej technologii. Uwzględniając rozwój kolejnych inwestycji w wielkoskalowe bloki jądrowe w Polsce, deklarowane inwestycje w tzw. małe/modułowe reaktory SMR oraz duże możliwości realizacji prac eksportowych, należy uznać, że jest sens i zasadność podjęcia znacznych działań stymulujących krajowy przemysł do rozwoju kompetencji na rzecz tego sektora.

Uzgodnienia z dostawcą

Istotne są także pierwotne uzgodnienia z dostawcą technologii jądrowej (lub głównym wykonawcą projektu budowlanego, w zależności od konfiguracji projektu) w zakresie zapewnienia (lub nie) określonego poziomu *local content*. Do tego zagadnienia poszczególne kraje podchodzą różnie – najczęściej zależy to od poziomu rozwoju własnego przemysłu i ogólnie – kompetencji własnych (osób, organizacji) zaangażowanych w realizację projektu. Kraje o znikomym stopniu rozwoju

przemysłowego raczej nie decydują się na umieszczanie tych kwestii w programie atomowym czy negocjacjach handlowych, uznając, że sama realizacja projektu będzie swoistym kołem zamachowym dla lokalnego przemysłu, a dostawca technologii sam najlepiej opamiętuje te zagadnienia. Jest to podejście w dużej mierze uzasadnione – państwa mniej rozwinięte przemysłowo, decydując się na realizację inwestycji jądrowych (które z definicji są niezwykle złożone i trudne), nie chcą na początku podejmować dodatkowego ryzyka związanego z wprowadzeniem do projektu podmiotów nieposiadających doświadczeń jądrowych. Należy jednak wskazać, że wśród i takich krajów pojawiają się ciekawe rozwiązania – pomimo braku pierwotnego uregulowania kwestii udziału własnego przemysłu w projekcie finalnie osiąga się jego satysfakcjonujący poziom. Taka sytuacja została wypracowana przy budowie elektrowni jądrowej w Zjednoczonych Emiratach Arabskich⁴, gdzie ostatecznie lokalny przemysł został w dużym zakresie włączony w projekt; podczas realizacji dodatkowo zbudował własne kompetencje, które umożliwiły kilku arabskim przedsiębiorstwom wejść także na rynki światowe.

Kraje o wyższym poziomie rozwoju przemysłowego (i ogólnie gospodarczego) decydują się jednak na włączenie kwestii osiągnięcia określonego poziomu *local content* (a także transferu technologii) w pakiet negocjacyjny i całość porozumień kontraktowych. W sposób ogólny należy wskazać na rysującą się tendencję światową; praktycznie we wszystkich inwestycjach w nowe bloki jądrowe w ostatnich 20 latach ten element pojawiał się jako istotny (państwa importujące technologie chcą również przy realizacji inwestycji zaangażować własne podmioty).

Takie podejście przyjęto i w Polsce – aktualne założenia naszego programu energetyki jądrowej PPEJ (aktualizacja programu z 2020 r.) mówią o konieczności określenia tych kwestii z wybranym dostawcą technologii/głównym wykonawcą projektu⁵. Obecnie (kwiecień 2024 r.) stan negocjacji w zakresie polonizacji projektu w Polsce jest zaawansowany i w przypadku realizacji tych ustaleń polski *local content* będzie większy niż pierwotnie założono w PPEJ (min. 40% całości inwestycji przekierowane do polskich podmiotów, licząc od pierwszego reaktora).

Stan wyjściowy

Najważniejszym jednak czynnikiem determinującym finalnie duży (określony) udział krajowego przemysłu w programach jądrowych jest wyjściowy jego stan – rozwoju i kompetencji doświadczeń. Kraj posiadający – ogólnie – kompetentny przemysł, realizujący prace w sektorach o zbliżonych wymaganiach, jak np. dla energetyki konwencjonalnej, sektora petrochemicznego czy infrastrukturalnego, może bez większych problemów osiągnąć znaczny poziom *local content* w projektach jądrowych, nawet bez odgórnej decyzji rządowej czy inwestycyjnej zapisanej formalnie.

Taki jest właśnie przypadek polskiego przemysłu. Aktualne kompetencje predestynujące rodzime podmioty do tych inwestycji są dodatkowo wzbogacone licznymi referencjami przy realizacji projektów jądrowych – eksportowych.

Nie można także stwierdzić, że łączna koniunkcja powyższych trzech czynników – automatycznie – zagwarantuje duży wskaźnik *local content*; jest to także kwestią konsekwentnych i długofalowych działań w celu osiągnięcia takiego stanu, głównie z poziomu samych przedsiębiorstw, instytucji otoczenia biznesu oraz rządów. Istotne jest również odpowiednie uregulowanie powyższych kwestii przez kluczowe podmioty tego procesu, tj. inwestora i dostawcę technologii/głównego wykonawcę.

Kompetencje polskiego przemysłu w kontekście kooperacji ze światowym sektorem jądrowym

W 2015 r. ówczesne Ministerstwo Gospodarki RP dokonało kompleksowej analizy kompetencji polskiego przemysłu w kontekście kooperacji ze światowym sektorem jądrowym. Analiza ta była w późniejszych latach częściowo aktualizowana i można stwierdzić, że aktualnie polski rząd posiada aktualny i kompleksowy obraz krajowego przemysłu, celem podejmowania właściwych działań wspierających.

Najważniejsze obszary realizowanych analiz obejmowały:

- identyfikację obszarów (sektorów, zakresów prac), w których polski przemysł ma kompetencje do realizacji prac – obecnie, oraz w dającej się racjonalnie przewidzieć perspektywie – do 5, 7 i 10 lat;
- identyfikację wymagań, jakie będą stawiane polskiemu – potencjalnym – poddostawcom o charakterze technicznym, organizacyjnym, jakościowym, kadrowym oraz w zakresie kondycji ekonomiczno-finansowej;
- identyfikację barier wejścia oraz możliwych strategii wejścia polskich przedsiębiorstw na rynki jądrowe, estymacja kosztów i działań dostosowawczych;
- charakteryzację typowego polskiego przedsiębiorstwa oraz stworzenie wykazu przedsiębiorstw mogących, przy określonych i akceptowalnych działaniach dostosowawczych, włączyć się w światowe łańcuchy dostaw tego sektora.

Wyniki tej analizy, jak i późniejszych jej aktualizacji, wskazują, że krajowy przemysł ma kompetencje do realizacji prac i dostaw w określonych obszarach projektu jądrowego.

Przy rozsądnych działaniach dostosowawczych można założyć, wzorem innych nowych technologii, które pojawiały się w Polsce⁶, że będzie uruchomiony proces tzw. uczenia się i w trakcie realizacji programu przy kolejnych reaktorach udział polskiego przemysłu powinien być większy (kwotowo oraz w obszarach bardziej wymagających).

TAB. 1
Obszary analizy projektu jądrowego, z możliwym zaangażowaniem polskiego przemysłu

Obszary projektu jądrowego, z możliwym zaangażowaniem polskiego przemysłu* * odzwierciedla to również aktualne doświadczenia polskich przedsiębiorstw w projektach jądrowych – rynki zagraniczne	Projektowanie	Produkcja	Montaż	Remonty modernizacja
I. Wyspa jądrowa				
Systemy pomocnicze	•	•	•	•
Rurociągi – układy wtórne	•	•	•	•
Systemy bezpieczeństwa DCS reaktora, zabezpieczenia przeciwpożarowe	•	•	•	•
Zasilanie awaryjne, zasilanie własne		•	•	•
II. Wyspa turbinowa + generator				
Turbina, generator			•	•
Skraplacz pary	•	•	•	•
Systemy pomocnicze	•	•	•	•
III. Wyspa konwencjonalna				
Komponenty elektryczne	•	•	•	•
AKPiA	•	•	•	•
Rurociągi, niesklasyfikowane	•	•	•	•
HVAC	•	•	•	•
Konstrukcje stalowe	•	•	•	•
IV. Infrastruktura towarzysząca (prace ziemne, budowlane)	•	•	•	•
Wyprowadzenie mocy	•	•	•	•

Legenda:

- Możliwe zaangażowanie przy pierwszym reaktorze
- Możliwe zaangażowanie przy kolejnym reaktorze (I reaktor + ok. 3-5 lat)

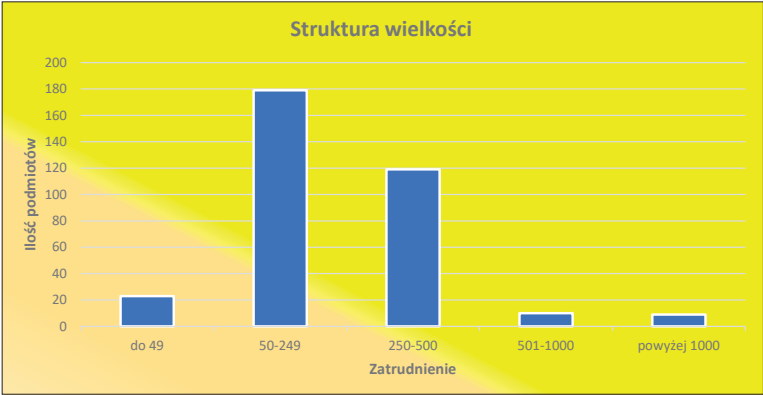
Identyfikacja wymogów, które mogą być stawiane rodzimym podmiotom, w porównaniu do aktualnego stanu kompetencji, wykazała natomiast istotne braki w obszarze systemów zapewnienia i kontroli jakości. Jest to kluczowy obszar z punktu widzenia jądrowego łańcucha dostaw, w którym należy aktualnie te braki likwidować.

Wśród możliwych strategii wejścia na rynki jądrowe, dotychczas stosowanych przez polskie przedsiębiorstwa, określono ścieżki rozwoju organicznego czy współpracy międzynarodowej z zagranicznymi zleceniodawcami sektora jądrowego. Obecnie zidentyfikowano również trzy przypadki przejęcia zagranicznych przedsiębiorstw działających na rynkach jądrowych i skutecznej absorpcji ich kompetencji przez polski podmiot przejmujący⁷.

Analiza obszarowa oraz wielkościowa typowego polskiego przedsiębiorstwa (z doświadczeniami jądrowymi, lub gotowego w możliwie krótkim okresie do

Wymagania	Powinno być	Jest	Uwagi
a) techniczne	<ul style="list-style-type: none">Odpowiednie moce produkcyjne, transportoweCertyfikaty techniczne (ASME N, RCC, KTA, itd.)	<ul style="list-style-type: none">Zaplecze produkcyjne – OKPodmioty z południa Polski najczęściej z ograniczeniami transportowymi<ul style="list-style-type: none">Najczęściej brak stricte jądrowych certyfikacji	Brak jądrowych certyfikacji jest często kompensowany akceptowalnością proponowanych rozwiązań przez zleceniodawcę, inwestora, dozór w układzie równorzędnych (niejądrowych) odpowiedników <i>...in compliance with ASME...</i>
b) ekonomiczne, finansowe	Wymagana stabilna kondycja ekonomiczna, finansowa, (długoterminowa)	W zależności od sytuacji makroekonomicznej	...nikt nie będzie zadawał się z bankructem...
c) organizacja wewnętrzna, QA/QC, kadry, certyfikacja jakościowa, BHP, itd.	<ul style="list-style-type: none">Konieczność wydzielenia struktury jądrowej wewnątrz przedsiębiorstwaNajwyższe znaczenia zagadnieniom zapewnienia jakości (QA) i jej udokumentowania (QC)Posiadania odpowiednich kadr (oraz stabilność personelu)	<ul style="list-style-type: none">Najczęściej projekty jądrowe realizowane siłami i strukturami firmy dedykowanej do wszystkich innych projektówSprawy jakości są marginalizowane (tak jak w energetyce konwencjonalnej)<ul style="list-style-type: none">Wysoka (wewnętrzna/zewnętrzna) rotacja personelu	Bardzo duże braki, konieczność istotnego wysiłku i zmiany w polskich przedsiębiorstwach

TAB. 2
Identyfikacja wymogów stawianych polskim podmiotom w porównaniu do aktualnego stanu kompetencji



RYS. 1
Analiza wielkościowa polskiego przedsiębiorstwa gotowego do wdrożenia projektu jądrowego



RYS. 2
Analiza polskich podmiotów gotowych do wdrożenia projektu jądrowego

wdrożenia jądrowych standardów) wykazała, że Polska dysponuje licznymi podmiotami w sektorze budowlanym, producentów komponentów elektrycznych oraz mechanicznych, zbiorników i rurociągów, zaworów czy wymienników ciepła.

Najczęściej spotykane podmioty to MŚP – do 50 czy 250 pracowników. Czynnikiem ten jest istotny z punktu widzenia konieczności podjęcia działań wspierających ze strony polskiego rządu ze względu na duże bariery wejścia tego sektora, które są nie do udźwignięcia przez małe przedsiębiorstwa.

Rynki eksportowe

W kontekście mapowania kompetencji krajowego przemysłu należy wskazać na istotny element, jakim jest intensywna współpraca polskich przedsiębiorstw na rynkach eksportowych. W związku z brakiem większych barier formalnych krajowe firmy uczestniczą w różnych projektach sektora jądrowego – głównie na kontynencie europejskim (różna formuła: prace budowlano-montażowe, remonty, modernizacje EJ oraz dostawy komponentów). Odnotowano również liczne realizacje prac (głównie produkcja komponentów) dla elektrowni w USA, Kanadzie, Rosji, Turcji, Indiach czy Bangladeszu.

W związku z faktem, że sektor jądrowy jest wysoce umiędzynarodowiony uczestnictwo polskich firm to swoisty katalizator przyspieszający proces budowania kompetencji pod kątem rodzimego programu jądrowego. Procesy te są w ostatnich latach również wspierane przez polski rząd poprzez organizację licznych profilowanych misji gospodarczych (jądrowych) do krajów, gdzie potencjalnie można wypromować rodzime przedsiębiorstwa.

Wyniki mapowania kompetencji krajowego przemysłu w ujęciu ilościowym zostały opracowane w postaci angielskojęzycznego katalogu „Polish industry for nuclear energy”. Dokument przedstawia profil działalności blisko 330 polskich przedsiębiorstw z potencjałem do wejścia w światowe łańcuchy dostaw sektora (w tym 79, które posiadają min. 1 referencję jądrową w ostatnich 10 latach). Katalog ten jest cyklicznie uaktualniany wedle tej samej metodologii oraz publicznie dostępny na internecie.

Reasumując – polski przemysł ma ogólnie dobre kompetencje do wejścia w jądrowe łańcuchy dostaw, natomiast największe braki, jakie należy nadrobić, są w obszarze polityki zapewnienia i kontroli jakości, w tym niezwykle niewymiernych zagadnień – tzw. jądrowej kultury bezpieczeństwa, która jest diametralnie inna niż w projektach energetyki konwencjonalnej.

Rozwiązania instytucjonalne wspierające przemysł w innych krajach – przypadek Wielkiej Brytanii

W trakcie przygotowań do wdrożenia energetyki jądrowej rząd Polski stanął przed trudnym zadaniem – jak przygotować własny przemysł do tego projektu. W związku z brakiem systemowych i modelowych rozwiązań – czy to w UE, czy ogólniej na poziomie światowym – powstała konieczność wypracowania autorskich rozwiązań bazujących na specyfice własnego programu, aktualnych kompetencjach polskich przedsiębiorstw oraz instytucji otoczenia przemysłu. Cenna okazała się współpraca międzynarodowa (z instytucjami międzynarodowymi, takimi jak IAEA oraz OECD), jak i bilateralna z wybranymi krajami, których rozwiązania z perspektywy polskiej wydają się być referencyjne.

Wielka Brytania wypracowała na tym polu interesujące rozwiązania instytucjonalne, które po zaadoptowaniu zostały wdrożone w Polsce. Wbrew stereotypowym poglądom rząd Wielkiej Brytanii odgrywa aktywną rolę w procesie rozwoju kompetencji własnego sektora przemysłowego poprzez koordynowanie i finansowanie różnych projektów szkoleniowych, edukacyjnych czy R&D w obszarze jądrowym. Analogicznie jak w Polsce, system szkolnictwa zawodowego czy wyższego technicznego jest zdecentralizowany. Dodatkowo brytyjskie uczelnie posiadają dużą autonomię w redagowaniu programów edukacyjnych na poziomie I, II stopnia. Jednakże, uwzględniając znaczenie energetyki jądrowej, tamtejszy rząd podjął decyzję o oddolnym skoordynowaniu wszystkich programów edukacyjnych i szkoleniowych tak, aby były one wyprzedzająco dopasowane do specyfiki branży, planowanych projektów inwestycyjnych czy remontowych oraz zapotrzebowania przemysłu z punktu widzenia projektów eksportowych.

Powołana do życia i całkowicie finansowana przez rząd organizacja NSAN⁸ koordynuje wszystkie działania o charakterze szkoleniowym czy edukacyjnym w tym kraju. Wypracowano nawet nieformalny certyfikat

(label), który – po przeanalizowaniu zakresu i formy – przyznaje ona wszystkim kursom, szkoleniom czy programom edukacyjnym na uczelniach. Znacznie usprawnia to proces kształcenia kadry dla sektora jądrowego w tym kraju lub rekrutacji w różnych instytucjach (regulator, inwestor, przemysł).

Kolejną instytucją, odgrywającą istotną rolę w obszarze szkoleń, R&D i wstępnych audytów przygotowujących brytyjskie przedsiębiorstwa do współpracy z omawianym sektorem, jest NAMRC z siedzibą w Sheffield⁹. To centrum transferu technologii jądrowych do przemysłu oferujące również usługi szkoleniowe oraz wsparcia w fazie przekwalifikacji firm niejądrowych do standardów jądrowych. Ośrodek jest w znacznej mierze finansowany przez rząd Wielkiej Brytanii, a jakość świadczonych usług – w opinii odbiorców, czyli samych firm – wskazywana jako wzorcowa. NAMRC realizuje prace R&D dla firm w obszarach zaawansowanych technologii spawalniczych, materiałowych, cyfrowej rzeczywistości (w tym rozwiązań BIM), itd. Koordynatorem organizacyjnym tego ośrodka jest pobliski University of Sheffield, natomiast liderem merytorycznym wszelkich programów są eksperci brytyjskiego potentata jądrowego, firmy Rolls-Royce.

”

Polski rząd postrzega projekt budowy elektrowni jądrowych jako szansę dla rozwoju i ekspansji polskiego przemysłu

Sztandarowym projektem NAMRC (we współpracy z powyższym NSAN) jest opracowanie i prowadzenie programu szkoleń dla brytyjskich przedsiębiorstw o roboczej nazwie Fit4Nuclear (F4N). Koszt tego programu szkoleniowego jest ponoszony w 50% – bezpośrednio – przez rząd, pozostała część – przez same przedsiębiorstwa, bezpośrednio zakwalifikowane do uczestnictwa. Warto dodać, że znaczna część tych kosztów jest refundowana brytyjskim przedsiębiorstwom z innych funduszy rządowych, dedykowanych na ogólne podnoszenie kompetencji czy innowacji.

Wypracowana metodologia szkoleń F4N okazała się na tyle efektywna i praktyczna, że na początku 2020 rząd UK zlecił NAMRC realizację analogicznych szkoleń dla sektora OZE w obszarze CCS i rozwiązań wodorowych (odpowiednio programy: F4CCUS, F4H2, zakładając, że można uzyskać określone synergije). Ocenia się, że w polskim systemie wsparcia innowacji najbliższą, zbliżoną organizacją do NAMRC jest utworzona ostatnio Sieć Badawcza Łukasiewicz.

TAB. 3

Lista działań rządu RP w zakresie stymulowania kompetencji polskiego przemysłu do realizacji projektów jądrowych

Rok	Wydarzenia i materiały szkoleniowe
2015	Warsztaty techniczne w zakresie systemów zapewnienia i kontroli jakości w sektorze jądrowym (z udziałem UDT, IS, AFCEN, ASME, CSA)
	Materiały szkoleniowe dla polskiego przemysłu: wymagania w zakresie spawania obudowy reaktora jądrowego
2016	Materiały szkoleniowe dla polskiego przemysłu: wymagania w zakresie spawania rurociągów w EJ
	Warsztaty techniczne: spawanie w EJ
2017	Materiały szkoleniowe dla polskiego przemysłu: wymagania w zakresie AKPiA
	Materiały szkoleniowe dla polskiego przemysłu: wymagania w zakresie prac budowlanych
	Materiały szkoleniowe i seminarium dla polskiego przemysłu: część elektryczna elektrowni jądrowej
	Materiały szkoleniowe o zastosowaniach promieniowania jonizującego dla innych niż energetycznych zastosowań
	Materiały szkoleniowe i seminarium dla polskiego przemysłu: badania niszczące i nieniszczące w sektorze jądrowym
2018	Seminarium dla polskiego przemysłu: badania niszczące i nieniszczące w sektorze jądrowym
	Seminarium o zastosowaniach promieniowania jonizującego dla innych niż energetycznych zastosowań
2019	Seminarium szkoleniowe dla polskiego przemysłu: wymagania w zakresie systemów zapewnienia jakości w energetyce jądrowej
2020	Materiały szkoleniowe dla polskiego przemysłu: konstrukcje stalowe w elektrowniach jądrowych
	Webinarium: wybrane aspekty techniczne/biznesowe w EJ dla polskich przedsiębiorstw
2021	Webinarium: wybrane aspekty techniczne/biznesowe w EJ dla polskich przedsiębiorstw
2022	Szkolenia dla polskich firm sektora: budowlanego/elektrycznego/mechanicznego: 2 sesje po 60 h (XI/2022)
2023	Warsztaty o zaawansowanych technikach/technologiach sektora jądrowego (IX/2023)
	Warsztaty o wymaganiach jądrowych dla polskich producentów pomp, zaworów, AKPiA – wraz z SPAP/SPP
	Szkolenia dla polskich firm sektora: budowlanego/elektrycznego/metalowego: 4 sesje po 42h (VI i XII/2023)
2024	Szkolenia dla polskiego przemysłu pod kątem wykonywania prac dla energetyki jądrowej (branża budowlana, elektryczna, mechaniczna)
	4 warsztaty specjalistyczne – budowlany, elektryczny, mechaniczny, systemy zapewnienia jakości (po 24h)
2025	Szkolenia dla polskiego przemysłu pod kątem wykonywania prac dla energetyki jądrowej: 13 – 14.10.2025 r. (normy UE); 18 – 19.11.2025 r. (normy USA); szkolenia-nuclear.pl
	Atom na uczelniach i staże w firmach z sektora jądrowego – pilotażowy program Ministerstwa Energii, realizowany we współpracy z polskimi przedsiębiorstwami oraz uczelniami technicznymi: Politechniką Gdańską, Politechniką Warszawską, Politechniką Śląską, Politechniką Wrocławską oraz Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie. Dwa filary działań: • Nuklearyzacja kierunków studiów innych niż energetyka jądrowa, a kształcących specjalistów potrzebnych w branży jądrowej, takich jak: budownictwo, mechanika, elektrotechnika, automatyka, inżynieria materiałowa i inne. • Organizacja płatnych długoterminowych staży (550 godzin) dla 150 studentów w polskich przedsiębiorstwach, których celem jest zapoznanie młodych inżynierów z praktycznymi aspektami realizacji zleceń dla sektora jądrowego przez polskie przedsiębiorstwa.
8-10/10/2025	Diagnostyka Urządzeń Energetycznych i Instalacji Przemysłowych w energetyce jądrowej i konwencjonalnej – Pronovum, 43-360 Bystra
23-24/10/2025	Panel jądrowy na Seminarium technicznym Nowa efektywność w przemyśle: projektowanie, materiały, urządzenia ciśnieniowe w energetyce jądrowej – Spetech – Katowice
11.2025	Seminarium techniczne: badania NDT w EJ
12.2025	Trzydniowe warsztaty techniczne o ASME III/AWS – Instytut Łukasiewicza – Gliwice, Warszawa
11-12.12.2025	Warsztaty na temat bezpieczeństwa i badań materiałowych w przemyśle jądrowym organizowane przez Ministerstwo Energii wraz z NCBJ



Fot. 123rf

SYSTEMY WSPARCIA

Aktualny system wsparcia krajowego przemysłu może być bez problemu wykorzystany przez polskie firmy również na potrzeby planowanego rozwoju w sektorze jądrowym. Dotyczy to głównie takich instrumentów i polityk jak ARP, PARP, NCBiR czy BGK

Trzecim kluczowym podmiotem w systemie wsparcia i integracji przemysłu jądrowego jest NIA, klasyczna izba gospodarcza przemysłu jądrowego¹⁰. Przy współpracy z rządem realizuje ona liczne działania stymulujące brytyjski przemysł, np. w zakresie promocji międzynarodowej, wsparcia analitycznego oraz zapewnienia transparentnego dialogu na linii: rząd-przemysł.

Co ciekawe, specyfika brytyjskiego sektora jądrowego – w części łańcucha dostaw – jest zbliżona do specyfiki polskich przedsiębiorstw i można znaleźć wiele wspólnych punktów pomiędzy naszymi krajami¹¹. Ponadto sporo rozwiązań instytucjonalnych wypracowanych w Wielkiej Brytanii jest wskazywanych za modelowe, głównie z powodu ich praktycznego i spójnego charakteru. Niektóre z nich można przy określonej adaptacji przenieść na grunt polski.

Działania i kierunki wsparcia polskiego przemysłu w procesie budowania kompetencji jądrowych

Obecnie, w ramach postępu polskiego programu jądrowego, podejmowane są prace w zakresie przygotowania krajowych przedsiębiorstw do kooperacji z sektorem jądrowym. Działania te idą w kierunku budowy kompetencji – głównie poprzez organizację profesjonalnych szkoleń oraz promocję polskich podmiotów na arenie międzynarodowej. Od 2015 r. realizowane są cykliczne seminaria techniczne, podczas których prezentuje się polskim firmom specyficzne wymagania sektora jądrowego – w obszarze łańcucha dostaw, np. w zakresie spawalnictwa, aspektów elektrycznych, budowlanych oraz systemów zapewnienia i kontroli jakości. Od 2022 proces ten został zintensyfikowany po-

przez organizację specjalistycznych szkoleń o zakresie i metodyce zbliżonej do brytyjskiego programu F4N, tj.:

- 40 h szkoleń w ramach każdej z sesji, część w pakietach e-laerningowych,
- obejmujących zagadnienia techniczne, jakościowe i biznesowe – specyficzne dla sektora jądrowego,
- prezentujących wymagania technologii jądrowych wdrażanych w Polsce oraz tych, dla których polskie przedsiębiorstwa realizują prace na rynkach eksportowych (głównie francuskie),

”

Rodzimemu przemysłowi ma kompetencje do realizacji prac i dostaw w określonych obszarach projektu jądrowego

- w oparciu o systemy normalizacyjne europejskie, jak i amerykańskie (odpowiednio: ISO, RCC-M/E/S/CW, ASME, ACI, IEEE),
- szkolenia realizowane wyłącznie przez ekspertów – praktyków pochodzących z europejskich czy amerykańskich koncernów jądrowych (w tym dostawców technologii, operatorów elektrowni i organizacji technicznych opracowujących określone normy lub standardy).

Należy zaznaczyć, że aktualny – ogólny – system wsparcia krajowego przemysłu może być bez problemu wykorzystany przez polskie firmy również na potrzeby

planowanego rozwoju w sektorze jądrowym. Dotyczy to głównie instrumentów i polityk wsparcia w gestii ARP, PARP, NCBiR, BGK czy innych rządowych agencji¹².

Firmy, takie jak Westinghouse, Bechtel, EDF, KHNP, organizują w Polsce od wielu lat seminaria dla poddostawców, w których uczestniczą przedstawiciele Departamentu Energii Jądrowej.

Oprócz szkoleń i materiałów edukacyjnych, polski rząd prowadzi promocję polskiego przemysłu na arenie międzynarodowej (tab. 4). W 2023 r. polski pawilon na targach World Nuclear Exhibition obejmował 65 krajowych firm/organizacji, z czego 27 jako występowало jako współwystawcy. Edycja 2025 to obszerniejszy pawilon narodowy i podobna, lub większa liczba, rodzimych firm/organizacji.

Polski rząd postrzega projekt budowy elektrowni jądrowych jako szansę dla rozwoju i ekspansji przemy-

śłu, zarówno w oparciu o udział w polskich projektach, jak i poprzez wejście do światowych łańcuchów dostaw dla przemysłu nuklearnego. W ramach „Programu polskiej energetyki jądrowej” pierwszą elektrownię w amerykańskiej technologii AP1000 zbuduje konsorcjum firm Westinghouse i Bechtel w lokalizacji Lubiatowo-Kopalino na Pomorzu. Dotychczas blisko 100 polskich przedsiębiorstw zaangażowało się w realizację projektów jądrowych na świecie.

Jeszcze w tym roku odbędą się kolejne specjalistyczne szkolenia. Zainteresowane firmy proszone są o kontakt z Departamentem Energii Jądrowej, będącym częścią Ministerstwa Energii (mp@me.gov.pl).

Informacje przedstawione w powyższym artykule są wyłącznie prywatnymi przemyśleniami autorów. Wiedza, na której opierają się te przemyślenia, została zdobyta w trakcie pełnienia obowiązków służbowych i nie odzwierciedla stanowiska instytucji, w której są zatrudnieni

Przypisy

1 International Atomic Energy Agency; agencja ONZ mająca wspierać kraje posiadające, rozwijające lub planujące rozwijać energetykę jądrową, której członkiem jest i Polska (www.iaea.org).

2 OECD-NEA czy World Nuclear Association.

3 Przy realizacji tego typu inwestycji ocenia się, że zawsze wystąpi tzw. naturalny poziom „local content”, tzn. główny wykonawca inwestycji będzie zmuszony podzlecić określone usługi czy produkcję komponentów lokalnie – nawet w niewielkim zakresie – dla zapewnienia satysfakcjonującej ekonomiki projektu.

4 Barakah nuclear power plant (Arabic: محطة كهرباء بركاء), 4 reaktory PWR x 1400 MWe, technologia koreańska KEPCO-KHNP.

5 Patrz zapisy PPEJ, rozdz. 2.3.

6 patrz uruchomiony proces uczenia polskich przedsiębiorstw podczas budowy instalacji termicznego przekształcania odpadów czy kotłów HRSG na rynkach eksportowych.

7 Wśród nich – jedyny publicznie dostępny – Ecol z Rybnika, polskie przedsiębiorstwo, które przejęło czeskie służby remontowo-serwisowe wykonujące prace w czeskich elektrowniach jądrowych.

8 National Skills Academy for Nuclear, <https://www.nsan.co.uk/>

9 Nuclear Advanced Manufacturing Research Center, <https://namrc.co.uk/>

10 Nuclear Industry Association, <https://www.niauk.org/>

11 Analogicznie jak w Polsce – większość brytyjskich firm sektora jądrowego to MŚP, Wielka Brytania jest nadal importerem technologii jądrowych, do niedawna była również członkiem UE.

12 ARP – Agencja Rozwoju Przemysłu (głównie w obszarze wsparcia inwestycji produkcyjnych oraz zasilania kapitałem krótkoterminowym)
PARP – Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (głównie w obszarze wsparcia rozwoju kompetencji miękkich w przemyśle – innowacji, zarządczych, projektowych, analiz rynku, itd.).
NCBiR – Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (głównie w obszarze wsparcia B+R)
BGK – Bank Gospodarstwa Krajowego (głównie w obszarze wsparcia ekspansji na rynkach eksportowych, w tym zagranicznych fuzji i przejęć) ■

TAB. 4
Lista wydarzeń organizowanych i współorganizowanych przez rząd RP w ramach stymulowania przemysłu jądrowego w Polsce

Rok	Działania na arenie międzynarodowej
2015	Polsko-brytyjskie warsztaty w zakresie zaangażowania przemysłu w UK (NIA, DECC, NAMRC,>NNL)
	Misja polskiego przemysłu do jądrowej Finlandii
2016	Polski pawilon na targach WNE Paryż
	Misja polskiego przemysłu do jądrowej Kanady
2017	Polsko-Hispańskie Forum Przemysłu Jądrowego
	Polsko-Brytyjskie Forum Przemysłu Jądrowego
2018	Polski pawilon na targach WNE Paryż
	Polsko-Koreańskie Forum Przemysłu Jądrowego
2019	Polsko-Amerykańskie (Usa) Forum Przemysłu Jądrowego
2021	Polski pawilon na targach WNE Paryż
2022	Polsko-Fińskie Forum Przemysłu Jądrowego W Warszawie
	Polsko-Kanadyjskie Forum Przemysłu Jądrowego W Warszawie
	Misja polskiego przemysłu do jądrowych Czech
	Misja polskiego przemysłu do jądrowej Finlandii
2023	Misja polskich przedsiębiorstw do jądrowej Hiszpanii
	Polsko-Amerykańskie Forum Biznesu Jądrowego (Nei) W Warszawie
	Polski pawilon na targach WNE Paryż
2024	Misja polskich przedsiębiorstw do jądrowego USA (IGEOŚ)
2025	Polsko-Japońskie Forum Przemysłowe
	Misja polskiego przemysłu do jądrowej Kanady
	Polski pawilon na targach WNE Paryż

Fot. 123rf

BIOGAZ I BIOMETAN

Klucz do transformacji energetycznej

Kamil Moskwik
Plentra

Polska transformacja energetyczna coraz wyraźniej pokazuje, że to gazy odnawialne, takie jak biogaz i biometan, mogą stać się brakującym ogniwem przyszłego miksu energetycznego.

Transformacja energetyczna w Polsce wchodzi w etap, w którym dotychczasowy model, oparty na dominacji paliw kopalnych – w tym gazu ziemnego – przestaje być wystarczający z perspektywy bezpieczeństwa dostaw, stabilności cen i zobowiązań klimatycznych. Jednocześnie istniejąca infrastruktura gazowa oraz wciąż istotna rola gazu w ciepłownictwie i przemyśle powodują, że całkowite i szybkie wycofanie tego paliwa nie jest dziś realną ścieżką. W tej sytuacji rosnące znaczenie zyskują gazy odnawialne, przede wszystkim biogaz i biometan, które mogą stać się brakującym ogniwem łączącym bezpieczeństwo energetyczne z procesem dekarbonizacji.

Sektor gazowy: nowe wyzwania i strukturalne napięcia

W ostatnich latach polski rynek gazu przeszedł dużą zmianę strukturalną. Znacząco wzrosło wykorzystanie terminalu LNG, a system gazowy stał się stabilniejszy dzięki dywersyfikacji kierunków dostaw. Jednocześnie dane rynkowe pokazują, że zużycie gazu ziemnego utrzymuje się na wysokim poziomie – w 2024 r. przez krajowy system przesyłowy przepłynęło ponad 230 TWh gazu, z czego większość wciąż stanowi import.

Część sektorów nie tylko nie ogranicza zużycia, ale nawet je zwiększa. W ciepłownictwie udział gazu

wzrósł w ostatnim roku powyżej 15%, podczas gdy węgla – spadł do okolic 57%. W wielu systemach ciepłowniczych gaz jest traktowany jako technologia przejściowa, pozwalająca szybko obniżyć emisje i modernizować przestarzałe moce wytwórcze. Z drugiej strony rośnie presja regulacyjna związana z koniecznością osiągania coraz wyższych udziałów OZE i redukcji emisji w sektorach trudniej poddających się elektryfikacji.

Jednocześnie fluktuacje cen gazu powodują, że motywacja ekonomiczna do inwestowania w alternatywy paliwowe może być słabsza, jeśli nie zostaną stworzone stabilne ramy inwestycyjne. To wszystko tworzy specyficzny paradoks: gaz jest potrzebny tu i teraz, ale jego dalsze utrzymywanie w dotychczasowej formie nie jest zgodne z kierunkiem transformacji. Rozwiązaniem tego napięcia są właśnie gazy odnawialne.

”

Biometan może stać się paliwem strategicznym dla krajowej energetyki i przemysłu, podobnie jak wodór odnawialny

Biometan – paliwo o strategicznym znaczeniu

Biometan, czyli oczyszczony biogaz o parametrach jakościowych gazu ziemnego, ma potencjał stać się jednym z elementów transformacji paliwowej w Polsce. Jego kluczowa zaleta to pełna kompatybilność z istniejącą infrastrukturą gazową – może być wprowadzany do sieci przesyłowej i dystrybucyjnej, magazynowany i wykorzystywany w tych samych instalacjach co gaz ziemny.

Szacowany krajowy potencjał produkcyjny biometanu sięga nawet kilku miliardów metrów sześciennych rocznie. Nawet jeśli realnie osiągalny poziom w perspektywie najbliższych lat będzie niższy – rzędu 3-4 mld m³ – stanowi to wartość, która mogłaby pokryć zauważalną część polskiego zapotrzebowania na gaz. Oznaczałoby to także istotne zmniejszenie importu, szczególnie w sytuacji, gdy Polska pozostaje jednym z największych odbiorców gazu w regionie.

Biometan wpisuje się również w kierunek gospodarki obiegu zamkniętego, ponieważ jego wytwarzanie bazuje na odpadach organicznych, pozostałościach rolniczych, osadach komunalnych i innych lokalnie dostępnych substratach. Produkcja gazu z tych surowców pozwala jednocześnie rozwiązywać lokalne problemy gospodarki odpadowej i wzmacniać ekonomię obszarów wiejskich.

ROLA BIOGAZU I BIOMETANU W SYSTEMIE ENERGETYCZNYM



Fot. 123rf

Gazy odnawialne mają kilka fundamentalnych funkcji, które czynią je kluczowym elementem przyszłej architektury energetycznej:

1. Bezpieczeństwo energetyczne

Produkcja krajowa biometanu zmniejsza zależność od importu i ogranicza ekspozycję Polski na wahania geopolityczne. Wysycenie części lokalnych sieci gazowych w biometan mogłoby stabilizować dostawy paliwa dla ciepłownictwa systemowego i odbiorców przemysłowych.

2. Elastyczność i stabilność systemu energetycznego

W przeciwieństwie do energii z fotowoltaiki czy wiatru, biometan nie jest źródłem zależnym od warunków pogodowych. Może pełnić rolę paliwa szczytowego i magazynowalnego, wspierając system elektroenergetyczny w okresach przeciążeń lub niskiej produkcji OZE. To szczególnie istotne w kontekście dalszego wzrostu udziału energetyki wiatrowej i PV.

3. Dekarbonizacja sektorów trudnych do elektryfikacji

Przemysł, transport ciężki, produkcja wysokotemperaturowa, a nawet niektóre systemy ciepłownicze – to obszary, które nie mogą łatwo przejść na energię elektryczną. Dla nich biometan może być jedyną realistyczną ścieżką redukcji emisji w perspektywie najbliższych 10-20 lat.

4. Wykorzystanie istniejącej infrastruktury

W przeciwieństwie do wielu technologii niskoemisyjnych, biometan nie wymaga budowy nowej sieci. To radykalnie obniża koszty transformacji, przyspiesza jej tempo i zmniejsza ryzyko dla operatorów systemów gazowych.

Bariery i warunki rozwoju rynku

Mimo ogromnego potencjału, rynek biometanu w Polsce jest na bardzo wczesnym etapie rozwoju. Funkcjonuje zaledwie jedna instalacja go produkująca w standardzie sieciowym, a liczba gotowych projektów jest ograniczona.

Jednocześnie zauważyć można pozytywny sygnał, że wprowadzane są pierwsze programy dotacyjne umożliwiające współfinansowanie instalacji biometanowych, często na poziomie nawet 50-65% kosztów kwalifikowanych. To krok w stronę wyrównania szans rynkowych pomiędzy gazem ziemnym a jego zielonym odpowiednikiem.

”

Szacowany krajowy potencjał produkcyjny biometanu sięga nawet kilku miliardów metrów sześciennych rocznie

W perspektywie rynkowej i systemowej

W dłuższym horyzoncie biometan może stać się paliwem strategicznym dla krajowej energetyki i przemysłu, podobnie jak wódór odnawialny, ale z przewagą wynikającą z gotowej infrastruktury. W scenariuszu, w którym Polska wykorzysta zakładany potencjał produkcyjny, krajowa energetyka zyskałaby nie tylko narzędzie dekarbonizacji, ale także niezależności surowcowej.

Wzrost mocy OZE będzie wymagał coraz bardziej zaawansowanej elastyczności systemu i mocy dyspozycyjnych. Biometan świetnie wpisuje się w ten obraz jako magazyn energii chemicznej, bufor sieciowy i paliwo

OGRANICZENIA DLA PROJEKTÓW BIOMETANOWYCH

Do głównych przyczyn zbyt niskiej liczby instalacji produkujących biometan należą:

- brak stabilnego długoterminowego systemu wsparcia,
- trudności w uzyskaniu warunków przyłączenia do sieci,
- wysokie koszty inwestycyjne,
- ograniczona dostępność substratów w niektórych regionach,
- niewystarczająca koordynacja gospodarki odpadami na poziomie lokalnym.

rezerwowe. Może również współistnieć z rozwojem wodoru, a w dłuższej perspektywie stać się elementem hybrydowych modeli Power-to-Gas.

Przyszłość polskiego systemu gazowego będzie zależeć od zdolności do przejścia z paliw kopalnych na gazy odnawialne – etapowo, ale konsekwentnie. Biometan i biogaz nie są jedynie dodatkiem do miksu energetycznego. W wielu aspektach stają się jego niezbędnym komponentem, odpowiadając na wyzwania, których nie rozwiążą ani same OZE, ani gaz ziemny, ani nawet technologie wodorowe.

