

TEMAT NUMERU | ENERGETYKA I PALIWA

MOC (w) CHEMII

- | transformacja energetyczna branży
- | wyzwania i regulacje
- | dekarbonizacja przemysłu



Wesołych Świąt!



ecol.eu

TEMAT NUMERU: ENERGETYKA I PALIWA

- 8 | **Quo vadis polska chemio?**
Andrzej P. Sikora
- 14 | **Globalne aspiracje i lokalne działania. Polska transformacja energetyczna**
Marta Iwańczuk-Grzywina, Adam Kałużny
- 18 | **Różne odcienie zieleni. Transformacja energetyczna w branży farb i klejów**
Polski Związek Producentów Farb i Klejów
- 23 | **Dekarbonizacja rafinerii. Wyzwania, regulacje i narzędzia zarządzania projektami**
Szymon Walkowski
- 28 | **Susza OZE**
Kamil Moskwik
- 32 | **A może amoniak?**
rozmowa z Wojciechem Adamczykiem, Grzegorzem Przybyłą, Grzegorzem Peczkisem, Hubertem Stępniewiczem

WODÓR

- 36 | **Wodór. Klucz do transformacji energetycznej?**
Grzegorz Borówka
- 42 | **Zielony wodór. Czy woda będzie problemem?**
Krzysztof Zuzański
- 48 | **Wodór – zbawca czy fake energetyczny?**
Andrzej Szczęśniak

BEZPIECZEŃSTWO

- 50 | **Chemiczna chmura pod kontrolą. Prognozowanie skutków rozprzestrzenienia skażeń chemicznych w drogowym transporcie materiałów niebezpiecznych**
Robert Brodzik, Kamil Gugala
- 62 | **AZOTY 2024. Ćwiczenia taktyczno-bojowe**
Grupa Azoty S.A.
- 66 | **Modelowanie pożaru magazynu energii. Czy to możliwe?**
Dorota Brzezińska, Mateusz Brzeziński, Maria Brzezińska, Natalia Kraus-Namroży

UTRZYMANIE RUCHU

- 72 | **Wczesne stadium dbałości o wspomaganie UR, cz.1**
Adrian Antonowicz, Grzegorz Goleniewski, Ryszard Nowicki
- 78 | **Ochrona zainstalowanej bazy napędowej Pakiet produktów serwisowych Danfoss DrivePro®**
Rafał Rutkowski

ŚRODOWISKO

- 80 | **Małe nie zawsze jest piękne. Jak rozwiązać globalny problem mikroplastików w wodzie?**
Roksana Markiewicz
- 84 | **Wieczne chemikalia. Czy zostaną z nami na zawsze?**
Natalia Walczak, Małgorzata Szopińska, Filip Gamoń, Aneta Łuczkiwicz, Sylwia Fudala-Książek
- 90 | **Odratujemy rzeki. SEEN Technologie – rozwiązania na rzecz zmniejszenia zasolenia wód**
Jakub Paciorowski, Krzysztof Pacierpnik
- 92 | **Ograniczanie emisji odorów do środowiska. Metody biologiczne**
Krzysztof Barbusiński, Anita Parzentna-Gabor

FELIETON

- 98 | **Kończy się pewna epoka... a może raczej: coś się kończy, coś się zaczyna – przemysłowa pokonferencyjna**
Agnieszka Gajek

TEMAT NUMERU: ENERGETYKA I PALIWA



23

Fot. 123rf

DEKARBONIZACJA RAFINERII.
WYZWANIA, REGULACJE
I NARZĘDZIA ZARZĄDZANIA
PROJEKTAMI

Szymon Walkowski

WODÓR



42

Fot. 123rf

ZIELONY WODÓR. CZY WODA
BĘDZIE PROBLEMEM?

Krzysztof Zuzański

ŚRODOWISKO

WIECZNE CHEMIKALIA.
CZY ZOSTANĄ Z NAMI
NA ZAWSZE?Natalia Walczak,
Małgorzata Szopińska,
Filip Gamoń,
Aneta Łuczkiwicz,
Sylwia Fudala-Książek

84

Fot. 123rf



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 Kijewski – 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 Polyoolefins 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 Ruczaj

Sprzedaż
Ewa Dombek, Jolanta Mikolajec-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.



Aleksandra Grądzka-Walasz

redaktor wydania
tel. 32 415 97 74 wew. 20
tel. kom. 602 115 264
e-mail: aleksandra.walasz@e-bmp.pl

Energetyczna gra chemii

Któż z nas nie grał w gry planszowe? Kto nie pamięta emocji, jakie pojawiały się po każdym rzucie kostką, lub kiedy trafialiśmy pionkiem na upragnione pole czy traciliśmy kolejkę i czekaliśmy na kolejny ruch z obawą, że ktoś nas wyprzedzi... Spróbujmy wrócić do tych momentów i zagrajmy w... „energetyczną rozgrywkę”, w której dla chemii wybierzmy jak najlepszą drogę do mety, pokonując na planszy wszystkie przeszkody i wypełniając postawione zadania. Czy się uda?

Wyścig się już rozpoczął, a przed branżą niełatwe wyzwanie – osiągnięcie ambitnych założeń polityki klimatyczno-energetycznej UE i m.in. konieczność redukcji emisji CO₂. Rafineria Gdańska, podobnie jak inne zakłady przemysłowe, uznała dekarbonizację za jeden z kluczowych elementów swojej długoterminowej strategii. Jak podkreśla w artykule „Dekarbonizacja rafinerii. Wyzwania, regulacje i narzędzia zarządzania projektami” Szymon Walkowski: „[...] to proces złożony i wieloaspektowy, który wymaga zaangażowania zarówno na poziomie inwestycji technologicznych, jak i zarządzania projektami”. Dużo o dekarbonizacji pisze również Krzysztof Zuzański z Grupy Azoty Kędzierzyn (str. 42), który podkreśla, że priorytetem powinna być produkcja odnawialnej energii elektrycznej, a w drugiej kolejności – wytwarzanie wodoru RFNBO: „[...] ale dopiero po uzyskaniu wysokiego udziału energii odnawialnej w miksie energii elektrycznej w sieci”, co – jak zaznacza – jest kosztowną i trudną koniecznością dla niektórych obszarów dekarbonizacji.

Pojawia się więc tu na rynku ważny gracz – wodor. Obiecujący nośnik energii, zdobywający coraz większe znaczenie w globalnej gospodarce, co widać chociażby na przykładzie Grupy ORLEN, która (art. „Wodor. Klucz do transformacji energetycznej?”, str. 36): „Do 2030 r. przeznaczy 7,4 mld zł na inwestycje w wodor bazujący na odnawialnych źródłach energii i technologiach przetwarzania odpadów komunalnych”. Z kolei, cytując Andrzeja Sikorę (str. 8): „Europa na rozwój technologii wodorowych przeznaczyła już 80 mld euro”.

Teraz musimy podjąć decyzję, czy zostajemy na tym polu, czy dalej rzucamy kostką, bo przecież w kontekście dążenia do zrównoważonego rozwoju i redukcji emisji CO₂ nie mówi się tylko o wodrze czy technologiach OZE, ale coraz częściej słyszymy np. o metanolu czy amoniaku, któremu w tym numerze również poświęcamy sporo uwagi.

Jesteśmy już blisko mety. Kto będzie wygranym? Kto zostanie w tyle? Jedno jest pewne – przewagę w tej grze zdobędą ci, którzy szybko opanują istotę „neutralności”, pozyskają finansowanie i przebudują zakład w kierunku nowych, czystych rozwiązań technologicznych.