Jeżeli Polska stworzy spójne warunki dla rozwoju rynku biometanu – od regulacji, przez infrastrukturę, po systemy wsparcia – może on w perspektywie dekady wypełnić lukę pomiędzy bezpieczeństwem energetycznym a celami klimatycznymi. To właśnie w gazach odnawialnych znajduje się jeden z najważniejszych kluczy do trwałej i zrównoważonej transformacji energetycznej. ■

Reklama



LUTY	CHEMIA 2026	
	XXXII Sympozjum Naukowo-Techniczne 3-4 lutego 2026 r. Płock	CHEMIA, PETROCHEMIA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów chemicznych: dyrektorzy ds. technicznych i inwestycyjnych, kadra zarządzająco-techniczna oraz specjaliści biur projektowych, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych zakładów
	Zarządzanie Przedsiębiorstwem Ciepłowniczym	
MARZEC	III Konferencja Naukowo-Techniczna 10-11 lutego 2026 r. Wisła	CIEPŁOWNICTWO Uczestnicy: prezesi, członkowie zarządu, dyrektorzy z elektrociepłowni, ciepłowni, a także firmy współpracujące z branżą energetyczną, oferujące nowoczesne technologie i urządzenia, systemy zarządzania, rozwiązania do zarządzania w nowoczesnym PEC-u
	Zarządzanie Przedsiębiorstwem WOD-KAN	
	XII Konferencja Naukowo-Techniczna 11-13 lutego 2026 r. Wisła	PRZEDSIĘBIORSTWA WOD-KAN Uczestnicy: prezesi i kadra zarządzająca przedsiębiorstw wod-kan oraz firmy doradcze, informatyczne, konsultingowe oferujące kompleksowe rozwiązania dla branży
KWIETIEŃ	Utrzymanie Ruchu w Przemśle Spożywczym	
	XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna 3-4 marca 2026 r. Zawiercie Honorowy gospodarz: Fabryka Danone w Bieruniu	PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY Uczestnicy: kadra inżynieryjno-techniczna rozlewni wód i soków, zakładów spirytusowych, browarów, mleczarni, zakładów mięsnych i przetwórstwa owocowo-warzywnego, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych działów utrzymania ruchu
	Wiosenna Konferencja Farmaceutyczna	
	XVII Konferencja Naukowo-Techniczna 4-6 marca 2026 r. Jachranka Honorowy gospodarz: Polfa Tarchomin	FARMACJA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów farmaceutycznych, a w szczególności działy techniczne, utrzymania ruchu, produkcji, pakowni, dział ds. inwestycji, firmy oferujące systemy oraz produkty związane z nowoczesnymi technologiami dla producentów leków
	Wiosenna Konferencja Kosmetyczna. Droga do Kosmetyku Idealnego	
MAJ	Konferencja Naukowo-Techniczna 5-6 marca 2026 r. Jachranka	BRANŻA KOSMETYCZNA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów kosmetycznych: dyrektorzy ds. technicznych i inwestycyjnych, główni specjaliści z zakresu produkcji i jakości oraz kadra zarządzająco-techniczna; firmy oferujące maszyny, urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe
	Efektywne Zarządzanie Energią w Przemśle	
	XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna 19-20 marca 2026 r. Zawiercie	PRZEMYSŁ ENERGOCHŁONNY Uczestnicy: przedstawiciele zakładów przemysłowych: zakłady chemiczne, huty, kopalnie, zakłady przemysłowe, przetwórnictwo i inne; spółki dystrybucyjne i operatorskie działające na rynku energii oraz specjalistyczne firmy informatyczne, technologiczne, doradcze, finansowe i konsultingowe
MAJ	Kongres Użytkowników POMP	
	XXXII Kongres 9-10 kwietnia 2026 r. Toruń Honorowy gospodarz: Mondi Świecie Sp. z o.o.	CHEMIA, ENERGETYKA, PRZEMYSŁ, WOD-KAN Uczestnicy: kadra inżynieryjno-techniczna odpowiedzialna za zakup i użytkowanie pomp, napędów i armatury z zakładów przemysłowych, elektrowni, zakładów chemicznych, wod-kan, producenci i dystrybutorzy pomp, napędów, armatury oraz firmy remontowe i diagnostyczne oferujące nowoczesne rozwiązania dla branży
	Awarie. Monitoring. Budowa i Modernizacja Sieci WOD-KAN	
	XVII Konferencja Naukowo-Techniczna 16-17 kwietnia 2026 r. Wisła	PRZEDSIĘBIORSTWA WOD-KAN Uczestnicy: przedstawiciele przedsiębiorstw wodociągowych odpowiedzialni za budowę, remonty i modernizację sieci wodociągowych i kanalizacyjnych oraz firmy proponujące rozwiązania techniczne w zakresie sieci
MAJ	Wiosenne Spotkanie Ciepłowników	
	XXXIII Sympozjum Naukowo-Techniczne 28-30 kwietnia 2026 r. Zakopane	ENERGETYKA, CIEPŁOWNICTWO Uczestnicy: przedstawiciele ciepłowni i elektrociepłowni, biura projektowe współpracujące z sektorem, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnego ciepłownictwa
	Kongres Efektywności Energetycznej w Przemśle Spożywczym	
MAJ	III Kongres Naukowo-Techniczny 5-7 maja 2026 r. Płock Honorowy gospodarz: Cukrownia Pfeifer & Langen Polska	PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY Uczestnicy: główni energetycy, główni mechanicy, kierownicy działów energetycznych, kierownicy DUR, specjaliści i kierownicy ds. ochrony środowiska, dyrektorzy operacyjni i techniczni, automatycy oraz pracownicy działów projektów i inwestycji
	Remonty i Utrzymanie Ruchu w Przemśle Chemicznym	
	XIX Konferencja Naukowo-Techniczna 11-13 maja 2026 r. Jastrzębia Góra	CHEMIA, PETROCHEMIA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów chemicznych i rafinerii: dyrektorzy ds. technicznych i inwestycyjnych, główni specjaliści z zakresu utrzymania ruchu, główni mechanicy, energetycy, kadra zarządzająco-techniczna, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych działów utrzymania ruchu
	Logistyka i Magazynowanie w Branży Farmaceutycznej	
MAJ	II Konferencja Naukowo-Techniczna 19 maja 2026 r. Warszawa	FARMACJA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów farmaceutycznych, w szczególności osoby odpowiedzialne za zapewnienie jakości, osoby zarządzające logistyką oraz transportem, kierownicy/szefowie magazynów, Osoby Wykwalifikowane (QPy), osoby odpowiadające za substancje kontrolowane, szefowie Supply Chain, szefowie produkcji, kupcy/działy zakupów (surowce, opakowania), kierownicy/mistrzowie gospodarki magazynowej
	Nowoczesne Kopalnie Żwiru i Piasku	
MAJ	XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna 26-28 maja 2026 r. Honorowy gospodarz: Holcim Polska	KRUSZYWA Uczestnicy: kadra inżynieryjno-techniczna oraz zarządzająca kopalni żwiru i piasku, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych zakładów kruszywa

CZERWIEC	Kongres Opakowań i Recyklingu – wyzwania rynku wobec zmian prawa, systemu kaucyjnego i ROP	
	II Kongres 10-11 czerwca 2026 r. Warszawa	PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY, FARMACJA, KOSMETYKI Uczestnicy: przedsiębiorstwa z branży spożywczej, kosmetycznej, farmaceutycznej, przedstawiciele sieci handlowych, producenci opakowań, producenci maszyn do pakowania, firmy recyklingowe, dostawcy maszyn do recyklingu i automatyzacji, przedstawiciele e-commerce, branża HoReCa, operatorzy wydarzeń eventowych, specjaliści ds. ESG i ochrony środowiska, przedstawiciele administracji państwowej i ministerstwa środowiska
WRZESIEŃ	Jesienne Spotkanie Browarników	
	XXIII Sympozjum Naukowo-Techniczne 2-4 września 2026 r. Kielce Honorowy gospodarz: Carlsberg Browar Okocim w Brzesku	PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY Uczestnicy: kadra techniczno-technologiczna, menadżerska polskich zakładów piwowskich, firmy oferujące rozwiązania wykorzystywane w browarach
	ENERGETYKA 2026	
	XXVIII Sympozjum Naukowo-Techniczne 8-9 września 2026 r. Bełchatów	ENERGETYKA, CIEPŁOWNICTWO Uczestnicy: prezesi, członkowie zarządu, dyrektorzy techniczni i inwestycyjni z elektrowni, elektrociepłowni, ciepłowni, a także firmy współpracujące z branżą energetyczną oferujące nowoczesne technologie i urządzenia, systemy zarządzania, monitoringu i diagnostyki
	Oczyszczalnie Przyszłości	
	V Konferencja Naukowo-Techniczna 10-11 września 2026 r. Gdańsk Honorowy gospodarz: Gdańskie Wodociągi Sp. z o.o.	PRZEDSIĘBIORSTWA WOD-KAN Uczestnicy: dyrektorzy, kierownicy, specjaliści z komunalnych oczyszczalni ścieków, osoby odpowiedzialne za inwestycje, kadra zarządzająca przedsiębiorstw wod-kan, firmy dostarczające rozwiązania, technologie, świadczące usługi związane z budową i eksploatacją oczyszczalni ścieków
	Bezpieczeństwo Instalacji Przemysłowych. Infrastruktura Krytyczna	
	XXV Konferencja Naukowo-Techniczna 21-23 września 2026 r. Honorowy gospodarz: PERN S.A.	CHEMIA, PETROCHEMIA, ENERGETYKA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów chemicznych odpowiedzialni za prewencję, bezpieczeństwo, a także specjaliści z zakresu automatyki i technologii oraz kadra zarządzająco-techniczna; firmy, które proponują urządzenia, technologie i nowoczesne systemy zarządzania bezpieczeństwem, niezbędne dla bezpiecznego funkcjonowania zakładu
	KRUSZYWA CEMENT WAPNO 2026	
	XXXIII Sympozjum Naukowo-Techniczne 30 września- 2 października 2026 r. Kielce Honorowy gospodarz: Dyckerhoff Polska sp. z o.o.	KRUSZYWA, CEMENT, WAPNO Uczestnicy: przedstawiciele kopalni kruszyw, cementowni, zakładów wapienniczych i gipsowych, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych zakładów
PAŹDZIERNIK	XX Kongres Gospodarki Wodno-Ściekowej	
	Konferencja Naukowo-Techniczna WODA I ŚCIEKI W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM Konferencja Naukowo-Techniczna WODA I ŚCIEKI W PRZEMYŚLE 19-21 października 2026 r. Warszawa Honorowy gospodarz: CEDROB S.A.	PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY, CHEMIA, ENERGETYKA, PRZEMYSŁ CIĘŻKI, FARMACJA Uczestnicy: przedstawiciele działów ochrony środowiska z: elektrowni, elektrociepłowni oraz ciepłowni komunalnych i przemysłowych, zakładów metalurgicznych, zakładów chemicznych, rafinerii, petrochemii, zakładów papierniczych, koksowni, zakładów spożywczych, farmacji; specjaliści z zakresu gospodarki wodno-ściekowej i gospodarki odpadami, specjaliści odpowiedzialni za jakość wody, specjaliści ds. ochrony środowiska, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe w zakresie gospodarki wodno-ściekowej
	Jesienne Sympozjum Przemysłu Farmaceutycznego 2026 Jesienne Sympozjum Przemysłu Kosmetycznego 2026	
	XXII Sympozjum Naukowo-Techniczne 21-23 października 2026 r. Łódź Honorowy gospodarz: Polpharma XXII Sympozjum Naukowo-Techniczne 21-23 października 2026 r. Łódź Honorowy gospodarz: Pollena Aroma	FARMACJA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów farmaceutycznych: dyrektorzy ds. technicznych i inwestycyjnych, główni specjaliści z zakresu produkcji i jakości oraz kadra zarządzająco-techniczna; firmy oferujące maszyny, urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe BRANŻA KOSMETYCZNA Uczestnicy: przedstawiciele zakładów kosmetycznych: dyrektorzy ds. technicznych i inwestycyjnych, główni specjaliści z zakresu produkcji i jakości oraz kadra zarządzająco-techniczna; firmy oferujące maszyny, urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe
	Nowa Energia dla Przemysłu. Nośniki Energii	
	II Konferencja Naukowo-Techniczna 4-5 listopada 2026 r. Warszawa	CHEMIA, PETROCHEMIA, ENERGETYKA, CIEPŁOWNICTWO Uczestnicy: przedstawiciele zakładów przemysłowych: zakłady chemiczne, rafinerie, przedstawiciele branży energetycznej, ciepłowni i elektrociepłowni, a także operatorzy systemu przesyłowego, instytucje i firmy współpracujące z branżą chemiczną i energetyczną w zakresie energetyki i rozwoju nowych paliw.
LISTOPAD	Remonty i Utrzymanie Ruchu w Energetyce	
	XIX Konferencja Naukowo-Techniczna 16-18 listopada 2026 r. Licheń	ENERGETYKA, CIEPŁOWNICTWO Uczestnicy: dyrektorzy techniczni i zarządzający majątkiem produkcyjnym, szefowie utrzymania ruchu, główni mechanicy, energetycy, automatyzy reprezentujący elektrownie, elektrociepłownie i duże zakłady przemysłowe posiadające własne źródła wytwarzające energię, a także przedstawiciele biur projektowych, uczelni i instytucji związani z tą gałęzią gospodarki, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnego działu utrzymania ruchu
	WOD-KAN-EKO 2026	
	XXIX Kongres Naukowo-Techniczny 18-20 listopada 2026 r. Łódź	PRZEDSIĘBIORSTWA WOD-KAN Uczestnicy: przedstawiciele przedsiębiorstw wodociągowych, oczyszczalni ścieków, biur projektowych, zainteresowani wdrażaniem w swoich zakładach nowych technologii i urządzeń, firmy proponujące nowoczesne urządzenia, technologie i rozwiązania systemowe, niezbędne do funkcjonowania nowoczesnych zakładów wod-kan

INOWROCŁAW NOWA ENERGIA

Energia z odpadów dla przyszłej
produkcji polskiej sody

QEMETICA S.A.

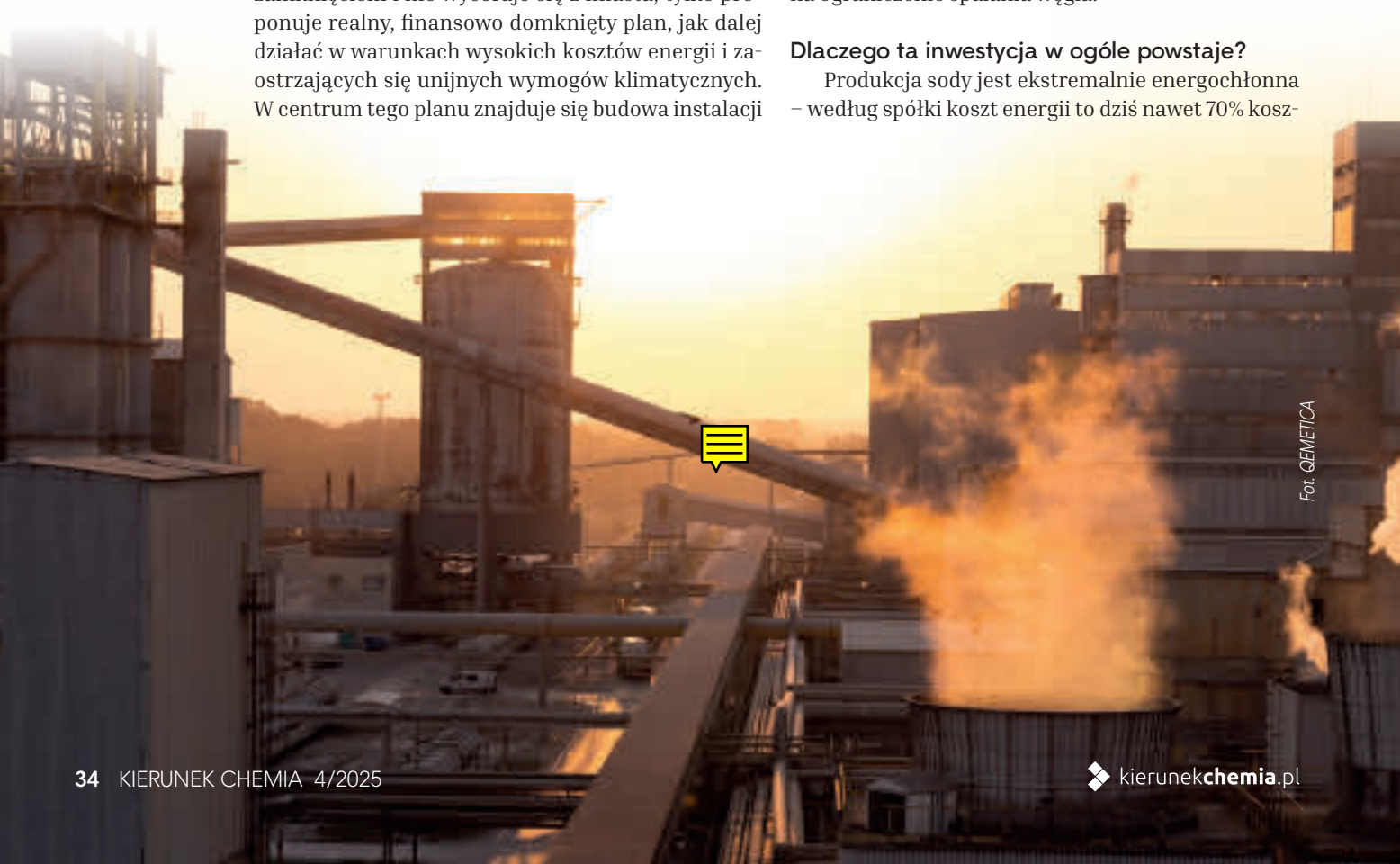
Jak instalacja termicznego przekształcania odpadów ma uratować produkcję sody i przyspieszyć dekarbonizację potężnej firmy chemicznej? Jak sprawi, że Inowrocław – zamiast tracić przemysł – stanie się przykładem realnej transformacji energetycznej?

WInowrocławiu rozgrywa się coś, co w polskiej debacie o transformacji energetycznej bardzo rzadko nie kończy się litanią negatywnych doniesień: duży zakład chemiczny nie grozi zamknięciem i nie wycofuje się z miasta, tylko proponuje realny, finansowo domknięty plan, jak dalej działać w warunkach wysokich kosztów energii i zastrzegających się unijnych wymogów klimatycznych. W centrum tego planu znajduje się budowa instalacji

termicznego przekształcania odpadów (ITPO) na terenie kompleksu sodowego QEMETICA Soda Polska. ITPO ma produkować parę technologiczną i energię elektryczną potrzebną w procesach wytwarzania sody oraz pozwoli na ograniczenie spalania węgla.

Dlaczego ta inwestycja w ogóle powstaje?

Produkcja sody jest ekstremalnie energochłonna – według spółki koszt energii to dziś nawet 70% koszt-



Fot. QEMETICA

tów wytworzenia. Jej produkcja opiera się na węglu, a rocznie, do niedawna, spalano go blisko milion ton w obu fabrykach dawnego Ciechu (obecnie QEMETIKI). To stawia spółkę na pozycji jednego z największych konsumentów tego paliwa. Perturbacje zapoczątkowane przez pandemię i wojnę w Ukrainie sprawiły, że wytwarzanie sody w fabrykach, takich jak w Inowrocławiu, stawało się coraz mniej konkurencyjne.

Mimo bardzo wysokiej jakości produktu, rentowność spadała. Stały za tym z jednej strony koszty wytwarzania energii (w tym koszt ETS), jak i konkurencja, głównie z Turcji, gdzie soda wytwarzana jest inną metodą (a właściwie wydobywana, przy znacznie mniejszym koszcie energetycznym). Dodatkowo kraj ten nie ogląda się zbyt na kwestie emisji CO₂ czy normy środowiskowe, ma również dostęp do tanich paliw kopalnych z Rosji. Smutną konsekwencją tego procesu były liczne ograniczenia produkcji sody w fabrykach w Unii Europejskiej i w Wielkiej Brytanii, czego dobitnym przykładem była tegoroczna hibernacja sąsiadującego z inowrocławską fabryką zakładu w Janikowie. Przełożyło się to na ograniczenia miejsc pracy i napięcia społeczne w całym regionie.

Spółka do zamrożenia produkcji przygotowywała się długo, dlatego udało się jej stworzyć optymalne warunki dla osób, które zostały objęte zwolnieniami. Ale o sytuacji w Inowrocławiu szefostwo chemicznej grupy mówi bez eufemizmów. – ITPO jest „być albo nie być” przemysłu sodowego w Inowrocławiu. Produkcja pary technologicznej z węgla prędzej czy później doprowadziłaby do powtórki sytuacji z Janikowa. O tym, co dzieje się w średniej wielkości miastach, w których upada przemysł, wiemy aż za dobrze i na to pozwolić nie możemy – podkreśla prezes QEMETICA, Kamil Majczak.

Właśnie dlatego w Inowrocławiu powstaje projekt „Inowrocław Nowa Energia”: ITPO ma przetwarzać rocznie do 310 tys. ton paliwa z wysortowanych odpadów o wysokiej kaloryczności, nienadających się już do recyklingu, odzyskiwać z nich energię i dostarczać do zakładu sody około 750 GWh pary technologicznej rocznie – ponad jedną trzecią zapotrzebowania zakładu. –To pozwala ograniczyć spalanie węgla w istniejących kotłach i zmniejszyć uniezależnienie produkcji od wysokoemisyjnego paliwa – tłumaczy Piotr Szlagowski, odpowiedzialny za strategię spółki w QEMETICA.

Nowy mix energetyczny dla ponad 150-letniej fabryki

ITPO nie jest jedynym kamieniem milowym na mapie drogowej dekarbonizacji inowrocławskiej fabryki. Spółka równolegle prowadzi proces konwersji kotła węglowego na opalany biomasą. Chodzi o przebudowę istniejącej jednostki pyłowej na kocioł fluidalny wraz z budową całego układu przyjęcia, magazynowania i podawania biomasy. Projekt modernizacji, który otrzymał wsparcie finansowe z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, ma

ograniczyć zużycie węgla nawet o 100 tys. ton rocznie i przynieść kilkaset tysięcy ton redukcji emisji CO₂ w horyzoncie kilku lat. Pierwsze uruchomienie po konwersji jest planowane w 2027 r. – Odejście od węgla to dla nas długi marsz. Proces skomplikowany, wymagający ogromnych nakładów inwestycyjnych i rozłożony na lata. Ale jesteśmy dobrze przygotowani – dodaje Piotr Kapuściński, wiceprezes QEMETICA Soda Polska. W efekcie już w 2033 roku fabryka w Inowrocławiu ma przestać korzystać z węgla.

”

Już w 2033 roku fabryka w Inowrocławiu ma przestać korzystać z węgla

Współpraca z miastem i mieszkańcami

Prace nad przygotowaniem budowy ITPO ruszyły już kilka lat temu, a droga do uzyskanej niedawno decyzji środowiskowej nie była pozbawiona lokalnych napięć. Ten projekt nie przeszedł „po cichu”, bo i realizacja największej spalarni w Polsce wzbudziła emocje społeczne. Prezydentowi Inowrocławia zależało na włączeniu mieszkańców w proces wydania decyzji środowiskowej, dlatego poszerzył formalny proces konsultacyjny: odbyły się spotkania z różnymi grupami mieszkańców i przedsiębiorców, miejska otwarta rozprawa administracyjna, a także bezpośrednie rozmowy z władzami spółki. – To podejście było zgodne z naszym wyobrażeniem o dobrze prowadzonym procesie konsultacyjnym. Zrobiliśmy naprawdę wiele, by zapewnić mieszkańcom pełną informację i to przyniosło efekty – mówi Tomasz Molenda, prezes QEMETICA Soda Polska. Jednocześnie samorząd zażądał przejrzystości i realnego wpływu miasta na dalsze etapy projektu.

QEMETICA ogłosiła powołanie Fundacji „QEMETICA dla Kujaw”. W jej władzach zasiadają przedstawiciele Urzędu Miasta Inowrocławia i Janikowa, którzy będą mieć głos doradczy w zakresie dystrybucji środków finansowych dla lokalnych projektów społecznych i infrastrukturalnych.

Spółka i samorząd wypracowały też wspólnie i wskazały priorytety dla dzielnicy Mątwy, bezpośrednio sąsiadującej z zakładem, a historycznie będącym po prostu dzielnicą, w której mieszkali pracownicy sody. Mowa więc o planowanych remontach fragmentów ulic, (tak żeby poprawić bezpieczeństwo pieszych), modernizacji schroniska dla zwierząt czy stworzeniu nowego boiska przy sąsiadującej z fabryką szkole. Wszystko ma być finansowane i prowadzone etapami, w sposób uzgadniany z mieszkańcami.

Nawiązanie dialogu zaowocowało jeszcze jedną ważną inicjatywą, istotną z punktu widzenia Inowrocławia jako miasta uzdrowiskowego, zmagającego się z niską emisją. Podpisane porozumienie QEMETICA – ZEC Inowrocław, zakładające pozyskanie ciepła odpadowego z produkcji sody i jego dystrybucję do miejskiej sieci ciepłowniczej, będzie największym tego typu projektem w Polsce. Według władz spółki i miasta to sposób, żeby lokalne ciepło systemowe było bardziej stabilnie cenowo, mniej emisyjne i docelowo tańsze dla odbiorców indywidualnych. W praktyce oznacza to stopniowe odchodzenie Inowrocławia od spalania węgla i uzyskanie statusu efektywnego systemu ciepłowniczego w rozumieniu prawa klimatyczno-energetycznego. Władze Inowrocławia mówią otwarcie, że to przykład partnerstwa przemysłu i samorządu, które wykracza poza hasło „zielonej transformacji”. Chodzi nie tylko o emisję CO₂ i koszty energii w zakładzie, ale też o komfort życia ludzi, których ogrzewanie mieszkań staje się coraz droższe. Projekt wymaga wielomilionowych nakładów, natomiast ma sens, ponieważ wraz z budową instalacji termicznego przetwarzania odpadów staje się niemalże pewne, że przyszłość kujawskiego przemysłu sodowego rysuje się w dobrych barwach. QEMETICA zadeklarowała gotowość do zainwestowania 30 mln zł w infrastrukturę pozwalającą na przyłączenie miejskiej sieci ciepłowniczej do zakładu i umożliwienie pozyskania ciepła odpadowego. Tym samym ZEC zmniejszy swoje emisje CO₂, ograniczając spalanie węgla. Inowrocław może stać się symbolem sukcesu transformacji energetycznej i ciepłownictwa.

Na scenę wkracza inwestor

Wróćmy do budowy instalacji pozyskującej energię z odpadów. Żeby ITPO faktycznie powstała i działała stabilnie przez dekady, potrzebne są dwie rzeczy: pewność dostaw paliwa (czyli odpadów resztkowych, RDF i pre-RDF) oraz doświadczenie w projektowaniu i prowadzeniu podobnych obiektów. QEMETICA sama przyznaje, że ITPO nie będzie prostą budową nowego kotła na odpady, który zastąpi ten węglowy, tylko *de facto* powstanie nowy i niezależny zakład na terenie kompleksu przemysłowego o powierzchni 3 ha. Dlatego spółka zdecydowała się zaprosić do współpracy PreZero – lidera rynku gospodarowania odpadami komunalnymi i przemysłowymi w Polsce, działającego również w segmencie nowoczesnych instalacji odzysku energii z odpadów.

PreZero wnosi do projektu know-how w zakresie pozyskania i przygotowania paliwa z odpadów o wysokiej wartości opałowej, które nie nadają się już do recyklingu, pewność dostaw paliwa alternatywnego oraz doświadczenie w prowadzeniu tego typu instalacji i zarządzaniu projektami budowy ITPO. Mówiąc prościej: nie chodzi tylko o zbudowanie kotła i komina, ale o stworzenie systemu, który zapewni stabilną pracę zakładu chemicznego, bezpieczeństwo środowiskowe czy przewidywalność kosztów energii przez kolejne dekady.

Wybór partnera z branży odpadów ma jeszcze jeden wymiar. Polska – wbrew doniesieniom w mediach społecznościowych – nie ma nadmiaru mocy w ITPO. Wręcz przeciwnie: rośnie ilość odpadów kalorycznych, których nie można składować, dodatkowo nasz kraj ma obowiązek ograniczyć składowanie odpadów komunalnych do maksymalnie 10% do 2035 r. i podnieść recykling do 65%. Aby domknąć system gospodarki odpadami potrzebujemy dodatkowych mocy termicznego przekształcania na poziomie ok. 3 mln ton rocznie. Inwestycja w Inowrocławiu wpisuje się więc nie tylko w strategię energetyczną QEMETICA, ale i w szerszą lukę infrastrukturalną państwa, której istnienie skutkuje nadmiarowym składowaniem odpadów i nielegalnym ich zagospodarowaniem.

Przede wszystkim bezpieczeństwo

Planowana w Inowrocławiu instalacja ma pracować w technologii rusztowej ze stałą kontrolą temperatury spalania i wielostopniowym systemem oczyszczania spalin, w tym przy użyciu katalizatora SCR do redukcji tlenków azotu. Powietrze używane do spalania będzie pobierane z bunkra na odpady – dzięki wytworzonemu lekkiemu podciśnieniu wydostawanie się odorów na zewnątrz będzie ograniczone do minimum. Jest to standard w nowoczesnych europejskich zakładach odzysku energii z odpadów.

Spaliny po procesie trafiają do wielostopniowego systemu oczyszczania (m.in. filtry tkaninowe, redukcja katalityczna SCR), a dopiero potem – po spełnieniu bardzo rygorystycznych norm emisyjnych – będą od-

ENERGIA Z ODPADÓW

– Spalarnia odpadów jest nieodzownym elementem systemu gospodarki odpadami – zaznacza **prof. dr hab. inż. Grzegorz Wielgoński** z Politechniki Łódzkiej. – Dzisiejsze instalacje pracują w standardach, w których udział spalarni w całkowitej emisji dioksyn to ułamek promila emisji krajowej – głównym źródłem są

wciąż domowe piece. W dymie papierosowym stężenie dioksyn bywa wielokrotnie wyższe niż w spalinach nowoczesnej spalarni. Problemem nie jest sama technologia, tylko mitologia sprzed 30 lat. A przykład Inowrocławia pokazuje, że w wybranych gałęziach przemysłu energochłonnego energia z odpadów może przyspieszyć odchodzenie od spalania paliw kopalnych i zastępowanie przestarzałych kotłów węglowych nowoczesnymi instalacjami – podkreśla naukowiec z Politechniki Łódzkiej.



Fot. QEMETICA

prowadzane kominem do atmosfery. Popioły i żużle nie zostaną przekazane na składowisko i po procesie waloryzacji oraz sezonowania w zewnętrznej instalacji będą mogły być wykorzystane np. przy budowie dróg, zastępując kruszywa naturalne. QEMETICA nie będzie również składować na miejscu pozostałości po oczyszczaniu spalin – pyły trafią do depozytów w niemieckich suchych kopalniach soli magnezowych i potasowych, gdzie będą pełnić funkcję podsadzki. To jedna z ważnych kwestii, która interesowała mieszkańców podczas konsultacji. Kamil Majczak, prezes QEMETICA podkreśla, że spółka skorzysta ze sprawdzonych technologii, które z powodzeniem pozwalają na bezpieczną eksploatację tego typu instalacji w miastach, takich jak Wiedeń czy Kopenhaga, gdzie świadomość ekologiczna i kwestie jakości życia są ważnym czynnikiem w dialogu inwestorów ze społeczeństwem. Dodaje też, że QEMETICA korzysta już z energii ze spalarni w swoich zakładach w Niemczech i Holandii, więc nie jest to dla firmy eksperyment, tylko wdrożenie sprawdzonego modelu obniżania kosztów energii, tym razem na Kujawach.

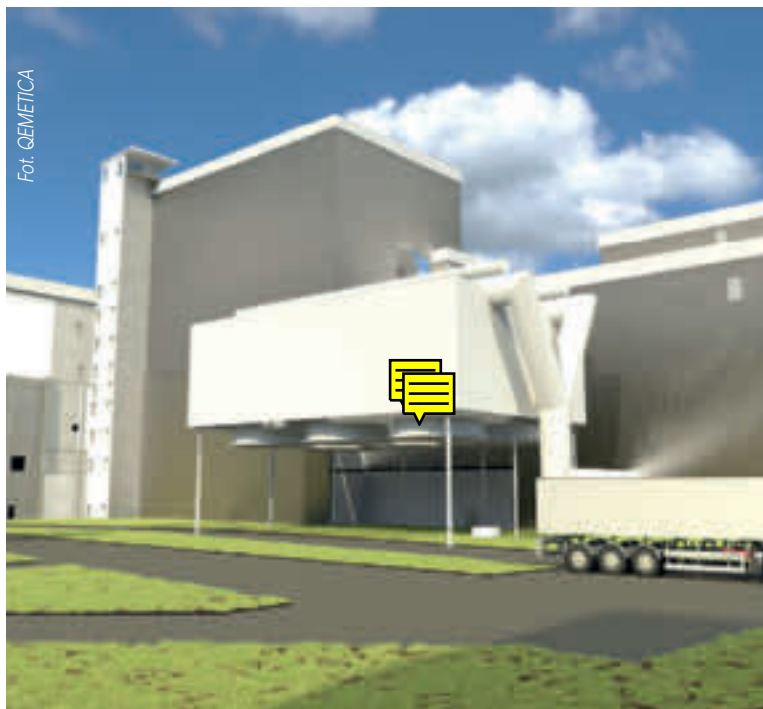
Gdzie jest Polska na tle Europy?

W Polsce działa obecnie dziesięć dużych spalarni odpadów komunalnych (m.in. Gdańsk, Kraków, Poznań, Szczecin, Bydgoszcz, Konin, Rzeszów, Warszawa, Białystok, Olsztyn), ostatnio oddane do eksploatacji zakłady odzyskujące energię z odpadów to Warszawa i Gdańsk. Łączna przepustowość instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych zbliża się już do 1,8 mln ton rocznie.

”

Polska ma obowiązek ograniczyć składowanie odpadów komunalnych do maksymalnie 10% do 2035 r. i podnieść recykling do 65%

Dla porównania, w całej Europie funkcjonuje około 500 instalacji typu waste-to-energy, które rocznie przetwarzają ponad 100 mln ton odpadów reszkowych, dostarczając ciepło systemowe i energię elektryczną m.in. w takich miastach, jak: Kopenhaga, Wiedeń czy Malmö. W wielu z nich spalarnie stoją kilka kilometrów od ratusza i są traktowane jak element krytycznej infrastruktury – podobnie jak elektrociepłownie czy oczyszczalnie ścieków. Różnica polega na tym, że w Europie Zachodniej termiczne przekształcanie odpadów domyka system gospodarki odpadami (recykling + od-



750 GWh

ITPO ma przetwarzać rocznie do 310 tys. ton paliwa z wysortowanych odpadów o wysokiej kaloryczności, odzyskiwać z nich energię i dostarczać do zakładu sody około 750 GWh pary technologicznej rocznie

zysk energii + ograniczone składowanie), podczas gdy w Polsce wciąż duża część frakcji wysokokalorycznej trafia nielegalnie na składowiska lub jest wożona setki kilometrów do instalacji znajdujących się za granicą. To kosztuje mieszkańców oraz samorządy – i właśnie dlatego projekty przemysłowe, takie jak ITPO w Inowrocławiu, są coraz częściej traktowane jako element bezpieczeństwa publicznego, a nie tylko sposób na obniżenie kosztów prywatnego biznesu.

Co dalej?

Po uzyskaniu ostatecznej decyzji środowiskowej we wrześniu 2025 roku projekt wchodzi w fazę wyboru wykonawcy, zabezpieczenia finansowania i przygotowania dokumentacji budowlanej. Harmonogram zakłada pozwolenie na budowę w 2026 r. i start prac w 2027 r. – Do 2030 roku spalarnia odpadów zastąpi jeden z kotłów na węgiel jako nowe źródło energii – deklaruje Kamil Majczak, prezes spółki. Jeżeli ten plan się powiedzie, Inowrocław stanie się precedensem: miasto uzdrowskowie i fabryka ciężkiej chemii wypracowują wspólny model bezpieczeństwa energetycznego i cieplnego, w którym korzyści finansowe i środowiskowe są dzielone pomiędzy przemysł i mieszkańców. I co ważne – wspólne działania pozwalają na ochronę miejsc pracy oraz potencjału ekonomicznego regionu.

To lokalna, praktyczna wersja transformacji, która wykracza poza deklaracje i niesie realne korzyści idące dalej niż tylko ograniczenie spalania węgla. ■

BIOWĘGIEL

Od biomasy do funkcjonalnego węgla przemysłowego

Aleksandra Małachowska
Cyprian Olszewski
Natalia Łukasik

Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii Procesowej
i Technologii Chemicznej, Politechnika Gdańska



fol. 123/f

Biowęgiel to jeden z najciekawszych materiałów w inżynierii chemicznej, chemii przemysłowej, ochronie środowiska, energetyce i technologii niskoemisyjnej. Jest pomostem między technologią a gospodarką – w czasach, gdy przemysł poszukuje rozwiązań łączących dostępność surowców, efektywność procesów i ograniczenie emisji.

Interesujące jest to, że właściwości biowęgla (ang. *Bio-char*) można inżynieryjnie projektować, dopasowując proces pirolizy i modyfikacje powierzchniowe do konkretnego zastosowania. Ponadto surowcem może być biomasa odpadowa, dlatego biowęgiel stanowi realną szansę na połączenie gospodarki obiegu zamkniętego i techniki materiałowej, stając się elementem strategii technologii negatywnych emisji (ang. *negative emissions*). W świecie poszukującym rozwiązań dostosowanych do potrzeb gospodarczych i predyspozycji lokalnych danego kraju, a także coraz większego zapotrzebowania na technologie niskoemisyjne, biowęgiel może być zaskakująco trafną odpowiedzią.

Proces produkcji biowęgla – prosty koncept, duży potencjał technologiczny

Produkcja biowęgla może się odbywać m.in. w procesie powolnej pirolizy biomasy w warunkach ograniczonego tlenu (slow pyrolysis). Typowe temperatury to 350-650°C, czas przebywania zależy od surowca i reakcji. W efekcie powstają trzy strumienie:

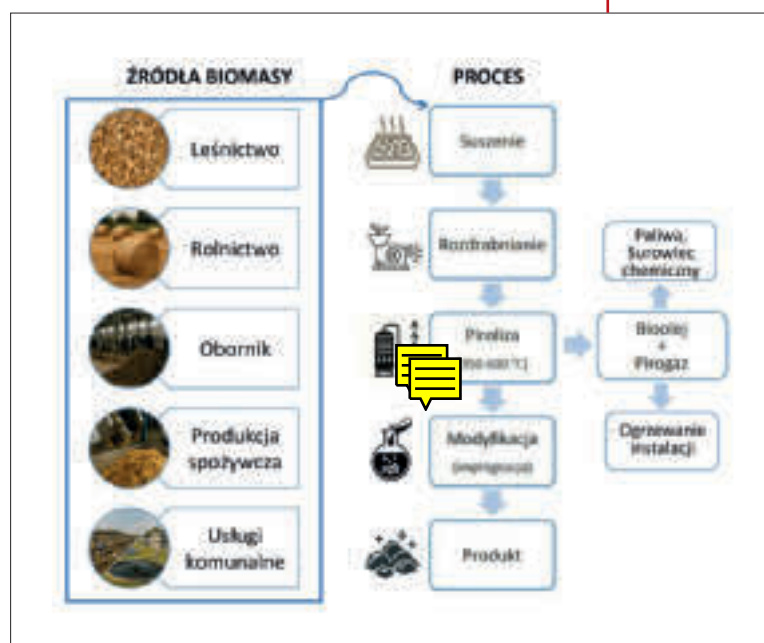
- biowęgiel (stały) – materiał węglowy, najcenniejszy produkt,
- gaz pirolityczny (gazowy) – paliwo energetyczne, które może napędzać instalację,
- kondensat/bioolej (ciekły) – frakcja o potencjale energetycznym lub chemicznym.

Każdy z nich ma potencjał użytkowy – biowęgiel

jako materiał funkcjonalny, kondensat jako frakcja energetyczna lub surowiec chemiczny, a gaz pirolityczny (pirogaz) – paliwo zasilające proces.

W wielu instalacjach przemysłowych gaz pirolityczny zasila reaktor i suszarnię biomasy, czyniąc cały proces samowystarczalnym energetycznie, co

RYS. 1
Ogólny schemat procesu przemysłowej produkcji biowęgla
(źródło: materiały własne autorów)



Parametr	Biowęgiel	Węgiel aktywny	Literatura
Proces wytwarzania	Powolna piroliza 350-650 °C	Aktywacja (chemiczna lub fizyczna) 700-1000°C	Mohan 2014; Mukherjee 2022
Powierzchnia BET	50-400 m ² /g; po aktywacji 600-1000 m ² /g	800-2000 m ² /g	Mohan 2014; Tan 2015
Porowatość dominująca	Mezo + makropory (zależnie od biomasy)	Dominują mikropory	Mohan 2014; Qiu 2014
Zawartość popiołu	5-40%, szczególnie wysoka w SDB	< 10%	Hossain 2011; Lv 2023
Struktura chemiczna	Mniej sfunkcjonalizowana; zależna od surowca	Bogatsza w grupy -COOH, -OH (po aktywacji)	Tan 2015; Ren 2025
Koszt produkcji	2-5x niższy niż WA	Wysoki (mocno energochłonny proces)	Mohan 2014; Harsono 2013
Energochłonność	Niska-średnia	Wysoka	Gaunt & Lehmann 2008
Zastosowania	Adsorpcja, kataliza, elektrochemia, gleba, kompozyty	Oczyszczanie wody, powietrza, farmacja	Tan 2015; Gupta 2022

TAB. 1
Porównanie
wybranych
parametrów
biowęgla i węgla
aktywnego (WA)

potwierdzono w licznych analizach LCA i bilansach energetycznych. Integracja linii suszenia, podgrzewania i spalania gazu pirolitycznego nie tylko poprawia efektywność instalacji, lecz także znacząco redukuje koszty operacyjne. Rys. 1 przedstawia ogólny schemat procesu przemysłowej produkcji biowęgla, choć możliwości optymalizacji procesowej są ogromne; zaczynając od kontroli wilgotności wejściowego surowca, przez regulację atmosfery, aż po późniejsze projektowanie właściwości materiału.

Surowiec i proces kreują właściwości biowęgla

Ponieważ surowcem jest biomasa, końcowy materiał może mieć bardzo różne parametry: od bardzo porowatego i niskopopiołowego, po mniej korzystny, jeśli biomasa zawiera dużo popiołu. Krytyczne czynniki to przede wszystkim:

- temperatura pirolizy: im wyższa, tym zazwyczaj więcej struktur aromatycznych, niższy H/C i większa trwałość,
- rodzaj biomasy: drewno → niskopopiołowe; osady → wysokopopiołowe, bogate w pierwiastki biogenne,
- czas retencji – dłuższy czas kieruje reakcję w stro-

nę bardziej uporządkowanych form węgla, modyfikacje – chemiczne (KOH, H₃PO₄), utleniające, impregnacje metalami (Fe, Mn, Cu).

Wyniki badań wykazują, że wyższa temperatura pirolizy prowadzi do większej aromatyzacji struktury (niższy H/C), mniejszej liczby grup funkcyjnych tlenowych i wyższej stabilności termicznej. Ponadto wysoka zawartość popiołu, np. dla niektórych osadów ściekowych, może „rozcieńczyć” frakcję węglową i wpłynąć na wydajność materiału.

Co ważne, biowęgiel drzewny ma zwykle powierzchnię BET rzędu 150-350 m²/g, natomiast aktywowany potrafi osiągać 600-1000 m²/g, co czyni go tańszą alternatywą dla klasycznego węgla aktywnego w wielu procesach adsorpcji.

Biowęgiel a węgiel aktywny – konkurenci czy partnerzy?

Węgiel aktywny to dobrze ugruntowany materiał, ale jego produkcja jest energochłonna i kosztowna. Ten aktywowany tymczasem nierzadko osiąga porównywalną skuteczność sorpcyjną, przede wszystkim w usuwaniu metali ciężkich, barwników i związków aromatycznych. Dlatego też biowęgiel może stanowić ekonomiczną alternatywę, zwłaszcza jeśli wyprodukowany jest z lokalnych strumieni odpadów, gdyż ma znakomity stosunek kosztu do właściwości.

Węgiel aktywny uzyskuje przewagę w zastosowaniach wymagających bardzo wysokiej mikroporowatości, lecz biowęgiel nadrabia tu elastycznością i niższym kosztem. Z badań wynika, że w wielu przypadkach (np. usuwanie metali ciężkich, barwników) biowęgiel aktywowany osiąga parametry zbliżone do węgla aktywnego, co czyni go realną alternatywą.

Rodzaj biomasy a parametry procesu

Rodzaj biomasy i warunki pirolizy określają praktycznie wszystkie cechy materiału końcowego. W tabeli

NAJWAŻNIEJSZE KORZYŚCI Z BIEWĘGLA DLA PRZEMYSŁU:

- jest zazwyczaj tańszy w produkcji i ma niższy ślad środowiskowy,
- węgiel aktywny pozostaje lepszy, jeśli wymagana jest ekstremalna mikroporowatość,
- w wielu zastosowaniach (metale ciężkie, barwniki, związki aromatyczne) biowęgiel aktywowany działa równie skutecznie jak WA,
- biowęgiel może być produkowany w miejscu, gdzie zachodzi potrzeba, co eliminuje koszty transportu.



fol. 123rf

Surowiec	Temp. (°C)	BET	Popiół	Zastosowania	Literatura
Drewno	450-600	150-350	1-5%	elektrochemia, adsorpcja	Mukherjee 2022; Mohan 2014; Qiu 2014
Słoma	450-550	80-200	5-15%	kataliza, sorpcja jonów	Mukherjee 2022; Tan 2015
Łuski ryżu	500-700	100-250	10-25%	sorpcja metali	Mohan 2014; Li 2017; Almeida 2022
Osady ściekowe	450-600	20-80	20-60%	kataliza, immobilizacja metali	Hossain 2011; Lv 2023; Mayilswamy 2023

TAB. 2
Wpływ biomasy i parametrów pirolizy na właściwości biowęgla

2 zawarto porównanie rodzaju surowca oraz parametrów pirolizy i ich wpływ na właściwości biowęgla.

Praktyczne obserwacje:

- drzewny jest niskopopiołowy, świetny jako sorbent i materiał elektrodowy,
- ze słomy ma więcej grup polarnych, dobry do jonów metali,
- z łuski ryżu charakteryzuje wysoka stabilność i sorpcja metali,
- z osadów ściekowych (SDB) ma wysoką zawartość popiołu, idealny do immobilizacji metali.

Wykorzystanie przemysłowe biowęgla

Biowęgiel zyskał w ostatnich latach wyjątkową pozycję jako materiał, który może łączyć wymagania wielu branż: od oczyszczania wód, przez katalizę, po energetykę i technologie materiałowe. Przeglądy literaturowe wskazują na jego zastosowanie wszędzie tam, gdzie potrzeba porowatego, stabilnego i reaktywnego materiału o niskich kosztach oraz dużym potencjale środowiskowym. W oczyszczaniu ścieków i gazów wyróżnia się on wysoką skutecznością w usuwaniu metali ciężkich i barwników, zwłaszcza gdy jest modyfikowany przez utlenianie, aktywację zasadową czy impregnację metalami, co wyraźnie zwiększa jego zdolności sorpcyjne. W katalizie heterogenicznej biowęgiel służy jako stabilny nośnik aktywnych faz metali (m.in. Fe, Cu, Mn), a jego powierzchnię można dostosować do reakcji utleniania i redukcji poprzez wzbogacanie azotem lub modyfikacje grup tlenowych (potwierdzają to zarówno badania laboratoryjne, jak i przeglądy materiałów funkcjonalnych).

W zastosowaniach elektrochemicznych biowęgiel aktywowany lub wzbogacony w heteroatomy (np. azot) wykazuje wysoką przewodność i stabilność cykliczną, dzięki czemu jest używany jako materiał elektrodowy w superkondensatorach i systemach magazynowania energii, niejednokrotnie konkurując z węglami aktywnymi. W budownictwie natomiast, dodawany do cementu, poprawia właściwości mechaniczne, gęstość mikrostruktury oraz zdolność do długoterminowego magazynowania węgla; w kompozytach polimerowych pełni natomiast rolę napelnacza zwiększającego przewodność i odporność mechaniczną.

Szczególą kategorię stanowi biowęgiel z osadów ściekowych (SDB), który mimo wysokiej zawartości popiołu i metali może być bardzo efektywny w immobilizacji zanieczyszczeń i adsorpcji jonów, zwłaszcza gdy proces prowadzony jest w odpowiednio dobranych

warunkach pirolizy lub w połączeniu ze współpirolizą biomasy lignocelulozowej. Dzięki tym zróżnicowanym właściwościom biowęgiel staje się materiałem wyjątkowo uniwersalnym, który może wspierać zarówno procesy oczyszczania, jak i rozwój nowoczesnych technologii chemicznych, energetycznych i materiałowych.

Tabela 3 zawiera zestawienie wybranych sektorów gospodarki, w których biowęgiel znajduje zastosowanie – zarówno w formie surowej (np. biowęgiel drzewny, słomowy), jak i modyfikowanej, w tym aktywowanej chemicznie, co w wielu procesach przemysłowych jest niezbędne dla uzyskania odpowiedniej funkcjonalności materiału.

Biowęgiel jako element transformacji klimatycznej i ekonomicznej

Produkcja i wykorzystanie biowęgla łączą w sobie potencjał środowiskowy i technologiczny, dzięki czemu materiał ten może wspierać zarówno ograniczanie emisji, jak i usprawnianie procesów przemysłowych. W kontekście zmian klimatycznych stanowi jedną z najbardziej perspektywicznych technologii usuwania CO₂ z atmosfery (technologia Carbon Dioxide Removal, CDR). Węgiel uwięziony w biowęglu, przekształcony w stabilne struktury aromatyczne, może pozostać zmagazynowany przez setki lat. Przeglądy literaturowe wskazują, że globalny potencjał sekwestracji wynosi 0,3-2 Gt CO₂ rocznie, co czyni biowęgiel jedną z najskuteczniejszych dostępnych technologii negatywnych emisji.

Z ekonomicznego punktu widzenia biowęgiel jest materiałem niewymagającym wysokich nakładów kosztów oraz efektywnym energetycznie. Gaz pirolityczny wytwarzany podczas pirolizy może zasilać sam proces, redukując potrzebę zewnętrznych źródeł energii. Jednocześnie przetwarzanie biomasy odpadowej: od słomy, przez resztki drzewne, po osady ściekowe, zmniejsza koszty jej utylizacji i wpisuje się w cele gospodarki obiegu zamkniętego. Coraz większego znaczenia nabiera także rynek kredytów węglowych, gdzie biowęgiel uznawany jest za certyfikowaną metodę trwałej sekwestracji, co prowadzi do jego komercjalizacji przez firmy, takie jak Carbofex (Finlandia) czy Charm Industrial (USA).

Biowęgiel stanowi rzadkie połączenie materiału funkcjonalnego i narzędzia klimatycznego, pozwalając jednocześnie redukować emisje, zagospodarować

Branża	Zastosowania biowęgla	Literatura
Przemysł chemiczny	Nośniki katalizatorów, sorbenty związków organicznych	Ong 2024; Ren 2025
Wodno-ściekowa	Usuwanie metali ciężkich, barwników, fenoli; stabilizacja metali	Lv 2023; Gupta 2025
Oczyszczanie gazów/ powietrza	Sorpcja H ₂ S, LZO, odorów	Tan 2015; Mohan 2014
Energetyka/elektrochemia	Elektrody superkondensatorów, baterie Na-ion; materiały do magazynowania energii	Ren 2025; Qiu 2014
Budownictwo i usługi komunalne	Domieszki cementowe, kompozyty, poprawa mikrostruktury materiałów	Fawzy 2021; Gupta 2022
Rolnictwo	Poprawa struktury gleby, retencja wody, magazynowanie węgla; nośnik nawozów	Woolf 2010; Mohan 2014
Leśnictwo	Stabilizacja gleb leśnych, sorpcja zanieczyszczeń, ograniczanie wymywania azotu	Woolf 2010; Tan 2015
Produkcja spożywcza	Oczyszczanie ścieków z zakładów spożywczych, kontrola odorów, filtracja	Tan 2015; Hossain 2011
Obornik i odpady rolnicze	Stabilizacja materii organicznej, redukcja odorów, wiązanie amoniaku	Mohan 2014; Woolf 2010
Metalurgia	Reduktor w procesach żelaza, częściowy zamiennik koksu	Babich 2021

TAB. 3
Kluczowe zastosowania przemysłowe biowęgla według branż

odpady i poprawiać efektywność procesów. Jego elastyczność technologiczna i niskie koszty sprawiają, że może stać się jednym z kluczowych elementów przemysłowej transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej.

Literatura

- [1] Fawzy S., Osman A. I., Yang H., Rooney D. W. Industrial biochar systems for atmospheric carbon removal. *Environmental Chemistry Letters* (2021). <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-021-01210-1>
- [2] Barbhuiya, S., Bhusan Das, B., Kanavaris, F., 2024. Biochar-concrete: A comprehensive review of properties, production and sustainability. *Case Studies in Construction Materials* 20, e02859. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e02859>
- [3] Lehmann, J., Barrios, E., Devault, M., Li, L., Nelson, R., Six, J., Trimmer, J., 2025. Biochar in the circular bionutrient economy. *Proc Natl Acad Sci U S A* 122, e2503668122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2503668122>
- [4] Talwar, P., Agudelo, M.A., Nanda, S., 2025. Pyrolysis Process, Reactors, Products, and Applications: A Review. *Energies* 18, 2979. <https://doi.org/10.3390/en18112979>
- [5] Fawzy S. et al. Atmospheric carbon removal via industrial biochar systems. *Journal of Cleaner Production* (2022). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622032383>
- [6] Almeida A. et al. Effects of pyrolysis conditions on biochar properties. *Frontiers in Materials* (2022). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2022.870184/full>
- [7] Zhan, D., Ye, A., Hou, T., 2023. Research progress on biochar-based material adsorption and removal of ibuprofen. *Front. Environ. Sci. II*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1327000>
- [8] Mohan D. et al. Biochar production and applications. *Bio-resource Technology* (2014). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413018054>
- [9] Tan X. et al. Biochar as a low-cost adsorbent. *Chemical Engineering Journal* (2015). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894715008498>
- [10] Gupta S. et al. Biochar as cement additive. *Construction and Building Materials* (2022). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822003766>
- [11] Qiu B. et al. Biochar-derived carbons for electrochemistry. *J. Mater. Chem. A* (2014). <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/ta/c3ta13792a>
- [12] Li H. et al. Removal of heavy metals by biochar. *Chemosphere* (2017). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517309241>
- [13] Mukherjee A., et al. "Synthesis of Biochar from Lignocellulosic Biomass for Environmental Applications: A Review." *Frontiers in Materials* 2022. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2022.870184/full>
- [14] Lv M.Y., et al. "Sludge-Derived Biochar: A Review on the Influence of Pyrolysis Conditions and Its Applications." *Archives of Environmental Protection* 2023. <https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta.element.baztech-9548c87c-9c90-4e5c-b9b7-cf93da9c04f7>
- [15] Ong C.K., et al. "Biomass-Based Biochar as an Adsorbent for Wastewater Treatment." *Chemical Engineering Transactions* 2024. <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET24114090>
- [16] Hossain M.K. et al. Biochar from sewage sludge. *Waste Management* (2011). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11002625>
- [17] Mayilswamy S., Jayanthi K., Vennila V., Govarthanan M. Sludge-derived biochar: physicochemical characteristics and environmental implications. *Applied Physics Reviews* (2023). Link: <https://pubs.aip.org/aip/apr/article/10/2/021312/2885975>
- [18] Ren Y., Li J., Zhang H., Zhao F. Tuning electronic and pore structures of nitrogen-enriched biochar for enhanced electrochemical performance. *ACS Omega* (2025). <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c07083>
- [19] Harsono S. S., Shackley S., Robledo-Abad C. Energy and greenhouse gas balance of biochar systems. *Biomass & Bioenergy* (2013). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413003504>
- [20] Gaunt J. L., Lehmann J. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental Science & Technology* (2008). <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es071361i> ■



Andrzej Szczęśniak

niezależny ekspert rynku gazu i paliw

Energetyczna agencja w oku cyklonu

Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) zmieniła ostatnio kurs – z ratowania klimatu na tradycyjny, dopuszczający paliwa kopalne. Według nowej prognozy, z obecnych 100 milionów baryłek dziennie popyt na ropę naftową ma rosnąć do 2050 roku, osiągając 130 mln b/d. IEA odsunęła o 20 lat widmo Peak Oil, którym od lat straszyla nafciarzy.

Agencja ostatnimi laty opowiadała wciąż bajki o zeroemisyjnym wzroście, podczas gdy zużycie paliw kopalnych i emisje CO₂ wciąż się zwiększały. Przez ostatnie lata odstraszała też kapitał od ropy naftowej i paliw kopalnych, wprost zachęcając do porzucenia tych inwestycji, by zrealizować cele Szczytu Paryskiego. Dezawuowała nawet swój sztandarowy raport: „Złota era gazu” z 2011 roku, będący jednak produktem poprzedniego wcielenia Agencji. Minęło bowiem już 10 lat, gdy oficjalnie przyjęła całkowicie klimatyczną agendę działania, głęboko zapędzając się w zielony zaulek. W 2020 roku zmieniła metodologię prognoz i za ich podstawę przyjęła strategię deklarowane przez państwa dążące do zeroemisyjności. Modele prognostyczne (już samo to słowo powinno zapalać czerwoną lampkę u Czytelnika) pracowały w oparciu o deklaracje, nie o fakty.

Takimi sztuczkami metodologicznymi, zwanymi scenariuszami, Agencja zmieniała długoterminowe prognozy na niekorzyść paliw kopalnych. Zastrzegając się oczywiście, że to nie prognoza, żeby nie można było jej oskarżyć o wprowadzanie w błąd. Jednak z daleka czuć było manipulację na globalną skalę – wybór bazy danych dla scenariuszy decydował o wyniku. Teraz IEA, odsuwając w czasie preferowaną poprzednio wizję Peak Oil, wróciła do wcześniejszej bazy realnych danych energetycznych.

Oczywiście po takich prognozach, opartych na totalnie „zakręconych” scenariuszach, wszelkiej maści eksperci w mediach bezustannie powtarzali: „peak oil”, „gas peak”, „spadek zużycia jest nieuchronny” itd. itp. W końcu to najważniejsza energetyczna instytucja badawcza i statystyczna, a jej raporty są wyjątkowo wpływowe. Nafciarzy doprowadzało to do szewskiej pasji – Agencja spychała tę branżę w niebyt. Powodowała ucieczkę kapitału – kto będzie inwestować w przemysł, który już za chwilę zacznie obumierać?

Rewolucyjna zmiana nastawienia tej instytucji dokonana się pod ostrą presją Amerykanów, którzy mieli już serdecznie dość ciągłego rzucania im kłód pod

nogi. W końcu to najwięksi producenci i eksporterzy ropy naftowej oraz gazu ziemnego. Prognozy szczytu zapotrzebowania na ropę na 2030 rok były nazywane „absurdem” przez sekretarza USA ds. energii Chrisea Wrighta. Oskarżał on IEA o porzucenie misji zapewnienia globalnego bezpieczeństwa energetycznego i odejście od obiektywizmu. Zamiast dostarczać informację o podaży i popycie energii, uprawiała upolitycznioną propagandę energii odnawialnej. USA zagroziły wyjściem z Agencji, o ile ta nie zaprzestanie być „cheerleaderką” zielonej agendy.

Słowa słowami, ale Amerykanie poszli dalej – zdecydowali się zablokować finansowanie. To poważna sprawa dla tej organizacji, ponieważ płacą oni za sporą część jej działalności. Trudno dokładnie powiedzieć ile, bo IEA nie jest wzorem przejrzystości finansowej. Nie ma otwartego, dostępnego budżetu z dochodami i wydatkami. Nie są publikowane dane o składkach członkowskich organizacji. Ale wiadomo, że Waszyngton płaci bardzo dużo. Więc jego głos najbardziej się liczy.

Gdy rządził Joe Biden, Agencja produkowała raporty proponujące zakończenie poszukiwań i wydobywania ropy i gazu, by spełnić wymagania Porozumienia Paryskiego. Donald Trump wycofał Stany Zjednoczone z tego paktu, a teraz wziął Agencję na celownik. W ten sposób znalazła się w oku politycznego cyklonu. Amerykanie ostro naciskają na zamkniętych spotkaniach (na otwartych nic ciekawego się przecież nie dzieje), by instytucja ta „wróciła do korzeni”. Sekują też wszelkie pomysły rozwoju zielonych inwestycji, co wywołuje bezsilną wściekłość Europejczyków, którzy już tylko odnawialną energią żyją, przynajmniej w marzeniach.

Efekty nacisku Ameryki już widać, nawet Fatih Birol – kiedyś turecki ekspert energetyczny, dzisiaj szef IEA i klimatyczna gwiazda, hołubiona przez media i polityków – przestał głośno mówić o zielonej energii na oficjalnych spotkaniach. Prognozy też coraz pomyślniejsze dla ropy, gazu, a może wkrótce także i dla węgla... Po prostu – ten, kto rządzi, decyduje, jaką melodię będą śpiewać czy to międzynarodowe instytucje, czy media.



WIĘCEJ FELIETONÓW W ZAKŁADCE
„ZDANIEM SZCZĘŚNIAKA” NA PORTALU
www.kierunekCHEMIA.pl

SCADVANCEXP®

Zabezpiecz infrastrukturę OT w zgodzie z NIS2

- ✓ Kompletne rozwiązanie
- ✓ Łatwa implementacja
- ✓ Polskie wsparcie



icsec.pl



WODOROWE WSPARCIE DLA GAZU KOKSOWNICZEGO

mgr inż. Mateusz Klejnowski

Politechnika Śląska, JSW KOKS S.A.

dr hab. inż. Katarzyna Stolecka-Antczak, prof. PŚ

Politechnika Śląska

Współczesny przemysł stoi przed wyzwaniem głębokiej dekarbonizacji. Jednym z obiecujących kierunków rozwoju jest wykorzystanie wodoru odnawialnego jako dodatku do gazu koksowniczego, w procesach produkcji energii i ciepła.

W obliczu rosnących wymagań regulacyjnych oraz presji społecznej na redukcję emisji gazów cieplarnianych, sektory: przemysłu ciężkiego i energetyczny poszukują rozwiązań, które pozwolą na ograniczenie emisji CO₂ bez gruntownej przebudowy istniejącej infrastruktury technicznej. Jednym z obiecujących kierunków jest wykorzystanie

wodoru odnawialnego jako dodatku do paliw gazowych (w tym gazu koksowniczego) w procesach produkcji energii elektrycznej i ciepła.

Gaz koksowniczy, będący jednym z dwóch głównych produktów procesu koksowania węgla, charakteryzuje się wysoką zawartością wodoru (do 60% objętości), jednakże ze względu na obecność organicznych i nie-



**BATERIA
KOKSOWNICZA,**
w której
wytwarzany jest
gaz koksowniczy
[2]

organicznych związków węgla (między innymi metanu oraz tlenku węgla), jego spalanie wiąże się z emisją CO₂, co w kontekście polityki klimatycznej Unii Europejskiej stanowi istotny problem. Biorąc pod uwagę uwarunkowania Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (EU ETS), redukcja emisji CO₂ staje się kluczowa dla utrzymania konkurencyjności przemysłu koksowniczego [1].

Gaz koksowniczy – kiedyś i dziś

W przeszłości gaz koksowniczy, nazywany również gazem miejskim, szeroko stosowano w sieciach gazowych, zanim wykorzystywanie gazu ziemnego stało się powszechne. Był on podstawowym źródłem energii dla gospodarstw domowych w wielu miastach Europy, w tym w Polsce. Używano go do celów bytowych (gotowanie), jak również do celów komunalnych (ogrzewanie i oświetlenie). W XX wieku, w miarę postępu rozwoju technologicznego, gaz koksowniczy zaczął być używany w hutnictwie oraz w przemyśle chemicznym, jednakże z czasem jego znaczenie zaczęło stopniowo maleć, wraz z rosnącą dostępnością i konkurencyjnością gazu ziemnego.

Dziś gaz koksowniczy wykorzystuje się głównie lokalnie, a zakłady koksownicze zagospodarowują go najczęściej we własnym zakresie. Mając jednak na uwadze transformację energetyczną oraz dążenie do gospodarki obiegu zamkniętego, zastosowanie gazu koksowniczego koncentruje się na maksymalizacji efektywności energetycznej i ograniczaniu emisji przemysłowych [1].

Choć gaz koksowniczy pochodzi z procesu przetwarzania węgla, cechuje się najniższym wskaźnikiem emisji dwutlenku węgla spośród paliw kopalnych, w związku z czym jego wykorzystanie w nowoczesnych instalacjach energetycznych może wpisywać się w ideę zrównoważonego rozwoju. Poprzez efektywne zagospodarowanie omawianego paliwa można ograniczyć emisję gazów cieplarnianych i zmniejszyć zużycie innych paliw kopalnych. W kontekście transformacji energetycznej gaz koksowniczy może, podobnie jak gaz ziemny, pełnić rolę paliwa przejściowego między energetyką konwencjonalną a tą opartą na odnawialnych źródłach energii i paliwach alternatywnych. Ponadto mieszanie gazu koksowniczego z wodorem odnawialnym, wytwarzanym przykładowo w procesie elektrolizy z wykorzystaniem energii odnawialnej, może dodatkowo obniżyć wpływ branży koksowniczej na środowisko naturalne [3].

Techniczne aspekty mieszania gazu koksowniczego z wodorem

Wodór jest paliwem, które nie generuje bezpośredniej emisji CO₂ w procesie spalania. Niemniej aktualnie najpowszechniejszą metodą jego produkcji na świecie jest reforming parowy metanu (SMR – Steam Methane Reforming), który polega na reakcji metanu z parą wodną w wysokiej temperaturze, co wiąże się ze znaczącą emisją CO₂. Dodatkowo energia potrzebna



SUROWY GAZ KOKSOWNICZY jest oczyszczany w instalacjach oddziały węglowodórnych w celu jego zastosowania do procesów spalania [2]

do utrzymania wysokiej temperatury procesu często pochodzi z paliw kopalnych, co zwiększa całkowitą emisję. Jednym z filarów „Strategii w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu” jest włączenie wodoru do miksu energetycznego, przy czym optymalnie powinien to być tak zwany wodór odnawialny, czyli wytwarzany z wykorzystaniem energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Najczęściej uzyskuje się go poprzez elektrolizę wody, gdzie elektrolizer zasilany jest energią elektryczną pozyskiwaną z instalacji fotowoltaicznych lub turbin wiatrowych [4][5].

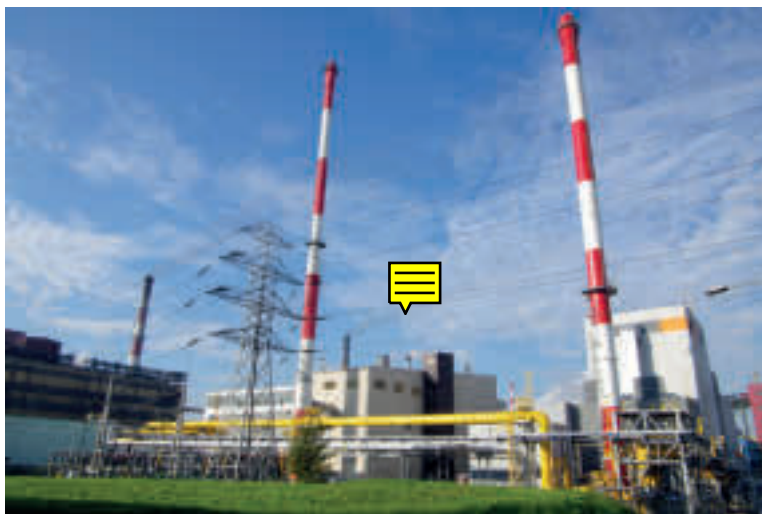
”

Blendowanie gazu koksowniczego z wodorem odnawialnym wpisuje się w polskie i europejskie regulacje oraz cele związane ze stopniową dekarbonizacją przemysłu

W przemyśle koksowniczym przedmiotem zainteresowania jest dodatek wodoru odnawialnego do gazu koksowniczego, który jest technicznie możliwy i coraz częściej rozważany w dyskusjach branżowych. Proces mieszania gazu koksowniczego z wodorem wymaga jednakże analizy kilku kluczowych czynników. Jednym z nich jest kompatybilność istniejących instalacji w zakresie spalania mieszaniny gazów o zmienionym składzie. Skład gazu koksowniczego ulega zmianie w czasie, co wynika przede wszystkim z rodzaju stosowanej bazy węglowej. Zmienność ta nie powinna stanowić problemu, jednak w dalszych analizach należy uwzględnić wysoką prędkość spalania oraz niską gęstość energii wodoru. Dodatkowo sam proces spalania powinien być nadzorowany pod kątem emisji NO_x,

szczególnie tak zwanych termicznych tlenków azotu, które mogą wzrosnąć przy wysokich temperaturach spalania wodoru.

Istotną rolę odgrywają tu kwestie bezpieczeństwa i higieny pracy, które w branży koksowniczej są niezwykle ważne, a wręcz kluczowe dla ochrony zdrowia i życia pracowników oraz dla zapewnienia ciągłości czy właściwego przebiegu procesów technologicznych. Jedną z istotnych właściwości wodoru, mającą wpływ na bezpieczeństwo jego stosowania, jest bardzo szeroki zakres stężeń, w których może ulec zapłonowi – od 4% do 75% w mieszaninie z powietrzem. Dodatkowo wodór charakteryzuje się skrajnie niską energią zapłonu, czyli minimalną ilością energii potrzebną do zainicjowania procesu spalania. Wartość ta wynosi zaledwie 0,02 mJ, co oznacza, że wodór może ulec zapłonowi znacznie łatwiej niż inne paliwa, których energia zapłonu jest ponaddziesięciokrotnie wyższa. Tak niski próg zapłonu sprawia, że nawet niewielki, niekontrolowany wyciek wodoru może prowadzić do pożaru. Co więcej, iskra inicjująca spalanie może powstać nie tylko na skutek zewnętrznych źródeł, ale również w wyniku tarcia przepływającego gazu lub oddziaływań elektrostatycznych [6].



BLOKI ENERGETYCZNE przystosowane są do spalania gazu koksowniczego o zmiennych parametrach [2]

Perspektywy rozwoju pozostają obiecujące, ponieważ blendowanie gazu koksowniczego z wodorem odnawialnym wpisuje się w polskie i europejskie regulacje oraz cele związane ze stopniową dekarbonizacją przemysłu. W długoletniej perspektywie technologia ta może stać się jednym z filarów transformacji w sektorze koksowniczym i przemysłowych blokach energetycznych. Mieszanie gazu koksowniczego z wodorem odnawialnym to innowacyjne podejście, które pozwala na ograniczenie emisji CO₂, bez konieczności gruntownej przebudowy istniejącej infrastruktury technicznej. Łączy ono zalety gospodarki wodorowej z efektywnym wykorzystaniem gazów procesowych. W kontekście rosnących wymagań klimatycznych i ekonomicznych jest to kierunek wart dalszego rozwoju, zarówno na poziomie krajowym, jak i europejskim [5][7].

Praca została zrealizowana przy wsparciu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu Doktorat wdrożeniowy VII M(I) (grant nr 08/050/SDW23/0335): „Wzbogacanie gazu koksowniczego w wodór odnawialny w celu redukcji emisji CO₂ z przemysłowych jednostek wytwórczych”.

”

Gaz koksowniczy może, podobnie jak gaz ziemny, pełnić rolę paliwa przejściowego między energetyką konwencjonalną a tą opartą na odnawialnych źródłach energii i paliwach alternatywnych

Perspektywy rozwoju

Dodatek wodoru odnawialnego do gazu koksowniczego w procesach spalania może przynieść wiele korzyści. Przede wszystkim pozwala na zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, a skala tej redukcji zależy od ilości wodoru w nowej mieszaninie gazów. Co istotne, nie jest potrzebna gruntowna przebudowa infrastruktury technicznej, gdyż istniejące sieci gazowe oraz instalacje spalania są zasadniczo przystosowane do pracy z paliwem o zmiennym składzie, co znacząco ogranicza koszty transformacji.

Mimo tych zalet wdrożenie technologii mieszania gazu koksowniczego z wodorem wiąże się jednak z pewnymi wyzwaniami. Koszt wytwarzania wodoru odnawialnego wciąż pozostaje wysoki, a z biznesowego punktu widzenia jego produkcja powinna być tańsza niż zakup uprawnień do emisji CO₂. Istnieje również potrzeba opracowania stosownych przepisów i norm dotyczących wodoru, w tym jego zastosowania w mieszaninach gazów.

Literatura

- [1] Babiński P. i in., Przystosowanie gazu koksowniczego do wykorzystania w energetyce i chemii, Polityka Energetyczna, 2012, s. 285-297.
- [2] Materiały własne JSW KOKS S.A., <https://www.jswkoks.pl/media/galerie-zdjec> (dostęp: 07.11.2025).
- [3] Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2021 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2024, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, Warszawa 2023.
- [4] Global Hydrogen Review 2024, International Energy Agency, 2024.
- [5] Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu, Komisja Europejska, Bruksela 2020.
- [6] Klejnowski M., Stolecka-Antczak K., The influence of hydrogen concentration on the hazards associated with the use of coke oven gas, Energies, 2024, vol. 17, nr 19, s. 1-16.
- [7] Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021. ■

Pompy do przepompowni przydomowych i ścieków komunalnych



KRAKEN 1800 DF 230 V

niezwykle skuteczny rozdrabniacz śrubowy

wbudowany wyłącznik pływakowy sterujący pracą pompy

możliwość podłączenia stopy sprzęgającej



HARPIA 1100 V

pompa wporowa
Harpia 1100

+
sterownik IPC 140 M
+
pływak



DAMBAT Jastrzębski S.K.A.

właściciel
marek



✉ www.dambat.pl
🌐 biuro@dambat.pl
☎ +48 22 721 11 92

TECHNOLOGIE NISKOEMISYJNE

w transporcie morskim

Agnieszka Czekala

koordynator ds. elektromobilności w Solar-Project

Karolina Majewska

doktorantka na Wydziale MEiL Politechniki Warszawskiej

Unia Europejska dostrzega i docenia potencjał drzemiący w wodorze jako alternatywnym źródle energii, które odgrywa kluczową rolę w transformacji systemu energetycznego – ale i np. transportu morskiego – w kierunku bardziej zrównoważonego, niskoemisyjnego i innowacyjnego.

W kontekście globalnych wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, rosnącym zapotrzebowaniem na czyste źródła energii oraz koniecznością dekarbonizacji emisyjnych sektorów gospodarki, wodór staje się jednym z najbardziej

obietujących i istotnych elementów przyszłej architektury energetycznej Unii Europejskiej.

Strategia Unii w zakresie rozwoju rynku wodoru opiera się na wieloaspektowym podejściu, które obejmuje zarówno wsparcie innowacji technologicznych,

jak i rozwój infrastruktury niezbędnej do szerokiego zastosowania tego surowca. W tym celu UE wprowadziła szereg programów finansowych, regulacyjnych oraz inicjatyw promujących inwestycje w badania i rozwój (B+R), mających na celu optymalizację procesów produkcji, magazynowania i dystrybucji wodoru. Dzięki temu ma powstać kompleksowy ekosystem, który pozwoli na zwiększenie jego udziału w miksie energetycznym, szczególnie w sektorach, które do tej pory były wyzwaniem dla polityki klimatycznej.

Europejskie regulacje

Kluczowym dokumentem strategicznym UE jest znany już Europejski Zielony Ład (European Green Deal), stanowiący ramy polityczne i prawne dla długoterminowego rozwoju zrównoważonej gospodarki UE. W ramach tego dokumentu wyraźnie podkreśla się m.in. konieczność zwiększenia udziału wodoru, zwłaszcza zielonego, w europejskim systemie energetycznym.

Kolejną normą prawną jest Strategia Wodorowa Unii Europejskiej, w której zawiera się Europejski Plan Wodorowy (European Hydrogen Strategy), mający na celu wyznaczenie konkretnych celów ilościowych, technologicznych i finansowych. Dokument ten podkreśla, że rozwój sektora wodoru jest nie tylko konieczny dla osiągnięcia wymogów klimatycznych, ale również stanowi ważny element strategii gospodarczej UE, mającej na celu zwiększenie konkurencyjności europejskiego przemysłu na globalnym rynku nowoczesnych technologii energetycznych.

Transport morski

Kwestie samej formy rozwoju, nałożenia ram czasowych i realizacji planu w formie umożliwienia tankowania wodorem różnych środków transportu reguluje rozporządzenie AFIR (Accelerating the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure). Odgrywa ono istotną rolę w kształtowaniu ram prawnych i regulacyjnych dla rozwoju tej infrastruktury, zwłaszcza w zakresie stacji tankowania i transportu morskiego. Rozporządzenie AFIR ma na celu przyspieszenie rozwoju infrastruktury dla alternatywnych źródeł energii, w szczególności wodoru. Przewiduje mechanizmy wsparcia finansowego i zachęty dla inwestorów, co ma na celu zwiększenie liczby punktów tankowania wodoru. Implementacja rozporządzenia napotyka jednak na liczne wyzwania, które można sklasyfikować w obszarach technologicznych, bezpieczeństwa, regulacyjno-administracyjnych oraz logistyczno-rynkowych.

Rozwój i strategia

Rozwój infrastruktury jest warunkiem koniecznym, aby wodór mógł być dostępny na dużą skalę i wykorzystywany w transporcie, energetyce oraz przemyśle. W tym obszarze Unia Europejska współpracuje z państwami członkowskimi, sektorem

prywatnym i instytucjami badawczymi. Szczegółne znaczenie ma tu transport morski – rozporządzenie AFIR przewiduje rozwój portów jako strategicznych węzłów logistycznych, wyposażonych w instalacje do przeładunku i magazynowania wodoru. Dokument wprowadza również standardy techniczne i zasady bezpieczeństwa dla jego przewozu, obejmujące kontenery, cysterny oraz statki specjalistyczne. Regulacje dotyczą zarówno wodoru skroplonego i gazowego, jak i jego konwersji do innych nośników energii, np. amoniaku.

Realizacja założeń AFIR ma przebiegać etapami. W krótkiej perspektywie (2024-2026) planowane jest rozpoczęcie inwestycji w kluczowych portach i na głównych szlakach transportowych, przy jednoczesnym ustanowieniu podstawowych norm bezpieczeństwa i uruchomieniu instrumentów wsparcia finansowego. W średnim okresie (2027-2030) przewidziano rozbudowę sieci stacji tankowania i instalacji portowych w całej UE, zwiększenie liczby jednostek i kontenerów przystosowanych do przewozu wodoru oraz stymulowanie rynku poprzez rosnący popyt oraz konkurencyjność. W perspektywie długoterminowej, po 2030 roku, celem jest pełna integracja infrastruktury wodorowej z systemem energetycznym UE, utrzymanie wysokiego poziomu bezpieczeństwa i interoperacyjności oraz osiągnięcie zakładanych efektów dekarbonizacji transportu morskiego i lądowego.

”

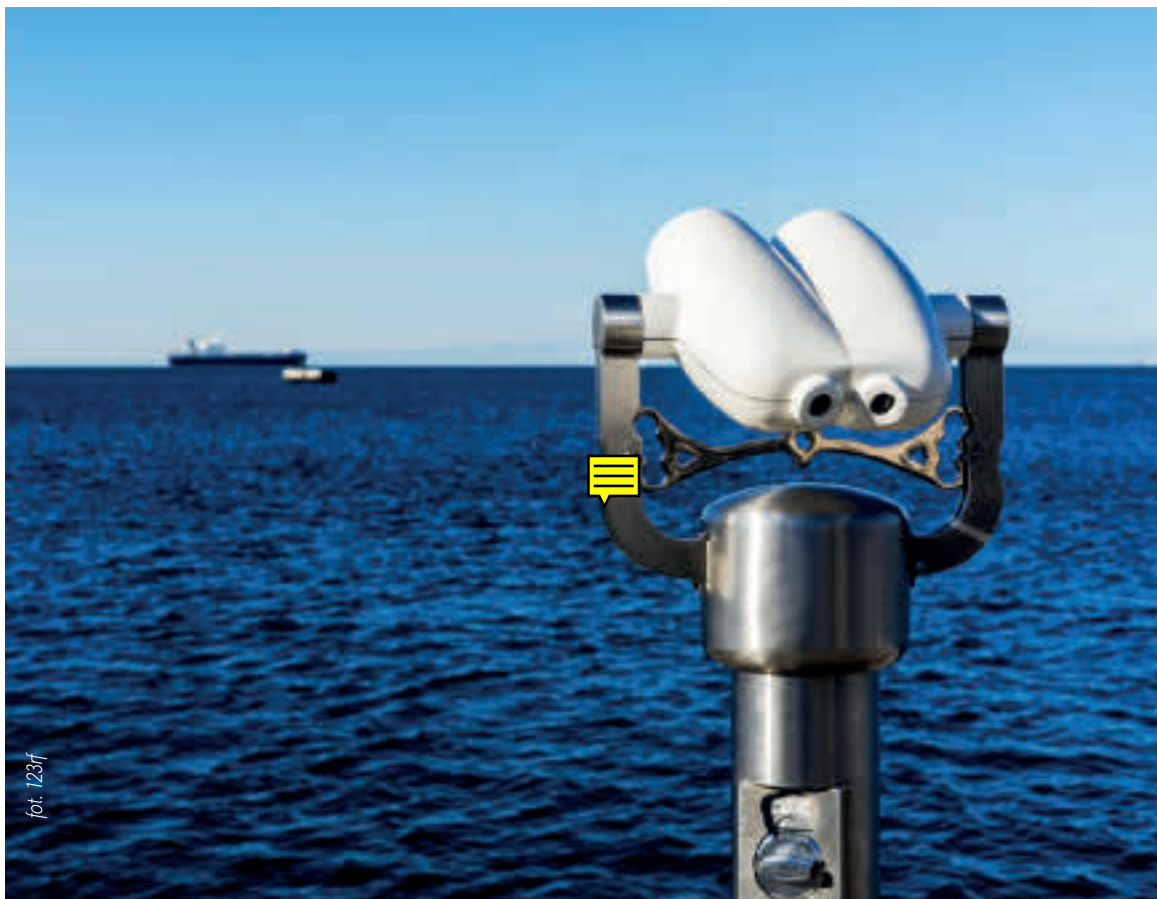
Rozwój infrastruktury jest warunkiem koniecznym, aby wodór mógł być dostępny na dużą skalę i wykorzystywany w transporcie, energetyce oraz przemyśle

System OPS jako szansa

W 2030 roku UE planuje wprowadzenie rozporządzenia zobowiązującego do korzystania z systemów OPS (On-Board Passenger Safety Systems) podczas postoju statków w portach. Celem jest zmniejszenie emisji spalin, w tym ograniczenie emisji CO₂, o ponad milion ton rocznie. System OPS to zaawansowane rozwiązanie monitorujące i koordynujące działania na pokładzie, zapewniające szybką reakcję na sytuacje awaryjne, ewakuację oraz komunikację z portowymi służbami ratowniczymi. Implementacja tych systemów wpisuje się w szeroką strategię unijną na rzecz cyfryzacji, automatyzacji i zrównoważonego rozwoju transportu morskiego. Co istotne, OPS może stanowić impuls do rozbudowy infrastruktury tankowania

**PATRZĄC
W PRZYSZŁOŚĆ**

Wodór może stać się ważnym elementem dekarbonizacji żeglugi, choć prawdopodobnie w tandemie z innymi rozwiązaniami



wodoru w portach, ponieważ zastosowanie tego paliwa wymaga odpowiednich rozwiązań technicznych i bezpieczeństwa.