Wielka gra o polską chemię cały czas się toczy. Porozmawiamy o niej w styczniu, w Płocku, podczas XXXI Sympozjum CHEMIA 2025, na które już teraz serdecznie zapraszam.

Aleksandra Grądzka-Walasz



KLUCZOWE ELEMENTY BALTIC POWER

Powstające w Gdańsku i Gdyni dwie konstrukcje morskich stacji elektroenergetycznych, będących kluczowym elementem inwestycji Baltic Power, pozwolą odebrać energię z 76 turbin i przesać ją na ląd, oddalony od brzegu o 23 km. Na zdjęciu: ostatni transport elementów morskich stacji elektroenergetycznych realizowanych przez polskich wykonawców

Źródło, fot.: ORLEN S.A.



WSPÓŁPRACA PRZEMYSŁU NA RZECZ WZMOCNIENIA BEZPIECZEŃSTWA

Agencja Rozwoju Przemysłu S.A., Polska Grupa Zbrojeniowa S.A., Grupa Azoty S.A. i MESKO S.A. podpisały list intencyjny dotyczący zwiększenia możliwości produkcyjnych materiałów wybuchowych.

Spółki zamierzają współpracować w zakresie rozbudowy na terenie Polski kompetencji produkcyjnych materiałów wybuchowych wraz z bazą surowcową. Sygnatariusze są zgodni co do możliwości powstania fabryki nitrocelulozy i prochów wielobazowych w naszym kraju. Strony wyraziły wolę nawiązania współpracy poprzez utworzenie podmiotu, który będzie realizował projekt.

– Już dziś współpracujemy z partnerami z tego obszaru. W obecnej sytuacji Grupy chcemy wykorzystywać najciekawsze możliwości biznesowe, dzięki którym wzmocnimy przychody. Współpraca w zakresie wytwarzania nitrocelulozy oraz prochów wielobazowych jest bardzo perspektywiczna dla naszych zakładów – powiedział Adam Leszkiewicz, prezes zarządu Grupy Azoty S.A.

Źródło, fot.: Grupa Azoty



WYRÓŻNIONO PROJEKTY WODOROWE

Trzy projekty wodorowe realizowane przez ORLEN zostały wyróżnione przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska.

– Wodór staje się paliwem teraźniejszości, który jest szansą na skuteczną transformację gospodarki w kierunku neutralności klimatycznej. Wodór nisko- i zeroemisyjny to doskonała odpowiedź na zmniejszanie śladu węglowego w procesach przemysłowych czy transporcie ciężkim i miejskim. Grupa ORLEN czyni intensywne starania, aby wdrażać skuteczne rozwiązania dekarbonizacyjne, co pokazują zrealizowane i wyróżnione projekty – powiedział Grzegorz Józwiak, dyrektor Biura Technologii Wodorowych i Paliw Syntetycznych ORLEN. Rada Koordynacyjna ds. Gospodarki Wodorowej, w skład której wchodzi 45 członków reprezentujących sektory administracji, biznesu oraz nauki, w drodze głosowania przyznała wyróżnienie za wszystkie zgłoszone przez ORLEN projekty: „Clean Cities – Hydrogen mobility in Poland”, Akademię H2 oraz laboratoria badań wodoru jakości automotive Grupy ORLEN.

Nagrody wręczono podczas Konferencji Stron Porozumienia Sektorowego na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce, a Ministerstwo Klimatu i Środowiska wyróżniło pięć przedsiębiorstw. Poza ORLENEM byli to: GAZ-SYSTEM, Politechnika Krakowska, Dolnośląska Dolina Wodorowa i Arcerol Mittal.

Źródło, fot.: ORLEN S.A.

ORLEN WZMACNIA ROZWÓJ INNOWACYJNEJ KATALIZY

Grupa ORLEN buduje sojusz nauki z biznesem poprzez Konsorcjum Przemysłowo-Naukowe w dziedzinie katalizy „NEXT-CATALYSIS”.

Inicjatywa ma na celu nawiązanie i zacieśnianie współpracy z najlepszymi ośrodkami badawczymi w Polsce w zakresie opracowywania nowych katalizatorów, a także wymiany wiedzy i doświadczeń oraz edukacji przyszłych kadr pracowników obszarów badawczo-rozwojowych. Ireneusz Fąfara, prezes zarządu ORLEN i prof. dr hab. inż. Marek Pawełczyk, rektor Politechniki Śląskiej, podpisali w Gliwicach ramową umowę Konsorcjum. W najbliższym czasie podpisze ją również Uniwersytet Warszawski, trwają też rozmowy z kolejnymi partnerami naukowymi.

– To niezwykle ważna inicjatywa, obrazująca nasze spojrzenie na rozwój koncernu, wspierany przez badania i innowacje. Do realizacji tego kierunku potrzebujemy świata nauki z jego pasją, wiedzą i infrastrukturą. W zamian oferujemy ścieżkę do komercjalizacji nowych technologii, praktyczną wiedzę naszych ekspertów oraz możliwości badawcze i testowe własnych centrów badawczo-rozwojowych – mówił Ireneusz Fąfara, prezes zarządu ORLEN.

Źródło: ORLEN S.A.

CIEKAWOSTKA

Fabryka Sztucznej Inteligencji

Blisko 70 mln zł rządowej subwencji ma otrzymać AGH na realizację projektu budowy pierwszej w Polsce Fabryki Sztucznej Inteligencji.

Fabryka AI będzie centrum badawczo-rozwojowym, które pozwoli polskim naukowcom i naukowczyniom rozwijać, współtworzyć, testować i wykorzystywać najnowsze technologie bazujące na sztucznej inteligencji. Realizacja projektu, który powstanie w Akademickim Centrum Komputerowym Cyfronet AGH, ma rozpocząć się jeszcze w tym roku i zakończyć w 2025. Projekt współfinansuje Komisja Europejska.

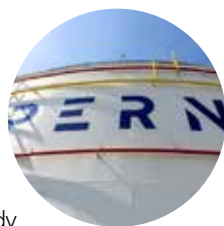
Źródło: AGH



Fot. 123rf

KOLEJNE ZBIORNIKI W BAZACH PALIW PERN

PERN rozstrzygnął przetarg na zaprojektowanie dwóch nowych zbiorników na produkty naftowe o łącznej pojemności 66 tys. m³.



Planowane zbiorniki

- o pojemności 33 tys. m³ każdy
- mają powstać w bazach paliw PERN w Kawicach oraz w Kolużkach. Inwestycja stanowić będzie nie tylko kolejny etap rozbudowy pojemności magazynowych spółki, ale także jeden z elementów szerszego programu inwestycyjnego, którego celem jest dodatkowe umocnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju, przy jednoczesnym realizowaniu bieżących potrzeb klientów PERN.

- Stawiamy na inwestycje w infrastrukturę, pamiętając jednocześnie o tym, by zawsze uwzględniały one bieżące potrzeby i realia rynkowe, a także przyszłe zapotrzebowanie, sygnalizowane nam już teraz przez naszych klientów. Jestem przekonany, że tego typu inwestycje pomogą PERN umocnić się na pozycji lidera logistyki surowcowo-paliwowej w Polsce – mówi Daniel Świętochowski, prezes zarządu PERN S.A.

Źródło, fot.: PERN S.A.

954 MILIONÓW ZŁOTYCH

GAZ-SYSTEM zakontraktował wykonawców prac budowlanych dla wszystkich gazociągów lądowych Programu FSRU, o łącznej długości 250 km. Wartość kontraktów wynosi 954 mln zł.