Wdrożenie wspomnianego systemu wspiera działania na rzecz redukcji emisji, optymalizacji tras oraz ograniczenia zużycia paliwa. Przykładem innowacyjnego podejścia jest pilotaż realizowany od 2023 roku w Szwecji przez firmę Stena Line, obejmujący testy mobilnych stacji tankowania wodoru dla statków. Takie rozwiązanie umożliwia elastyczne zaopatrzenie jednostek bez konieczności budowy kosztownej, stałej infrastruktury portowej, co przyspiesza proces wdrażania technologii. Dzięki znacznym zasobom energii odnawialnej Szwecja ma szansę stać się jednym z liderów w produkcji i zastosowaniu wodoru w żegludze, przyczyniając się jednocześnie do realizacji europejskich celów zrównoważonego rozwoju i dekarbonizacji.

Ogniwa paliwowe i nowe technologie

Transport morski należy do sektorów gospodarki o znaczącym udziale w emisji CO₂, dlatego coraz większe zainteresowanie budzi wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego. Zasilanie ogniwami paliwowymi pozwala wytwarzać na statku energię elektryczną bez emisji dwutlenku węgla – produktem reakcji wodoru z tlenem jest jedynie para wodna i ciepło. Dzięki temu napęd wodorowy eliminuje emisję CO₂, tlenków

azotu oraz pyłów na etapie eksploatacji. Rozwiązania te są już testowane w praktyce: amerykański prom Sea Change, mogący przewieźć 75 pasażerów, jako pierwszy otrzymał zgodę władz na komercyjne rejsy zasilane wyłącznie ogniwami wodorowymi. W Norwegii działa MF Hydra – pierwszy na świecie prom pasażersko-samochodowy napędzany skroplonym wodorem, a w Japonii oddano niedawno do użytku jednostkę HANARIA, hybrydowy statek pasażerski, który w trybie wodorowym funkcjonuje całkowicie bezemisyjnie.

Najbardziej obiecującą technologią jest połączenie ogniwa paliwowego PEM z silnikiem elektrycznym. Ogniwo przekształca wodór w energię elektryczną, która zasila napęd okrętu, eliminując konieczność spalania tradycyjnego paliwa. Wymaga to jedynie zbiornika na skroplony wodór (często w formie kontenerów) oraz systemu regazyfikacji. Równolegle rozwijane są rozwiązania hybrydowe, łączące ogniwa z bateriami i agregatem diesla jako źródłem rezerwowym. Alternatywnie wodór można spalać bezpośrednio w silnikach spalinowych, choć ta technologia charakteryzuje się niższą sprawnością i wciąż generuje emisje NO_x.

Wodór znajduje też zastosowanie w produkcji paliw alternatywnych, takich jak zielony amoniak czy metanol, oraz w zasilaniu systemów pomocniczych jednostek pływających. Przykładem jest francuski sta-

tek badawczy Energy Observer, który dzięki panelom fotowoltaicznym i elektrolizie wody samodzielnie wytwarza wodór, a następnie wykorzystuje go w ogniwie paliwowym. Pozwala to na całkowicie bezemisyjne, samowystarczalne rejsy.

Więcej niż jedno rozwiązanie

Warto podkreślić, że stosowane dziś głównie w generatorach stacjonarnych i samochodach osobowych ogniwa PEM nie są jedyną opcją dla żeglugi. Coraz częściej rozważa się również wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe, takie jak SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) czy MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells), dotychczas analizowane głównie pod kątem przemysłu energetycznego. W przeciwieństwie do ogniw PEM, które pracują w niskiej temperaturze i wymagają czystego wodoru, technologie SOFC i MCFC charakteryzują się dużą elastycznością paliwową – mogą wykorzystywać amoniak, metanol, biogaz, a nawet przetworzony gaz ziemny (po odpowiednim reformingu). Szczególnie amoniak zyskuje znaczenie jako nośnik wodoru, ponieważ jest łatwiejszy w transporcie i magazynowaniu niż sam wodór.

W warunkach morskich wysokotemperaturowe ogniwa oferują szereg zalet: wysoką sprawność (sięgającą powyżej 60%), możliwość pracy w układzie kogeneracyjnym (jednoczesna produkcja energii elektrycznej i ciepła) oraz niższe emisje zanieczyszczeń. W przypadku ogniw MCFC kluczowe jest podawanie CO₂ bezpośrednio do ogniwa, co warunkuje stabilność procesu i generowanego napięcia. Ta właściwość otwiera dodatkowe perspektywy – technologię można łączyć z systemami wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS/CCUS), a odzyskany CO₂ wykorzystywać do zasilania statków.

Badania i rozwój

Technologia ogniw paliwowych dla żeglugi rozwija się w szybkim tempie. Najwięksi armatorzy kontenerowi, tacy jak Maersk, CMA CGM czy MSC, testują już paliwa wodorowe i składają zamówienia na statki nowej generacji z napędem opartym na wodorze. Równolegle powstają pojazdy portowe i urządzenia lądowe – od wózków widłowych, po nabrzeżne agregaty – które również korzystają z tego źródła energii. Wprowadzane są nowe normy bezpieczeństwa i programy szkoleniowe, a towarzystwa klasyfikacyjne i instytuty badawcze opracowują procedury certyfikacji systemów wodorowych.

Na poziomie technicznym rozwijane są koncepcje bunkrowania wodoru, m.in. w oparciu o dostawę skroplonego H₂, oraz integracji ogniw paliwowych z istniejącymi systemami napędowymi. Przykładem jest japoński projekt demonstracyjny NYK Super Eco Ship, w którym planuje się wykorzystanie ogniw SOFC zasilanych amoniakiem. W Europie realizuje się natomiast programy badawcze, takie jak MARANDA czy ShipFC, testujące wysokotemperaturowe ogniwa

paliwowe w jednostkach roboczych i offshore'owych.

Choć wciąż istotnym wyzwaniem pozostają wymagania dotyczące temperatury pracy, wytrzymałości materiałów czy bezpiecznej obsługi amoniaku, to potencjał tej technologii dla żeglugi dalekomorskiej jest ogromny. Ogniwa wysokotemperaturowe mogą stać się kluczowym źródłem stabilnej i niezależnej energii dla ciężkich jednostek, zapewniając wysoką moc bez kompromisu dla środowiska.

Zalety i perspektywy

Największą zaletą wodorowych ogniw paliwowych w żegludze jest brak emisji spalin. Oznacza to nie tylko redukcję śladu węglowego, lecz także mniejsze zanieczyszczenie powietrza i niższy poziom hałasu – ogniwa działają cicho i bez charakterystycznego zapachu spalin. Dodatkowo wodór ma wyższą gęstość energetyczną masową niż baterie, co umożliwia dłuższe rejsy przy stosunkowo mniejszych (choć nadal znaczących) zbiornikach. Rosnące zainteresowanie sektora i regulacje klimatyczne sprzyjają rozwojowi takich rozwiązań. Norwegia zapowiedziała, że do 2026 roku wszystkie promy i łodzie pasażerskie kursujące we fiordach mają być bezemisyjne. Według raportu DNV w 2023 roku zamówiono już 298 statków z napędem alternatywnym (m.in. LNG, metanol, amoniak), co świadczy o przyspieszeniu procesu dekarbonizacji żeglugi. Choć obecnie dominuje LNG i metanol, coraz wyraźniej widać, że armatorzy traktują także wodór jako paliwo przyszłości.

”

Największą zaletą wodorowych ogniw paliwowych w żegludze jest brak emisji spalin, a także mniejsze zanieczyszczenie powietrza i niższy poziom hałasu

Wyzwania i ograniczenia

Mimo rosnącego zainteresowania, technologia wodorowa w żegludze wciąż wiąże się z poważnymi wyzwaniami. Magazynowanie wodoru – skroplonego w ekstremalnie niskich temperaturach lub sprężonego – wymaga specjalistycznych, szczelnych zbiorników, co znacząco podnosi koszty konstrukcji i ogranicza przestrzeń ładunkową. Eksperci zwracają uwagę, że takie rozwiązania niosą ze sobą istotne ograniczenia zarówno pod względem bezpieczeństwa, jak i dostępnej powierzchni na statku.

Dodatkowym problemem jest bezpieczeństwo eksploatacji: wodór łatwo się ulatnia i ma szeroki zakres wybuchowości, dlatego konieczne są nowe

procedury oraz rygorystyczne normy. Wysokie pozostają także koszty wdrożenia, obejmujące nie tylko same ogniwa paliwowe, lecz również rozwój infrastruktury portowej, w tym stacji bunkrowania czy elektrolizerów produkujących zielony wodór. Na obecnym etapie paliwo to jest nadal droższe od paliw kopalnych, a pełna dekarbonizacja wymaga, by wodór był wytwarzany wyłącznie ze źródeł odnawialnych.

Mimo wspomnianych wyzwań, postęp technologiczny jest w omawianym obszarze niezwykle dynamiczny, a więc na przestrzeni kilku lat należy spodziewać się znacznych zmian w zakresie wykorzystania technologii wodorowych w wielu sektorach gospodarki. Koszty ogniw paliwowych i produkcji wodoru sukcesywnie maleją, pojawiają się też nowe materiały magazynujące H₂. Na morzu testowane są kolejne jednostki wodorowe – od niewielkich jachtów, przez promy, aż po duże statki specjalistyczne (np. niedawno zbudowany norweski statek offshore z 2 MW ogniwem paliwowym). W perspektywie można też łączyć wodór z bateriami: np. hybrydowe systemy pływające łączą baterie i ogniwa, co zwiększa elastyczność napędu. Prace badawcze i regulacyjne będą nadal doskonalić tę technologię. Ostatecznie wodór może stać się ważnym elementem dekarbonizacji żeglugi, choć prawdopodobnie w tandemie z innymi rozwiązaniami.

Literatura

1. IDTechEx Report – Fuel Cell Boats & Ships 2023–2033 Raport rynkowy omawiający technologie PEMFC, SOFC, wykorzystanie wodoru i amoniaku w żegludze. <https://www.idtechex.com/en/research-report/fuel-cell-boats-and-ships-2023-2033-pemfc-sofc-hydrogen-ammonia-lng/907>
2. Frontiers in Marine Science (2025) – Hydrogen-powered vessels in green maritime decarbonization Artykuł naukowy o wdrożeniach statków wodorowych i roli regulacji środowiskowych. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2025.1601617/full>
3. ScienceDirect (2024) – Fuel cell and hydrogen in maritime application: A review on aspects... Przegląd aktualnych badań nad wodorem i ogniwami paliwowymi w transporcie morskim. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138823001741>
4. ScienceDirect (2024) – Direct ammonia SOFC – A potential technology for green shipping Analiza technologiczna SOFC na amoniak – reforming, sprawność i potencjał wdrożenia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236124003855>
5. ScienceDirect (2024) – Case study of an ammonia-powered fuel cell system implementation Studium przypadku wdrożenia systemu SOFC zasilanego amoniakiem na statku. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174524000667>
6. Springer (2024) – Recent progress of direct ammonia fuel cells: from materials to... Przegląd postępów materiałowych w ogniwach paliwowych zasilanych bezpośrednio amoniakiem (głównie SOFC). <https://link.springer.com/article/10.1007/s12598-024-03126-5>
7. Ammonia Energy Association – Maritime ammonia: fuel cell propulsion systems... Artykuł o projekcie ShipFC – 2 MW SOFC na amoniak na statku Viking Energy. <https://ammoniaenergy.org/articles/maritime-ammonia-fuel-cell-propulsion-systems-carriers-bunkering-in-germany/>
8. Power Systems Research (2023) – Ammonia-Powered Fuel Cell Developed for Deep Sea Shipping Informacje o praktycznym zastosowaniu ogniw SOFC zasilanych amoniakiem. <https://www.powersys.com/2023/07/ammonia-powered-fuel-cell-developed-for-deep-sea-shipping/>
9. MDPI Energies (2021) – Review on the Safe Use of Ammonia Fuel Cells in the Maritime... Bezpieczeństwo i wyzwania związane z użyciem amoniaku jako paliwa w ogniwach morskich. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/11/3023>
10. Nordic Energy Research – Use of ammonia as fuel in fuel cells in maritime frameworks Raport na temat użycia amoniaku w ogniwach paliwowych – infrastruktura, ryzyko, potencjał. <https://www.nordicenergy.org/word-press/wp-content/uploads/2022/05/AEGIR.pdf>
11. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2023/1804 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych i uchylenia dyrektywy 2014/94/UE
12. ACER 2020. ACER Report on NRAs Survey – Hydrogen, Biomethane, and Related Network Adaptations. Lublana: Agency for Cooperation of Energy Regulators (ACER).
13. Barnes, A. 2020. Can the current EU regulatory framework deliver decarbonisation of gas? The Oxford Institute for Energy Studies, Energy Insight No. 71. [Online] <https://www.oxfordenergy.org/p...>
14. Directive EC 2009. Directive 2009/73/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in natural gas and repealing Directive 2003/55/EC (OJ L 211, 14.8.2009, p. 94–136).
15. EC 2019. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “The European Green Deal”. European Commission. Brussels, 11.12.2019, COM(2019) 640 final.
16. EC 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe”. European Commission. Brussels, 8.7.2020, COM(2020) 301 final.
17. MCE 2021. Polish hydrogen strategy until 2030 with a perspective until 2040 – project (Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. – projekt). Ministry of Climate and Environment (Ministerstwo Klimatu i Środowiska).
18. Zhuk A.Z., Shkolnikov E.I., Borodina T.I., Valiano G.E., Dolzhenko A.V., Kiseleva E.A., Kochanova S.A., Filippov E.D., Semenova V.A., Aluminium – Water hydrogen generator for domestic and mobile application, Elsevier, Applied Energy 334 (2023) 120693.
19. Xia Zetao, Shen Yue, Wanga Yihua, Poh Chee Kok, Lin Jianyi, Development of a portable hydrogen generator with differential pressure-driven control, international journal of hydrogen energy 39 (2014) 16187e16194. ■

OCZYSZCZALNIA PRZYSZŁOŚCI

Filar Niebiesko-Zielonego Ładu

Klara Ramm

Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Politechnika Warszawska

Niebieski i Zielony Ład to dwie komplementarne koncepcje rozwoju Unii Europejskiej, które wyznaczają kierunek transformacji środowiskowej, gospodarczej i społecznej. W tym szerokim planie przemian gospodarka wodno-ściekowa odgrywa szczególną rolę.

Koncepcje rozwoju Unii Europejskiej obejmują propozycje koncentrujące się na ochronie zasobów wodnych, zachowaniu różnorodności biologicznej oraz adaptacji do zmian klimatu, a ich nadrzędnym celem jest wzmocnienie odporności ekosystemów oraz poprawa jakości życia mieszkańców Europy. W tym szerokim planie przemian gospodarka wodno-ściekowa odgrywa szczególną rolę, ponieważ to właśnie w niej spotykają się kluczowe wyzwania dotyczące wody, energii, zdrowia publicznego i ochrony środowiska. Współczesne warunki klimatyczne Europy: nasilające się susze, powodzie, zanieczyszczenia oraz rosnąca presja ze strony przemysłu i rolnictwa, wymuszają radykalną zmianę myślenia o gospodarce ściekowej. Tradycyjny model „zbierz – oczyszcz – odprowadź” staje się niewystarczający, a jego miejsce zajmuje model cyrkularny, w którym ścieki traktowane są jako źródło zasobów, energii i biomasy.

Podstawą wspólnotowego podejścia do ochrony zasobów wodnych jest zestaw trzech strategicznych dokumentów UE: Strategia odporności gospodarki wodnej, Strategia na rzecz różnorodności biologicznej do 2030 r. oraz Strategia adaptacji do zmian klimatu.

Razem wyznaczają one spójną wizję odtwarzania ekosystemów, lepszego zarządzania wodą oraz budowania odporności społeczeństw na skutki zmian klimatu i zanieczyszczenia środowiska.

Strategia na poważny kryzys wodny

Strategia odporności gospodarki wodnej (Water Resilience Strategy) przedstawia kompleksowy plan przygotowania Europy na coraz poważniejszy kryzys wodny. Podkreśla, że woda staje się zasobem strategicznym, a jej dostępność wpływa zarówno na dobrostan mieszkańców, jak i na przyszłość europejskiej gospodarki. Dokument przewiduje działania na rzecz odbudowy ekosystemów wodnych, zwiększenia retencji naturalnej, ochrony wód podziemnych oraz ograniczenia presji wynikającej z rosnącego zapotrzebowania na wodę w przemyśle, energetyce i rolnictwie.

Kluczowym elementem strategii jest adaptacja do skutków zmian klimatu: coraz częstszych susz, fal upałów i powodzi. Oznacza to konieczność modernizacji infrastruktury wodno-ściekowej oraz inwestycji w systemy monitorowania, cyfryzację i rozwiązania bazujące na przyrodzie, takie jak renaturyzacja rzek,

fol. 123rf

odtworzenie mokradeł czy poszerzanie obszarów zielonej infrastruktury miejskiej. Strategia promuje racjonalne zużycie wody, ograniczanie strat w systemach dystrybucji oraz rozwój technologii zmniejszających presję na zasoby. Jednocześnie w dokumencie podkreślono, że dostęp do wody i urządzeń sanitarnych jest prawem człowieka, a tym samym bezpieczeństwo wodne stanowi fundament dobrostanu społeczeństw.

Strategia zwraca również uwagę na gospodarcze aspekty kryzysu wodnego, niedobór wody już dziś stanowi bowiem zagrożenie dla europejskiej konkurencyjności, a w przyszłości może ograniczać rozwój kluczowych sektorów, szczególnie energochłonnego przemysłu i rolnictwa. Właśnie dlatego dokument podkreśla wagę rozwoju badań, innowacji oraz edukacji, które mają pozwolić na efektywne zarządzanie wodą i przygotowanie Europy na nowe warunki klimatyczne.

Na rzecz różnorodności

Drugim filarem środowiskowych działań UE jest Strategia na rzecz różnorodności biologicznej 2030 (Biodiversity Strategy). Stan przyrody na kontynencie znacząco się pogorszył wskutek zmian klimatu, intensywnej gospodarki, urbanizacji i zanieczyszczeń. Strategia zakłada zahamowanie utraty gatunków oraz odbudowę ekosystemów poprzez objęcie 30% obszarów lądowych i morskich UE ochroną, z czego 10% ma pozostawać pod ochroną ścisłą.

Priorytetem jest zachowanie najbardziej wartościowych przyrodniczo obszarów, takich jak pierwotne lasy, torfowiska i naturalne rzeki, pełniące kluczową rolę w magazynowaniu węgla, regulacji klimatu i utrzymaniu jakości wód. Ważny element strategii to także renaturyzacja zdegradowanych terenów, odtwarzanie siedlisk, mokradeł, łąk i gleb, po to, aby przywrócić naturalne procesy ekologiczne.

Jednym z głównych wyzwań jest ochrona owadów zapylających, których populacja w ostatnich latach drastycznie spadła. UE planuje więc zmniejszenie stosowania pestycydów chemicznych o 50% oraz rozwój bardziej zrównoważonych praktyk rolniczych. Strategia podkreśla, że ochrona przyrody musi stać się integralną częścią wszystkich sektorów gospodarki: od rolnictwa i przemysłu, po transport i energetykę, a także wymaga zwiększenia nakładów finansowych czy zaangażowania społeczeństwa.

Przystosowanie się do zmian klimatu

Trzecim dokumentem jest Strategia adaptacji do zmian klimatu (Climate Action) określająca, jak Unia Europejska powinna przygotować się na skutki globalnego ocieplenia. Zakłada ona, że pewne zmiany klimatu są nieuniknione, dlatego konieczne jest przystosowanie gospodarki, infrastruktury i systemów społecznych do nowych realiów.

Strategia promuje inteligentną adaptację opartą na danych, badaniach, modelowaniu oraz narzędziach cyfrowych, takich jak platforma Climate-ADAPT. Dużą



CENTRUM ODZYSKU ZASOBÓW

Nowoczesna oczyszczalnia nie jest już jedynie miejscem neutralizacji zanieczyszczeń – staje się centrum odzysku zasobów: wody, biogenów, energii i materii organicznej

wagę przywiązuje do modernizacji infrastruktury krytycznej, w tym sieci wodociągowej, kanalizacyjnej, energetycznych i transportowych, tak aby mogły funkcjonować niezawodnie w warunkach większej zmienności warunków pogodowych.

Rozwiązania bazujące na przyrodzie to kluczowy element dokumentu. Mokradła, lasy, zieleń miejska czy systemy retencji są naturalnymi barierami przed skutkami ekstremalnych zjawisk pogodowych, zmniejszają ryzyko powodzi, stabilizują gospodarkę wodną i łagodzą skutki upałów. Strategia zwraca też uwagę na zdrowie publiczne i konieczność przygotowania systemów ochrony zdrowia na fale upałów, choroby wirusowe oraz pogorszenie jakości powietrza i wody.

Transformacja gospodarki ściekowej

Europejski przemysł i sektor komunalny znajdują się dziś pod presją podwójnych ograniczeń zasobów: rosnącego deficytu wody oraz konieczności dekarbonizacji gospodarki. Aby sprostać tym wyzwaniom potrzebne jest holistyczne podejście obejmujące projektowanie procesów od poziomu molekularnego, po całe systemy technologiczne. Przedsiębiorstwa muszą działać elastycznie, przewidywać zmiany regulacyjne i dostosowywać się do zróżnicowanych warunków regionalnych, szczególnie tych wynikających ze stresu wodnego i kosztów energii.

Ważnym elementem współczesnej transformacji jest koncepcja śladów środowiskowych, takich jak ślad wodny, węglowy czy ekologiczny. Wskaźniki te stanowią podstawę raportowania ESG i wymuszają na firmach realne działania ograniczające negatywne oddziaływanie na środowisko.

Jednym z najważniejszych elementów przemian w sektorze wodno-ściekowym jest nowa dyrektywa

2024/2019 dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Rozszerza ona obowiązki oczyszczania na mniejsze aglomeracje, wprowadza konieczność usuwania mikrozanieczyszczeń, zakłada osiągnięcie neutralności energetycznej oczyszczalni oraz rozwój monitoringu epidemiologicznego ścieków.

Istotne znaczenie ma zasada rozszerzonej odpowiedzialności producenta (ROP), dzięki której producenci farmaceutyków i kosmetyków, odpowiedzialni za ponad

90% mikrozanieczyszczeń w ściekach, będą finansować co najmniej 80% kosztów ich usuwania. ROP ma więc współfinansować czwarty stopień oczyszczania zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci”. Jest ona kluczowym mechanizmem pozwalającym uniknąć przerzucania kosztów na mieszkańców i przedsiębiorstwa wodociągowe.

Wdrożenie czwartego stopnia oczyszczania wiąże się z dużymi inwestycjami, wzrostem zapotrzebowania na energię, modernizacją infrastruktury oraz koniecznością podnoszenia kompetencji pracowników. Jednocześnie otwiera drogę do bardziej zaawansowanej gospodarki o obiegu zamkniętym, służącej ochronie środowiska.

Czwarty stopień oczyszczania jest niepowtarzalną szansą dla gospodarki ściekowej na osiągnięcie zdolności usuwania zanieczyszczeń wzbudzających szczególne obawy (patrz ramka: „Współfinansowanie czwartego stopnia oczyszczania ścieków”).

WSPÓŁFINANSOWANIE CZWARTEGO STOPNIA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW



foto: 123rf

Argumentów za współfinansowaniem czwartego stopnia oczyszczania przez przemysł farmaceutyczny i kosmetyczny jest bardzo wiele:

- Dostęp do czystej wody i urządzeń sanitarnych to prawa człowieka.
- Usługi wodne są niezbędne dla funkcjonowania gospodarki europejskiej, w tym przemysłu farmaceutycznego.
- Dyrektywa ściekowa ma na celu zmniejszenie zanieczyszczenia zasobów wodnych, wdraża zasadę „zanieczyszczający płaci” poprzez ROP.
- Produkty farmaceutyczne i kosmetyki są głównymi źródłami mikrozanieczyszczeń w ściekach komunalnych, dlatego producenci powinni pokryć co najmniej 80% kosztów usuwania mikrozanieczyszczeń.
- Koszty usuwania mikrozanieczyszczeń rosną (stężenia, koszty energii itd.), nie można nimi obarczać jedynie odbiorców usług wodnych. Zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci” powinien je pokrywać także przemysł farmaceutyczny i kosmetyczny.
- Rozszerzona odpowiedzialność producenta mobilizuje do ekologicznego rozwoju produktów kosmetycznych i farmaceutycznych oraz obniżenia kosztów EPR.
- Przerzucenie kosztów na przedsiębiorstwa wodociągowe obciążałoby jedynie konsumentów usług wodnych.

Symbioza

Nowoczesna oczyszczalnia nie jest już jedynie miejscem neutralizacji zanieczyszczeń, głównie usuwania biogenów. Staje się centrum odzysku zasobów, czyli wody, biogenów, energii i materii organicznej. W gospodarce o obiegu zamkniętym oczyszczalnie mogą pełnić rolę kluczowych węzłów przetwarzania zasobów, wspierających zarówno przemysł, jak i gospodarkę komunalną.

Przykłady symbiozy przemysłowej z całego świata pokazują potencjał tego podejścia. W duńskim Kallundborg współdzielone są: para wodna, woda, ścieki i materiały. W Rotterdamie integracja przemysłu, portu i systemów energetycznych pozwala na ograniczenie emisji i zużycia wody. W Tianjin współdzielili się zasoby energii, wody i wiedzy, a w Tuas Nexus w Singapurze kanalizacja łączona jest z instalacjami odzysku wody i energii. Wszystkie te modele wskazują na kierunek, w którym oczyszczalnie ścieków stają się hubami zasobów – kluczowym elementem transformacji Niebieskiego i Zielonego Ładu.

Niebieski i Zielony Ład tworzą wizję Europy, w której przyroda, gospodarka i społeczeństwo funkcjonują w sposób harmonijny i odporny na kryzysy środowiskowe. Gospodarka ściekowa, dzięki nowym regulacjom, technologiom i modelom współpracy, staje się jednym z najważniejszych elementów tej transformacji. Oczyszczalnie przyszłości będą nie tylko usuwać zanieczyszczenia, ale także wytwarzać energię, odzyskiwać zasoby i chronić zdrowie publiczne. Dzięki strategicznym dokumentom UE i nowoczesnym rozwiązaniom technologicznym Europa ma szansę stać się liderem w zrównoważonym gospodarowaniu wodą i przyrodą, budując fundamenty odporności dla przyszłych pokoleń. ■

TECHNOLOGIE MEMBRANOWE W OCZYSZCZANIU CIECZY POFERMENTACYJNEJ

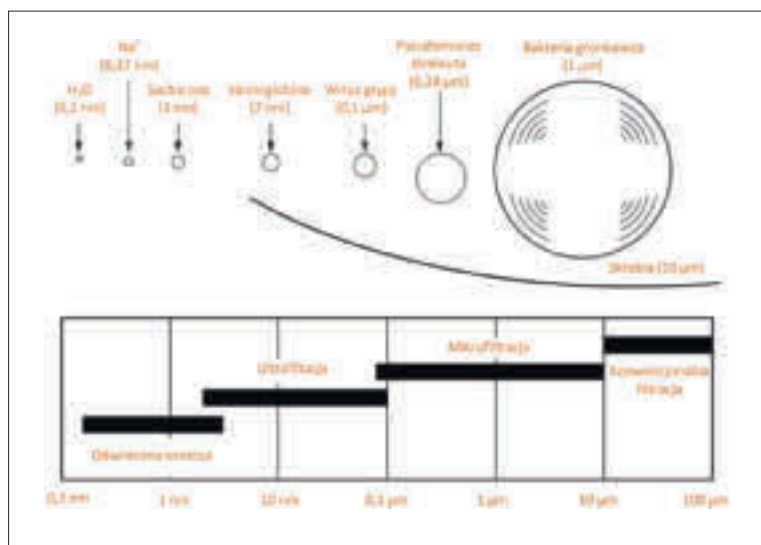
dr hab. inż. Agnieszka Urbanowska, prof. PWr

Politechnika Wrocławska, Katedra Gospodarki Wodno-Ściekowej i Technologii Odpadów,
Wydział Inżynierii Środowiska

Jedną z metod oczyszczania ciekłej frakcji pofermentu, pochodzącego z odwadniania pozostałości z procesu fermentacji metanowej w biogazowniach, może być zastosowanie ciśnieniowych procesów membranowych.

Procesy membranowe umożliwiają uzyskanie wody o wysokim stopniu czystości [1]. Można dzięki nim efektywnie usuwać zanieczyszczenia organiczne, nieorganiczne oraz mikroorganizmy (rys. 1), a cały proces charakteryzuje się stosunkowo niskimi kosztami i kompaktowymi wymiarami instalacji [2]. Ich niewielkie zapotrzebowanie na przestrzeń sprawia, że są idealnym rozwiązaniem również w miejscach o ograniczonej dostępności powierzchni. Dodatkowym atutem jest możliwość stosowania membran w przypadku roztworów o dużej zmienności stężenia zanieczyszczeń [3]. Ponadto technologie membranowe cechują się wysoką wydajnością i uniwersalnością, co pozwala na ich adaptację w różnych zastosowaniach przemysłowych.

Dzięki licznym zaletom filtracja membranowa zyskuje coraz większą popularność. Do kluczowych korzyści tej technologii należy zaliczyć także możliwość prowadzenia procesu w sposób ciągły, co zwiększa jego efektywność oraz łatwość integrowania z innymi technikami rozdzielania, takimi jak wstępna filtracja czy kolejne procesy membranowe. Dodatkowo proces może być prowadzony w temperaturze otoczenia, co eliminuje potrzebę stosowania energochłonnych metod podgrzewania. Istotnym atutem jest także brak konieczności używania substancji dodatkowych, które mogłyby stanowić obciążenie lub zagrożenie dla środowiska. Ponadto szeroka gama dostępnych membran oraz proste metody ich modyfikacji umożliwiają łatwe dopasowanie systemu membranowego do specyficz-



RYS. 1
Zakres usuwanych zanieczyszczeń w ciśnieniowych procesach membranowych [3]

nych wymagań. Dzięki temu technologia membranowa znajduje wszechstronne zastosowanie, przyczyniając się do oszczędności zarówno surowców, jak i energii.

Fouling

Jednym z głównych problemów związanych z użytkowaniem membran jest zjawisko foulingu, polegające na osadzaniu się zanieczyszczeń organicznych, nieorganicznych oraz mikrobiologicznych na powierzchni membrany i w jej porach. W efekcie następuje zmniejszenie przepływu permeatu, a także spadek efektywności procesu oczyszczania.

W grupie niskociśnieniowych metod separacji membranowej ultrafiltracja może zaoferować bardzo obiecujące efekty w zakresie oczyszczania cieczy pofermentacyjnej [4]. Proces ten skutecznie usuwa drobne zawiesiny, koloidy, bakterie oraz wirusy. Jego działanie opiera się na mechanizmie sitowym, dzięki czemu cząstki większe od średnicy porów membrany nie są w stanie przez nią przeniknąć. Ciśnienie trans-

membranowe wykorzystywane w ultrafiltracji waha się od 0,1 do 1,0 MPa.

Efektywność rozdzału

Rodzaj membrany użytej w procesie ma kluczowy wpływ na efektywność rozdzału. W ciśnieniowych procesach membranowych używa się wyłącznie membran syntetycznych, które różnią się strukturą i funkcjonalnością od membran naturalnych, takich jak np. błony komórkowe. Membrany te mogą być wykonane z materiałów polimerowych lub ceramicznych. Na całym świecie w działających instalacjach membranowych najczęściej wykorzystuje się membrany z materiałów organicznych, takich jak polietersulfon, polisulfon czy materiały celulozowe. Wyróżniają się one łatwością obróbki, niską ceną oraz szeroką gamą właściwości, niemniej ich zastosowanie może być ograniczone przez różnorodną odporność na działanie silnych kwasów, zasad, środków utleniających oraz ich podatność na rozkład biochemiczny [5].

Membrany ceramiczne stanowią alternatywę dla membran polimerowych, oferując szereg zalet, takich jak wysoka odporność na działanie czynników mechanicznych, chemicznych, biologicznych i termicznych, możliwość sterylizacji parą, długa trwałość oraz możliwość ponownego wykorzystania zużytych membran w innych gałęziach przemysłu, jako materiał ceramiczny [6]. Ich szerokie zastosowanie przekłada się na oszczędność surowców i energii.

Głównym problemem związanym z ich eksploatacją, poza łamliwością, jest różnica w rozszerzalności termicznej membran i ich obudów, co może prowadzić do trudności w uszczelnianiu obiegów koncentratu i permeatu.

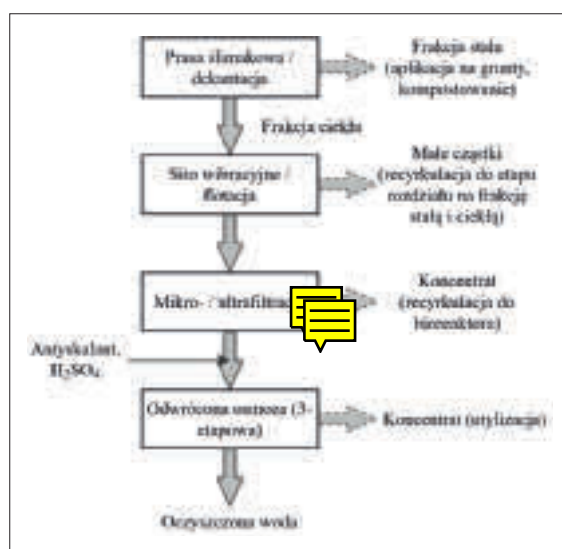
Obecnie, dzięki poprawie właściwości produkowanych membran oraz spadającym kosztom zarówno samych membran, jak i całych instalacji, coraz częściej stosuje się procesy membranowe do oczyszczania ciekłej frakcji pofermentu. Typowe etapy tego procesu, wykorzystujące separację membranową, zostały przedstawione na rysunku 2.

Według danych literaturowych zastosowanie procesów membranowych, takich jak ultrafiltracja (UF), nano-filtracja (NF) i odwrócona osmoza (RO) do oczyszczania cieczy pofermentacyjnej z różnych źródeł, pozwala na skuteczne usuwanie zanieczyszczeń: metali ciężkich, azotu, fosforu, związków organicznych oraz mikroorganizmów. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie wody o wysokiej jakości, do ponownego wykorzystania, co sprzyja realizacji zasad nowoczesnej gospodarki cyrkulacyjnej.

Korzyści środowiskowe i technologiczne zastosowania UF-RO

Zastosowanie procesów membranowych nie tylko przyczynia się do odzyskiwania wody, ale również do poprawy jakości pozostałości pofermentacyjnych, które mogą być wykorzystane jako koncentraty składników odżywczych w rolnictwie.

RYS. 2
Typowe etapy procesu oczyszczania pofermentu z wykorzystaniem procesów membranowych [7]



Dodatkowo, sekwencyjne stosowanie różnych procesów membranowych, takich jak UF w połączeniu z RO, wykazuje się wysoką skutecznością w usuwaniu zanieczyszczeń mikrobiologicznych czy chemicznych. Jest to najczęściej używana metoda dalszego przetwarzania cieczy pofermentacyjnej. Procesy w układzie UF-RO skutkują redukcją azotu ogólnego, azotu amonowego, potasu oraz związków fosforu, co jest szczególnie istotne w kontekście ochrony środowiska i spełniania wymagań prawnych dotyczących jakości wody. Zastosowanie tej technologii w biogazowniach, które przetwarzają osady ściekowe lub frakcję organiczną odpadów komunalnych, pozwala na odzyskiwanie dużej ilości wody, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na zasoby wodne. Odzyskana w ten sposób woda może zostać wykorzystana np. w rolnictwie do podlewania roślinności lub przygotowywania nawozów sztucznych.

”

W grupie niskociśnieniowych metod separacji membranowej ultrafiltracja może zaoferować bardzo obiecujące efekty w zakresie oczyszczania cieczy pofermentacyjnej

Wyzwania eksploatacyjne i potrzeba wstępnego oczyszczania

Pomimo wielu korzyści uzyskanych podczas oczyszczania cieczy pofermentacyjnej, procesy membranowe niosą ze sobą pewne wyzwania eksploatacyjne, z których najistotniejszym jest zjawisko *foulingu*, czyli blokowania membran. Znacząco wpływa to na spadek efektywności procesów i wymaga regularnego czyszczenia membran. Problem ten może zostać złagodzony poprzez odpowiednie wstępne oczyszczanie cieczy pofermentacyjnej, co pozwala na zmniejszenie zjawiska blokowania i przedłużenie żywotności membran. Często badacze wskazują, że wstępne oczyszczanie roztworu w procesie MF pozwala na 10-krotne zwiększenie strumienia permeatu, a tym samym na ograniczenie zjawiska blokowania.

Dzięki technologii membranowej możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości permeatu, który może być ponownie wykorzystany, zmniejszając tym samym ilość odpadów oraz poprawiając efektywność procesów oczyszczania w biogazowniach i innych instalacjach przetwarzających ciecz pofermentacyjną. Literatura przedmiotu pokazuje, że sekwencjonowanie procesów membranowych, w tym połączenie UF i RO, daje najlepsze rezultaty w usuwaniu zanieczyszczeń i odzyskiwaniu wody, co stanowi ważny

element w dążeniu do zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi w przemyśle i rolnictwie.

Zarządzanie masą pofermentacyjną stanowi poważne wyzwanie z wielu powodów. Z tego względu rośnie zainteresowanie nie tylko usprawnianiem technologii przetwarzania odpadów w biogazowniach, ale także poszukiwaniem nowych oraz udoskonalaniem istniejących metod zagospodarowania pofermentu. Biorąc pod uwagę, że poferment może być nie tylko alternatywnym nawozem, ale również źródłem wody, kluczowe jest dobranie właściwej technologii oczyszczania.

Jak wynika z przedstawionych informacji, procesy membranowe stanowią skuteczną metodę oczyszczania cieczy pofermentacyjnej, usuwając różnego typu zanieczyszczenia. Stosowanie odpowiednich sekwencji membranowych pozwala na uzyskanie wysokiej jakości permeatu, który może być ponownie wykorzystywany. Niemniej wyzwaniem pozostaje zjawisko *foulingu*, mogące negatywnie wpłynąć na efektywność procesu. Aby zminimalizować ryzyko blokowania membran należy wdrożyć odpowiednie metody wstępnego oczyszczania oraz optymalizacji warunków eksploatacyjnych. Mimo tych trudności, procesy membranowe wykazują duży potencjał w poprawie zarówno jakości wody, jej odzysku ze ścieków (w tym z cieczy pofermentacyjnej), jak i w zarządzaniu zasobami wodnymi.

Literatura

1. Gienau, T.; Brüß, U.; Kraume, M.; Rosenberger, S. Nutrient Recovery from Biogas Digestate by Optimised Membrane Treatment. *Waste and Biomass Valorization* 2018, 9, 2337–2347, doi:10.1007/s12649-018-0231-z
2. Iwashita, T.; Katayanagi, H.; Miki, N. Needle-Type in Situ Water Content Sensor with Polyethersulfone Polymer Membrane. In *Proceedings of the Sensors and Actuators, B: Chemical*; 2011; Vol. 154.
3. Peter-Varbanets, M.; Zurbrugg, C.; Swartz, C.; Pronk, W. Decentralized Systems for Potable Water and the Potential of Membrane Technology. *Water Research* 2009, 43.
4. Światczak, P.; Cydzik-Kwiatkowska, A.; Zielińska, M. Treatment of Liquid Phase of Digestate from Agricultural Biogas Plant in a System with Aerobic Granules and Ultrafiltration. *Water (Switzerland)* 2019, 11, 104, doi:10.3390/w11010104.
5. Warsinger, D.M.; Chakraborty, S.; Tow, E.W.; Plumlee, M.H.; Bellona, C.; Loutatidou, S.; Karimi, L.; Mikelonis, A.M.; Achilli, A.; Ghassemi, A.; et al. A Review of Polymeric Membranes and Processes for Potable Water Reuse. *Progress in Polymer Science* 2018, 81, 209–237, doi:10.1016/j.progpolymsci.2018.01.004.
6. He, Z.; Lyu, Z.; Gu, Q.; Zhang, L.; Wang, J. Ceramic-Based Membranes for Water and Wastewater Treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2019, 578, 123513, doi:10.1016/j.colsurfa.2019.05.074.
7. Drosig, B.; Fuchs, W.; al Seadi, T.; Madsen, M.; Linke, B. Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing; 2015. ■

ZARZĄDZANIE OBEJŚCIAMI SYGNAŁÓW BLOKADOWYCH W RAFINERII GDAŃSKIEJ

mgr inż. Rafał Falkowski

główny inżynier ds. bezpieczeństwa operacyjnego, Rafineria Gdańska Sp. z o.o.