Budowa gazociągów lądowych jest bezpośrednio związana z realizacją Programu FSRU, w ramach którego planowane jest posadowienie w Zatoce Gdańskiej pływającego terminalu LNG. Nowa infrastruktura przesyłowa umożliwi odbiór dostarczanego drogą morską skroplonego gazu ziemnego (LNG), a następnie – po jego regazyfikacji – przestanie do krajowego systemu przesyłowego. Terminal LNG typu FSRU w Gdańsku będzie jednym z kluczowych punktów odbioru gazu ziemnego, o wolumenie 6,1 mld m³. rocznie.

W ramach budowy infrastruktury lądowej Programu FSRU, na trasie od Gdańska do tłoczni gazu w Gustorzynie powstaną trzy gazociągi: odcinek Kolnik – Gdańsk o długości ok. 34 km; odcinek Gardeja – Kolnik o długości ok. 88 km oraz odcinek Gustorzyn – Gardeja o długości ok. 128 km. Zakończenie prac budowlanych planowane jest w grudniu 2026 r.

Źródło: GAZ-SYSTEM

ROZMAITOŚCI

**1,15
MLN TON**

– tyle może wynosić do 2040 roku zapotrzebowanie na wodór RFNBO w transporcie i przemyśle

Źródło:
ORLEN Południe



– Gotowość strażaków do niesienia pomocy miała szczególny wymiar podczas tegorocznej powodzi, gdy woda niszczyła domy i zagrażała ludziom. Ich wielkie zaangażowanie i poświęcenie było kolejnym świadectwem głębokiego poczucia misji. Doceniamy to, dlatego uruchomiliśmy najwyższe w historii ORLEN wsparcie dla jednostek straży pożarnej, które pozwoli im działać z jeszcze większą skutecznością

– mówi
Lidia Kołucka,
dyrektor wykonawcza ds. sponsoringu ORLEN.

Źródło: ORLEN S.A.



QEMETICA GOTOWA NA MIĘDZYNARODOWE AKWIZYCJE

Qemetica sfinalizowała zakup biznesu krzemionki strącanej od koncernu PPG (za 1,2 mld zł) w jednej z największych transakcji przeprowadzonych przez polską firmę na rynku amerykańskim.

Qemetica, największy producent m.in. soli warzonej w Polsce, największy dostawca krzemianów w Europie, przejął fabryki krzemionki w USA i Holandii, zwiększając w ten sposób przychody o ponad miliard złotych. Grupa staje się jednocześnie trzecim graczem w Europie i drugim w Ameryce Północnej na rynku krzemionki strącanej, niezbędnej m.in. w produkcji nowoczesnych opon do aut. Z rynków obu Ameryk Qemetica będzie pozyskiwać przychody o równowartości blisko 800 mln zł, zwiększając tym samym geograficzną dywersyfikację działalności.

– Z wielką satysfakcją finalizujemy nabycie biznesu krzemionki strącanej. Tak jak zapowiadaliśmy, jednym z naszych priorytetów jest dywersyfikacja geograficzna. Tworząc nowy, ósmy biznes podążamy w górę naszego łańcucha wartości, wychodzimy poza Europę i realizujemy nasze globalne aspiracje – mówi Kamil Majczak, prezes zarządu Qemetiki.

Źródło, fot.: Qemetica

60 LAT SITPCHEM W PŁOCKU

Pod koniec listopada w Płocku Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego Oddział w Płocku świętowało swój jubileusz.

– Od 60 lat integrujemy środowisko specjalistów związanych z przemysłem chemicznym, a Stowarzyszenie stanowi płaszczyznę wymiany myśli naukowej oraz technicznej – mówił Arkadiusz Kamiński, prezes Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego Oddział w Płocku, podczas uroczystego spotkania z okazji jubileuszu organizacji.

W imieniu Wydawnictwa BMP – gratulujemy.

Źródło: BMP

QUO VADIS POLSKA CHEMIO?

dr inż. Andrzej P. Sikora

Instytut Studiów Energetycznych Sp. z o.o. w Warszawie

Może to rzeczywiście wszystko kwestia pomiaru? Fizyka kwantowa jest bezlitosna. Do momentu, kiedy nie zwracasz na to uwagi, nie mierzysz, każdy stan jest możliwy. I tak dla krajowego rynku najważniejsze jest dzisiaj zdefiniowanie strategii dla polskiej chemii wobec transformacji energetycznej¹.

Zasada nieoznaczoności (Zasada Heisenberga lub zasada nieokreśloności) to reguła, która mówi, że istnieją takie pary wielkości, jakich nie da się jednocześnie zmierzyć z dowolną dokładnością. Akt pomiaru (wystarczy popatrzeć!) jednej wielkości wpływa na układ tak, że część informacji o drugiej wielkości jest tracona. Zasada nieoznaczoności mówi, że nie można z dowolną dokładnością wyznaczyć jednocześnie położenia i pędu cząstki. Odkryta i sformułowana przez Wernera Heisenberga w 1927 roku jest konsekwencją dualizmu korpuskularno-falowego. Zasada ta nie wynika z niedoskonałości metod ani instrumentów pomiaru, lecz z samej natury danej nam (naszemu rozumowi) rzeczywistości. I mam pisać o strategii chemii wobec transformacji energetycznej? Gdzie jesteś, cząstko? Wodorze? Protonie z elektronem, protonie z neutronem „deuter”?

Proton i neutron to składniki wszystkich jąder atomowych we wszechświecie. Obie cząstki mają podobne rozmiary i masy oraz podobną strukturę. W ich skład wchodzi trzy kwarki. Proton składa się z dwóch kwarków górnych i jednego dolnego, neutron z dwóch kwarków dolnych i jednego górnego. Cząstki te różnią się zatem jednym kwarkiem. Ta z pozoru drobna różnica w budowie protonu i neutronu ma ogromne konsekwencje – to z jej powodu proton jest cząstką dodatnio naładowaną, a neutron pozostaje elektrycznie obojętny. Również z tej jednej różnicy wynika, że na

zewnątrz jądra atomowego proton jest cząstką stabilną, a neutron ulega przemianie średnio po czasie około 15 minut. Zostawmy jednak kwarki i może lepiej popatrzymy na azan (po starym amoniak), gdzie tych wodorów jest z azotem aż trzy.

Postawiliśmy na wodór

Europa na rozwój technologii wodorowych przeznaczyła już 80 mld euro. Ten program jest jak projekt Manhattan, w ramach którego Stany Zjednoczone w czasie II wojny światowej budowały bombę atomową. Angażujemy w to wszystkie siły. Jako UE jesteśmy bez własnych surowców, a te, które mamy – takie jak węgiel – są nieakceptowalne, więc musimy wymyślić coś kompletnie nowego. I postawiliśmy właśnie na wodór, także na syntezę tegoż z ditlenkiem węgla. Mamy to zdefiniowane, znamy technologie oraz ich dzisiejsze ograniczenia – są drogie, wymagają albo drogiego, koniecznie zielonego prądu, albo wysokich ciśnień i temperatur. Inaczej na razie nie umiemy, szukając wodoru kopalnego („białego”)², dlatego pierwsze pieniądze dajemy na próby znalezienia nowych sposobów produkcji, pozyskania wodoru inaczej. Skoro natura trzyma ten wodór w tak prostych strukturach jak woda, metan czy właśnie azan znaczy to, że musi być łatwy sposób ich uwolnienia. Tak samo było z węglem, z którego też nie umieliśmy korzystać, aż ktoś wrzucił ten kamień do ogniska i się zapalił. Cud.