Sygnały blokadowe wiążą się bezpośrednio z automatycznymi funkcjami bezpieczeństwa (SIS – Safety Instrumented Systems), które implementowane są m.in. w układach technologicznych instalacji produkcyjnych. Stanowią one istotną barierę w scenariuszach mogących prowadzić do awarii przemysłowych, dlatego nadzorowanie obejść sygnałów blokadowych (o.s.b.) jest niezmiernie istotne.

Automatyczne funkcje bezpieczeństwa na instalacjach produkcyjnych stanowią bardzo ważną warstwę zabezpieczeń. Ich działanie jest inicjowane po przekroczeniu określonych wartości parametrów (np. ciśnienia, temperatury...) blokadowych, powodując np. zatrzymanie pracy instalacji czy poszczególnych urządzeń w celu przywrócenia bezpiecz-

nych warunków w procesie. Zapobiegają przekroczeniu parametrów projektowych, utracie integralności mechanicznej i w konsekwencji uwolnieniu energii, która może prowadzić do skutków o charakterze katastroficznym. Przykładem zadziałania funkcji bezpieczeństwa może być zatrzymanie dopływu paliwa do pieca po osiągnięciu granicznej wartości parametru, np. bardzo

wysokiego ciśnienia w komorze spalania (następuje wówczas wygenerowanie sygnału blokadowego).

Automatyczna funkcja bezpieczeństwa realizowana jest przez układ urządzeń:

- element pomiarowy (czujnik/przetwornik) zainstalowany np. na rurociągu,
- element logiczny (sterownik programowalny),
- element wykonawczy, np. zawór blokadowy.

Urządzenia te wymagają okresowego przeglądu/testów, może być także konieczna ich wymiana w trakcie pracy instalacji. Aby umożliwić tego rodzaju prace bez aktywacji blokady, systemy sterowania instalacją wyposażone są w tzw. deblokady MOS (Maintenance Override Switch), stanowiące jeden z rodzajów o.s.b.

Innym ich rodzajem są deblokady procesowe POS (Process Override Switch) – używane w sytuacjach odbiegających od normalnej pracy instalacji, przewidziane na określone operacje, głównie związane z umożliwieniem uruchamiania urządzeń czy rozruchu/zatrzymania instalacji.

Specyficznym rodzajem o.s.b. są wymuszenia sygnałów w sterowniku blokadowym, tzw. force. Stosowane są między innymi do wywołania określonego zachowania danego elementu wykonawczego funkcji bezpieczeństwa, niezależnie od sygnałów pochodzących z elementów pomiarowych (np. podczas sprawdzania wybranego elementu wykonawczego, zachowując sprawność funkcjonalną pozostałych elementów wykonawczych). Obejściem sygnału blokadowego może być również np. tzw. mostek (łączenie przewodów po demontażu elementu pomiarowego).

Wykorzystanie jakiegokolwiek z o.s.b. dezaktywuje lub upośledza automatyczną funkcję bezpieczeństwa, tym samym zmniejsza się poziom ochrony instalacji. Dlatego też aktywacje o.s.b. to czynności wymagające ścisłej kontroli.

Efekty błędów

Skutki braków w zarządzaniu tym obszarem obserwowane są w zdarzeniach o charakterze katastroficznym (gdzie odnotowuje się ofiary śmiertelne, straty środowiskowe, zniszczenie infrastruktury, straty materialne) – podawane m.in. przez takie organizacje jak IChemE czy CSB. Niektóre z nich przywołano poniżej:

- 22.03.1987, Szkocja, BP Oil, instalacja hydrokrakingu w Grangemouth.

Wybuch i pożar podczas uruchamiania instalacji (w wyniku utraty poziomu w separatorze wysokociśnieniowym nastąpiło przebicie gazu do separatora niskociśnieniowego, powodując jego rozerwanie – jedna z przyczyn to brak zapewnienia sprawności układu blokadowego od niskiego poziomu).

Skutki:

- » 1 ofiara śmiertelna,
- » zniszczona instalacja, wybuch odczuwalny w odległości 30 km.

Źródło informacji: <https://www.icheme.org>,



FOT. 1

Zniszczona instalacja hydrokrakingu w Grangemouth, źródło fot. [1]



FOT. 2

Zniszczona Instalacja produkcji PVC w USA po wybuchu 23 kwietnia 2004 r., źródło fot. [2]

- 23.04.2004, USA, Illiopolis, Illinois, instalacja produkcji PVC.

Wybuch spowodowany zapłonem uwolnionej zawartości reaktora (mieszanina chlorku winylu i octanu winylu) – otwarcie zaworu blokadowego przez obsługę.

Skutki:

- » 5 ofiar śmiertelnych, 3 ranne,
- » około 75% zakładu zostało zniszczone,
- » wybuch odczuwalny w odległości 8 km.

Źródło informacji: <https://www.csb.gov>.

Zarządzanie o.s.b. jako proces ciągłego doskonalenia

W Rafinerii Gdańskiej zarządzanie o.s.b. odbywa się na podstawie procedury „Sterowanie procesem technologicznym”. Zostało one zrewidowane pomiędzy 11.2022 a 12.2023 i obejmowało aspekty zarówno organizacyjne, jak i budowę odpowiedniego narzędzia informatycznego.

”

Użycie jakiegokolwiek z o.s.b. dezaktywuje lub upośledza automatyczną funkcję bezpieczeństwa, a tym samym zmniejsza się poziom ochrony instalacji

W uprzednim podejściu kontrola i autoryzacja zakładanych o.s.b. odbywała się w papierowym „Rejestrze deblockad i wymuszeń” każdego z zakładów Rafinerii Gdańskiej. Ówczesny sposób nadzorowania charakteryzował się pewnymi słabościami, które wynikały m.in. z:

- dużego nakładu pracy w uzyskiwaniu potrzebnych informacji (ile, gdzie, jakiego rodzaju są aktywowane o.s.b, z jakiego powodu),
- trudności w weryfikacji, jak w rzeczywistości realizowane są założenia proceduralne,
- trudności w monitorowaniu o.s.b. stosowanych do celów, do których nominalnie nie są przewidziane (np. MOS do uruchomienia urządzenia z uwagi na niedoskonałość zaprojektowanego układu logicznego).

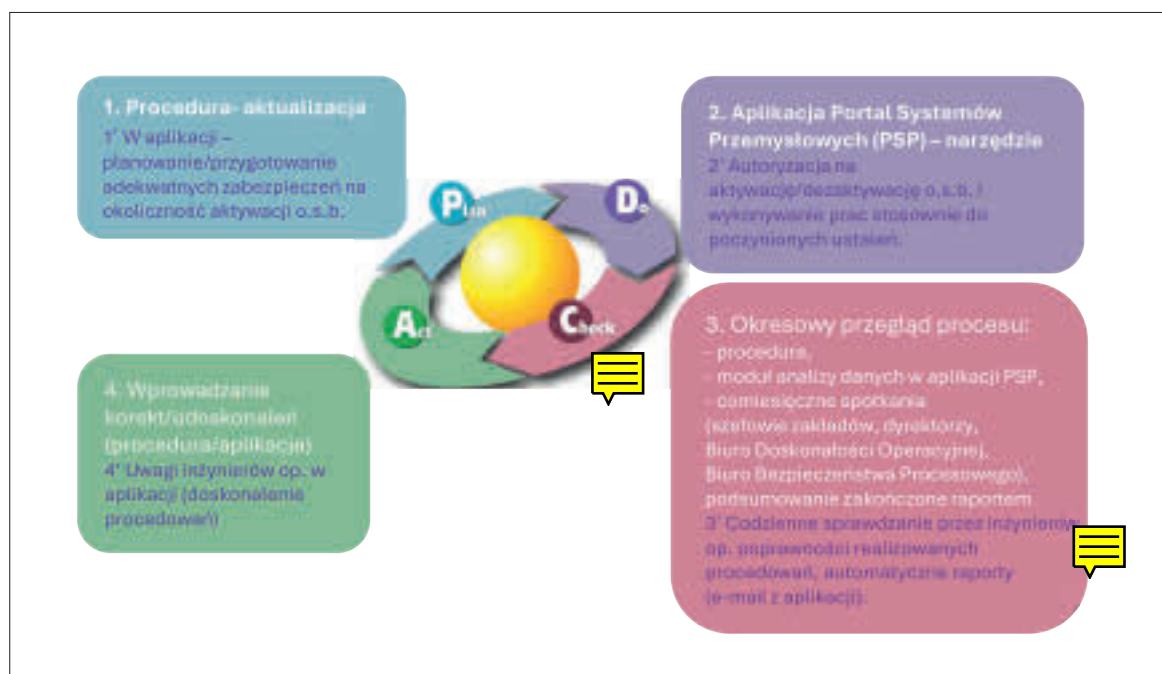
Nowe podejście w zarządzaniu tym obszarem zaprojektowano tak, aby spełniało założenia cyklu Deminga (rys. 1) i było gwarantem ciągłego doskonalenia na poziomie:

- a. zbudowanej aplikacji (PSP – Portal Systemów Przemysłowych) i bieżących procedur obejmujących określone odpowiedzialności (pkt 1'-4', rys. 1).
- b. ogólnych założeń warstwy proceduralnej (pkt 1-4, rys. 1), w których niezmiernie istotną rolę stanowią comiesięczne spotkania podsumowujące obszar procedur o.s.b., prowadzone przez przedstawicieli Biura Doskonałości Operacyjnej – realizowane w gronie dyrektorów pionu produkcji, techniki, bezpieczeństwa, szefów zakładów, przedstawicieli Biura Bezpieczeństwa Procesowego. Wnioski płynące ze wskaźników w aplikacji PSP pozwalają na podejmowanie działań korygujących w niniejszym procesie, ale przede wszystkim umożliwiają szefom zakładów:
 - reagowanie na identyfikowane uchybienia w przestrzeganiu założeń proceduralnych,
 - dzielenie się podjętymi rozwiązaniami natury technicznej czy organizacyjnej,
 - demonstrowanie niezbędnego przywództwa w obszarze bezpieczeństwa funkcjonalnego i tym samym wzmacnianie kultury bezpieczeństwa procesowego wśród swoich podwładnych.

W ramach tego podejścia wprowadzono także:

- obowiązek informowania o aktywnych o.s.b. podczas przekazywania zmiany (stworzono dedykowane sekcje w formularzach raportów zmianowych sterowniczych i kierowników zmiany),
- konieczność procedowania w ramach zarządzania zmianą dla o.s.b., które aktywne mają być dłużej

RYŚ. 1
Cykl Deminga
w ujęciu zarządzania
obejściami sygnałów
blokadowych
w Rafinerii
Gdańskiej, źródło:
Rafineria Gdańska



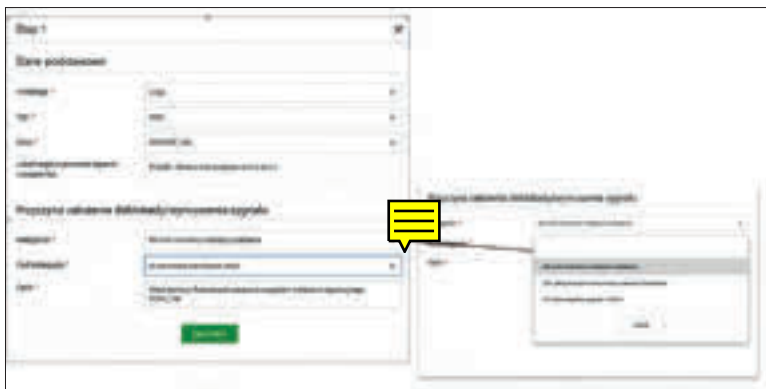
niż 30 dni (co również monitorowane jest w aplikacji PSP).

Zastosowanie zrewidowanego podejścia do obszaru zarządzania o.s.b. wymagało przeprowadzenia szeregu szkoleń dla wszystkich grup pracowników zaangażowanych w ten proces. Szkolenia powtarzane są co rok.

Portal Systemów Przemysłowych (PSP) – narzędzie do zarządzania o.s.b.

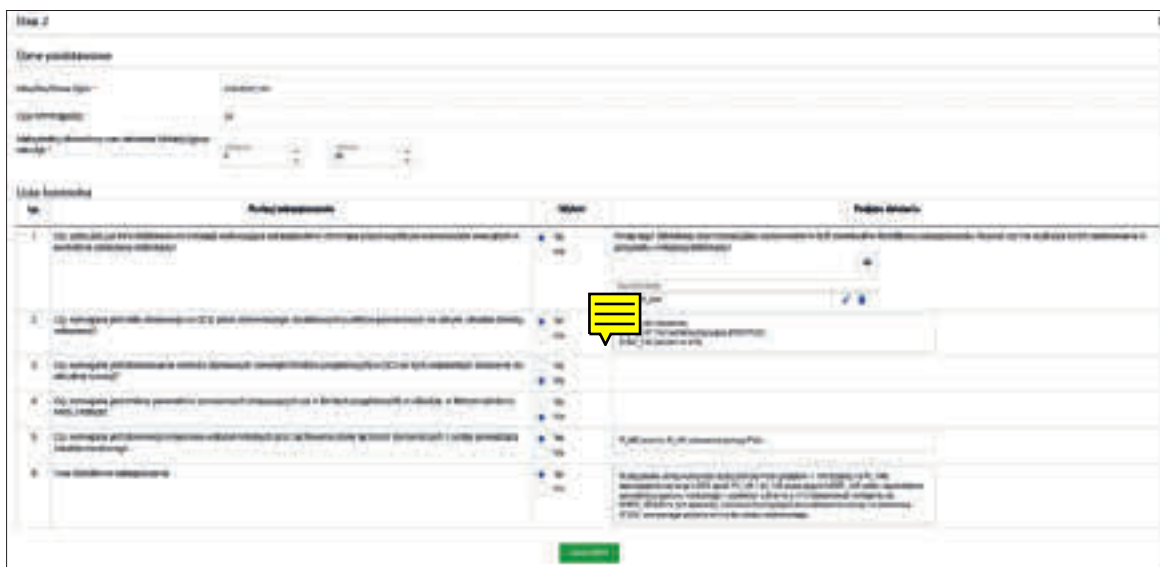
Ważnym ogniwem w zarządzaniu o.s.b jest narzędzie informatyczne o nazwie „Portal Systemów Przemysłowych” (PSP).

RYS. 2
Panel główny aplikacji PSP źródło: Rafineria Gdańska



RYS. 3
Poglądowy formularz Etapu 1, źródło: Rafineria Gdańska

RYS. 4
Poglądowy formularz Etapu 2, źródło: Rafineria Gdańska



słowych” (PSP). Aplikacja dostępna przez przeglądarkę internetową (rys. 2) funkcjonuje od grudnia 2023 r. we wszystkich zakładach Rafinerii Gdańskiej.

Aplikacja posiada trzy główne funkcje:

1. Rejestrowanie wszystkich obejść sygnałów blokadowych (MOS, POS, Force, Inne), umożliwiające ich zdalne procedowanie, czyli dokonywanie uzgodnień i akceptacji ostatecznie prowadzących do możliwości ich aktywowania/dezaktywowania przez odpowiednie osoby (operator sterowni, automatyk).
2. Zapisywanie historii aktywowania i dezaktywowania danych deblokad (MOS/POS).
3. Monitoring z dedykowanymi dashboardami służącymi do kontroli, analizy i raportowania aktywowanych o.s.b.

Procedowanie o.s.b. w elektronicznym rejestrze

W procedowaniu o.s.b. wyróżnia się poniżej wymienione etapy.

Etap 1 – inicjowanie:

- Dokonywany jest wybór instalacji technologicznej, rodzaj zakładanego o.s.b. W przypadku MOS i POS wybiera się konkretny tag wraz z jego opisem ze zdefiniowanego (dla każdego zakładu) zestawienia deblokad.
- Określa się przyczynę (dla której należy aktywować o.s.b.) za pomocą opisu oraz odpowiedniej kategorii (ruch normalny; zatrzymanie/uruchomienie; stałe obejście sygnału >30 dni), podkategorii (prace planowane; sytuacja nagła; pozostałe).

Etap 2: Ustalanie warunków

- Ustala się czas, na jaki dokonywana jest aktywacja o.s.b.
- Dokonuje się odpowiedniego doboru zabezpieczeń (według „otwartej” listy kontrolnej), mających za

zadanie pokrycie luki w warstwach zabezpieczeń, wynikającej z tymczasowej utraty danej funkcji blokadowej. Rozpatruje się, czy inne o.s.b. nie są aktywne w układzie, w którym mają rozpocząć się prace (co może rzutować na trudności w zapewnieniu właściwego poziomu zabezpieczeń i decyzje o przełożeniu prac).

”

Aktywacje o.s.b. to czynności wymagające ścisłej kontroli

Zabezpieczenia ustalane są przez inżyniera operacyjnego danego obszaru, a w przypadku stosowania „force” – koniecznie w konsultacji z branżystami z działu utrzymania ruchu (istnieje również możliwość zastosowania zabezpieczeń w oparciu o utworzoną i zatwierdzoną procedurę operacyjną na okoliczność wykonywania powtarzających się operacji – takie aktywności zawsze poddawane są rozważaniom co do możliwości ich eliminowania na drodze finalnych rozwiązań technicznych).

Etap 3a i 4a: Autoryzacja

Autoryzacja (zgoda) wymagana jest każdorazowo od kierownika zmiany na aktywację/dezaktywację o.s.b., a kierownika zakładu lub szefa zakładu w przypadku przekraczania tzw. średniego czasu naprawy (MTTR – Mean Time To Repair) dla danej funkcji blokadowej (wartość zaimplementowana w aplikacji).

Etap 3b i 4b: Aktywacja/Dezaktywacja

Aktywacja/dezaktywacja o.s.b. przeprowadzana jest przez uprawnioną osobę: sterowniczy, automatyk

(wykonawca), na warunkach ustalonych w Etapie 2 i zatwierdzonych na Etapie 3a/4a.

W aplikacji ma miejsce automatyczna rejestracja rzeczywistych czasów aktywacji/dezaktywacji deblokad MOS/POS dokonywanych poprzez system DCS.

W przypadku „force” (wymuszenie sygnału w sterowniku blokadowym) i „Inne” (np. „mostek”) rejestrowane są tylko czasy autoryzacji na aktywację i dezaktywację. Ten rodzaj procedowań jest dodatkowo kontrolowany raz w miesiącu, pod kątem zgodności elektronicznego rejestru o.s.b ze stanem w sterowniku blokadowym, jak i z zeszytem automatyków, w którym uzyskują zgodę od kierowników zmiany na przeprowadzenie niniejszych działań.

Etap 5: „Uwagi”

Inżynier operacyjny danego zakładu zobowiązany jest do każdorazowego zapoznania się z ustaleniami Etapu 2 (najpóźniej w najbliższym dniu roboczym), gdy procedowany był on przez kierownika zmiany. Potwierdza to w rejestrze elektronicznym przy danym rekordzie w postaci wniesionych uwag lub odznaczenia informacji o ich braku. Celem tego etapu jest dążenie do ciągłego doskonalenia w czynionych procedowaniach.

Analiza i raporty

Aplikacja wyposażona jest w moduł („Dashboard-analiza”) umożliwiający analizę obszaru o.s.b. w wybranym zakresie czasowym na podstawie wskaźników ilościowych i jakościowych. Gromadzone dane w ujęciu tygodniowym, jak i miesięcznym prezentowane są w postaci wykresów (moduł „Dashboard-raporty”) obrazujących zmianę wskaźników w czasie, co umożliwia podejmowanie działań korygujących i obserwowanie ich efektywności. Dashbordy pozwalają na obserwację danych zarówno w ujęciu całej rafinerii, poszczególnych zakładów, jak i konkretnych instalacji technologicznych.

RYS. 5

Poglądowy obraz elektronicznego rejestru o.s.b. danego zakładu w Rafinerii Gdańskiej, źródło: Rafineria Gdańska

Wskaźniki

W aplikacji obserwowane są m.in. wskaźniki ilościowe, takie jak:

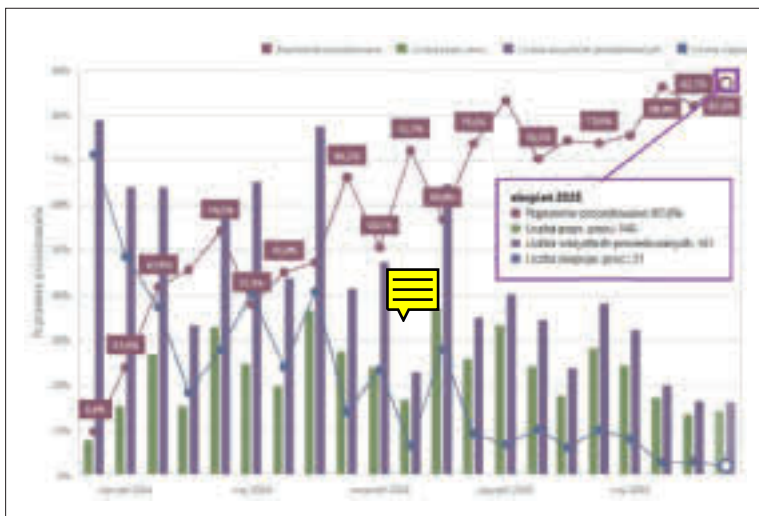
- liczba o.s.b., które posiadały status „aktywny” w danym zakresie czasu (niezależnie od długości czasu jego trwania),
- liczba o.s.b. aktywowanych w danym zakresie czasu (z uwzględnieniem kategorii i podkategorii odnośnie przyczyn ich założenia),
- liczba rodzajów aktywowanych MOS/POS (ukazanie, na ilu sygnałach blokadowych działano),
- sumaryczny czas aktywności o.s.b. w danym zakresie czasowym,
- średni czas aktywności sygnału,
- liczba o.s.b. przekraczająca 30 dni, objętych i nieobjętych zarządzaniem zmianą (celem identyfikowania niezgodności z wymaganiami proceduralnymi).

Głównym wskaźnikiem jakościowym jest „Poprawność procedowania”, mierząca zgodność realizowanych procedur z założeniami proceduralnymi. W jego skład wchodzi szereg wskaźników cząstkowych monitorujących m.in.:

- przestrzeganie prawidłowej kolejności etapów wymaganych do aktywacji o.s.b.,
- przekroczenia ustalonego czasu aktywności o.s.b.,
- automatycznie wygenerowane rekordy w rejestrze o.s.b. (wykryte przez aplikację aktywacje deblokad bez wykonanego procedowania).

Raportowanie

Aplikacja generuje automatyczne raporty tygodniowe i miesięczne, które rozsyłane są pocztą elektroniczną do określonych adresatów (przedstawicieli obszarów wsparcia produkcji, jak i kierowników/szefów oraz dyrektorów obszaru bezpieczeństwa, produkcji, techniki). Raporty te zawierają dane statystyczne na temat liczby zakładanych o.s.b. (MOS/POS/Force/Inne) oraz długości ich trwania.



RYS. 7
Zestawienie miesięcznych wskaźników poprawności procedowania o.s.b. w Rafinerii Gdańskiej,
źródło: Rafineria Gdańska

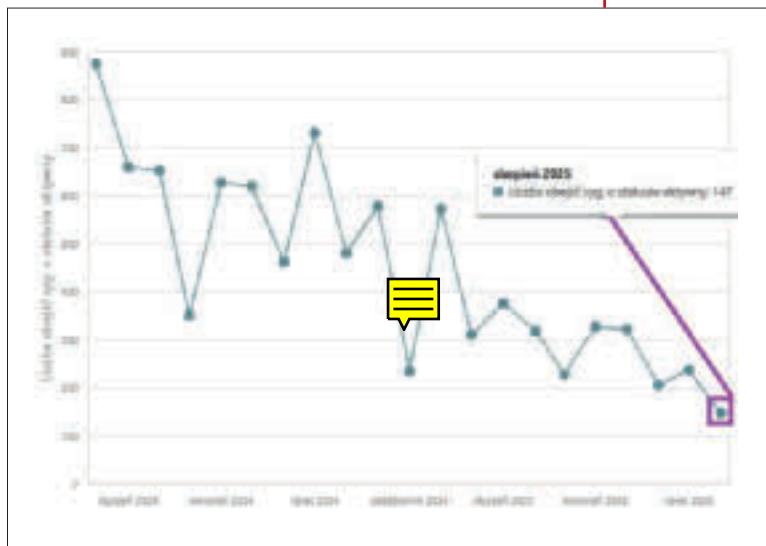
Zaprezentowane podejście do zarządzania o.s.b. w Rafinerii Gdańskiej zbudowano z uwzględnieniem poziomu kultury bezpieczeństwa w organizacji, jej struktury oraz zidentyfikowanych problemów w poprzednim sposobie zarządzania. Stworzono je mając na uwadze ogólnosiwiatowe praktyki, rekomendacje m.in. z CCPS (Center for Chemical Process Safety) czy audytów, w tym mierzących stopień zawansowania organizacji w kontekście zarządzania bezpieczeństwem procesowym.

Zgromadzone dotychczas dane w ramach prowadzonego monitoringu o.s.b. wskazują, że niniejszy sposób zarządzania tym obszarem i podjęte w jego ramach działania znacząco wpłynęły na poprawę obszaru bezpośrednio związanego z bezpieczeństwem funkcjonalnym. Zminimalizowano potencjalne „luki” w tej warstwie zabezpieczeń należy przez to rozumieć m.in. kilkukrotne zmniejszenie ilości stosowanych o.s.b. (rys. 6) na drodze rozwiązań:

- organizacyjnych (np. zmieniono podejścia co do postępowania w danych sytuacjach operacyjnych),
- technicznych (m.in. przebudowano logiki blokadowe w ramach zarządzania zmianą).

Poprawa ma miejsce także w ujęciu jakościowym odnośnie poprawności realizowania założonych wymagań proceduralnych (rys. 7), które ukierunkowane są na zapewnienie należytego poziomu bezpieczeństwa podczas stosowania o.s.b. Swoje przełożenie na ten wskaźnik znalazło również odpowiednie planowanie prac z zakresu utrzymania ruchu, umożliwiające wcześniejsze przeanalizowanie potrzeby stosowania danych o.s.b. i warunków, na jakich będą one aktywowane. ■

RYS. 6
Zestawienie liczby obejmujących sygnałów blokadowych w Rafinerii Gdańskiej, które posiadały status „aktywny” w danym miesiącu



STRATEGIA UR W PETROCHEMII

O cięciu kosztów bez cięcia niezawodności



Gniewosz Marszałek

dyrektor techniczny, Basell Orlen Polyolefins Sp. z o.o.

Gdy marże się kurczą, a łańcuchy dostaw przypominają labirynt, pytanie nie brzmi: „czy inwestować w utrzymanie ruchu?” tylko: „jak inwestować mądrze”.



Fot. 123rf

Felietonowo, ale bez lukru: strategia UR ma wygrać bilans. Bilans w czasach, gdy śrubokręt kosztuje więcej niż śruba, a dostępność stoi w kontrze do TCO i to wszystko w horyzoncie 5-10 lat, bo chyba kiedyś ta passa się odwróci. Tak więc krótko o pragmatycznym miksie TPM/RBI/RCM/PdM, który nie boi się tabelki w Excelu.

Jako że nikogo nie trzeba przekonywać odnośnie ewolucji filozofii prowadzenia utrzymania ruchu w firmie, co obrazuje rys. 1, to na początek warto przypomnieć trochę podstaw. Zaczijmy zatem analizę od trzech głównych paradygmatów prowadzenia utrzymania ruchu i trzech rachunków zysków i strat. Z założenia pominięta została metoda proaktywna jako etap przejściowy pomiędzy prewencją a predykcją.

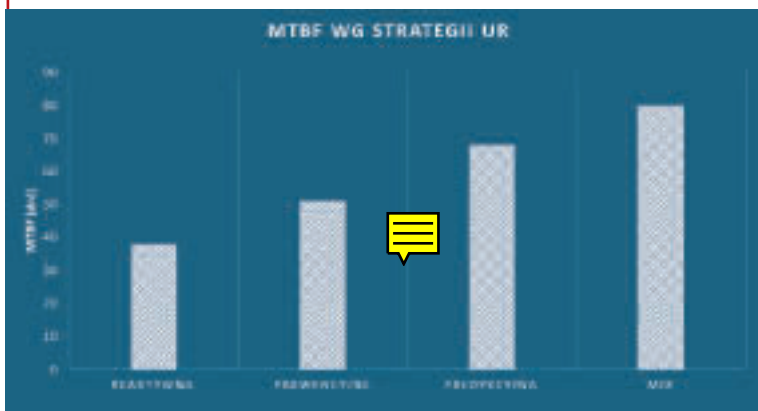
Tanio dziś, jutro drogo

Pierwsza z nich – strategia reaktywna, czyli tanio dziś, jutro drogo – to bezwzględnie najniższe koszty planowe na start, brak PM/CBM, mniej dokumentacji i narzędzi diagnostycznych. Z perspektywy organizacyjnej zdecydowanie króluje prostota, zatem model ten jest łatwy do wdrożenia dla małych, nieskomplikowa-

nych aktywów i bardzo często stosowany na początku istnienia organizacji czy przedsiębiorstwa. Strategia ta ma również sens przy relatywnie niskim krytycyzmie, gdy element jest tani, łatwo dostępny, ma krótki czas wymiany, a sama potencjalna awaria nie wpływa na bezpieczeństwo, jakość, tudzież – ciągłość procesu. To,

RYS. 1

Średni czas pomiędzy awariami w zależności o rodzaju strategii UR



co jest również benefitem tego sposobu prowadzenia UR w firmie, to spore oszczędności na „over-maintenance”, ponieważ z definicji brak jest ryzyka zbyt częstych przeglądów tam, gdzie nie wnoszą wartości.

Główną wadą tej metodologii jest przede wszystkim duża nieprzewidywalność produkcji, ponieważ awarie i przestoje pojawiają się losowo, przez co dużo trudniej dotrzymać planów i SLA. Sumaryczny całkowity koszt cyklu życia jest bardzo wysoki – najwyższy ze wszystkich strategii z uwagi na występujące awarie i szkody wtórne (efekt domina), sama zaś obsługa usterek wymaga ekspresowej logistyki części. Należy również zauważyć, że średnie czasy przestojów są dłuższe z powodu braku przygotowania zarówno części, jak i narzędzi, procedur czy okien postojowych. Powoduje to, że wskaźniki niezawodności są złe, ponieważ MTBF jest niski i niestabilny, MTTR wysoki, a OEE drastycznie spada. Niestety, taki rodzaj strategii ma również bardzo duży wpływ na bezpieczeństwo i środowisko, ponieważ akceptuje ryzyko wystąpienia zdarzeń krytycznych, takich jak wycieki, pożary czy CUI, które „odkrywane” są dopiero, gdy wystąpi awaria. Dodatkowo widoczna jest degradacja jakości z uwagi na fakt, że awarie w toku produkcji generują braki, co niestety promuje większą liczbę reklamacji.

Warto również zaznaczyć, że praca „z gaśnicą w rękę” może prowadzić do wypalenia, rotacji kadr i generalnie słabszej kultury UR.

Kiedy ta strategia ma zatem sens – świadomie i selektywnie?

Jak zauważono na początku, strategia ta może być stosowana w elementach niekrytycznych, o niskim wpływie na bezpieczeństwo, gdzie niezbędne części zamienne są tanie i dostępne z krótkim lead time, w tym urządzeń jednorazowych lub eksploatowanych do zużycia (np. drobne osprzęty, żarówki awaryjne – tutaj CBM bywa tańsze). Takim rodzajem opieki utrzymaniowej mogą być również objęte urządzenia redundowane, przy czym każdorazowo istotna jest analiza kosztowa pojedynczej awarii oraz ryzyko wystąpienia szkód wtórnych.

Koszty są też tym, co najbardziej różnicuje ten rodzaj prowadzenia utrzymania ruchu, gdyż z zasady są one bardzo niskie na początku, z uwagi na niewielkie nakłady inwestycyjne i bieżące. Niestety, wraz z czasem zyski zostają bardzo szybko zjedzone, ponieważ już po kilku latach TCO drastycznie rośnie z uwagi na przestoje, szkody wtórne czy konieczne inwestycje odtworzeniowe, co jest dodatkowo spotęgowane przez ryzyko ogona strat, ponieważ każda pojedyncza awaria potrafi „zjeść” roczne oszczędności na przeglądach.

Prewencyjne utrzymanie ruchu – „kalendarz zamiast przypadku”

Teraz popatrzymy na trochę porządku: prewencja opiera się na założeniu, że ryzyko uszkodzenia rośnie wraz z czasem lub zużyciem, więc lepiej przerwać pracę

planowo niż czekać na awarię. To strategia, która daje przewidywalność: łatwiej rezerwować okna postojowe, kompletować części i zasoby, a dokumentacja i audyt przechodzą „gładko”, gdyż cykle przeglądów są zdefiniowane i weryfikowalne. W praktyce przekłada się to na stabilniejszy MTBF, niższy MTTR (bo zespół i części są gotowe) oraz mniejszą liczbę szkód wtórnych – usterek wyłapywane są podczas planowych przeglądów, zanim eskalują.

Cena tego „spokoju organizacyjnego” jest realna. Po pierwsze, ryzyko serwisowania: gdy tryb uszkodzenia nie zależy od czasu, każde dodatkowe rozebranie węzła bywa zbędne, a czasami wręcz szkodliwe – po przeglądach pojawia się zjawisko „niemowlęcej zawodności”. Po drugie, planowe postoje same w sobie obniżają OEE, a kalendarz nie widzi wszystkiego – awarie mogą pojawić się między przeglądami. Dochodzi do tego koszt koordynacji: marszruty, karty zadań, planowanie i kontrola jakości prac muszą być utrzymane w dyscyplinie, inaczej prewencja zamienia się w pozór.

W jakich miejscach prewencja ma zatem sens? Tam, gdzie dominuje zużycie mierzalne w czasie lub przebiegu: łożyska o przewidywalnym profilu życia, uszczelnienia, filtry, elementy eksploatacyjne. Tam też, gdzie prawo lub kontrakty wymuszają przeglądy okresowe. Gdzie natomiast sensu nie ma? Na węzłach o zawodności losowej, przy komponentach wrażliwych na ingerencję i wszędzie tam, gdzie monitoring stanu daje lepszy sygnał decyzyjny niż kalendarz.

”

Każda pojedyncza awaria potrafi zjeść roczne oszczędności na przeglądach

Jeśli chodzi o koszty – wejście bywa umiarkowane (CMMS, marszruty, narzędzia), a OPEX relatywnie stały i przewidywalny. TCO spada tylko wtedy, gdy interwały są dobrane do rzeczywistej krzywej zawodności – zbyt gęste przeglądy podbijają koszt bez korzyści. Zatem prewencja działa, o ile interwały wynikają z danych (RCM/Weibull), a nie z przyzwyczajenia.

Predykcyjne utrzymanie ruchu – „pracujemy na stan, nie na kalendarz”

I ostatni paradygmat – predykcja. Tu filozofia jest inna: zamiast „kiedy”, kluczem jest: „w jakim stanie”. Wibracje, ultradźwięki, termografia, analiza olejowa, analiza cieczy zaporowych – to wszystko ma jeden cel: złapać uszkodzenie wcześniej na krzywej P-F, by zyskać czas na przygotowaną, krótką i bezpieczną interwencję. Efekt w dobrze prowadzonych programach jest wymierny: mniej postojów nieplanowanych, krótszy MTTR (bo wiemy co, gdzie i jak), niższe zapasy krytyczne

(ponieważ zamawiamy części „pod prognozę”), a komponenty wykorzystują pełnię swojego życia zamiast być wymieniane „na wszelki wypadek”.

To nie jest jednak strategia „za darmo”. Wejście kosztuje – czujniki, przyrządy, integracja IT/OT, analityka oraz zespół, który potrafi te dane interpretować i utrzymywać progi alarmowe. Dochodzą pułapki false positive/false negative, które trzeba ograniczać sensowną inżynierią progów i przeglądami skuteczności. I najważniejsze: nie każdy tryb uszkodzenia ma czytelny sygnał P-F – pęknięcia nagle czy awarie binarne nie dadzą czasu na „predykcję”.

W których obszarach predykcja ma zatem największy sens? Na aktywach krytycznych i wąskich gardłach, o długich czasach dostaw części i wysokim koszcie przestoju – szczególnie w maszynach wirujących, sprężarkach, kompresorach, wymiennikach czy piecach, gdzie sygnały stanu są stabilne i mierzalne. A gdzie nie? Na elementach tanich, niekrytycznych, bez dobrego sygnału diagnostycznego – tam lepiej zostawić prostą prewencję albo świadomą reaktywność.

Finansowo to gra o ROI z unikniętych postojów i szkód wtórnych. CAPEX i kompetencje na start są wyższe, ale zwracają się poprzez realną poprawę dostępności i zmniejszenie „kalendarzówki”. Warunkiem sukcesu jest zamknięta pętla: alarm → automatyczne zlecenie w CMMS → przygotowana interwencja → wniośki do strojenia progów. Bez tego predykcja staje się kolejnym dashboardem bez sprawczości.

Trudne lata: miks TPM + RBI + CBM + RCM – „ryzyko pod kontrolą, gotówka pod ochroną”

Co zatem wybrać w tych „ciekawych”, wymagających czasach? Jak podejść do prowadzenia gospodarki utrzymaniowej, by za 5-10 lat nie zapłacić wysokich odsetek od dzisiejszych redukcji?

W czasach zaciskania pasa konieczny jest pragmatyzm: operator staje się pierwszym inspektorem (TPM), inspekcje idą „według ryzyka” (RBI), prace uruchamia-

my „według stanu” (CBM) na urządzeniach krytycznych, a RCM porządkuje logikę zadań i ucina te, które nie wnoszą wartości. Prewencję kalendarzową zostawiamy tam, gdzie wymaga tego prawo, albo mamy jasny tryb zużycia; resztę kierujemy w miejsce, gdzie iloczyn prawdopodobieństwo × skutek jest najwyższy.

Zalety są konkretne. TPM szybko czyści „drobnicę” awaryjną: wycieki, luzy, brud, złe nastawy – to przyczyny wielu „małych”, ale kosztownych zatrzymań. RBI redukuje nadmiar NDT i skupia uwagę na „czerwonych polach” – tam ryzyko jest realne. CBM daje czas na reakcję na aktywach krytyczności A, skracając postoje i obniżając zapasy krytyczne. RCM zamyka dyskusję „bo zawsze tak robiliśmy”, zostawiając tylko te zadania, które realnie adresują znane tryby uszkodzeń.

Słabości też trzeba nazwać: bez ładu w danych i zarządzaniu (RACI, planowanie tygodniowe, przeglądy miesięczne, kody przyczyn w CMMS) miks rozmywa się w inicjatywizmie. Zbyt wiele programów naraz potrafi przeciążyć organizację i obniżyć jakość wykonania. RBI i RCM oparte na słabych danych wytworzą fałszywe poczucie bezpieczeństwa – to należy wprost zarządzić.

Gdzie się to broni? W zakładach o mieszanym parku aktywów (statyczne + wirujące), z napiętym budżetem i niską tolerancją na ryzyko HSE/produkcyjne. Warunkiem jest minimalna infrastruktura: uczciwy rejestr aktywów, BOM-y, marszruty, CMMS jako jedno źródło prawdy, a także gotowość do wdrożenia zwykłej, codziennej opieki aparaturowego. Gdzie nie? Tam, gdzie brakuje podstaw – bez danych i dyscypliny planowania lepiej zacząć od uporządkowania fundamentów.

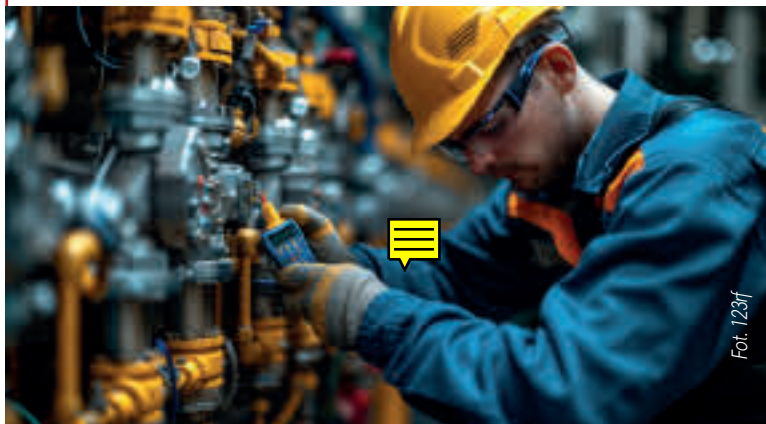
Kosztowo ten miks to selektywne inwestycje: podstawowy pakiet czujników na najbardziej krytycznych aktywach, szkolenia TPM, proste narzędzia do przeglądu i weryfikacji RBI oraz warsztaty RCM dla urządzeń kategorii A. OPEX opiera się na krótkich, częstych inspekcjach operatora, ograniczonym NDT „według ryzyka” i interwencjach wywołanych CBM. Efekt finansowy przychodzi z trzech stron: mniej nieplanowanych postojów, mniejsze szkody wtórne, niższe zamrożenie w zapasach krytycznych.

Ten „kryzysowy” paradygmat warto wdrażać etapami: najpierw klasyfikacja krytyczności i lista najbardziej krytycznych, równolegle TPM na liniach kluczowych, monitorowanie RBI, CBM na wybranych aktywach, a potem cykl RCM dla najważniejszych węzłów. Do tego prosty, twardy rytm operacyjny i konsekwencja w zamykaniu pętli wniosków. Wtedy trudne lata przestają być pasmem gaszenia pożarów, a stają się kontrolowanym zarządzaniem ryzykiem i gotówką. Obrazowo zależność tą przedstawiono na rys. 2.

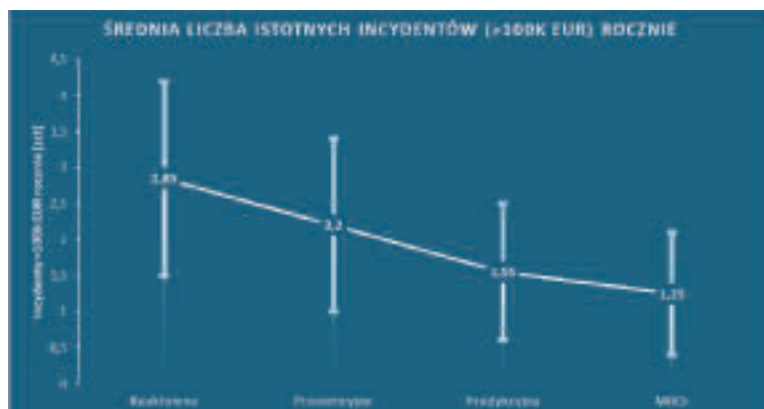
Przy opracowywaniu danych statystycznych, z uwagi na brak jednoznacznych danych dla branży petrochemicznej, za punkt wyjścia przyjęto strategię reaktywną, dla której użyto danych CONCAWE 2025 sektora rafineryjno-petrochemicznego. Przyjęto w 2024 56 zdarzeń Tier 1 i 128 Tier 2 w obszarze produkcji; PSER1 = 0,19/Mh; PSER2 = 0,45/Mh; udział Tier1 ≈ 30% (56/184).

PREDYKCJA CZY ŚWIADOMA REAKTYWNOŚĆ

Predykcja ma największy sens na aktywach krytycznych i wąskich gardłach, o długich czasach dostaw części i wysokim koszcie przestoju. Sensu nie ma na elementach tanich, niekrytycznych, bez dobrego sygnału diagnostycznego – tam lepiej zastosować prostą prewencję albo świadomą reaktywność



Fot. 123rf



RYS. 2
Średnia liczba
istotnych
incydentów

Tier 1 ≠ „100k EUR” i nigdy nie wyjdzie 1:1, ale w petrochemii to dobry substytut „incydentu istotnego” (wysoki próg konsekwencji wg API RP 754). Dla rafinerii, przy kosztach przestoju rzędu >100 k USD/h, większość Tier1 przekracza tę wartość.

Przyjęto, że organizacje operujące *de facto* „reaktywne” lokują się w górnej połowie rozkładu PSE (Q3-Q4), tj. ~5–14 PSE/rok. Mnożąc przez udział Tier1~30% dostajemy bazę ~1,5–4,2 istotnych incydentów/rok (Tier1 potraktowane jako wykładnik zdarzeń >100k EUR) [1]

Do przeprowadzone analizy przyjęto, że w przypadku innych strategii następuje redukcja liczby zdarzeń,

co oparto na publikowanych zakresach spadku awarii/przestojów. Przyjęto, że:

- PM (prewencja) redukuje o 20-30% awarie i inne zdarzenia niezawodnościowe, co jest potwierdzone w studiach TPM/PM i analizie poszczególnych przypadków – widoczna redukcja zatrzymań nieplanowych [2].
- Predykcja CBM/PdM zmniejsza o 40-60% nieplanowane awarie/przestoje poprzez liczne przeglądy [3, 4].
- Miks TPM+RBI+CBM+RCM to zmiana o 50-75% – TPM redukuje zatrzymania i zdarzenia operacyjne, RBI kieruje inspekcje na punkty wysokiego ryzyka, co pozwala na bezwzględne ograniczanie wycieków, CBM skraca czas reakcji [5].

O czym warto jeszcze pamiętać?

Po pierwsze, CAPEX odtworzeniowy: to nie koszt, to redukcja ryzyka. ISO 55000 patrzy na aktywa w osi life-cycle. W petrochemii CAPEX odtworzeniowy (okna rewizyjne, modernizacja izolacji vs. CUI, monitoring on-line) obniża zarówno PoF, jak i CoF, co wprost przekłada się na OPEX i krótsze zatrzymania. API 510/570/653 nadają rygor inspekcjom, a API 580/581 – logikę priorytetyzacji przez RBI. Szybko zwracające się interwencje? Przede wszystkim: dostępność inspekcyjna, następnie – sensory i punkty testowe na aktywach o krytyczności A (sprężarki, krytyczne pompy). W końcu: standaryzacja połączeń serwisowych i magazynu krytycznych części.

Po wtóre, odpowiedni portfel strategii: nie każdy zasób zasługuje na PdM. Ocena krytyczności urządzeń A/B/C załatwia sprawę. Dla urządzeń krytycznych (A) pełne TPM/RBI+PdM i ostre KPI. Dla istotnych (B) – prewencja z elementami CBM tam, gdzie to robi różnicę. Dla urządzeń wspomagających (C) – prewencja minimalistyczna lub reaktywne kontrolowane, o ile istnieje bufor i redundancja.

I na koniec raz jeszcze KPI, które prowadzą budżet za rękę. Dostępność techniczna i OEE – na samej górze. Dalej: MTBF/MTTR per klasa aktywa (wg ISO 14224), ocena ryzyko-koszt, stosunek liczby postojów planowych do nieplanowanych ≥80%, opóźnienia w realizacji zleceń pracy WO w tygodniach i skuteczność PdM (trafność alarmów, czas wyprzedzający ostrzeżeń).

Literatura

1. “European downstream oil industry safety performance. Statistical summary of reported incidents 2024.”; 9/25; C. Baner; Brussels; July 2025.
2. G. Pinto, F.J.G. Silva, A. Baptista, Nuno O. Fernandes, R. Caisais, C. Carvalho; TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study; Procedia Manuf 2020; 51; 1423-1430.
3. M. J. Kwaso; Evaluating the Impact of Total Productive Maintenance elements on a Manufacturing Process; International Conference on Industrial Engineering and Operations Management; Paris, France, July 26-27, 2018.
4. Predictive maintenance 4.0. Beyond the hype; PwC; 2018.
5. L. Kaley; Sunset API RP 581 Risk-Based Inspection Semi-Quantitative Methodology; Inspectioneering Journal; July/August 2025. ■

SŁOWNIK SKRÓTÓW

TCO	„Total Cost of Ownership” – całkowity koszt posiadania.
SLA	„Service Level Agreement” – gwarantowany poziom dostępności usług.
TPM	„Total Productive Maintenance” – utrzymanie ruchu skoncentrowane na maksymalizacji produktywności.
RBI	„Risk Based Inspection” – planowanie inspekcji na podstawie analizy ryzyka.
RCM	„Reliability Centered Maintenance” – utrzymanie ruchu skoncentrowane na niezawodności.
PdM	„Predictive Maintenance” – predykcyjne utrzymanie ruchu.
PM	„Preventive Maintenance” – prewencyjne utrzymanie ruchu.
CBM	„Condition Based Maintenance” – utrzymanie ruchu bazujące na monitorowaniu rzeczywistego stanu technicznego urządzeń.
MTBF	„Mean Time Between Failures” – średni czas między awariami.
MTTF	„Mean Time To Failures” – średni czas do awarii.
MTTR	„Mean Time to Repair” – średni czas potrzebny do przywrócenia sprawności urządzenia.
OEE	„Overall Equipment Effectiveness” – całkowita efektywność wykorzystania zasobów technicznych.
CUI	„Corrosion Under Insulation” – korozja pod izolacją.
CMMS	„Computerized Maintenance Management System” – komputerowy system wsparcia zarządzania utrzymaniem ruchu.
ROI	„Return of Investment” – zwrot z zainwestowanego kapitału.
RACI	„Responsible, Accountable, Consulted, Informed” – matryca odpowiedzialności, ról, konsultowania i informowania w procesie zarządzania.
BOM	„Bill of Material” – lista materiałowa.
PoF	„Probability of Failure” – prawdopodobieństwo wystąpienia awarii.
CoF	„Consequences of Failure” – konsekwencje awarii.

DRGANIA SKRĘTNE

pobudzane przez maszyny

dr inż. Ryszard Nowicki

ekspert w zakresie systemów zabezpieczania maszyn i urządzeń, diagnostyki stanu technicznego maszyn oraz systemów wspomagania UR na poziomie przedsiębiorstwa i koncernu

Mimo że wykorzystywanie drgań do nadzoru stanu technicznego towarzyszy przemysłowi od bardzo dawna, wciąż istnieją obszary, w których klasyczne metody zawodzą. Jednym z nich są drgania skrętne – ich wykrycie w praktyce eksploatacyjnej nadal budzi wiele trudności.

Wykorzystywanie drgań do nadzoru stanu technicznego jest znane od dziesięcioleci. W tym celu, jeszcze przed II wojną światową, zaczęto stosować czujniki sejsmiczne, mocując je do różnych nieruchomych elementów maszyn. Nie wykazywały one jednak wystarczająco wysokiej przydatności w przypadku maszyn o większych mocach, które były łożyskowane ślizgowo. W latach 50. Don Bentley opracował sprawdzające się w praktyce przemysłowej wiroprowdowe czujniki bezkontaktowe, umożliwiające nadzór drgań wirnika, a w ślad za tym osiągnięciem kilka lat później pojawiły się pierwsze systemy monitorowania i zabezpieczeń klasy on-line, wykorzystujące oba rodzaje wymienionych czujników. Ówczesne czujniki nie wspomagały jeszcze utrzymania ruchu w identyfikacji wszystkich problemów natury drga-

niowej, np. nie umożliwiały pomiarów drgań uzwojeń elektrycznych (przede wszystkim w generatorach). Na tę m.in. okoliczność opracowano sejsmiczne czujniki optyczne. Takie, w wydaniu komercyjnym, pojawiły się w ostatniej dekadzie XX wieku.

Maszynom wirnikowym raz po raz przytrafia się jeszcze jeden problem drganiowy, który do dziś nie doczekał się satysfakcjonującego rozwiązania, bowiem zazwyczaj nie jest on wykrywany przez czujniki sejsmiczne oraz sondy bezkontaktowe, powszechnie stosowane do pomiarów drgań poprzecznych. Ten problem to drgania skrętne, czyli oscylacyjne odkształcenia kątowe (skręcenie) systemu wirnikowego [1]. Jeśli są znaczne to mogą szybko spowodować destrukcję maszyny.

Trudności z tymi drganiami nie występują często, ale zdarza się, że gdy się już pojawiają, nie zawsze

są wystarczająco szybko poprawnie rozpoznawane. W przypadku agregatów z przekładniami mogą one skutkować wzrostem hałasu, co jest sygnałem wskazującym na pojawianie się zagrożenia.

W ciągu minionych kilkunastu lat obserwuje się w przemyśle wzrost liczby maszyn, w trakcie pracy których występują impulsowe pobudzenia momentowe, mogące przyczynić się do pojawienia problemów eksploatacyjnych z powodu drgań skrętnych.

W artykule [2] opisano nowy rodzaj czujnika, który umożliwia ich identyfikację. Nie doczekał się on jednak wprowadzenia do bezpośredniej sprzedaży, a jego wykorzystywanie jest umożliwiane przez producenta (także w Polsce) wyłącznie poprzez usługę serwisową. Na rys. 1 pokazano typowy rozkład naprężeń w skręcanym wale oraz charakterystyczne pęknięcie ($\sim 45^\circ$) będące konsekwencją drgań skrętnych.

W artykule zostanie dokonany przegląd majątku produkcyjnego, dla którego może wystąpić problem drgań skrętnych. Ale zanim to nastąpi, zostaną omówione przyczyny, z powodu których należy być przygotowanym do ich rozpoznawania.

Drgania

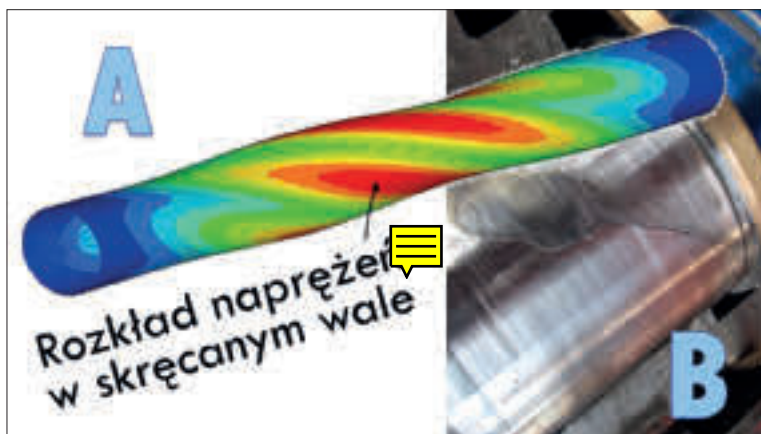
Drgania (czyli okresowe zmiany położenia) pojawiają się w maszynach zawsze wtedy, gdy sprężysty układ mechaniczny zostanie pobudzony do ruchu przez zmienne siły lub momenty i ma możliwość odpowiedzi dynamicznej. Mogą być one mierzone w dziedzinie przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń liniowych lub kątowych.

Każda maszyna (np. silnik, turbina, pompa, wentylator, sprężarka), każdy mechanizm (np. przekładnia zębata), każda konstrukcja statyczna (np. most, budynek, słup, dźwigar), a także każdy ich element mechaniczny charakteryzuje się własnymi częstotliwościami drgań. Ale nie tylko, bowiem rezonanse mogą również występować w przepływających płynach. W układach hydraulicznych, pneumatycznych i przepływowych pojawiają się rezonanse falowe, akustyczne, hydrauliczne lub aeroelastyczne, zależnie od rodzaju ośrodka i warunków przepływu.

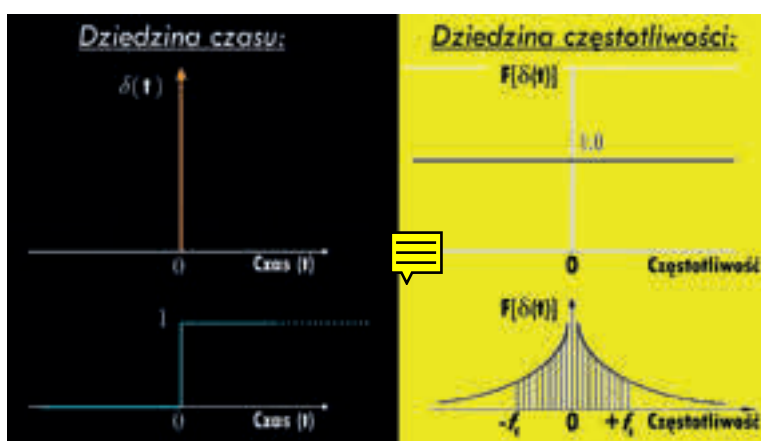
Z drganiami spotykamy się nie tylko w mechanice i aerodynamice, ale także w układach elektrycznych i elektromagnetycznych, gdzie energia wymienia się między polem elektrycznym i magnetycznym. W układach składających się z elementów indukcyjnych czy pojemnościowych ma miejsce rezonansowa wymiana energii między polem elektrycznym kondensatora a polem magnetycznym cewki.

Wyróżnia się trzy rodzaje drgań:

- drgania wymuszone, które w układach mechanicznych są wynikiem oddziaływań siłowych lub momentowych o określonej częstotliwości, a w przypadku obwodów elektrycznych z elementami indukcyjnymi i pojemnościowymi wymuszenie jest powodowane przez zasilane z zewnętrznego źródła napięcia/prądu zmiennego;



RYS. 1
Drgania skrętne: A) rozkład naprężeń, B) pęknięcie walu



RYS. 2
Krótkotrwałe wymuszenia: A) impuls, B) skok jednostkowy

- drgania swobodne, będące reakcją układu na wymuszenie impulsowe (impuls siły, skokowa zmiana momentu, jednorazowe naładowanie kondensatora, prąd początkowy w cewce); trwają aż do całkowitej zamiany energii w ciepło w konsekwencji tłumienia w systemie drgającym;
- drgania rezonansowe, które występują wtedy, kiedy ma miejsce koincydencja częstotliwości wymuszenia z własną układu.

Pobudzenia krótkotrwałe

Wymuszenie impulsowe to nagły, bardzo krótko trwający skok siły lub momentu, spowodowany np. uderzeniem, skokiem momentu elektromagnetycznego, zwarcie w generatorze itp. Matematycznie skok taki opisuje impuls Diraca $\delta(t)$, czyli bardzo krótkie (ale o dużej amplitudzie) oddziaływanie w czasie, tak jak to pokazano z lewej strony na rys. 2. Z punktu widzenia teorii sygnałów: impuls w dziedzinie czasu jest równoznaczny z sygnałem zawierającym składowe we wszystkich częstotliwościach widma (od 0 do ∞), co widać z prawej strony. Oznacza to, że impuls zawiera

składowe harmoniczne o każdej możliwej częstotliwości, a jeśli dla każdej to także dla tych, które są częstotliwościami własnymi układu.

Podobnie układ będzie się zachowywał po wyłączeniu wymuszenia skokowego (gwałtowne dociążenie lub gwałtowne odciążenie). W dolnej części rys. 2 zobrazowano dociążenie jednostkowe. Pokazane z prawej strony widmo będzie w warunkach rzeczywistych zawierało składowe harmoniczne aż do tzw. częstotliwości odciążenia f_c^{-1} .

Po zadziałaniu któregoś z wymienionych krótkotrwałych oddziaływań:

- układ otrzymuje porcję energii,
- część tej energii „pasuje” do jego częstotliwości własnych,
- układ pobudza się do drgań swobodnych (tzn. w częstotliwościach własnych),
- będzie drgał tak długo, dopóki nie nastąpi całkowita dysypacja energii, czyli przekształcanie energii uporządkowanego ruchu makroskopowego w energię termicznych ruchów cząstek.

”

Niezbędnym jest wiedzieć, co stanowi zagrożenie i przed czym się asekurować

Procesy dyssypacyjne dla tego samego układu mechanicznego przebiegają różnie w czasie dla różnych postaci drgań własnych, bowiem charakteryzują się one zróżnicowanym tłumieniem materiałowym. Dla opisu zachowania tłumionego układu drgającego definiuje się bezwymiarowy współczynnik tłumienia ζ (zeta), który typowo wynosi dla drgań:

- poprzecznych ułożyskowanego wirnika: $\zeta = 0,002 \dots 0,02$,
- skrętnych (tzn. bez przekładni ale wraz z napędem): $\zeta = 0,0005 \dots 0,01$,
- skrętnych niejednostajnego układu wirnikowego (tzn. z udziałem przekładni zębatej): $\zeta = 0,01 \dots 0,06$; oznacza to, że zazębiające się koła wprowadzają dodatkowe tłumienie, na które składają się tłumienia: w zazębieniu, w środku smarnym, wypadkowe wynikające z właściwości wałów przekładni osadzonych w łożyskach.

W przypadku stosowania sprzęgieł o wysokim tłumieniu (np. gumowe, wiskotyczne), lub amortyzatorów drgań skrętnych skonstruowanych z intencjonalnie wysokim tłumieniem, można lokalnie zwiększyć tłumienie skrętne systemu wirnikowego do $\zeta = 0,05 \dots 0,20$.

Im mniejsze tłumienie, tym większa amplituda drgań w obszarze częstotliwości bliskich rezonansowym, a pobudzony do drgań swobodnych układ potrzebuje więcej czasu na ich wygaśnięcie, gdyż dyssypacja energii jest mała.

Z powyższego wynika, że w przypadku maszyn wirnikowych z pojedynczą linią wałów pojawienie się drgań skrętnych może prowadzić do większej destrukcji w konsekwencji kumulacji naprężeń niż ta, która jest powodowana przez drgania giętne, ponieważ mody drgań poprzecznych są zazwyczaj tłumione o rząd wielkości bardziej niż czyste mody drgań skrętnych.

Sprężarki tłokowe

Sprężarki tłokowe są jedną z głównych przyczyn problemów z drganiami skrętnymi w układach napędowych. Wynika to z cyklicznego, nierównomiernego momentu obrotowego, jaki generują podczas każdego obrotu wału korbowego. Problem ten został zauważony już kilkadziesiąt lat temu, a w ślad za tym opublikowano w roku 1964 pierwszą normę z serii API 618 [3], dedykowaną wyłącznie sprężarkom wolnoobrotowym do zastosowań w rafineriach. Pojawił się w niej wymóg unikania rezonansów skrętnych (obroty robocze nie mogą się znajdować w przedziale częstotliwości $\pm 10\%$ w stosunku do częstotliwości roboczej systemu wirnikowego).

W edycji 2. (1974) rozszerzono jej stosowanie na sprężarki średnio- i wolnoobrotowe, wykorzystywane do krytycznych zastosowań w petrochemii, chemii i dla gazów przemysłowych. Wprowadzono rozszerzenie wymagań o analizę pulsacji gazowych oraz procesów interakcyjnych między gazem a wałem. Sformułowano także obowiązek analizy układu: napęd – sprężarka – sprzęgło. Mankamentem tej edycji był brak definicji precyzującej, dla jakich obrotów ma miejsce granica między sprężarkami wolno- i średnioobrotowymi, a także brak ograniczeń dotyczących prędkości tłoka lub obrotów, co doprowadziło do pewnych nieporozumień aplikacyjnych.

W edycji 3. (1986) zawarto wymóg pełnej analizy dynamicznej całego układu napędowego wraz z zaleceniami na okoliczność jego modelowania. Poza formalizacją procesu analizy pojawił się także wymóg nie tylko sporządzenia dokumentacji, ale i zatwierdzania jej przez klienta. W 4. (1995) nałożono na dostawców obowiązek dostarczania dokumentacji zawierającej analizę modelową drgań skrętnych (raport: „Torsional Vibration Analysis Report” = TVAR); wykonanie winno się odbywać przy współpracy producentów sprężarki, silnika i sprzęgła.

W 5. doprecyzowano specyfikację metodyki w zakresie wykonywania szczegółowej analizy drgań skrętnych (modelowanie, tłumienie, marginesy, ujednolicenie metod analizy drgań skrętnych powodowanych przez siły gazowe) oraz wprowadzono wymóg uzgodnienia krytycznych częstotliwości

oraz momentów dynamicznych między wszystkimi producentami głównych komponentów agregatu. Zdefiniowano także kryteria akceptacji rezonansu i sposobu raportowania.

Powyższe pokazuje, że od 1964 r. norma API 618 konsekwentnie rozszerzała wymagania dotyczące drgań skrętnych: od prostego zalecenia unikania rezonansu (ww. $\pm 10\%$ w pierwszej edycji było jedynie zaleceniem; w piątej jest już wymogiem, który został rozszerzony na dziesięć harmonik obrotowej z pasmami wokół nich zakazanymi: $\pm 5\%$; w przypadku napędu silnikiem elektrycznym taki sam margines jest wymagany dla częstotliwości sieci zasilającej i jej pierwszej harmoniki)

do wymagania pełnej analizy dynamicznej oraz dokumentacji przeprowadzonych analiz. Za dokumentację kiedyś był odpowiedzialny jedynie producent sprężarki, a współcześnie – wytwórca wszystkich głównych komponentów agregatu.

W roku 2020 pojawiła się edycja 6. (aktualnie obowiązuje jej rewizja [4]), w której:

- wprowadzono cyfrowe modelowanie 3D i analizę dynamiczną z wykorzystaniem metod numerycznych (FEA, MBD),
- uwzględniono sprzężenie z analizą pulsacji gazowych i interakcją układu napędowego (sprężone efekty skrętno-akustyczne),

PODEJŚCIE DO NORMALIZACJI

W generowanych w Polsce licznych dokumentach brakuje odwołań do norm opisujących najlepsze praktyki inżynierskie, opracowanych w krajach najbardziej rozwiniętych. Bywa również, że jeśli już ma to miejsce, są to normy zdezaktualizowane, bowiem zastąpione przez nowsze.

Norma API 618 doczekała się swojego odpowiednika w ISO 13631 [5]. Mimo znacznego podobieństwa, obie normy nie są identyczne. Norma ISO nie określa szczegółowo wymagań dotyczących drgań skrętnych, choć podkreśla ważność zapewnienia przez dostawcę zaprojektowania agregatu sprężarkowego tak, aby działał bez generowania szkodliwych drgań, mogących wpłynąć na wydajność i trwałość. Dokument informuje, że szczegółowe wskazówki można znaleźć w wytycznych EFRC[†] (ramka: „Wytyczne EFRC”) oraz w normie ISO 3046-5, które zawierają kompleksowe informacje na temat analizy i sposobów ograniczania problemów związanych z drganiami skrętnymi w sprężarkach tłokowych.

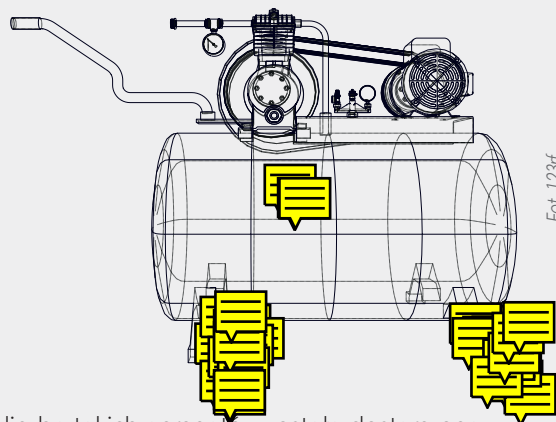
W konsekwencji agregat sprężarkowy, zaprojektowany zgodnie z normą ISO, może nie być w pełni zgodny z normą API 618. Różnice pojawiają się w wymaganiach testowych, materiałach i marginesach bezpieczeństwa współczynników projektowych.

Zauważmy, że norma ISO została opublikowana w roku 2002, a więc prezentuje poziom zbliżony do edycji #4 API 618 (ta miała miejsce 30 lat temu!), która doczekała się dwóch kolejnych rewizji w latach 2007 i 2016, a aktualnie obowiązuje jej uaktualniona wersja z roku 2024.

A co na to Polskie Normy? W wyszukiwarce PN lepiej się nie posługiwać numerem 13631, bowiem prowadzi on do serii norm EN 13631 omawiających tematykę...

„Materiały wybuchowe do użytku cywilnego”. Brak także nawiązania do API 618.

Spróbujmy spojrzeć na problem przez pryzmat dojrzałości krajowych inwestorów. Wszak pewna



liczba takich agregatów została dostarczona i uruchomiona w bieżącej dekadzie w Polsce:

1. Jakie wymagania dla agregatów tłokowych zostały sformułowane w SIWZ-ach?
2. Którzy inwestorzy dokonali analizy nabywanych agregatów pod kątem drgań skrętnych?
3. Którzy inwestorzy spotkali się z walidacją analiz modelowych poprzez analizę rzeczywistych właściwości dynamicznych nabywanego agregatu?

Odpowiedź na pytania jest podstawą do inwestycyjnej samooceny.

Natomiast dobrze jest pamiętać, że agregaty, które nie prezentują dobrych właściwości dynamicznych, będą częściej ulegały awariom, co przekłada się na pogorszenie wyniku finansowego przedsiębiorstwa. Dodatkowo, w przypadku braku ich wyposażenia w system monitorowania stanu technicznego, nie będzie możliwe stosowanie predykcyjnego podejścia do UR oraz możliwości kontroli poprawności przeprowadzanych remontów.

[†] EFRC = European Forum for Reciprocating Compressors/powołane w roku 1999

WYTYCZNE EFRC



Fot. 123rf

Szczegółowe zalecenia dotyczące problematyki drgań skrętnych w sprężarkach tłokowych można znaleźć w wytycznych EFRC. Obejmują one:

- I. Analizę drgań skrętnych – szczegółowe wymagania dotyczące przeprowadzania analiz drgań skrętnych w celu oceny i łagodzenia potencjalnych problemów.
- II. Testowanie walidacji drgań skrętnych – wytyczne dotyczące eksperymentalnej weryfikacji występowania drgań skrętnych w dostarczanych urządzeniach.
- III. Zagadnienia dotyczące instalacji, eksploatacji i UR – zalecenia dotyczące utrzymania integralności systemów maszynowych dostrojonych skrzętnie.
- IV. Wymagania dotyczące niezbędnych danych dla analizy drgań skrętnych – listy kontrolne danych wymaganych od producentów urządzeń do przeprowadzania analiz drgań skrętnych.
- V. Procedury obliczeniowe – konkretne procedury obliczeniowe uznane za najlepsze praktyki w analizie drgań skrętnych.

Niniejsze wytyczne są szczególnie cenne dla zapewnienia wydajnej i niezawodnej pracy sprężarek tłokowych, bez niekorzystnych wpływów ze strony drgań skrętnych.

- nakazano uwzględnienie w procesie modelowania także przekładni zębatej, jeśli jest wykorzystywana,
- doprecyzowano wymagania dotyczące weryfikacji modelu (np. poprzez dane z pomiarów w czasie rozruchu),
- rozszerzono zakres TVAR o wymóg zawarcia w raporcie dokumentacji symulacyjnej oraz walidację danych wejściowych; w praktyce recenzenci oczekują kompletnych wykresów interferencji, analizy niepewności, pełnych kształtów modów, wymuszonej odpowiedzi, widm momentu obrotowego, tłumienia, etc.

Dodatkowe informacje o dokumentach normalizacyjnych i formułowaniu wymagań zawarto w ramach: „Podejście do normalizacji” oraz „Wytyczne EFRC”.

Sprężarki osiowe, odśrodkowe i ekspandery

Dla maszyn wymienionych w tytule sekcji dedykowana jest norma [6]. Jej pierwsza edycja pojawiła się w roku 1964 i już wtedy znalazł się w niej wymóg: „W zakresie prędkości roboczych dla obracających się elementów nie mogą występować prędkości krytyczne”. Zakładało się domyślnie, że producent maszyny powinien uwzględniać nie tylko prędkości krytyczne dla drgań giętnych, ale także dla skrętnych. W edycji #2 (1973) już explicite mówiło się o potrzebie unikania krytycznych drgań skrętnych. W edycji #4 (1981) dodano dedykowaną podsekcję poświęconą analizie drgań skrętnych w ramach wymagań dotyczących projektowania dynamiki systemu mechanicznego. Po raz pierwszy faktycznie wymagano analizy drgań skrętnych wraz z dokumentacją. Na dostawcę nałożono obowiązek określenia częstotliwości skrętnych drgań własnych całego układu: napęd – przekładnia – sprężarka, a także wykazania, że w przedziale prędkości roboczych, powiększonym po obu stronach o 10%, nie występuje częstotliwość drgań własnych skrętnych.

W edycji #5 (1989) wzmocniono wymagania dotyczące projektowania (przez uzupełnienie modelu o koła zębate oraz sprężgła), a także dopuszczono możliwość znajdowania się rezonansów w strefie roboczej, ale postawiono wymóg analiz modelowych na okoliczność wymuszonej odpowiedzi układu i ocenę, w jakim stopniu odpowiedź ta może szkodzić agregatowi. W edycji #6 (1995) sformalizowano marginesy separacji (10%/5%) i dla agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi dodano wymóg analizy wpływu częstotliwości zasilania i jej harmonik na dynamikę agregatu. Jednocześnie postawiono wymóg, że cały agregat (tzn. łącznie z wszystkimi przekładniami zębatymi) musi podlegać modelowaniu drgań skrętnych.

Rok później pojawiła się premierowa wersja dokumentu z serii „Rekomendowane Praktyki” [7], będąca samouczkiem w zakresie prowadzenia analiz dynamicznych (w tym m.in. modelowania i analizy drgań skrętnych) dla różnych specyficznych maszyn i agregatów, którym są dedykowane normy API.

W edycji #7 (2002) wprowadzono integrację z API 684 [7]. Dokument stał się referencyjnym dla metodologii analizy drgań skrętnych. W kolejnych edycjach #8 i #9 nastąpiło doprecyzowanie szeregu kwestii, w tym także postawiono wymóg bardziej rygorystycznej dokumentacji i weryfikacji – szczególnie w przypadku agregatów napędzanych silnikami zasilanymi z przebiegów częstotliwości (VFD) oraz agregatów pracujących z dużymi prędkościami obrotowymi wirnika.

W roku 2002 ISO opublikowało grupę norm ISO 10439 [8],[9],[10], [11], które dedykowane są tej samej problematyce, jaką wcześniej poruszyła norma [7].

Normy ISO nie wnikają w szczegółowe wymagania dotyczące analizy drgań skrętnych, tak jak czyni to API 617. Zamiast tego wymagają sprawdzenia układu: napęd – sprężarka pod kątem kompatybilności skrętnej celem upewnienia się, że w zakresie prędkości roboczych nie występują rezonanse. Analizę drgań skrętnych należy przeprowadzić na żądanie kupującego lub w przypadku ryzyka związanego z konfiguracją agregatu. Obowiązkiem dostawcy jest potwierdzenie, że zespół mechaniczny pozostaje wolny od krytycznych rezonansów skrętnych w normalnych warunkach pracy.

Nieco później, bo w roku 2009, ISO opublikowało normę [12] poświęconą tematyce drgań skrętnych w zestawach: turbina – generator (w pierwszej wersji: powyżej 50 MW, a w aktualnej moc agregatu nie jest już limitowana). W dokonanej kilka lat później rewizji normy ISO 10439 znajduje się odwołanie, że dla analizy drgań skrętnych agregatów sprężarkowych winna być stosowana metodologia opisana w normie dedykowanej turbogeneratorom [12]².

Sprężarki przekładniowe

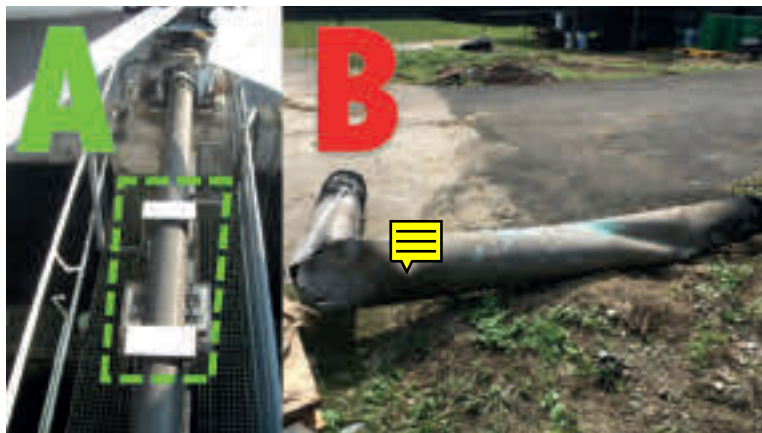
Drgania skrętne mogą stanowić problem także dla sprężarek przekładniowych [13]. Został on zauważony już ponad pół wieku temu i znalazł swoje odzwierciedlenie w normie API 672. Pierwsza edycja tej normy, dedykowanej przekładniowym sprężarkom powietrza, ukazała się w roku 1981 i odnosiła wyłącznie do sprężarek pracujących w obszarze serwisu powietrznego. Dopiero kilkanaście lat później normę zmodyfikowano na aplikacje powietrzne także w obszarze przemysłu naftowego, chemicznego i gazowego. Jej aktualna rewizja #5 obowiązuje od roku 2019 [14].

Norma wymienia typowe źródła wzbudzenia, które należy uwzględnić podczas modelowania drgań skrętnych sprężarek przekładniowych. Są to: błędy przekładni (w tym m.in.: niewyważenie, bicie linii podziałowej, skumulowany błąd podziału); drgania skrętne wywołane przez drgania promieniowe przekładni; cykliczne impulsy procesowe (tzn. pulsacje ciśnienia generowane przez poszczególne stopnie sprężania); harmoniczne prędkości roboczych (1X, 2X) wszystkich linii wirników; wzbudzenia generowane przez silniki elektryczne o zmiennej częstotliwości (lub inne napędy); harmoniczne częstotliwości sieci elektrycznej (1X, 2X).

Sprężarkom przekładniowym poświęcono normę ISO [15]. Jej pierwsza edycja jest późniejsza o dwie dekady od normy API i nie porusza problematyki drgań skrętnych.

Sprężarki wyporowe

Problematyka możliwości wystąpienia drgań skrętnych w sprężarkach wyporowych jest dyskutowana w normie API 619 [16], która po raz pierwszy została opublikowana w roku 1985. Tak jak w przypadku już omawianych maszyn źródło tych drgań może leżeć tak po stronie maszyny, jak i jej napędu. W [17] i [18]



RYS. 3

Wał chłodni wentylatorowej: A) napędzający wentylator B) po katastroficznej awarii

omówiono mechanizm generowania pulsacji ciśnienia w sprężarkach śrubowych i w maszynach Rootsa.

W przypadku maszyn wyporowych napędzanych silnikiem oraz takich agregatów, w skład których wchodzi przekładnie zębate – a także dla agregatów składających się z trzech lub więcej sprzężonych maszyn (z wyłączeniem przekładni) czy dla innych agregatów, gdy tak wymaga się w SIWZ-ie – dostawca całego agregatu musi zapewnić przeprowadzenie analizy jego drgań skrętnych. Jeśli SAT nie przebiegł pomyślnie, dostawca jest odpowiedzialny za wprowadzenie wszelkich niezbędnych modyfikacji w celu spełnienia wymagań.

Częstotliwości drgań skrętnych agregatu powinny być co najmniej o 10% wyższe lub niższe od wszelkich możliwych częstotliwości wzbudzenia w zdefiniowanym przedziale prędkości roboczych (od minimalnej, do maksymalnej prędkości ciągłej). Te wzbudzenia to m.in.: cykliczne impulsy procesowe, przejściowe stany skrętne powodowane przez rozruch silnikiem synchronicznym, rezonanse pętli sterowania w regulatorach hydraulicznych, elektronicznych i w przemiennikach częstotliwości, częstotliwość sieci zasilającej i jej pierwsza harmoniczna, prędkości obrotowe wszystkich linii wałów, częstotliwości harmoniczne z przemienników częstotliwości.

Analiza drgań skrętnych powinna być także przeprowadzona dla stanów transjentowych (rozruch/wybieg) agregatu.

Wentylatory

Nie w przypadku każdej maszyny istnieją normy bezpośrednio jej dotyczące. I tak np. w [13] opisano przypadek chłodni wentylatorowej, w której 16 agregatów było napędzanych silnikami o mocy 220 kW. W trakcie procedur SAT 14 z nich doznało poważnego uszkodzenia przekładni zębatach z powodu drgań skrętnych występujących dla częstotliwości ~8,4 Hz. Problem został rozwiązany przez wymianę wałów napędowych na takie, które charakteryzowały się wyższą

sztynnością. Modyfikacja układu napędowego doprowadziła do wzrostu częstotliwości skrzętnych drgań rezonansowych do ~14,0 Hz. W ten sposób drgania własne układu znalazły się poza strefą parametrów pracy wentylatorów chłodni.

Niekoniecznie w pierwszej kolejności musi dochodzić do uszkodzenia przekładni. Jeśli jej wytrzymałość mechaniczna jest znacznie większa od wału, to drgania skrzętne spowodują jego uszkodzenie, doprowadzające do katastroficznej awarii cel chłodni. Na rys. 3A pokazano wał przekazujący moment obrotowy od silnika do wentylatora, dla którego dodatkowo jest zastosowane zabezpieczenie uniemożliwiające (w przypadku awarii) jego znaczne przemieszczenie powodujące uszkodzenia wtórne. Na rys. 3B widać natomiast wał, który odleciał z celi powodując jej katastroficzne zniszczenie. Na wale zauważalne są deformacje podobne do zaprezentowanych na rys. 1, świadczące jednoznacznie o pierwotnej przyczynie destrukcji, jaką były drgania skrzętne.

”

W wielu przypadkach ISO adaptuje opracowane i sprawdzone normy API

W [19] opisano kilka przypadków problemów z wentylatorami osiowymi, w których tarcza robocza znajduje się w znacznej odległości od korpusu silnika. Współcześnie takie agregaty są z reguły napędzane z pomocą VFD, co w przypadku wysokiej podatności wału prowadzić będzie do pojawienia się drgań skrzętnych. W kraju miały miejsce kilka razy problemy eksploatacyjne wkrótce po uruchomieniu takich wentylatorów. Były one spowodowane bądź to błędami projektowymi, bądź też brakiem poprawnego skonfigurowania VFD. Do awarii można było nie dopuścić, gdyby inwestor na etapie procedur SAT dokonał sprawdzenia poprawności dynamiki układu.

De facto byłoby jeszcze lepiej, gdyby na okoliczność drgań skrzętnych inwestor sformułował dla wentylatorów właściwie go zabezpieczające wymagania w SIWZ-ie.