Zmiana struktury popytu na produkty paliwowe

Jesteśmy zdeterminowani. Nie mamy innego wyjścia. Podstawową przyczyną likwidowania mocy przerobowych w chemii, w rafineriach jest spadek opłacalności produkcji (jednoczesne zmniejszenie się marż rafineryjnych oraz popytu na produkty rafineryjne, przede wszystkim z uwagi na spowolnienie gospodarcze oraz europejską politykę klimatyczno-energetyczną). Istotną rolę odgrywa również zmiana struktury popytu

na produkty paliwowe (wzrost zapotrzebowania na olej napędowy i spadek zapotrzebowania na benzyny) oraz coraz większy udział ropy naftowej i kondensatu z łupków w ogólnej podaży, co ma kolosalne znaczenie w dostosowaniu konfiguracji także starszych europejskich rafinerii, przy bardzo wysokich nakładach inwestycyjnych. Jednakże, z uwagi na spadek rentowności rafinerii, inwestycji brak.

”

Europa na rozwój technologii wodorowych przeznaczyła już 80 mld euro

W efekcie tego zjawiska na rynku europejskim pojawił się splot niekorzystnych zjawisk:

- pogłębia się nadpodaż benzyn przy rosnącym deficycie oleju napędowego – uzupełnianym importem,
- na rynek napływa coraz więcej paliw z innych regionów świata, przede wszystkim z Azji, gdzie – z uwagi na rozwój rynków (np. Zat. Perska, Chiny) – wciąż pojawiają się nowe moce rafineryjne, a na surowcach NGL krakery parowe,
- nierentowne rafinerie przejmowane są przez inwestorów branżowych z krajów pozaeuropejskich albo zmienia się ich profil (służą wyłącznie jako magazyny importowanych paliw lub do produkcji paliw alternatywnych/zielonych, także SAF). W najgorszym wypadku są zamykane (w całości lub poszczególne instalacje).

Wojna w Ukrainie oraz wzrost agresywności w polityce rosyjskiej przekłada się na trudne do opisanego w tym materiale zmiany i kształtuje nowe sytuacje

w wydobyciu, przerobie i przesyłce ropy naftowej i jej produktów.

Zadanie dla przemysłu chemicznego

Wytwarzanie surowców bazowych (wtórnych) ze składników pierwotnych to pierwsze i najważniejsze zadanie przemysłu chemicznego. Około 80% produkowanego na świecie gazu syntezowego i 90% wodoru wytwarza się na bazie gazu ziemnego. Gaz syntezowy to podstawowy półprodukt stosowany do wytwarzania szeregu związków, przede wszystkim: NH_3 , CO_2 , CH_3OH , CO , H_2 oraz alkoholi OXO. Amoniak natomiast, prócz tego, że jest nośnikiem wodoru, to główny substrat do wytwarzania m.in. azotanów i kwasu azotowego, niezbędnych w procesie technologicznym produkcji nawozów azotowych.

Wykonywane od lat przez ISE analizy struktury rynków chemicznych państw Unii Europejskiej i Polski prowadzą do interesujących wniosków. Przede wszystkim w naszym kraju brak kilku gałęzi produkcji wysokoprzetworzonych i wysokomarżowych produktów chemicznych – piszemy o tym od pokolenia! Co więcej, z uwagi na nadwyżki mocy wytwórczych w tych obszarach w krajach UE oraz brak w Polsce środków finansowych, jakie można by przeznaczyć na inwestycje, nie należy spodziewać się zamknięcia krajowej luki podażowej w tych obszarach. Dlatego też w przewidywalnym horyzoncie czasowym popyt na powyższe

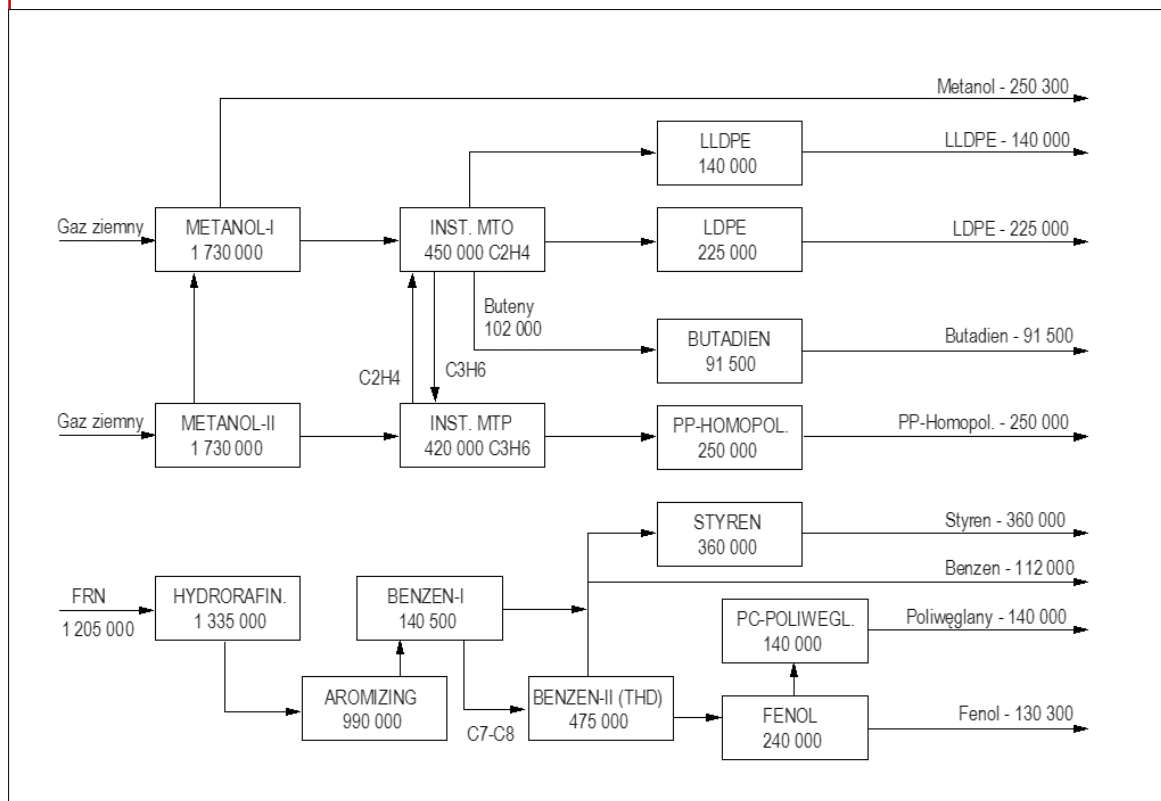
produkty (np. środki ochrony roślin, kleje, żywice, farby, lakiery, powłoki powierzchniowe) będzie – tak jak dziś – zaspokajany przede wszystkim przez import. Mówimy tu o kilkunastu produktach chemicznych z wielkością importu rzędu kilku tysięcy ton każdy.

W przypadku podjęcia decyzji o włączeniu się na przykład przez PERN w ten segment rynku konieczne byłoby wybudowanie dużej liczby niewielkich zbiorników, gdyż typowe chemikaliowce pływające po Bałtyku to jednostki o nośności kilku do kilkunastu tys. DWT, przewożące jednorazowo nawet kilkanaście produktów chemicznych. W przypadku masowych produktów petrochemicznych analogiczny potencjał importowy sięga dziś ok. 300 tys. ton (etylobenzen, aromaty, czyli ortoksylen i toluen, bez benzenu). Potencjalnie najciekawszym produktem może stać się metanol i jego pochodne, przede wszystkim eter dimetylowy (DME). Wiąże się to zarówno z zastosowaniem metanolu jako półproduktu chemicznego, jak i ekologicznego paliwa (*ibidem*).

Rysunek 1 to pokazany w wariacie maksimum program rozwoju polskiej chemii opracowany ponad 10 lat temu (jest nowszy?), który obejmuje kompleks produkcyjny olefin, aromatów i półproduktów, przetwarzający ok. 1,2 mln t/r. FRN (benzyny pełnozakresowej) i ok. 2,6 mld m^3 gazu ziemnego (alternatywnie gazu z łupków o wysokiej zawartości CH_4 lub propanu czy innych NGL). Jest to szczególnie ważne w kon-

RYS. 1

Schemat powiązań OWH dla proponowanego programu rozwojowego (źródło: Instytut Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie, Polska Izba Przemysłu Chemicznego, Program Inwestycyjny rozwoju produkcji przemysłu chemicznego, Warszawa, styczeń 2013)




ZADANIE DLA CHEMII

Wytwarzanie surowców bazowych (wtórnych) ze składników pierwotnych to pierwsze i najważniejsze zadanie przemysłu chemicznego

Fot. 123rf

tekście reindustrializacji Stanów Zjednoczonych, przy bardzo niskim koszcie gazu ziemnego, energii i łatwości w dostępie do innych, tanich surowców węglowodorowych, co powoduje przenoszenie biznesów chemicznych i petrochemicznych z Europy do USA (w tym SABIC, BASF).

Do czołowej piątki największych potentatów w polskim sektorze nawozowym należą fabryki z Grupy Azoty oraz Anwil. Łączna efektywna zdolność produkcyjna NH_3 w tej grupie to obecnie niewiele ponad 3,2 mln ton NH_3 w skali roku, z czego największy zakład – fabryka w Puławach – jest w stanie wyprodukować prawie 1,13 mln ton NH_3 (zdolność produkcyjna w Grupie Azoty to obecnie ponad 2,31 mln ton NH_3). Najwięksi wytwórcy nawozów mineralnych w Polsce wykazują teoretyczne zapotrzebowanie gazu ziemnego w ilości ponad 2,4 mld m^3 , zakładając średnie zużycie 873 m^3 na tonę NH_3 .

Ale węglowodory niekonwencjonalne to także, a może dziś przede wszystkim, ropa z łupków czy kondensat. Analog amerykański pokazuje, że gwałtowny rozwój wydobycia w USA powoduje otwieranie starych rafinerii do przerobu ropy, ale i nowe inwestycje w steam-crackery, które odbudowują tamtejszy przemysł petrochemiczny. Nie bez znaczenia są anonsowane inwestycje w instalacje do produkcji metanolu, DME czy odwodornienia propanu, nie mówiąc o moczniku czy kwasie azotowym. Ten gwałtowny wzrost wydobycia węglowodorów niekonwencjonalnych w USA spowodował, że mamy tam do czynienia z rekordowymi poziomami wydobycia. Dla polskiego rynku oznacza to przede wszystkim konieczność zdefiniowania strategii

dla rodzimej chemii. Szczególnie interesujące są dwa rozwiązania: zwiększony popyt na metanol i DME.

Metanol i eter dimetylowy

Dzisiaj w Polsce metanol jest wykorzystywany wyłącznie jako surowiec chemiczny i w całości importowany transportem lądowym, w ilości 300-350 tys. ton rocznie. Biorąc pod uwagę ogromny potencjał, dodatkowy popyt na metanol jako paliwo bunkrowe⁴, należałoby dokonać poważnej analizy podaży-popytowej w celu oszacowania możliwości włączenia się przemysłu chemicznego w łańcuch dostaw metanolu do Polski, a także wielkości niezbędnych inwestycji oraz rentowności takiej działalności.

Trzeba przy tym zauważyć, że metanol jest wykorzystywany również jako paliwo dla pojazdów samochodowych (blendowany z benzyną lub jako paliwo samodzielne). W przypadku gdy produkuje się go z biomasy, spełnia założenia paliwa proekologicznego, a wprowadzenie go jako dodatku do paliw w Polsce pozwoliłoby wypełnić zobowiązania w tym zakresie, spoczywające na krajach członkowskich UE. Oznacza to, że odpowiednio prowadzona polityka mogłaby zachęcić do inwestowania w silniki/instalacje spalające metanol (oprócz paliw bunkrowych), co przyczyniłoby się do pogłębienia tego rynku, początkowego zwiększenia importu, a w przyszłości również produkcji krajowej, co byłoby z korzyścią dla sektora chemicznego, jak i dla producentów biomasy.

Co ciekawe, opcją bardziej interesującą mogłoby stać się szerokie wprowadzenie na polski rynek DME, które może być produkowane bezpośrednio z biomasy

lub z metanolu. DME jest łatwym do skroplenia i transportu gazem (podobnym do LPG), o liczbie cetanowej analogicznej do oleju napędowego. Może być używany w silnikach wysokoprężnych, elektrowniach czy zwykłych kuchenkach. DME jest możliwy do zastosowania w silnikach, albo jako samodzielne paliwo, czy jako dodatek niepociągający za sobą konieczności zmiany instalacji: w przypadku LPG wymaga to zachowania w mieszance LPG/DME relacji 80%/20%, a dla oleju napędowego relacji ON/DME – 70%/30%.

”

Około 80% produkowanego na świecie gazu syntezowego i 90% wodoru wytwarza się na bazie gazu ziemnego

Surowce do produkcji DME mogą być bardzo różnorodne: począwszy od biomasy (wtedy jest to biopaliwo), poprzez gaz ziemny, aż do węgla, przy czym koszty produkcji, mimo stosunkowo „nowej” technologii i niewielkiej skali produkcji istniejących instalacji, są porównywalne (choć wciąż wyższe) z kosztami wytwarzania LPG. Znakomitym surowcem do uzyskania DME jest metanol. Spalanie DME generuje znikomą ilość zanieczyszczeń, co czyni z niego idealne paliwo dla obszarów o koniecznej kontroli zanieczyszczeń (np. dla Bałtyku od 2015 roku). Obecnie DME wykorzystywany jest jako paliwo przede wszystkim w Chinach, a w Europie – głównie jako propellant w aerozolah (zamiast używanych wcześniej związków CFC).

ODBUDOWA PETROCHEMII ZA OCEANEM

Gwałtowny rozwój wydobycia węglowodorów niekonwencjonalnych w USA powoduje otwieranie starych rafinerii do przerobu ropy, ale przede wszystkim nowe inwestycje w steam-crackery, które odbudowują przemysł petrochemiczny za oceanem



Fot. 123rf

I tak spokojnie przeszliśmy przez chemię bez słowa o energii? To na zakończenie przywołam noblistę: „Historia człowieka jest zdominowana przez ilość dostępnej energii odzwierciedlając ją”⁵. Chciałbym znaleźć takie odzwierciedlenie w Krajowym Planie w dziedzinie Energii i Klimatu, w nowej Polskiej Polityce Energetycznej, w polityce gospodarczej rządu, której nie widzę. Projekt Orlenu Olefiny III wymaga żelaznej logiki, odwagi mówienia prawdy i konsekwencji. Ale też zdrowego rozsądku i uczciwości (wobec faktów, liczb i ludzi). Czytamy w oświadczeniu zarządu, że projekt „[...] Olefiny III, musi zostać zoptymalizowany lub wstrzymany” – to dwie opcje, jakie bierze pod uwagę państwowy gigant. Kontynuacja projektu w dotychczasowym zakresie i skali jest nierentowna. Nakłady inwestycyjne i koszty okołoprojektowe wyniosłyby około 45-51 mld zł. Przedmiotem analizy strategicznej są aktualnie objęte następujące scenariusze:

- „optymalizacja projektu w zakresie mocy produkcyjnych i wykorzystania obecnych jednostek,
- zatrzymanie projektu w obecnym kształcie lub jego czasowe, częściowe wstrzymanie”⁶.