Pompy

W roku 1954 API opublikowała normę dedykowaną wymaganiom niezawodnościowym dla pomp. W roku 2021 ukazała się 12. rewizja tej normy [20]. Współcześnie norma obejmuje szeroką gamę różnych typów pomp odśrodkowych i formułuje dla nich wymagania oraz specyfikacje dotyczące projektowania, testowania, analizy drgań – w tym skrzętnych. Wymagania dla drgań skrzętnych po raz pierwszy pojawiły się w rewizji #8 (1995).

Norma API 610 w sekcji „Napęd i urządzenia napędzane”/„Sprzęganie i osiowanie” wymaga dla ważniejszych agregatów analizy drgań skrzętnych dla całego układu: pompa – sprzęgło – napęd, tak aby upewnić się, że w zakresie prędkości roboczych nie wystąpią żadne szkodliwe rezonanse. Jeśli taka analiza modelowa została sporządzona, to w czasie FAT-u winna mieć miejsce jej weryfikacja, tzn. zgodność modelu z rzeczywistością.

Norma wymaga, aby częstotliwości drgań własnych skrzętnych nie pokrywały się z prędkością roboczą ani jej istotnymi harmonicznymi. Jeśli rezonans skrzętny jest bliski obszarowi prędkości roboczych – wymaga się szczegółowej analizy w celu wykazania, że agregat pompowy nie będzie narażony na drgania o poziomach, które będą dla niego szkodliwe i spowodują przyspieszoną destrukcję. Norma nie zawiera pełnej metodologii obliczeniowej – odsyła do [7], gdzie zawarto szczegółowe procedury analityczne.

Za zapewnienie zgodności zazwyczaj odpowiada dostawca sprzętu albo integrator systemu. Problematyka drgań skrzętnych agregatów pompowych została szerzej omówiona w [21].

W artykule dokonano przeglądu wybranych typów agregatów, które są zagrożone pojawieniem się drgań skrzętnych oraz aktów normowych wspomagających zarówno dostawcę agregatu przed popełnieniem błędu w jego konstrukcji, jak i zabezpieczających użytkownika przed przedwczesnym zaakceptowaniem inwestycji – przedwczesnym, tzn. bez należytego upewnienia się co do charakterystyk dynamicznych agregatu niezbędnych dla jego bezproblemowego wykorzystywania w procesie produkcyjnym. Mimo tego, że Polska leży w Europie, a w tej posługujemy się przede wszystkim normami ISO, to omawiając zagadnienie w pierwszej kolejności odwoływano się do norm rodem z USA, tzn. API, bowiem te o dekady wcześniej niż ISO zaczęły zajmować się poruszonym tematem i formułują najczęściej wymagania bardziej zaawansowane niż to ma miejsce w przypadku ISO. Pokazano, że w wielu przypadkach ISO adaptuje opracowane i sprawdzone normy API (i czyni to szerzej niż opisano w artykule dla problematyki drgań skrzętnych). Śledząc literaturę można zauważyć, że organizacja API jest bardziej żywotna, bowiem od czasu przejścia jakiegoś dokumentu przez ISO przeprowadza kilka jego nowelizacji, gdy tymczasem ISO przez długie lata bazuje na wersji pierwotnie przejętej.

Jeszcze gorzej wygląda sytuacja z krajową normalizacją: rzadko normy PN-EN-ISO są przejmowane w ciągu roku od publikacji przez ISO, czasami to kilka dobrych lat i wciąż znaczna liczba dokumentów ISO przedstawiających znaczenie dla UR pozostaje w długim oczekiwaniu na nabranie „krajowej mocy prawnej”. O przejmowaniu tego, co dobre i potrzebne z API

– odpowiedzialni za krajową normalizację nawet nie myślą. Natomiast inwestorzy winni wiedzieć, że nie ma niczego złego w formułowaniu w SIWZ-ach wymagań wychodzących poza normy ISO i odwoływania się do takich dokumentów, które możliwie najlepiej zabezpieczają ich interesy. Tak więc niezbędnym jest wiedzieć, co stanowi zagrożenie i przed czym się asekurować.

W artykule skoncentrowano się przede wszystkim na pobudzaniu do drgań skrętnych ze strony maszyny roboczej. Oczywiście może do nich dochodzić także za przyczyną napędu. Problematyka ta zostanie omówiona w kolejnym numerze czasopisma.

W wielu przypadkach ISO adaptuje opracowane i sprawdzone normy API

Przypisy

- ¹ Zaznaczona na rysunku częstotliwość f_c jest związana z tzw. zjawiskiem Gibbsa, odnoszącym się do przeregulowania występującego podczas aproksymacji funkcji nieciągłej za pomocą szeregu Fouriera. Powoduje ono oscylacje, które nie maleją nawet po dodaniu kolejnych członów (tzn. po zwiększeniu f_c).
- ² Takie podejście ISO ma miejsce nie tylko w stosunku do rodzajów omawianych w tym punkcie sprężarek. Identycznie norma [12] winna być wykorzystywana dla dowolnych innych agregatów, które hipotetycznie są zagrożone drganiami skrętnymi, jak np. agregaty pompowe, wentylatorowe, etc. Dotyczy ona maszyn roboczych oraz ich napędów, a także innych podzespołów agregatu.

Literatura

- [1] ISO 22266-1:2022 ▶ Mechanical vibration - Torsional vibration of rotating machinery - Part 1: Evaluation of steam and gas turbine generator sets due to electrical excitation. [1]
- [2] Nowicki R., Pompy: drgania skrętne, Kierunek POMPY, 2/2024(872), 34...47.
- [3] API 618 ▶ Reciprocating Compressors for General Refinery Services, Ed. 1, 02/01/1986. [2]
- [4] API 618 ▶ Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, 6th Edition, 2024. [3]
- [5] ISO 13631:2002 ▶ Petroleum and natural gas industries - Packaged reciprocating gas compressors, 08/01/2002 → PN-EN ISO 13631:2009 - wersja polska: Przemysł naftowy i gazowniczy - Zespólone tłokowe sprężarki gazowe.
- [6] API 617 ▶ Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors, 9th Edition, 04/01/2022. [4]

- [7] API RP 684 ▶ API Standard Paragraphs Rotodynamic Tutorial: Lateral Critical Speeds, Unbalance Response, Stability, Train Torsionals and Rotor Balancing, 2nd Edition - WITH BINDER, 08/01/2005 (R2010). [5]
- [8] ISO 10439-1:2015 ▶ Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Axial and centrifugal compressors and expander-compressors - Part 1: General requirements → PN-EN ISO 10439-1:2015-03 - wersja polska: (...) Sprężarki i rozprężarko-sprężarki osiowe i odśrodkowe - Cz. 1: Wymagania ogólne.
- [9] ISO 10439-2:2015 ▶ (...) - Part 2: Non-integrally geared centrifugal and axial compressors → PN-EN ISO 10439-2:2015-04 - wersja polska: (...) Cz. 2: Sprężarki odśrodkowe i osiowe bez integralnej przekładni.
- [10] ISO 10439-3:2015 ▶ (...) - Part 3: Integrally geared centrifugal compressors → PN-EN ISO 10439-3:2015-04 - wersja polska: (...) Cz. 3: Sprężarki odśrodkowe zespolone z przekładnią.
- [11] ISO 10439-4:2015 ▶ (...) - Part 4: Expander-compressors → PN-EN ISO 10439-4:2015-04 - wersja polska: (...) Część 4: Rozprężarko-sprężarki.
- [12] ISO 22266-1:2022 ▶ Mechanical vibration - Torsional vibration of rotating machinery - Part 1: Evaluation of steam and gas turbine generator sets due to electrical excitation. [6]
- [13] Andres L.S., Notes 9, Torsional Vibrations - a (twisted) Overview, 459/659 S&V measurements, Mast-Childs, 2019.
- [14] API 672 (R2024) ▶ Packaged, Integrally Geared Centrifugal Air Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, 5th Edition. [7]
- [15] ISO 10442:2002 ▶ Petroleum, chemical and gas service industries - Packaged, integrally geared centrifugal air compressors, 12/01/2002 → PN-EN ISO 10442:2010 - wersja polska: (...) Odśrodkowe sprężarki powietrzne zespolone z przekładnią zębatą.
- [16] API 619 ▶ Rotary-Type Positive-Displacement Compressors for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries, 5th Edition, 12/01/2010 - Rev 2024. [8]
- [17] Nowicki R., Sprężarki śrubowe w predykcynym UR cz. 1, Chemia Przemysłowa, 2/2020 (754), str. 24-29.
- [18] Nowicki R., Sprężarki śrubowe w predykcynym UR cz. 2: Wytyczne dla monitorowania, Chemia Przemysłowa, 3/2020 (759), str. 66-75.
- [19] Nowicki R., Monitorowanie stanu technicznego krytycznych wentylatorów osiowych, Energetyka Ciepłna i Zawodowa, Nr 2/22 (...) str. 120...132, ISSN 1734-7823.
- [20] API 610 ▶ Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries, 12th Edition, 01/01/2021. [9]
- [21] Nowicki R., Pompy: drgania skrętne, Kierunek POMPY, 2/2024(872), 34...47.
- [1] Symbolem „[1]” zaznaczono akty normowe, które nie zostały do tej pory przejęte przez PKN. [10]

Reklama



POCZUJ CHEMIĘ
DO WIEDZY

chemicznej, petrochemicznej,
rafineryjnej i gazowniczej

kierunek**chemia**



JAK TO Z WĘGLEM BYŁO?



Diamenty to węgiel,
który wziął się do roboty, cz. II

prof. dr hab. inż. Jacek Kijeński

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego

Węgiel, który dziś często postrzegany jest jako wróg zielonej transformacji, przez dekady był fundamentem polskiej codzienności, bezpieczeństwa energetycznego i rozwoju gospodarczego. Druga część moich wspomnień łączy osobiste doświadczenia z karbochemią, polską historią przemian ustrojowych, społecznych i energetycznych.

Tytuł tej części „węglowych” wspomnień zaczerpnąłem z dramatu współczesnego śląskiego dramaturga Pawła Demirskiego, podejmującego problem przemian społeczno-kulturowych Śląska po transformacji ustrojowej 1989 r. Dramat ten demaskuje wizję potransformacyjnego amerykańskiego snu w polskim wydaniu. Snu, w którym „żeby móc, wystarczy chcieć”. W realnym świecie prosta substancja węglowa może ulec przekształceniu w twór niezwykle – diament, ale wymaga to ekstremalnych warunków geologicznych (bardzo wysokich ciśnień i temperatur).

Z mojej perspektywy, do powstania sprawnego i sprawiedliwego systemu społeczno-gospodarczego ze zubożonej w narzędzia pobalcerowiczowskiej szarżyzny, nie mogła wystarczyć utopijna niewidzialna ręka rynku. Taka przemiana wymaga pomysłu, ciężkiej pracy i wyrzeczeń. Zawsze byłem przekonany, że to samo dotyczy racjonalnego i efektywnego wykorzysta-

nia węgla. Nie wystarczy go wydobyć, rzucić na hałdy, a potem magistralą powieźć na rynek.

Moje specjalności zawodowe nie są pozornie bliskie karbochemii. A jednak... Kręta ścieżka mego rozwoju zawodowego (mam nadzieję, że jeszcze nie skończona) wielokrotnie trafiała na wszystkie niemal sposoby zaprzęgnięcia węgla do roboty.

Planowałem studia prawnicze, ale decyzję podejmowałem wiosną 1968 roku, kiedy nie opadły jeszcze emocje marca – to nie był czas dla prawników. Wobec tego Politechnika Warszawska. Rzut monetą miał ominąć moje niezdecydowanie: wysokie napięcia na Wydziale Elektrycznym czy technologia chemiczna. Wypadła reszka – stanęło na chemii.

Byłem studentem indywidualnym (zresztą pierwszym w historii Wydziału) – ukończyłem specjalność technologia ogólna nieorganiczna, którą wybrałem ze względu na możliwość pobierania nauk u prof. Stefana

Fot. 123rf

PANELE (NIE) OPLACALNE?

Biorąc pod uwagę globalny deficyt energetyczny i próby jego ograniczenia, warto do beczki miodu dodać łychę dziegciu w postaci metryczki przy instalacji fotowoltaicznej, informując, że panel – jeżeli dożyje wieku zapisanego w gwarancji – dostarczy energii niewiele więcej niż zużyto na jego produkcję



Weycherta, jednego z najwybitniejszych technologów praktyków, ale moja praca dyplomowa to już fotochemia związków aromatycznych. Po studiach – studium doktoranckie w obszarze katalizy w syntezie organicznej. Perspektywy szerokie, ale wszystko daleko od węgla i karbochemii.

Acetylen – uwolnienie demona z węgla

A jednak... Sierpień 1971 r., praktyka po trzecim roku studiów w Zakładach Azotowych im. Pawła Findera w Chorzowie. Zebranie informacyjne dla ponad setki uczestników z uczelni z całej Polski. Przedstawiono nam możliwość wyboru: standardowa praktyka w godzinach 8-14, albo pełnowymiarowe zatrudnienie w systemie trzymianowym czterobrygadowym, oczywiście z wynagrodzeniem. Byłem wśród znaczącej mniejszości, która wybrała pracę. Pewne doświadczenia jak funkcjonuje ruch w zakładach chemicznych już miałem po bardzo dobrej praktyce mechanicznej w Warszawskich Zakładach Farmaceutycznych Polfa, odbytej po pierwszym roku studiów. W Chorzowie trafiłem na Wydział Karbidowni.

Najbardziej wyrazistym wspomnieniem z Chorzowa jest obsługa pieca karbidowego nocą, w której kilka razy uczestniczyłem. Nad głowami (był piękny sierpień) kantowskie niebo, w czasie oczekiwania na zakończenie procesu przed zamurowanym wpustem do pieca rodaków rozmowy o życiu, dziewczynach, piłce i przyszłości. Wreszcie, w lunie i fali żaru, spust po otwarciu pieca przy użyciu wielkiej elektrody i rozżarzona lawa, spływająca do wózków pod piecem. Czasami synchronizacja szwankowała i strumień produktu spływał poza wózki, zastygając na szynach. Wtedy odkuwanie, tak szybko jak to możliwe (na zastygający żużel wchodziliśmy w odpornych butach roboczych, które chłodziliśmy wodą mineralną przysługującą nam na stanowiskach pracy).

Dla mnie było to prawdziwe chemiczne rozpoznanie walką. Często frapujące opowieści snute przez bezkompromisowych hanysów i goroli zapamiętałem na lata, podobnie jak pył piecowy, grubą warstwą odkładający się na nas i na wszystkim na terenie karbidowni. Po każdej dniówce długo zmywałem go z siebie pod zakładowymi prysznicami.

Karbidownie zniknęły z naszych zakładów chemicznych z końcem XX wieku. Poza jedną, właśnie w Chorzowie. Oto przez kilkanaście dalszych lat spółka Polsin-Karbid kontynuowała produkcję około 50 tys. t rocznie karbidu na instalacji dzierżawionej od Zakładów Azotowych w Chorzowie. Dziś właścicielem firmy jest katowicka firma Gemi, większościowy właściciel huty Łaziska. Obecna wielkość produkcji karbidu nie jest mi znana, ale optymizmem napawa fakt, że poza wytwarzaniem acetylenu i azotniaku, w hutnictwie wykorzystuje się go do odsiarczania surówki żelaza i oczyszczania stali, co zdecydowanie mieści się w profilu huty Łaziska.

Ścieżki naszego myślenia, podobnie jak droga życia, często bez naszego świadomego wpływu, pętla się, powodując nieoczekiwane powroty do obszarów stanowiących wcześniejsze etapy naszego rozwoju. Oto bowiem węglík wapnia, od niepamiętnych czasów nazywany karbidem (czasami acetylenkiem wapnia), został po raz pierwszy otrzymany przez Friedricha Wöhlera (1862) przez prażenie węgla ze stopem cynku i wapnia.

Wöhler – ten sam, którego synteza mocznika z izocyjanianu amonu doprowadziła do obalenia teorii witalistycznej – przez rozkład karbidu wodą otrzymał acetylen. O swojej fascynacji przemianą światopoglądu badaczy i twórców cywilizacji, która była wynikiem upadku teorii witalistycznej, napisałem wcześniej. To ona otworzyła nowe możliwości realizowania się

człowieka jako biblijnego gospodarza naszego świata. Acetylen z kolei, zachowując oczywiście odpowiednie proporcje, wytyczył nowe (z wieloma skrótami) szlaki przemysłowej syntezy organicznej, a także obróbki metali. Tu trzeba jednak podkreślić, że praktyczna metoda wytwarzania karbidu z tlenku wapnia i koksu przez stapianie ich mieszaniny w łukowym piecu elektrycznym została opracowana przez Wilsona dopiero w 1892 roku. Drzewo produktowe acetyleny jest niezwykle bogate, jego większą część zweryfikowała praktyka na całym świecie, pozostała część to głównie metody oparte na pośrednim wytwarzaniu acetylenów metali bądź ketenu. Są one ciągle wyzwaniem dla projektantów, ale posiadają (o czym jestem głęboko przekonany) ogromny potencjał praktyczny dla syntezy *fine chemicals*.

A więc węgiel okazał się nie tylko bogatym źródłem węglowodorów aromatycznych i ich pochodnych, otrzymywanych na drodze destylacji smoły koksowniczej, ale również źródłem surowcowym dla pozyskiwania wielu wczesnych tworzyw polimerowych i związków alifatycznych. Wcześniej pisałem o historycznej kreacji przemysłowej syntezy chemicznej poprzez koksochemię. O znaczeniu ścieżki karbidowej może świadczyć fundamentalna rola, jaką węgiel wapnia odegrał na przełomie XIX i XX w. w USA. Wskazują na nią nazwy kultowych dla światowego przemysłu chemicznego amerykańskich koncernów – Union Carbide Corporation (wchłonięta przez Dow Chem. u schyłku XX w., między innymi w związku z katastrofą w indyjskim Bhopalu) i American Cyanamid Corporation (cyjanamides wapnia – azotniak to drugi obok acetyleny masowy produkt wytwarzany z karbidu).

Niemal do końca lat 60. XX w. znaczenie acetyleny stale rosło. Lata 70. przyniosły stopniowe ograniczenie syntetycznego wykorzystania acetyleny. „Heroiczne” warunki pracy pieca karbidowego, w którym z koksu i kamienia wapiennego otrzymuje się karbid (2200-2500°C), i powstawanie 2,8 t odpadowego Ca(OH)_2 na każdą tonę acetyleny podczas hydrolizy węgla wapnia spowodowały, że jego produkcja stała się ekonomicznie mało opłacalna. Może poza takimi krajami jak Norwegia – o wielkich zasobach taniej hydroenergii i znaczących powierzchniach nieużytków do składowania wodorotlenku wapnia.

Bilans, Misiu, bilans

„Kasa, Misiu, kasa...” – to ulubione powiedzenie Janusza Wójcika, jednego z największych motywatorów wśród trenerów piłkarskich (selekcjonera reprezentacji i wielkiego trenera mojej ukochanej Legii), w którym wyrażał przekonanie, że o wszystkich aspektach współczesnego futbolu decyduje pieniądź. Ja z kolei uważam, że w przypadku technologii, o jej doskonałości, a później przydatności decyduje rzetelny bilans parametrów procesowych, ekonomicznych i środowiskowych, przeprowadzony – co najważniejsze – w odpowiednio szerokich granicach. Pozwala to wdrożyć

w życie najważniejszą z zasad współczesnej technologii chemicznej Stanisława Bretsznajdera – „Zasadę umiaru technologicznego”. Prawdę tę starałem się skutecznie przekazać kilku tysiącom absolwentów kierunków chemicznych Politechniki Warszawskiej w swoich wykładach technologii chemicznej.

Wysoka energochłonność procesów wytwarzania jest w technologii chemicznej, którą pozwolę sobie określić jako „potoczną”, sygnałem do rezygnacji z nich. Argumentacja jest oczywista. A jednak... Kiedy cel to związek platformowy, bilans energetyczny – jak zwykle w przypadku chemikaliów o mniejszym znaczeniu – ogranicza się do określonego procesu i konsumowanych w nich użytków. Acetylen, który w szeregu nasycenia etan-etylen-acetylen wykazuje najwyższą trwałość w wysokich temperaturach (alternatywnymi metodami jego otrzymywania w stosunku do ścieżki karbidowej są: wysokotemperaturowa piroliza gazu ziemnego, proces Wolffa i półspalanie metanu, proces Sachsee – oba wysoko energochłonne, choć nie tak jak synteza poprzez karbid), zawiera w cząsteczce znaczną część energii włożonej w jego otrzymywanie. Oddaje ją w reakcjach z innymi cząsteczkami, co determinuje jego bardzo wysoką reaktywność. Zatem w przemianach acetyleny, w obrębie bardzo licznych gałęzi jego drzewa produktowego, odzyskuje się znaczącą część energii skonsumowanej dla jego otrzymania.

”

Węgiel może dać szansę na przetrwanie do czasu zdobycia kompetencji dla prawdziwego wykorzystania energii naszej gwiazdy

Ze skutkami nieplanowanego wyzwolenia energii zawartej w acetylenie zetknąłem się kilka razy w życiu. Kiedy miałem niespełna 5 lat, na podwórku remontowanej posesji sąsiadującej bezpośrednio z kamienicą, w jakiej mieszkaliśmy, syn dozorczyń przedarł się nocą do agregatu wytwarzającego acetylen i zapalką spowodował eksplozję, która pozbawiła go życia, a mieszkania na niższych kondygnacjach obu budynków – okien. Grzmot wybuchu postawił mnie na równe nogi i w mojej pamięci słuchowej pobrzmiwa do dziś. Z kolei z pamiętnej praktyki na chorzowskiej karbidowni wyniosłem obraz szramy okalającej jej główny budynek – pozostałości po mającym kilka lat wcześniej wybuchu wywołanym przez resztki acetyleny, pozostawione w rurociągu ciętym w ramach remontu przez siedzących na nim spawaczy, których życia w mgnieniu oka uleciały wraz z dachem budynku. Wreszcie, w piękny wrześniowy dzień 2020 roku, na

ACETYLEN

wytoczył nowe szlaki przemysłowej syntezy organicznej, a także obróbki metali. Dzisiaj drzewo produktowe acetyleny jest niezwykle bogate, a jego większą część zweryfikowała praktyka na całym świecie



fot. 123rf

ulicy Wrocławskiej na warszawskim Bemowie, gdzie mieszkam, na samochodzie jadącym do usterki sieci ciepłowniczej wybuchła butla z acetylenem, zabijając dwóch jadących nim pracowników, raniąc tragicznie trzeciego i dwoje przypadkowych przechodniów. Przyczyny eksplozji nigdy nie ustalono, a sprawę odpowiedzialności, mam wrażenie, zamieciono pod dywan. Zawsze dobrze poinformowany TVN24, w swojej internetowej wersji skonstatował: „Acetylen jest związkiem bardzo niebezpiecznym”.

Kiedy byłem młodym nastolatkiem radość po rezurekcji wyrażaliśmy kanonadą pod wiaduktem Mostu Poniatowskiego (dla lepszego efektu). Ja preferowałem wielki klucz z kalichlorkiem (nadtlenek potasu), większość chłopaków strzelała jednak z puszek z karbidek przez reakcję z wodą, uwalniając moc acetyleny.

Chlorek winylu, nowoczesność po staremu

Sztandarowym przykładem wykorzystania reaktywności acetyleny jest synteza chlorku winylu, monomeru do otrzymywania PVC – tworzywa polimerowego powszechnego użytku, o wyjątkowo korzystnej relacji właściwości użytkowych do kosztów otrzymywania. Najstarszą i najprostszą metodą jego otrzymywania jest przyłączenie bezwodnego chlorowodoru do acetyleny w fazie gazowej wobec chlorku rtęci osadzonego na węglu aktywnym (jako katalizatora). Reakcja jest prosta i ma wysoką wydajność w porównaniu z oksychlorowaniem etyleny, które zastąpiło ją w większości świata (w Polsce realizowane w Anwilu). Addycja HCl do acetyleny daje możliwość prostego oczyszczania produktu i wiąże się ze znacząco niższymi kosztami kapitałowymi i operacyjnymi w stosunku do metod wykorzystujących etylen jako surowiec.

Renesans metody acetylenowej już się wydarzył, obecnie 70% chlorku winylu wytwarzanego w Chinach

(największy producent PVC w świecie, 18 mln ton rocznie) powstaje z acetyleny. Decydują o tym trzy powody: (i) Chiny posiadają najbogatsze w świecie złoża węgla i bardzo bogate złoża węglanu wapnia, (ii) Chiny nie mają własnych źródeł ropy naftowej, a w wyniku tego ich przemysł dysponuje ograniczonymi źródłami etyleny, (iii) ChRL posiada znaczące doświadczenia w produkcji chlorku winylu klasyczną metodą, co przekłada się na kompetencje i zaawansowany R&D.

Przeciwwagą zalet metody karbidowej są: wspomniana już energochłonność i zanieczyszczenie rtęcią odpadowego Ca(OH)_2 . Kontrola rtęci w jonowych odpadach stałych to rzeczywiście wyzwanie dla ochrony środowiska. Swoją drogą, jako bardzo doświadczony katalityk od lat zastanawiam się, dlaczego przez dziesiątki lat nie poszukiwano alternatywy dla katalitycznego układu rtęciowego dla reakcji określanej w podręcznikach chemii organicznej prostą i ilościową.

Kilkakrotnie już wspominałem o meandrach zawodowego życia naukowca. Oto jako młody badacz współpracowałem z zespołem dr. Andrzeja Wasilewskiego w Zakładzie Katalizy Heterogenicznej Politechniki Warszawskiej i miałem szansę mieć wkład w zastąpienie stosowanego we Włocławku katalizatora oksychlorowania etyleny (po wygaśnięciu włoskiej licencji) polskim, zawierającym twardszy, bardziej odporny na ścieranie nośnik (reakcja jest prowadzona we fluidzie). Pomimo obiecujących wyników prób na instalacji, firma zdecydowała się na ponowny zakup katalizatora we Włoszech. Nasze patenty pozostały w archiwach.

Na początku trzeciego tysiąclecia Zakłady Azotowe w Tarnowie zamknęły instalację klasycznej syntezy chlorku winylu metodą acetylenową. Zapoczątkowało to serię niefortunnych zdarzeń, które przyszło mi oceniać w roli biegłego tarnowskiej prokuratury. W zakładach w Tarnowie działał sensownie zorganizowany

ciąg wytwórczy PVC: synteza monomeru -> polimeryzacja -> przetwórstwo w ramach stolarki budowlanej PVC. Trudny dostęp do etylenu (skutek zaniechania budowy kompleksy rafineryjno-petrochemicznego w Kuźni Tarnowskiej w ramach Programu Chemizacji Gospodarki w II połowie lat 70. XX w. i później, już po transformacji ustrojowej) i wysokie koszty inwestycyjne instalacji oksychlorowania skłoniły ówczesny zarząd firmy do podjęcia ryzyka otrzymywania polichlorku winylu i jego przerobu bez własnego źródła monomeru. Decyzja śmiała, ale ryzykowna, bo na wolnym rynku dostępne było tylko kilkanaście procent wytwarzanego na świecie chlorku winylu, resztę producenci na miejscu poddawali polimeryzacji. Znalaziono dostawcę: firmę Ariana z Kałusza w dawnym powiecie stanisławowskim. Podpisano umowę o wieloletniej dostawie na korzystnych warunkach. Inwestycja ruszyła, ale niedługo potem Ukraińcy sprzedali wytwórnię Łukoilowi, Rosjanie zmienili warunki porozumienia i to był koniec polichlorku winylu w Tarnowie. Najbliżsi dostawcy monomeru znajdowali się bowiem na wyspie Krk w Chorwacji oraz w Japonii.

Miało być o węglu, a jest o PVC. Ale to zamierzone. Z jednej strony, uniwersalne tworzywo polimerowe, perspektywiczne i rozwojowe, a szczególnie w Polsce, gdzie udział budownictwa w tworzeniu dochodu narodowego trudno przecenić, a z drugiej można do niego dojść z węgla niekoniecznie przez acetylen. Jak? Poprzez metanol. Gospodarka oparta na metanolu jest u nas konsekwentnie zamiatana pod dywan od czasu zamknięcia w pierwszych latach XXI w., właśnie w zakładach chorzowskich, ostatniej wytwarzającej ten alkohol instalacji. Zarząd firmy tłumaczył ten ruch faktem, że na bramie produkt z Ukrainy jest tańszy o kilkadziesiąt centów. Tylko dlaczego metanol miał wyjeżdżać za bramę, zamiast być poddanym dalszemu przerobowi? Jeszcze za czasów Gomułki byliśmy siódmym światowym producentem CH_3OH .

Kiedyś nasza wizytówka, dziś – biała plama w polskiej gospodarce

Drzewo produktowe metanolu było radykalnie rozwijane od lat 60. ubiegłego wieku. Pierwszym wysokotonażowym produktem otrzymywanym z metanolu był formaldehyd, źródło szeroko stosowanych żywic fenolowo-formaldehadowych i melamino-formaldehadowych oraz cennego tworzywa konstrukcyjnego – polioksymetylenu (POM), którego polska technologia, realizowana w Zakładach Azotowych Tarnów, powstała w Instytucie Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego. Tuż przed kryzysem w 2008 roku światowa produkcja formaldehydu sięgała 28 mln rocznie.

Drugim tradycyjnym, niezwykle ważnym rynkowym produktem, jest kwas octowy, otrzymywany w procesie karbonylowania metanolu metodą Monsanto, początkowo przejętym przez BP, a obecnie będącym własnością INEOS. Rozwój metody przejęły następnie Celanese i BP, tworząc procesy Celanese Acid Optimi-

zation (AD) i BP Cativa, bardziej efektywne i o większej skali. Obecnie w USA około 88% syntetycznego kwasu octowego pochodzi z procesów karbonylowania.

Kolejną ważną gałęzią drzewa produktowego metanolu jest bezwodnik octowy... Tu wyjaśnienie: czytelnik może odczuwać zniecierpliwienie – wspomnienia o węglu, a tu metanol! Ale metanol to upłynniony w reakcji syntezy CH_3OH gaz syntezowy, którego jednym ze źródeł jest, a może być w znacznie większej skali – węgiel. Tę bliskość węgla i drzewa produktowego metanolu doskonale odzwierciedla seria procesów otrzymywania bezwodnika octowego, opracowanych w Eastman Chemical/Halcon, opartych na karbonylowaniu octanu metylu. W procesach tych gaz syntezowy pochodzi z węgla. Największa wytwórnia Eastmana jest zlokalizowana w Tennessee, w bezpośrednim sąsiedztwie kopalń węgla, dla uniknięcia znaczących kosztów transportu. Węgiel zgazowywany jest w wysokotemperaturowym gazyfikatorze Texaco dla zminimalizowania zawartości metanu w produkcie. Otrzymany gaz syntezowy w całości przekształca się w metanol. Bezwodnik octowy otrzymywany w Tennessee jest niemal całkowicie zużywany w estryfikacji celulozy do jej octanu.



Wysoka energochłonność procesów wytwarzania jest w technologii chemicznej, którą pozwolę sobie określić jako „potoczną”, sygnałem do rezygnacji z nich

Od drugiej połowy lat 80. XX w., wraz z rozwojem zeolitów typu silikalitu (ZSM-5 i jego modyfikacje), pojawiły się nowe strategiczne kierunki wykorzystania metanolu jako związku platformowego. Pierwszym takim procesem był Mobil MTG (Methanol To Gasoline), realizowany w Nowej Zelandii w latach 1985-1995. Rozwój rynku ropy naftowej spowodował wygaszenie tej wytwórni, ale w 2009 r. Uhde uruchomił na licencji MTG Exxon-Mobil, dla chińskiej kompanii Shanxi Jingeng Anthracite Coal Mining, wytwórnię gazoliny o 100 000 t/rok, jako część pilotowego kompleksu przerabiającego gaz syntezowy otrzymywany z fluidalnego zgazowania węgla kamiennego.

Mobil odkrył również, że jego zeolit ZSM-5 można zmodyfikować w kierunku wytwarzania olefin z metanolu. Na drodze do doskonałości procesu stały jednak zbyt duże średnice porów w tym silikalicie, co powodowało niższą niż się spodziewano selektywność przemiany w kierunku etylenu i propylenu. W połowie lat 90. XX w. UOP i Norsk Hydro opracowały selektywny proces otrzymywania lekkich defin z metanolu, który nazwano MTO (Methanol To Olefins). Jako katalizator

zastosowano tu sito molekularne o strukturze chabazytu – krzemofosforanu glinu (SAPO-34), o rozmiarach porów wyraźnie mniejszych od silikalitu. Wobec tego katalizatora produkt przemian CH_3OH zawiera blisko 96% defin C2-C4. Ograniczeniem atrakcyjności procesu jest fakt, że strumień produktów procesu zawiera 56% wody (jest to przecież reakcja międzycząsteczkowego odwodnienia alkoholu) w stosunku do 34% etylenu i propylenu.

Lurgi rozwinął proces w wariacie propylenowym (MTP – Methanol To Propylene). Organiczna część produktu procesu zawiera tu 47% propylenu w stosunku do jedynie 4,6% etylenu, ponadto 21% butenów i 15% cięższych olefin.

Ekonomika procesów otrzymywania olefin z metanolu jest oczywiście uwarunkowana ceną gazu syntezowego. Dwie duże instalacje otrzymywania olefin z CH_3OH wystartowały w 2010 r. W Feluy (Belgia) Total uruchomił proces na bazie technologii UOP, a Shenhua Coal to Liquids and Chemicals wystartował w Chinach z instalacją o przerobie metanolu 600 000 t/rok.

Nowe się jutro buduje powoli (och, jak powoli)

Rok 1971, kiedy odbywałem praktykę w chorzowskich azotach, był szczególny. W wyniku dramatu grudnia 70. i przesilenia w walkach frakcyjnych w PZPR, lidera „ciemniaków” (którzy pomimo swojej nieudolności zbudowali ponad połowę istniejącego w Polsce przemysłu) – Gomułkę i jego ekipę – zastąpił Edward Gierek ze swoimi ludźmi. Nowy przywódca wielu wydawał się wiarygodnym, a na pytanie zadane strajkującym ponownie (luty 1971) w zakładach Trójmiasta i Szczecina robotnikom: „Pomożecie?” (chodziło o stworzenie podstaw do stopniowej poprawy warunków materialnych pracujących,) usłyszał zgodne: „Pomożemy!”. Niezwykle ambitny program rozwoju gospodarczego na lata 1971-1975 sformułowano w grudniu 1971 na VI Zjeździe PZPR. Zakładał on wzrost dochodu narodowego o 30%, produkcji przemysłowej o 50%, produkcji rolnej o 20%, wreszcie inwestycji o 45%. Po upływie pół roku, w maju 1972, na V plenum KC PZPR E. Gierek rzucił hasło budowy „drugiej Polski” („Idzie o wielką sprawę. O to, aby w okresie jednego pokolenia zbudować drugą Polskę – Polskę zasobniejszą, odpowiadającą aspiracjom nowoczesnego kraju przemysłowego”).

Budowa nowej gospodarki i utrzymanie jej w ruchu wymagały energii – a „energia jest jedyną istniejącą uniwersalną walutą, jaka istnieje. Abyśmy mogli cokolwiek zrobić, jedna z jej licznych form musi ulec transformacji” (Vaclav Smil). Źródłem tej waluty miał być czarny skarb naszej ziemi – węgiel. Ten z kopalni już eksploatowanych i ten ze złóż nowo odkrytych. Nie przypadkiem w lipcu 1972 ogłoszono publicznie o odkryciu bogatych złóż węgla kamiennego na Lubelszczyźnie. Potem przebąkiwano również o Suwalszczyźnie, ale Bóg strzegł, spokój tej ostatniej naturalnej krainy Polski nie został naruszony i oby tak pozostało.

Transformacja gospodarki ruszyła: wizjonerska koncepcja, entuzjazm ludzi, twarde finansowanie z banków zachodnich... Tylko najważniejszego – systemu zarządzania – tak naprawdę nie ruszono. Niedługo (1971-1973) miał się pojawić Program Chemizacji Gospodarki Narodowej stworzony przez zespół kierowany przez wizjonera rozwoju gospodarczego, prof. Jerzego Kopytowskiego. To był właściwy człowiek na właściwym miejscu. Miałem zresztą przyjemność poznać go osobiście w styczniu 1982 r. Profesor, będąc dyrektorem Instytutu Chemii Przemysłowej, niemal natychmiast po obronieniu przeze mnie rozprawy habilitacyjnej zaproponował mi stanowisko swojego pierwszego zastępcy do spraw nauki i organizacyjnych. Po całodniowym namyśle odmówiłem, chciałem jeszcze trochę pozostać w nauce. Profesor opisał potem w „Życiu Gospodarczym” tę sytuację, konkludując, że nawet najlepsze polskie instytuty badawcze ciągle jeszcze nie stanowią atrakcji dla młodych, utalentowanych pracowników z uczelni. On sam, po dwóch latach, wyjechał do Wiednia do UNIDO uzdrawiać gospodarki krajów trzeciego świata, a ja po dziesięciu objąłem stanowisko dyrektora IChP. Oba programy: ten narodowy i ten dla najważniejszego sektora przemysłu, który był fundamentem pierwszego, pokazywały wskaźniki rozwoju warunkujące powodzenie. Do nich nigdy się nie zbliżyliśmy. Wewnętrznie, z tradycyjnych powodów (po pierwsze) – jak zwykle w naszej najnowszej historii nie mieliśmy przywódców boju o gospodarkę podejmujących śmiałe decyzje, a jedynie kroczących na czele. Po drugie, nie poradzono sobie z brakiem materiałów konstrukcyjnych, a także niedoborem energii, powodującymi niezdrową konkurencję międzybranżową.

Z zewnątrz cios zadały cieszące się stałą przyjaźnią bloku komunistycznego Egipt i kraje arabskie. 6 października 1973 Egipt i Syria potężnymi siłami uderzyły na Izrael, wywołując wojnę Jom Kipur, zwaną także ramadanową. Trwała 18 dni, zwyciężył Izrael, dzięki doskonałej strategii wojsk pancernych obranej przez gen. Ariela Szarona (jego czołgi zatrzymały się około 30 km od Damaszku). W rewanzu OPEC, w którym dominowały państwa arabskie, posiadające ponad 30% światowych zasobów ropy, ogłosił embargo na sprzedaż ropy do sojuszników Izraela, przede wszystkim USA (w Stanach Zjednoczonych importowe zapotrzebowanie na ropę wynosiło wtedy blisko 40% całkowitej krajowej konsumpcji), Australię, Nową Zelandię, kraje Europy Zachodniej, tradycyjnie południową Afrykę etc. Spowodowało to gwałtowny wzrost cen ropy z 3 USD za baryłkę jesienią 1973 r. do ponad 11 USD wiosną 1974. Cena ciągle rosła, sięgając 22 USD w 1979. Potem było jeszcze gorzej, kiedy obalenie reżimu szacha Rezy Pahlawiego w Iranie, któremu akurat sprzyjaliśmy, doprowadziło do dojścia do władzy ekstremistów islamistycznych.

Wojna Jom Kipur nie powinna była szkodzić interesom naszej transformacji gospodarczej, bo blok sowiecki był twardym sojusznikiem Egiptu i Syrii. Tylko teoretycznie... Kraje socjalistyczne nie zostały

objęte embargiem i wzrastającymi cenami na rynku ropy. „Efekt grabi” dotknął tylko Polskę i Węgry, świeżo zadłużone w Europie Zachodniej w związku z nową polityką gospodarczą. Sytuacja na rynku paliwowym doprowadziła do znaczącego systematycznego wzrostu kosztów obsługi zaciągniętych kredytów. O większym pechu mogą mówić nasi pobratymcy, bo właśnie z budapesztańskiego lotniska startowały samoloty z radziecką pomocą wojskową dla walczących krajów arabskich. Zarobiły one na embargo, które trwało pół roku, blisko 300 mld USD i ulokowały je w... zachodnich bankach. Tak więc Zachód zaczął znacząco odrabiać straty, a nam wiatr zaczął wiać jeszcze silniej w oczy. Ten sam wiatr, który na gruncie paniki energetycznej zaczął na Zachodzie zaprzęgać do napędzania różnych urządzeń, podobnie jak Słońce w prymitywnych urządzeniach fotowoltaicznych, a nawet morza i oceany, planując generację energii z wykorzystaniem pływów.

Wszystko już było prócz nas/sny kopiowane od lat/Jak tu odcisnąć swój ślad? (R. Rynkowski)

Wielki Konstanty („Piosenki z historii świata”, 1947) napisał: „Wszystko już było – rzekł Ben Akiba/A gdy nie było – śniło się chyba.../trzeźwi, urznięci – i rak i ryba, a świat się w kółko kręci”.

Pisałem już, że kierunek studiów wybierałem pomiędzy chemią a energetyką tchnącą fantastyką. Chyba w X klasie pochłonałem wydaną przez WNT (1964) książkę Rajmunda Sosińskiego „Z dziejów energetyki”. Kończy się ona rozdziałem „Nowe metody wytwarzania energii”, rozpoczynającym się zapamiętanym przeze mnie na lata stwierdzeniem: „Technika nigdy nie stoi w miejscu” (dziś zastąpiłbym je stwierdzeniem: „Technika często kroczy w kółko”). Autor przedstawia prace nad wykorzystaniem w nowoczesny sposób siły wiatru i energii słonecznej. Dla zachowania wiarygodności przekazu pamięciowego odnalazłem, w zbiorze moich kilkunastu tysięcy książek, egzemplarz z czasów szkolnych i mogę zacytować kilka najważniejszych zdań: „Siła wiatru niestety nie rokuje wielkich nadziei na przyszłość... Największą przeszkodą w wykorzystaniu siły wiatru stanowi jego niestałość, a jednocześnie brak wygodnych i tanich sposobów akumulowania energii uzyskanej z tego źródła. Ten ostatni wzgląd mógłby stracić na znaczeniu, gdyby elektrownie wiatrowe włączyć do wspólnej sieci, lecz wówczas koszty wytwarzanej energii musiałyby być porównywalne z kosztami energii wytwarzanej w elektrowniach wodnych i cieplnych. Należy tutaj rozwiązać dość kosztowne mniemanie jakby energia wiatru była darmowa. To prawda, że energia ta jako taka nic nie kosztuje, ale jej ujarzmienie wymaga wcale kosztownych inwestycji i niemałych wydatków eksploatacyjnych”.