Bez spełnienia wszystkich ww. warunków nie da się tego zrobić – szczególnie, że nie widzę lidera/właściciela tych zmian, ani kompetentnego zespołu, który mógłby się tym zająć. Dlatego też nie piszę ani słowa o zmianach i aktualizacji strategii Grupy ORLEN, Grupy Azoty...

Przypisy

¹ Tekst został oddany do druku 8 listopada 2024 r.

² Wybrane publikacje autora o wodorze:

1. Sikora A. Sikora M., „Zaledwie wstęp do dyskusji. Główne przesłanki polityki rządu w świetle PEP2040”. Energetyka Ciepła i Zawodowa 2/2019 (721) str. 39-42.; 58.14.12.0 ISSN 1734-7823.
2. Sikora A., „Wodór budulec Wszechświata, ziemskie anomalie, czy powszechnie dostępne paliwo?” Chemia Przemysłowa 6/2019(743) ISSN 1734-8013 str. 38-41.
3. Sikora A., Sikora M., “HYDROGEN – building material of the universe, earth anomaly or commonly available fuel? Wodór – budulec wszechświata, ziemskie anomalie, czy powszechnie dostępne paliwo?” Polish Technical Review No. 4/2020; str. 4-13; DOI: 10.15199/180.2020.4.1 Także CIRE: <https://www.cire.pl/item,209797,2,0,0,0,0,0,hydrogen--building-material-of-the-universe-earth-anomaly-or-commonly-available-fuel.html>
4. Klima K., Sikora A., Sikora M. „We have hydrogen and what next? Mamy wodór i co dalej?” Polish Technical Review No. 1/2021; str. 10-14; DOI: 10.15199/180.2021.1.2 http://polishtechnicalreview.com/images/volumens/images/volumens/PTR_1_2021/PTR2021-1-2.pdf
5. Sikora A. Sikora M. „Amoniak surowcem energetycznym?” str. 75-87. Zeszyty Naukowe Instytutu 1/101 na podstawie wybranych referatów wygłoszonych na XXXIV Konferencji „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”, <https://se.min-pan.krakow.pl/konferencje/teksty.php> Kraków 2022 Wydawnictwo IGSMiE PAN ISBN 978-83-964171-1-4; eISBN 978-83-964171-2-1
6. Sikora A., „The future lies in hydrogen”; CEENERGY NEWS <https://ceenergynews.com/voices/the-future-lies-in-hydrogen/>

7. Sikora A., „Ad vocem na 6 powodów, dla których wodór nie będzie paliwem przyszłości” CIRE 16/01/2023 <https://wodor.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/ad-vocem-na-6-powodow-dla-ktorych-wodor-nie-bedzie-paliwem-przyszlosci>
8. Sikora A., „Skąd czerpać wodę do produkcji wodoru?” *Chemia Przemysłowa* 2/2023 (831) ISSN1734-8013 58.14.12.0 str. 103-109.
9. Sikora A., „Zauroczony wodorem. Dlaczego wodór będzie paliwem XXI w.” *Przegląd Gazowniczy* nr 2(27) czerwiec 2023 r. str. 8-9
10. Sikora A., „Jeśli chcemy, by wszystko pozostało tak, jak jest, wszystko się musi zmienić”*. Dekarbonizacja Unii Europejskiej a boom łupkowego NGL”. Str 63-73. ZESZYTY NAUKOWE Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN Kraków 2024 Wydawnictwo IGSMiE PAN 1(112). Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Bezpieczeństwo energetyczne Polski i UE w świetle obecnej sytuacji gospodarczej świata. Redaktorzy tomu: Katarzyna Stala-Szuląg, Zbigniew Grudziński ISSN 2080-0819 także: https://se.min-pan.krakow.pl/konferencje_teksty.php
11. Kaliski M., Sikora A., „Wodór a magazynowanie podziemne energii w strukturach solnych”, tytuł angielski: „Hydrogen and underground energy storage in salt structures” *Przegląd Solny / Salt Review*, październik 2013, 9, str. 26-32. ISSN 2300-9349. file:///Users/andrzej.p.sikora/Downloads/Wod%C3%B3r_a_podziemne_magazynowanie_ene.pdf

³ Por. (m.in.):

1. Gross-Gołacka E., Lubiewa-Wieleżyński W., Sikora A., Szurlej A., Biały R., „Wyzwania dla producentów nawozów mineralnych w kontekście liberalizacji krajowego rynku gazu ziemnego” – *Przem. Chem.* 2013, 92/8. (str. 1393-1398).
2. Krupa M., Moskalewicz M., Sikora A., Szurlej A., Dimethyl ether. Properties, production technologies and the market Eter dimetylowy. Właściwości, technologie produkcji i rynek. *Przemysł Chemiczny* 93/9 /2014/10.12916/przemchem.2014 str.1621-1627.
3. Sikora A., Lubiewa – Wieleżyński W., 2009: „Surowce dla przemysłu chemicznego ich zapotrzebowanie i logistyka.” *Przemysł Chemiczny* czerwiec 2009 r.
4. Ministerstwo Środowiska, Najlepsze Dostępne Techniki (BAT), Wytyczne dla Branży Chemicznej w Polsce, Przemysł Wielkotonazowych Chemikaliów Nieorganicznych, Amoniak, Kwasów i Nawozów Sztucznych, Warszawa, wrzesień 2005 r.; https://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/Ekoportal/Pozwolenia_zintegrowane/poradniki_branzowe/11.5_Systemy_Obrobki_Zarzadzania_Wodami_i_Gazami_Odpadowymi_w_Sektorze_Chemicznym.pdf
5. Wadziszowska I. Szeja W., „Zagospodarowanie Ciężkich pozostałości w Kierunku Produkcji Chemikaliów”, XIII Sympozjum Naukowo-Techniczne CHEMIA 2007, styczeń 2007 r.
6. Instytut Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego w Warszawie, Polska Izba Przemysłu Chemicznego, Program Inwestycyjny rozwoju produkcji przemysłu chemicznego. Warszawa, styczeń 2013
7. M. Heinritz-Adrian, C. Marsico, „GASIFICATION, IGCC/ CTL/ISS as an Opportunity for Poland”, Gasification Workshop, luty 2006.
4. Wielkość rynku dla zamienników HFO w północnoeuropejskim obszarze SECA, przy założeniu 100% substytucji tego paliwa, jest szacowana np. na ok. 40 mln ton metanolu. Szwedzkie linie Stena podjęły decyzję o zmianie paliwa na metanol w 25 promach pływających po obszarze SECA.
5. Frederick Soddy – profesor chemii na Uniwersytecie Oksfordzkim, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie chemii w roku 1921 za wkład do chemii związków radioaktywnych oraz badania pochodzenia i charakteru izotopów. Prowadził prace badawcze w dziedzinie promieniotwórczości.