Minęło ponad 60 lat, problemy przedstawione przez Rajmunda Sosińskiego pozostały dalej nierozwiązane. No może poza jednym – jako wytrych do bramy zastosowań weryfikowalnych ekonomicznie w warunkach bezwzględnych wymyślono wykorzystanie wodoru jako

PVC

Przykładem wykorzystania reaktywności acetyleny jest synteza chlorku winylu, monomeru do otrzymywania PVC – tworzywa polimerowego powszechnego użytku

fol. 123if

magazynu energii elektrycznej pozyskiwanej z OZE. Tylko, że to magazyn rozpraszający tę energię. Jak pokazywałem wielokrotnie w swoich tekstach i wykładach, że 100 kWh energii elektrycznej pozyskanej w elektrowni wiatrowej, po zamianie jej podczas elektrolizy H_2O w energię chemiczną wodoru, jego magazynowaniu i transporcie oraz ponownej zamianie energii chemicznej na elektryczną w ogniwie paliwowym, na kole samochodu uzyskujemy około 20 kWh. Radosny śmiech Syzyfa.

W cytowanym rozdziale Rafał Sosiński omówił również przyszłościowe wtedy metody przekształcania energii słonecznej w elektryczną – elektrownie cieplne, termoogniwa i ogniwa fotowoltaiczne. A dziś? Na Przegłądzie Piosenki Studenckiej podczas Zjazdu Zrzeszenia Studentów Polskich w 1977 r. Kabaret z Wrocławia śpiewał: „Kiedyś życie mieszkańca Turowa i Bogatyni było szare i smutne, a dziś? Dziś jest wtorek 9 grudnia/ Kiedyś w Turowie i Bogatyni nie było mieszkań dla biedoty a dziś?... Dziś nie ma biedoty”. Podobnie można zaśpiewać obecnie o procesach skutecznego stosowania metod przekształcania energii naszej gwiazdy w energię elektryczną. Ktoś powie: przecież na dachu i podwórku mam fotowoltaikę, mam prąd i jeszcze jestem dzielnym prosumentem. Prawda, tylko że bio-



rać pod uwagę globalny deficyt energetyczny i próby jego ograniczenia, warto do beczki miodu dodać łychę dziegiu w postaci metryczki przy instalacji fotowoltaicznej, informując, że panel – jeżeli dożyje (oby) wieku zapisanego w gwarancji – dostarczy energii niewiele więcej niż zużyto na jego produkcję. Wynika to zarówno z rozcieńczenia „energii słonecznej” poza strefą gorącą i – jednak – niewielkiej sprawności jej pochłaniania i zamiany w energię elektryczną w ogniwie.

W dłuższej perspektywie czasowej Sosiński za najważniejsze w obszarze nowych źródeł energii uważał dążenie do opanowania metod bezpośredniej zamiany energii chemicznej w energię elektryczną (ogniwa paliwowe) oraz energii cieplnej w elektryczną (generatory magneto-hydrodynamiczne). Obie te techniki mają na celu uniknięcie niekorzystnego cyklu przemiany: ciepło – energia elektryczna, poddanego prawom termodynamiki, które obniżają sprawność tej przemiany. Autor podkreślał, że „nowość” tych metod polega raczej na nowoczesności użytych środków niż nowości samej idei. Ogniwo paliwowe skonstruował już Grove w 1839 r., a generatory MHD wywodzą się bezpośrednio z praw indukcji elektromagnetycznej Faradaya (1833).

”

Gospodarka oparta na metanolu jest u nas konsekwentnie zamykana pod dywan

Parafrazując Andrzeja i Elizę: „A jak jest dziś w 60 lat po...?” Ogniwa wodorowe napędzają już pojazdy, skutecznie rozprasząc włożoną w otrzymanie paliwa energię, przy aplauzie mainstreamu (który nie ma pojęcia, że wódór nie niesie w sobie energii z wiatraków, jest szary lub gorzej) i kierowców tirów chwających zalety szybkiego tankowania (jak trafią do stacji). Przez ponad 100 lat nie udało się skonstruować efektywnych ogniwa na bardziej sensowne paliwa – metanol (tu dostępne elektrody dezaktywuje powstający w procesie utleniania CO), lekkie węglowodory – propan lub butan, czy – co byłoby rozwiązaniem najcenniejszym – olej napędowy albo sproszkowany węgiel. Jeśli chodzi o generatory MHD to nauka zadreptała się w miejscu, podobnie jak w przypadku fuzji jądrowej (he, he, może gdyby Nicola Tesla miał trochę inne zainteresowania...?). A zatem, przewrotu w elektroenergetyce nie ma, jest tylko przechył.

Panika – narzędzie do rządzenia światem

Zrobiliśmy sześćdziesięcioletni skok w przeszłość, bo naruszając chronologię łatwiej zrozumieć niemoc przyszłości. Efekt embargo ramadanowego był taki, jak obecnie skutki rzekomo antropogenicznego efektu klimatycznego.

Zaczął się od nawoływań do drastycznego oszczędzania energii. Na przykład w mediach francuskich pojawiły się apele w rodzaju: „pamiętaj, że lodówka sprawniej działa w chłodnym pomieszczeniu”, albo: „żeby szybciej zagotować wodę, garnek trzeba przykryć” (wcześniej tę sentencję anegdotycznie przypisywano Marii Skłodowskiej-Curie). W Stanach Zjednoczonych pojawiło się naprzemienne (co drugi dzień) tankowanie, wprowadzenie czasu letniego, zmniejszenie neonowej iluminacji miast i wreszcie to, co bolało bardzo mocno – ograniczenie prędkości do 90 km/godz.

W atmosferze obaw o przyszłość, a przede wszystkim poczuciu braku wpływu na nią, narodził się nowy ruch społeczny młodzieży „No future”, dziś znany jako punk. Zmienił on styl życia pokolenia, miał między innymi bardzo duży wpływ na popularne nurty muzyczne (i nie tylko). Ramones, Sex Pistols, The Clash czy Nirvana na trwałe weszły do galerii sław rocka.

Niewielu z nas pamięta, w komunikatorach także, z powodu nienagłaśniania tych informacji, że histerię płonącej planety poprzedziła trwoga dotycząca zbliżania się kolejnej epoki lodowcowej. Rozpoczęło się od kilku naprawdę zimnych zim na półkuli północnej i ogłoszeniu w 1970 r. w Washington Post, że przepowiadają one kolejną zmarzlinę. Już po wojnie Jom Kipur Time wydał dwa specjalne numery: „The Big Freeze” (1973) i „The cooling of America” (1976). W 1979 r., już po rozprzestrzenieniu się światowego deficytu ropy naftowej w wyniku przewrotu w Iranie, Washington Post w jednym z numerów tygodnika radził: „How to survive the coming ice age”. Czarnowidztwo energetyczne trafiło zatem na wyjątkowo podatny grunt. Podobnie jak dziś, bo to najprostsze. Sięgnięto po poszukiwania rozwiązań wśród omszałych pomysłów – jednych znanych od niemal tysiąclecia, innych blisko stuletnich – i starano się poszerzyć dosyć wąską szparę we wrotach do powszechnych zastosowań. A więc wiatraki ze swoimi wszystkimi już wspomnianymi ograniczeniami, uzupełnianymi oddziaływaniem na środowisko: hałas, drgania w glebie do zakresu infradźwięków, śmiertelność ptaków i owadów, osuszanie gleby... Ciągłe amatorskie próby pochłaniania energii słonecznej i utopijne marzenia o skomercjalizowaniu energii fal, a nawet pływów morskich.

Bezpieczeństwo paliwowe i energetyczne nade wszystko

Tu niezbędna jest chwila refleksji. Czas kryzysów energetycznych, niepokojów globalnych czy lokalnych to moment na zadbanie o bezpieczeństwo w obszarze materiałów pędnych. Owe bezpieczeństwo zapewnić mogą tylko paliwa węglowodorowe, które długo jeszcze napędzać będą większość pojazdów mobilności powszechnej, transport, a także samoloty i ruchomy sprzęt militarny. Drony to narzędzie nękającej wojny gadżetowej, a czołgi, samobieżne opancerzone transportery siły żywej, ruchome działa czy pojazdy z zaopatrzeniem nie pomkną autostradami albo po



WĘGIEL DLA CHEMII

W Programie Chemizacji Gospodarki przeprowadzono analizę wykorzystania zasobów węgla do produkcji surowców węglowodorowych dla petrochemii, stwierdzając, że jest ono ograniczone przez ukierunkowanie wydobycia przede wszystkim dla celów energetycznych

fol. 123f

bezdrożach, napędzane silnikami elektrycznymi czy ogniwami wodorowymi. Silnik Diesla to ciągle najdoskonalsza maszyna cieplna, jednocześnie najbardziej niezawodna, jeżeli tylko paliwo spełnia standardy temperatury zimnego filtra. „Kto nie ma miedzi, ten cicho siedzi” – mawiali bazarowi finansiersi w XIX w. Dziś temu, kto nie ma paliw, nie wystarczy nawet „cichosiedzenie”. Niemcy – chemicy i w ogóle gospodarze triumfatorzy światowej wystawy w Paryżu w 1900 r. – rozumieli to doskonale. Triumf pod Sedanem (1870 r.), po którym Bismarck, odbierając kapitulację Francji, upokorzył cesarza Napoleona II, to było za mało. Niemiecka nauka zaczęła przygotowywać się do Wielkiej Wojny. Fritz Haber, legendarny twórca współczesnej syntezy amoniaku, na początku XX w. rozpoczął w I.G. Farbenindustrie prace nad gazami bojowymi (chlor zastosowano po raz pierwszy w 1915 r. pod Łomżą, a rok później skutecznie nad Sommą). Friedrich Bergius z naszych Złotników pod Wrocławiem opracował w 1913 r. metodę otrzymywania benzyny przez upłynnianie węgla. Polegała ona na działaniu wodoru na zawieszony pyłu węglowy w oleju w temp. 450°C pod ciśnieniem 200 atm. Jego paliwo nie wzięło udziału w Wielkiej Wojnie, bo wielkotonażową produkcję uruchomiono dopiero w 1927.

Pod koniec II wojny światowej Niemcy produkowali w 12 fabrykach syntetyczną benzynę w skali 2-3 mln t rocznie. Pochodziła ona z procesu Bergiusa, ale też, a właściwie przede wszystkim, z przerobu gazu syntezowego otrzymanego z węgla do węglowodorów metodą Fischer-Tropscha. Wynalazcami tego katalitycznego procesu byli Sabatier i Sanderson w 1903 r., ale to Fischer i Tropsch w BASF skomercjalizowali proces. Początkowo otrzymywano w nim związki tlenowe – syn-

tol (temp. 400-450°C, ciśnienie 100-150 atm, katalizator żelazowy). Kolejnym sukcesem Fischera i Tropscha było ustalenie, że obniżenie ciśnienia prowadzi do zastąpienia w produktach reakcji związków tlenowych węglowodorami szeregu parafinowego i olefinowego. W latach 30. XX w. zastosowano nowe, aktywniejsze katalizatory kobaltowe, niklowe i żelazowe. Według doniesienia z 1932 r. katalizator niklowo-kobaltowy pozwalał otrzymywać do 150 cm³ syntyny z 1 m³ syngazu.

W czasie II wojny światowej w dzisiejszych granicach naszego kraju działały trzy wytwórnie syntetycznej benzyny – w Oświęcimiu, Kędzierzynie i w Policach.

W Programie Chemizacji Gospodarki przeprowadzono analizę wykorzystania zasobów węgla do produkcji surowców węglowodorowych dla petrochemii, stwierdzając, że jest ono ograniczone przez ukierunkowanie wydobycia przede wszystkim dla celów energetycznych. Uwzględniono przy tym fakt, że zasoby węgla koksującego – bezpośredniego, łatwego do wykorzystania surowca dla chemii (zarówno w postaci koksu, jak i ciekłych i gazowych produktów koksowania) – są dosyć skromne i będą wykorzystane przede wszystkim przez rozwijające się hutnictwo. Przypomnijmy, że w II Rzeczypospolitej, podczas realizacji koncepcji COP-u, problem ten został rozwiązany w Chemicznym Instytucie Badawczym (dziś Sieć Łukasiewicza Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. I. Mościckiego) przez jednego z największych polskich chemików, prof. Wojciecha Świątosławskiego, w postaci technologii półkoksowania węgla kopalnych. Autorzy Programu Chemizacji Gospodarki zastrzegali jednak, że wahania ceny ropy naftowej mogą spowodować, że stosowanie wybranych technologii z węglem jako surowcem może się okazać ekonomicznie uzasadnione. W Programie

określono wobec tego graniczną cenę ropy naftowej, przy której opłacalność procesów petrochemicznych jest gorsza niż produkcji węglowodorów metodami klasycznymi ze smoły węglowej i karbidu (acetylen). Zakładano, że w przypadku częściowego zastąpienia petrochemicznego źródła surowcowego węglem, jego rolę w energetyce przejmie gaz ziemny.

”

Czas kryzysów energetycznych, niepokojów globalnych czy lokalnych to moment na zadbanie o bezpieczeństwo w obszarze materiałów pędnych

Nowe horyzonty dla starego węgla

Wojna ramadanowa i będące jej skutkiem embargo niezwłocznie uwiarygodniły sensowność takiego podejścia. W kraju ustanowiono w niedługim czasie pakiet programów rządowych, z których najważniejszy był Program Rządowy PR-1 Węgiel. Celem było zarówno stworzenie strategii dla nieenergetycznego surowcowego wykorzystania węgla krajowych, jak i przygotowanie w krótkim czasie technologii pozyskiwania z nich węglowodorowych związków platformowych oraz paliw motorowych. Polska dysponowała potencjałem intelektualnym i instytucjonalnym do podjęcia celów i zadań Programu PR-1. W pełni sił było wybitne pokolenie karbochemików, między innymi wychowanków prof. Wojciecha Świętosławskiego i jego następcy – prof. Błażeja Rogi. Działał prof. Henryk Zieliński, wielki specjalista w dziedzinie koksownictwa, autor książek i opracowań, między innymi „Koksownictwa”, niezwłocznie przetłumaczonego na język chiński (sic! pamiętajmy, kto jest dziś światowym liderem w tym obszarze). W Programie uczestniczyli między innymi: prof. J. Szuba, J. Machnikowski, M. Ściążko, A. Mianowski, Z. Lisicki. Instytucjonalnym wsparciem projektu były: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze (obecnie Instytut Technologii Paliw i Energii), do dziś reprezentujący niezwykle wysokie kompetencje w obszarze nowoczesnego koksownictwa, Instytut Karbochemii GIG w Tychach Wyrach, Instytut Chemii Przemysłowej im. Prof. I. Mościckiego, Zakład Karbochemii PAN, Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Śląska, Politechnika Wrocławska, Politechnika Warszawska.

W Programie PR-1 trafiłem do obszaru „Przerób węgla w kierunku paliw i surowców nieenergetycznych”. W Zakładzie Katalizy Heterogenicznej PW, kierowanym wówczas przez mojego poprzednika, prof. Stanisława Benbenka, posiadaliśmy znaczące doświadczenie w zakresie badania rodników i jonorodników węglowodo-

rów poliaromatycznych (antracenu, fenantrenu, nafталenu, perylenu, chryzenu etc.) metodą paramagnetycznego rezonansu jądrowego (ESR), ze szczególnym uwzględnieniem powstawania takich stanów podczas oddziaływań poliaromatów z powierzchniami stałych katalizatorów. Była to, między innymi, istotna część mojej świeżo obronionej rozprawy doktorskiej. Wyniki naszych badań, w dużej mierze pionierskich (w krótkim czasie ich rozszerzenie miało stanowić rdzeń mojej rozprawy habilitacyjnej) były znane w środowisku. Prof. S. Benbenek był z kolei najlepszym wówczas specjalistą od charakterystyki stałych katalizatorów tlenkowych metodą paramagnetycznego rezonansu spinowego. Dyr. Zbigniew Hulisz i doc. (później profesor) Maria Ihnatowicz z Instytutu Karbochemii GIG zaproponowali nam współpracę w realizowanym w ramach PR-1 projekcie upłynniania węgla modyfikacją metod Solvent Refining i Exxon Donor Solvent Liquefaction. Był to dwustopniowy proces dwufazowy z zastosowaniem donorów wodoru (Hydrogen Transfer Process). W metodzie tej pastę węglową w oleju antracenowym poddaje się ekstrakcji olejem antracenowym, którego składniki są uwodornione do form perhydro-, we wstępnym katalitycznym etapie. W etapie ekstrakcji przekazują one aktywny rodnikowy wodór do masy węglowej, który powoduje rozszczepienie jej struktury utworzonej przez trwałe ugrupowanie fenantrenowe.

Celem naszych badań było zaproponowanie mechanizmu reakcji i odpowiedź na pytanie, jak to się dzieje, że proces uwodorniającej ekstrakcji przebiega bez udziału katalizatora. Tematyka projektu była dla mnie frapująca, od szeregu lat z powodzeniem rozwijałem pomysł prof. Stanisława Malinowskiego dotyczący redukcji organicznych grup funkcyjnych na drodze przeniesienia wodoru, przede wszystkim od cząsteczek alkoholi wobec katalizatorów tlenkowych (po mnie badania te kontynuował prof. Marek Gliński). Wynik pierwszego etapu naszych badań nawiązuje do znanego dowcipu dotyczącego plastików w oceanach (scena przy straganiu rybnym): „klient kupujący okazałego tuńczyka mówi do sprzedawczyni: *may I have a plastic bag, please*; sprzedawczyni: *oh, it is already inside*”. Skład zawartości popiołów, ale i badania ESR węgla poddawanych ekstrakcji, wskazywały na obecność metali przejściowych w masie węglowej. Nasz entuzjazm dotyczący próby wyjaśnienia szczegółowego mechanizmu procesu zgaśnięcia wraz z wygaśnięciem zainteresowania władz państwowych kontynuacją Programu PR-1.

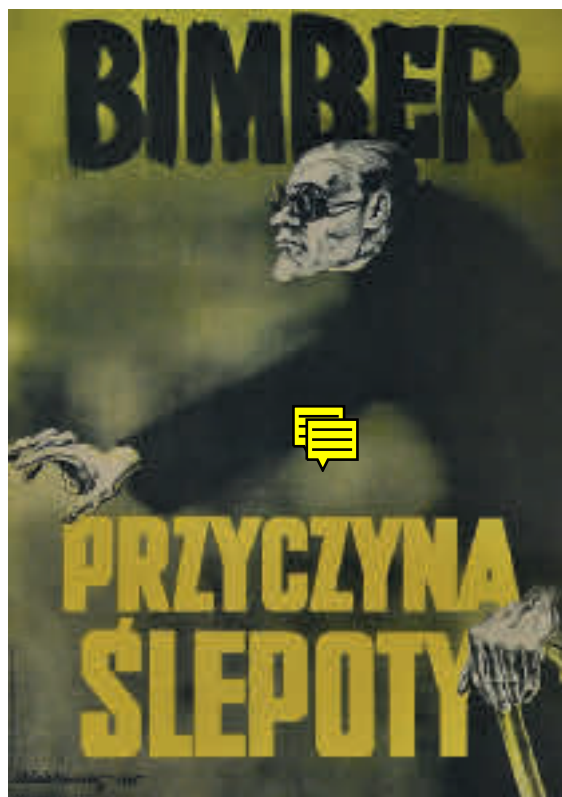
W tamtych czasach powtarzano na Śląsku legendę miejską o osiedlu z popiołobetonów (chyba właśnie w Tychach), gdzie znajdowano w piwnicach martwe szczury, a mieszkańcy odczuwali wielki dyskomfort zdrowotny. Wykonane licznikami Geigera pomiary miały wskazywać na obecność nuklidów promieniotwórczych w materiale budowlanym. W efekcie mieszkańców wysiedlono. Może to jednak nie była legenda miejska... Tak czy tak, w obecnej nędzy surowcowej warto zająć się popiołami na hałdach.

Badanie procesu upłynniania węgla nie było jedynym moim wkładem w realizację PR-1. Uczestniczyłem również w badaniach zespołu dr. Andrzeja Krzywickiego dotyczących oceny granicznych stężeń metanolu dodawanego do benzyn, przy których zachowana zostaje homogeniczność paliw. Surowcem platformowym dla wytwarzania CH_3OH miał być oczywiście węgiel. Okazało się, że w przypadku dodawania alkoholu do komercyjnej gazoliny, zawierającej już stabilizatory emulsji, jego ilości mogą przekraczać dosyć znacznie 10%, tzn. przewyższać zawartości wynikające ze wzajemnej rozpuszczalności frakcji węglowodorowej i metanolu.

Mieszkalem wtedy w hotelu asystenckim PW przy ulicy Tatrzańskiej w Warszawie i wielokrotnie korzystałem z podwózki moich przyjaciół, a zarazem współmieszkańców hotelu z Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych PW, którzy w białych fiatach 1600 Monte Carlo z napisem METANOL na drzwiach badali wpływ dodatków metanolu na pracę i sprawność silników benzynowych. Wpływ ten oceniali bardzo pozytywnie. Nic dziwnego zresztą, metanol to przecież paliwo napędzające maszyny w jednym z naszych narodowych sportów – żużlu, w którym w tamtych czasach Jerzy Szczakiel zdobył złoto, a Zenon Plech i Edward Jancarz – medale mistrzostw świata. Dzięki metanolowi w silniku osiąga się wyższy stopień sprężania, a w wyniku tego może ona wydatkować wyższą moc w porównaniu z silnikiem benzynowym.

I znowu metanol

Metanol ciągle mi towarzyszy we wspomnieniach o węglu. Warto w tym miejscu wspomnieć, że wielokrotne zwiększenie jego krajowej produkcji było już wcześniej jednym ze sztandarowych zamierzeń Programu Chemizacji Gospodarki Narodowej (ze 193 tys. t/r. w 1974 do 718 t/r. w 1985). Nic więc dziwnego, że rozszerzenie możliwości jego zastosowań było wyzwaniem dla technologów zainteresowanych implementacjami praktycznymi wyników swoich badań. Pierwszą pracę na temat jego odwodarniających przemian metanolu na MgO opublikowałem w „Przemśle Chemicznym” (wraz z B. Zielińskim, R. Zadrozny i prof. St. Malinowskim) jeszcze w 1978 roku. W następnych latach był on jednym z obiektów prowadzonych pod moim kierunkiem wieloletnich badań nad zastosowaniem alkoholu do redukcji grup funkcyjnych w cząsteczkach organicznych (reakcja przeniesienia wodoru), istotnych dla przemysłowej syntezy „fine chemicals”. Tuż przed transformacją ustrojową opracowaliśmy dla Zakładów Chemicznych ZACHEM w Bydgoszczy koncepcję technologiczną i założenia do projektu procesowego redukcji metanolem nitrobenzenu do aniliny w skali 18 tys./rok. Firma potrzebowała aniliny o dużej czystości, znacznie przewyższającej tę uzyskiwaną w klasycznej redukcji nitrobenzenu na mokro. Zdecydowano się na proces katalityczny, ale ze względów bezpieczeństwa w zakładach nie można już było uruchomić kolejnej instalacji operującej gazowym wodorem. Nasz proces okazał



RYS. 1
Plakat z lat pięćdziesiątych. Ostrzegał przed metanolem w bimbrze (z niewłaściwego zacieru). Podobieństwo do generała incydentalne. Ale w czasach dyktatury, po odwołaniu wizjonera prof. Edwarda Grzywy ze stanowiska ministra przemysłu chemicznego (i lekkiego) nikt już nie wspierał polskiego metanolu

się niezwykle selektywny, ale co było nieoczekiwane, jego efektywność przewyższała tę uzyskiwaną w tych samych warunkach wobec katalizatorów niklowych z użyciem gazowego wodoru.

Zmiany w organizacji produkcji w Zachemie, w wyniku transformacji ustrojowej, powodowały, że zaawansowane przygotowania do wdrożenia pozostały w gotowości. Nie było też środków na wyjaśnienie niespotykanej aktywności metanolu i odpowiedzi na pytanie: czy reakcja, którą obserwujemy, jest wynikiem międzycząsteczkowej wymiany wodoru na powierzchni katalizatora, czy też redukcją wodorem wytwarzanym *in situ* w rozkładzie metanolu na katalizatorze. Obie te alternatywy prowadzą do powstania CO , który według mnie tworzy z niklem ugrupowania karbonyłowe bardziej aktywne od samego metalu. Wspomniany już, ważny w burzliwym okresie transformacji, brak funduszy spowodował, że mamy narzędzie o nie do końca wyjaśnionym *modus operandi*.

W Polsce o nowym ustroju na kilkanaście lat pochłonęła mnie atrakcyjna badawczo i produktowo synteza związków zapachowych.

Do redukującego potencjału metanolu powróciłem po latach. Na przełomie wieków (wspólnie z prof. A. Mianowskim) redukowaliśmy frakcje nienasycone w paliwie otrzymywanym z pirolizy odpadów polietylenowych i polipropylenowych w zabrzańskiej firmie AgroBeko. Udało mi się także przy użyciu metanolu zredukować do białości gacz koksowniczy podczas mojej pracy w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla. Po koniec ostatniego dziesięciolecia wykorzystywa-

liśmy metanol (wspólnie z E. Śmigierą i współ.) jako reduktor w syntezie paliw alternatywnych. Ale to już temat na inną historię.

Skromność miejsca, które redaktorzy mogą przeznaczyć na wspomniany tekst, nie pozwala na szczegółowe omówienie produktowego drzewa metanolu. Przypomnę tylko, że można go traktować jako węgiel upłynniony poprzez proces gazyfikacji, a następnie syntezę tego alkoholu i że jest on znakomitym medium do transportu oraz magazynowania gazu syntezowego. Zamiana gazu w ciekły alkohol pozwala zredukować jego objętość ponad dwa tysiące razy. Proces powrotu do gazu przebiega ilościowo wobec cynkowo-miedziowego katalizatora syntezy w zbliżonej temperaturze. Z kolei reforming parowy metanolu wobec na przykład katalizatora miedziowo-cynkowego dotowanego pięciotlenkiem wanadu pozwala podczas rozkładu otrzymać dodatkowy, trzeci mol wodoru.

I jeszcze jedno, co trzeba przypominać: autorem nowoczesnego miedziowo-cynkowego katalizatora syntezy metanolu był prof. Eugeniusz Błasiak z Politechniki Śląskiej. Prawo do własności intelektualnych do wynalazku rościło sobie wprawdzie ICI (zarzucając stronie polskiej nawet szpiegostwo przemysłowe), ale międzynarodowy arbitraż pozostawił spór w zasadzie nierozstrzygnięty.

”

„Gospodarka metanolu” bije na głowę swoim zasięgiem „Gospodarkę wodorową”

Renesans metanolu u schyłku XX w. ogłosił wybitny uczony kanadyjski Olah, laureat Nagrody Nobla za odkrycie superkwasów. Wprowadził on pojęcie METHANOL ECONOMY, tytułując tak zresztą swoją wizjonerską monografię przedstawiającą realne perspektywy wykorzystania CH_3OH w gospodarce świata. „Gospodarka metanolu” bije na głowę swoim zasięgiem „Gospodarkę wodorową” – źródło entuzjastycznej histerii ostatnich lat. Nawiasem mówiąc HYDROGEN ECONOMY wprowadził do języka gospodarczego świata General Motors na początku lat 90., a od dawna próbuje go sobie przypisać Toyota.

Oprócz szerokich zainteresowań kierunkami przeobrażenia metanolu, od szeregu lat staram się w swoich tekstach analitycznych i krytycznych, a także w niezliczonych wykładach, walczyć o powrót metanolu do polskiej chemii. Bardzo go brakuje. W rozwiniętych chemicznie gospodarkach stosunek wolumenu produkcji metanolu do amoniaku waha się w granicach 0,1-0,2, u nas to ciągle 0.

Na światowym obrazie zalet metanolu jest jedna głęboka rysa. To niewykorzystanie paliwowych

właściwości eteru dimetylowego – paliwa o liczbach oktanowej i cetonowej odpowiednio od frakcji benzynowej i oleju napędowego. Tu zawiniła inżynieria materiałowa, do dziś nie znaleziono bowiem odpornego na eter materiału na uszczelki w silnikach. Można go zatem stosować jedynie jako dodatek do paliw konwencjonalnych.

W efekcie kryzysów naftowych, dla trzeźwiej myślących zaświtał renesans węgla i rozkwit technologii gazu ziemnego, a dla posiadających niewykorzystany potencjał w obszarze złóż ropośnych, podjęcie badań nad efektywnym wykorzystaniem ciężkich gatunków ropy naftowej, a także ropy łupkowej. Te ostatnie przyniosły sukces po latach.

My byliśmy wśród tych pierwszych. Pierwszy Sekretarz, górnik z urodzenia, stał się opoką dla budowy Polski na węglu. Budowa „drugiej Polski” ruszyła. Część pozyskanych kredytów poszła na wzmocnienie sektora rynkowego. Pojawiły się paczkowane szlachetne wędliny, Coca-cola i Pepsi, kolorowo ubrana ulica nawet w filmach Barei i Chmielewskiego, dobre perfumy i kosmetyki w nowych centrach handlowych, feeria neonów w dużych miastach, polski fiat z kłamiwym komentarzem, że to powrót do tradycji II Rzeczypospolitej i pierwszej produkowanej w niej marki (nieprawda, pierwszy w międzywojniu był polski samochód marki Citroen), sprzęt teleaudio etc.

Zanim Titanic naszej gospodarki narodowej nabrał zatapiającą go ilość wody, w większości społeczeństwa pojawiły się zapał i entuzjazm. Ale też pewien rodzaj zawiści. Oto wraz z ukierunkowaniem pierwszego etapu zmian na przemysł ciężki (przede wszystkim hutnictwo; szkoda, że w znacznie mniejszym stopniu przemysł chemiczny) i wydobywczy oczkiem w głowie stał się Śląsk i Zagłębie, chociaż tej nazwy unikano w propagandzie. Od efektywności podjętych działań zależało stworzenie podstaw surowcowych, materiałowych, energetycznych dla planowanego skoku gospodarczego. Marchewką dla zatrudnionych przy budowie tych podstaw, przede wszystkim w górnictwie, była poprawa warunków życia. To było trochę lepsze zaopatrzenie sklepów, talony na sprzęt AGD, sanatoria, domy wczasowe w atrakcyjnych lokalizacjach wypoczynkowych etc. etc. Na terenie całej Polski nowy przebój – Coca-Cola, w regionie śląsko-zagłębiowskim – Pepsi i hasło: „Pepsi piją lepsi”. W proteście 1980 pojawia się, chociaż w innym kontekście, tekst: „Żołądki jednakowe”. Przecież to nieprawda, czasami wysiłek ponad siły, często ekstremalne warunki pracy, zagrożenia i te kilometry ziemi nad głową... – za to musiało się coś dodatkowo należeć.

Koło połowy lat siedemdziesiątych do Koncertu Debiutów na Festiwalu Piosenki w Opolu zakwalifikowano młodą kapelę ze Śląska o nazwie: „Tyłem do słońca”. Zapamiętałem fragmenty wywiadu Edyty Wojtczak z muzykami. Na pytanie: „Skąd taka nazwa zespołu?”, odpowiedzieli: „Proszę pani, przecież dużą część naszego życia spędzamy tam na dole, zawsze tyłem do

słońca”. Chyba już wtedy rozumiałem, że to ich „tyłem do słońca” jest po to, żeby wszyscy inni mogli „Iść, ciągle iść, w stronę słońca” – jak śpiewała piękna Elżbieta Dmoch z 2 plus 1 (chyba najlepsza piosenka zespołu). I tak zostało. Dla mnie ta koincydencja ma dziś jeszcze jeden sens: węgiel może dać szansę na przetrwanie do czasu zdobycia kompetencji dla prawdziwego wykorzystania energii naszej gwiazdy.

I jeszcze futbol. Jestem kibolem Legii od kiedy skończyłem 10 lat (to pozostaje do końca życia). Siedziałem pod żółtą reklamą żyłek Ekstra Łódź, którą po wejściu Widzewa do ligi zastąpił Polsilver. Z Zagłębiem Sosnowiec jest sztama od zawsze, z klubami śląskimi – kosa. Lata 70. to wielki Górnik i wielka Legia. Na meczach zdarzało się na krzyczeć: „Śmierć hany-som”. Oni nie byli dłużni, na ślepej ścianie budynku tuż przed peronami dworca w Katowicach był wielki napis: „Wieszać goroli!”. Ale to retoryka dialogu między kibicami. Bo przecież ci „nasi” i ci „ich” budowali potęgę najsilniejszej reprezentacji Polski w historii. Reprezentacji, która miała medale mistrzostw świata, a wielką reprezentację Holandii z Crujffem, Krolem, Rensebrinkiem potraktowała w 1975 r. jak amatorów z mazowieckiej okrugówki.

Legia zaciągała w mundury, a śląscy liderzy – do kopalni. Wielka część naszego wielkiego futbolu rosła na węglu. Na początku między hałdami a familiokami: „Gramy w bala! Aleś to zmaścił. Grosz jak ciul”. Potem: „Aleś dobrze fiksował. Daj z kepy, nie ze szpica”. Wreszcie, kiedy za kopalniane pieniądze budowano potęgę śląskiego futbolu. W realnym kapitalizmie nie było w tym nic zdrożnego – każdy sukces klubu prowadził nazajutrz do wzrostu wydobywania w lokalnej kopalni, a sukcesy Górnika Zabrze w pucharach (lub jego czy Ruchu Chorzów mistrzostwo Polski) – do zwiększania wydajności w całym sektorze. Kiedy Górnik czekał na upadek monety rzuconej przez francuskiego sędziego Machina po trzecim półfinałowym meczu Pucharu Zdobywców Pucharów w Strasburgu (22.04.1970) mocno biły serca hanyśów i goroli. Reszka dała nam finał. Pomimo głębokich animozji kibicowskich, trudno było nie doceniać piłkarzy wychowanych na i przy węglu, takich jak Pohl, Oślizło, Szymkowiak, Kostka, Lubański, Wilimowicz, Kuchta, Pogrzeba, Faber, Janik, Winkler i wielu innych. Największa obok Kazia („Deyna Kazimierz, nie rusz Kazia, bo zginiesz”) legenda mojego klubu to pan Lucjan Brychczy (urodzony na Śląsku).

Nasze serca biją dla górników zawsze wtedy, kiedy ich trud obraca się przeciwko nim – jak wtedy, gdy heros przetrwania Alojzy Piontek, w marcu 1971 r. przez 7 dni walczył o życie, uwięziony w wąskiej szczelinie po zawale w kopalni Rokitnica (po wydobywaniu na powierzchnię i odzyskaniu pełni świadomości pierwszym jego pytaniem było to o wynik meczu ukochanego Górnika Zabrze), czy wtedy, kiedy 16 grudnia 1981 r. – za wiedzą Kiszczaka i polskiego Pinocheta – ZOMO zaatakowało czołgami strajkujących w kopalni Wujek



FOT. 1
Zawsze będziemy pamiętać o niezłomnych z kopalni „Wujek”

górników, mordując 9 i raniąc kilkudziesięciu, czy wreszcie zawsze, kiedy media informują o kolejnych zawałach i wybuchach gazu. A więc chwała Górnikom, za ich trud, odwagę i odpowiedzialność za Ojczyznę.

Budowa drugiej Polski

Miało być tak pięknie... Kończyć zaczęło się jak zawsze, w bezzadności i słusznym gniewie. Niemoc organizacyjno-wykonawcza, brak wariantu B i dalszych dla sytuacji kryzysowych to tylko wierzchołki góry lodowej. Socjalizm to nie ustrój gospodarczy, a ideologia. Jeśli nie na kryzysach naftowych i później stalowym, to potknęlibyśmy się skutecznie na braku wiary w to, co polskie, na nieufności podszywanej zawiścią do polskich rozwiązań technologicznych i technicznych, do ogromnego potencjału ludzi, których przecież szkoliliśmy w ciągle jeszcze bardzo dobrych polskich uczelniach i szkołach technicznych, według uchwalonych przez siebie zasad.

Ale o tym i kolejnych etapach upadku wizji oraz koncepcji rozwojowych (bądź ich braku) dla energetyki, polityki surowcowej i czerpiącego z nich przemysłu, których byłem świadkiem i uczestnikiem, przeczytacie w trzeciej, ostatniej części moich wspomnień.

Mój serdeczny przyjaciel, prof. Andrzej Mianowski, zwykł mówić: „Polska na węglu leży, Polska przez węgiel leży”. Postaram się to wykazać.

Źródło rys. materiały własne autora ■



dr Agnieszka Gajek

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Różne światy

Dość łatwo przychodzi nam krytykować i negatywnie oceniać innych, często wiemy lepiej, co inni powinni zrobić, jak się zachować, co jest właściwsze. Ubarwiamy świat, koloryzujemy na własny użytek, nadpisujemy rzeczywistość i uważamy, że jesteśmy lepsi, mądrzejsi, bardziej kompetentni, doświadczeni, albo odwrotnie – bez żadnych zaszłości, zobowiązań, ze świeżym spojrzeniem. Dość radykalne stwierdzenia, ale też żadna nowość. Temat stary jak świat. Oczywiście koniecznie należy zaznaczyć, że nie wszyscy i nie zawsze, to nie jest żadna prawda absolutna. Mam tego świadomość, tylko... W ostatnim czasie byłam w różnych zakładach przemysłowych, na konferencjach, szkoleniach i nie opuszcza mnie taka myśl, że żyjemy w różnych światach, nie zawsze kompatybilnych ze sobą, często bardzo hermetycznych, zamkniętych.

Pracownicy wiedzą lepiej, co dyrekcja powinna robić i analogicznie – dyrekcja wie lepiej, jak pracownicy muszą pracować. „Świat przemysłu” wie lepiej, co „świat nauki” powinien robić i odwrotnie – „nauka” mówi „przemysłowi”, jak powinien działać. Legislatorzy decydują o przemyśle, a przemysł zna się lepiej na legislacji. Redaktorzy wiedzą lepiej, co autor miał na myśli, a autor zna lepiej język polski od polonistów. Oj... chyba narażam się wszystkim. Tu warto wtrącić, że powtórzenia są integralną częścią tekstu, pokazującą jedynie, że autor wie lepiej niż redakcja (to tyle w kwestii samokrytyki).

Zakłady chemiczne niestety nie stanowią tu chlubnego wyjątku. Mając na uwadze potencjał zagrożeń stwarzanych przez nie, wynikający z ilości i rodzaju substancji chemicznych – i to nie tylko tych zdefiniowanych w kryteriach kwalifikacyjnych jako niebezpieczne (zgodnie z rozporządzeniem ministra rozwoju), ale także innych substancji chemicznych – odpowiedzialność za życie i zdrowie ludzi, środo-

wisko oraz mienie zdecydowanie wzrasta. I to odpowiedzialność nie tylko za pracowników, ale także za osoby mieszkające w otoczeniu takich zakładów. Świadomość zagrożeń stwarzanych przez zakład jest podstawą systemu przeciwdziałania poważnym awariom przemysłowym i ograniczania ich skutków. I tu, wracając do pierwotnego wątku, warto spojrzeć na zagrożenia nie tylko z poziomu zakładu, ale także „wchodząc w buty” mieszkańców. Czy instrukcje przekazywane do społeczeństwa są czytelne i jednoznaczne? Czy patrzymy na nie przez pryzmat swojej wiedzy o substancjach chemicznych, zagrożeniach? Czy potrafimy spojrzeć na nie z perspektywy staruszki lub młodego człowieka? Pytań można postawić wiele. Tylko czy w ogóle chcemy je zadać? Ktoś kiedyś powiedział mi, żeby nie zadawać pytań, na które nie jesteśmy gotowi usłyszeć odpowiedzi. Nie jest łatwo dowiedzieć się, że to, co zrobiliśmy, nie jest dobre, ładne, czytelne, itd. Przyjąć to. I odwrotnie – trudno tak delikatnie przekazać krytykę, by nie zraniła drugiej osoby – tutaj warto oddzielić uwagi od osoby i skupić się wyłącznie na merytoryce oraz konstruktywnym przekazie.

Inna jest perspektywa i rola pracownika, inna dyrektora. I dobrze. Może tylko warto czasem spróbować spojrzeć na problem oczami dyrektora czy pracownika. Czy nie tak robią niezależni eksperci, starając się analizować problem z różnej perspektywy? Prawdę mówiąc, czasem każdy ma trochę racji: raz mniej, raz więcej, a diabeł tkwi w szczegółach. Po prostu chyba chodzi o to, aby „być uważnym na drugiego człowieka”. Zrozumieć i przyznać przed sobą, że często nie wiemy tyle, ile nam się wydaje, a jeśli wiemy, to pozostać otwartym na ludzi, na ich spojrzenia, punkty widzenia, nawet jeżeli jest to dyrektor, prezes czy szeregowy pracownik.