⁶ Por.: <https://businessinsider.com.pl/biznes/orlen-mysli-o-wstrzymaniu-gigantycznej-inwestycji-jest-nierentowna/zl7h4mn>

Literatura

1. Gross-Gołacka E., Lubiewa-Wieleżyński W., Sikora A., Szurlej A., Biały R., „Wyzwania dla producentów nawozów mineralnych w kontekście liberalizacji krajowego rynku gazu ziemnego” – *Przem. Chem.* 2013, 92/8. (str. 1393-1398).
2. Krupa M., Moskalewicz M., Sikora A., Szurlej A., Dimethyl ether. Properties, production technologies and the market Eter dimetylowy. Właściwości, technologie produkcji i rynek. *Przemysł Chemiczny* 93/9 /2014/10.12916/przemchem.2014 str.1621-1627.
3. Sikora A., Lubiewa – Wieleżyński W., 2009: „Surowce dla przemysłu chemicznego ich zapotrzebowanie i logistyka.” *Przemysł Chemiczny* czerwiec 2009 r.
4. Krupa M., Majchrzak J., Sikora A., 2009: „Paliwo alternatywne - gaz propan-butan. Cz. 1 Przemysłowe zastosowanie propanu – butanu. LPG JAKO SUROWIEC CHEMICZNY” *Chemia Przemysłowa* 5/2009.
5. Krupa M., Majchrzak J., Sikora A., 2009: „Paliwo alternatywne - gaz propan-butan. Cz. 2 Przemysłowe zastosowanie propanu – butanu. LPG JAKO SUROWIEC CHEMICZNY” *Chemia Przemysłowa* 6/2009. ■

Reklama

Cantoni®
GROUP

BESEL® CELMA indukta® since 1920 EMIT® ELFA® since 1878

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

www.cantonigroup.com



GLOBALNE ASPIRACJE I LOKALNE DZIAŁANIA

Polska transformacja energetyczna

Marta Iwańczuk-Grzywna

starsza menedżerka, Energy,
Resources & Industrials, Deloitte

dr Adam Kałużny

Partner Associate, Deloitte

W polskich przedsiębiorstwach, po wielu latach braku szczególnej uwagi w obszarze zarządzania energią, widzimy efekt planowanych i wdrażanych działań transformacyjnych. Dlatego właśnie dla transformacji energetycznej warto przyjąć optykę przedsiębiorcy. Które trendy oraz zmiany mają szansę rozwinąć łańcuch energetyczny, a jakie ryzyka spowolnią proces dekarbonizacji?

W ostatnich latach termin „transformacja energetyczna” odmiennie jest przez wszystkie przypadki oraz rozpatrywany poprzez pryzmat szeregu zamian – makroekonomicznych, regulacyjnych i finansowych, a skończywszy na technologicznych. Wspólnym mianownikiem oka-

zuje się być kierunek przedmiotowej transformacji. W całym łańcuchu energetycznych wartości, co do zasady, dążymy do niskoemisyjności, bezpieczeństwa energetycznego, wykorzystania nowoczesnych technologii, a także optymalizacji zarówno kosztów, jak i wolumenu.

Nie ma transformacji bez strategii

Strategia energetyczna jest jak mapa drogowa, dzięki której można dotrzeć z punktu A do punktu B. Jak każda mapa wymaga stałej aktualizacji oraz uwzględnienia zmian, jakie zaszły w infrastrukturze. Dobra strategia energetyczna działa w sposób proaktywny. Wyznaczy optymalną trasę, wskaże objazd oraz pomoże ominąć przeszkody, aby przedsiębiorstwo nie miało nieplanowanych przerw w dostawie energii i gazu. Kluczowym, choć oddolnym trendem w transformacji energetycznej sektorów czy całej gospodarki jest fakt, że poszczególne spółki opracowują i wdrażają własne strategie.

Dotychczasowe ogólne narzędzia zarządzania obszarem energetyki w przedsiębiorstwie zazwyczaj okazują się niewystarczające lub mało elastyczne. Warto sięgnąć po rozwiązania takie jak: strategia energetyczna, dzięki której w perspektywie krótko-, średnio- i długoterminowej można zadbać zarówno o bezpieczeństwo dostaw mediów energetycznych, jak i zapewnić sobie optymalizację oraz dywersyfikację kosztów. Co to w praktyce oznacza? Przedsiębiorcy – i to również ci mniej energochłonni – zmieniają modele zakupowe, decydują się także na inwestowanie we własne źródła OZE lub/i długoterminowe umowy typu cPPA (ang. Power Purchase Agreement). Inwestują ponadto w efektywność energetyczną. Obawa przed zmiennością ceny energii oraz o bezpieczeństwo dostaw wpłynęła na wzrost świadomości energetycznej odbiorców energii.

Koszty mają znaczenie

Wysokość, a przede wszystkim zmienność cen na rynku energii elektrycznej oraz gazu, a także ich dostępność w nadchodzących latach, będzie kształtowana przez znaczną liczbę zróżnicowanych czynników rynkowych i regulacyjnych. Konieczność spełnienia coraz wyższych wymogów związanych z udziałem OZE w „miksie energetycznym”, wymóg dekarbonizacji oraz modernizacji starzejącego się sektora wytwarzania i sieci przesyłowych oraz dywersyfikacja dostaw węglowodorów, mogą przyczynić się do wzrostów cen energii elektrycznej oraz gazu, a także dużej ich zmienności w krótkim okresie. Niestabilna sytuacja na rynkach w Europie czy prognozowane zmiany wymagają opracowania optymalnego podejścia do zarządzania kosztami i zapotrzebowaniem na media energetyczne. Ponadto krajowy sektor energetyczny potrzebuje nakładów na nowe aktywa wytwórcze spełniające najnowsze normy emisji, co będzie wiązało się z wysokimi funduszami na inwestycje. Pozyskanie środków na ten cel może spowodować wprowadzenie dodatkowych opłat, takich jak np. obowiązująca od 2021 roku opłata mocowa lub wzrost opłaty OZE.

Nie możemy zapomnieć również o wpływie przepisów podatkowych na zwiększanie kosztów funkcjonowania całej branży energetycznej. Obo-

wiązujący w Polsce podatek od nieruchomości jest ukształtowany w taki sposób, że generuje większe obciążenie w przeliczeniu na MW produkowanej energii elektrycznej dla aktualnie powstających źródeł energii niż dla istniejących od dekad elektrowni węglowych. Wynika to z faktu, że podatek naliczany jest od wartości budowli, a te budowane obecnie są dużo droższe niż stawiane przed kilkudziesięciu laty. Dodatkowo w ostatnich latach organy podatkowe i sądy zaczęły przyjmować niekorzystne dla podatników podejście w zakresie opodatkowania urządzeń powiązanych z siecią elektroenergetyczną, takich jak transformatory czy rozdzielnie. Coraz częściej są one traktowane jako budowle obciążone podatkiem od nieruchomości, który wynosi 2% rocznie od ich wartości, z czym wielu się nie zgadza i próbuje takie podejście kwestionować.

Ten negatywny dla branży trend może zostać utrwalony przez nadchodzące zmiany w prawie. W styczniu 2025 roku wejdzie w życie gruntowna nowelizacja przepisów regulujących podatek od nieruchomości. Opublikowany przez Ministerstwo Finansów projekt zmian sankcjonuje opodatkowanie urządzeń technicznych powiązanych z siecią elektroenergetyczną. Jeśli przepisy w takim kształcie zostaną uchwalone, w oczywisty sposób wpłynie to na podwyższenie kosztów funkcjonowania zarówno elektrowni, jak i sieci przesyłowych.



Strategia energetyczna jest jak mapa drogowa. Wyznaczy optymalną trasę, wskaże objazd oraz pomoże ominąć przeszkody

Bez względu na to, czy rozważany jest wariant krótko-, średnio- czy długoterminowy, realizacja strategii energetycznej w pierwszej kolejności koncentruje się na analizie specyficznej sytuacji przedsiębiorstwa w kontekście trendów rynkowych i regulacyjnych na rynkach surowców. Każdy obiekt na rynku nieruchomości posiada indywidualną charakterystykę, do której należy dostosować koncepcję rozwiązań zarówno technologicznych, jak i biznesowych. Jest to o tyle istotne, że nie można skopiować rozwiązań 1:1 z przedsiębiorstwa A do przedsiębiorstwa B. W każdym przypadku najistotniejsze są indywidualne uwarunkowania, w których funkcjonuje odbiorca energii, gazu oraz pozostałych mediów energetycznych. Gdy posiadamy już scharakteryzowane potrzeby, przeanalizowane zostały ryzyka i szanse – z uwzględnieniem powyższych elementów – opracowana zostaje stra-



fot. 123rf

GWARANTUJĄC DŁUGOTERMINOWĄ DOSTAWĘ zielonej energii po „z góry” określonej cenie, PPA wpisują się w potrzeby wytwórców OZE poszukujących stabilnego strumienia przychodów

tegia energetyczna obejmująca możliwe działania optymalizacyjne.

Jakie dane będą potrzebne?

Z czego w istocie składa się opracowanie strategii działań w krótkim i średnim terminie? Jest to zarówno analiza obecnie stosowanych zasad kontraktacji mediów, analiza charakterystyki zużycia energii elektrycznej i gazu oraz bieżących poziomów cenowych, jak i opracowanie rekomendacji działań optymalizujących na bazie rozwiązań dostępnych krótkoterminowo. Zazwyczaj działania te koncentrują się na aspektach biznesowych, ponieważ rozwój czy też implementacja rozwiniętej, lecz niestosowanej dotąd w przedsiębiorstwie technologii, wymaga pogłębienia analiz i opracowania szerszej koncepcji działań. Opracowanie strategii zaopatrzenia wybranych obiektów powinno uwzględniać ich specyfikę m.in. w kontekście wielkości oraz profilu zapotrzebowania na energię czy odchyłeń pomiędzy zgłoszonym zapotrzebowaniem na moc a jej faktycznym poborem. Pozwoli to na sprecyzowanie popytu na energię elektryczną i gaz oraz określenie warunków brzegowych strategii.

Elementem, który z jednej strony zwiększa wiedzę o gospodarce energetycznej własnego przedsiębiorstwa, a z drugiej stanowi źródło niezbędnych danych, jest również analiza aktualnych umów na dostawę energii elektrycznej i gazu. Obecnie obowiązujące umowy zawarte z dostawcami energii elektrycznej, w zależności od okresu ich obowiązywania, mogą mieć wpływ na możliwość optymalizacji cen energii elektrycznej i gazu. Aby adekwatnie dopasować stra-

tegię krótkoterminowej optymalizacji cen mediów do strategii biznesowej i krótkoterminowych planów przedsiębiorstwa, w pierwszej kolejności analizie zostanie poddana bieżąca sytuacja na rynku energii elektrycznej i gazu oraz oczekiwania rynkowe w zakresie przyszłych poziomów cen. Uwolnić tu możemy potencjał drzemiący w wykorzystywaniu kontraktów SPOT czy też innych rynków i indeksów, na bazie których można budować portfel zakupowy przedsiębiorstwa.

Kluczowym zadaniem jest także przyjrzenie się ewentualnej sezonowości zużycia i jej wpływu na koszty kontraktacji oraz możliwość ich optymalizacji (np. zakupy energii w transzach). Zwińczeniem tego etapu prac powinna być rekomendacja i opis zaktualizowanych zasad kontraktacji energii elektrycznej i gazu oraz charakterystyka możliwych do podjęcia działań w horyzoncie krótkoterminowym, związanych z optymalizacją pozostałych aspektów wpływających na koszty zakupu mediów energetycznych.

Zgodnie z opisywanymi wyżej założeniami kolejnym zadaniem do wykonania na etapie opracowywania indywidualnej strategii energetycznej dla przedsiębiorstwa powinno być określenie kluczowych inicjatyw związanych z zaopatrzeniem w energię elektryczną i gaz w średnim i długim terminie.

Umowa PPA zyskuje na popularności

Trend w transformacji energetycznej, który warto obserwować i który może stanowić kluczowy element strategii energetycznej w przedsiębiorstwie, to umowy PPA. Na przestrzeni ostatnich lat systematycznie zyskują one na popularności oraz stają się jednym z najbardziej perspektywicznych produktów na rynku energetycznym. Gwarantując długoterminową dostawę zielonej energii po „z góry” określonej cenie, PPA wpisują się w potrzeby wytwórców OZE poszukujących stabilnego strumienia przychodów. Adresują przy tym również wymagania przedsiębiorców, pozwalając im zabezpieczyć stabilność kosztów i osiągnąć cele dekarbonizacyjne. Umowy te wiążą się jednak z szeregiem ryzyk dla obu stron, a wygranymi będą te podmioty, którym uda się zawrzeć PPA, jednocześnie adekwatnie minimalizując powiązane ryzyko.

Najczęściej pod pojęciem umowy PPA rozumiemy kontrakt dotyczący zakupu energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródła energii wraz z powiązanymi z nią gwarancjami pochodzenia. Energia w umowach PPA charakteryzuje się z góry określoną ceną (stałą lub indeksowaną) oraz okresem rozliczeń z reguły w przedziale 5-15 lat, czyli wykraczającym poza płynność transakcji na rynku giełdowym. Umowy te mogą być rozliczane przez fizyczną dostawę energii elektrycznej (tzw. umowy fizyczne) lub w środkach pieniężnych (tzw. umowy wirtualne/finansowe), dla których kwota rozliczenia zależy od różnicy pomiędzy ceną rynkową w okresach przyszłych i ceną ustaloną w kontrakcie. W obu przypadkach transakcja prowadzi do ograniczenia zmienności kosztów zakupu/

przychodów ze sprzedaży energii elektrycznej oraz transferu gwarancji pochodzenia. Najczęściej wolumen kontraktowanej energii w ramach pojedynczej umowy kształtuje się na poziomie kilkudziesięciu GWh w skali roku, jednak obserwuje się także transakcje o wyższych wolumenach. Wraz ze wzrostem zaangażowania spółek obrotu oraz standaryzacji kontraktów, w niedalekiej przyszłości można się spodziewać również umów obejmujących mniejsze wolumeny energii. Umowa sprzedaży energii z OZE może zostać zawarta bezpośrednio z odbiorcą końcowym (tzw. corporate PPA) lub pomiędzy wytwórcą OZE a spółką obrotu (tzw. utility PPA).

Co czeka nas w przyszłości?

Oprócz wspomnianych wyżej rozwiązań wynikających z opracowania i wdrożenia strategii energetycznej, które na przestrzeni kolejnych lat staną się standardem (jakim dziś jest możliwa od połowy 2007 roku zmiana sprzedawcy energii), nie możemy zapomnieć o technologii. Wykorzystanie sztucznej inteligencji w procesach produkcyjnych oraz zarządzaniu infrastrukturą nie budzi już kontrowersji. Z kolei bardziej namacalny, chociaż niewidzialny zielony wodór, może

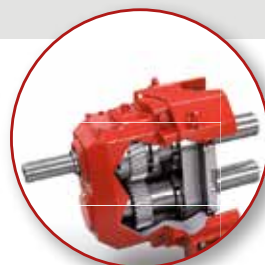
odegrać kluczową rolę z perspektywy dekarbonizacji różnych sektorów gospodarki.

Rozproszone wytwarzanie niskoemisyjnej energii jest faktem, jej magazynowanie w dalszym ciągu wyzwaniem, ale i na tym kierunku zauważalna jest spora zmiana, co widać po liczbie toczących się na różnych szczeblach dyskusji i deklaracji związanych z tym zagadnieniem. Myśląc o magazynowaniu energii należy również pamiętać o przedsiębiorcach, odbiorcach energii, którzy coraz częściej uwzględniają ten element w strategii energetycznej. Jednak ostatnie zmiany regulacyjne dotyczące korekcyjnego współczynnika dyspozycyjności oraz rynku bilansującego wskazują potrzebę głębokiej analizy energetycznej oraz finansowej dla funkcjonowania magazynu energii w prowadzonym biznesie i/lub przy źródle OZE. Ostatnie lata pokazały, że bierna postawa oraz brak dywersyfikacji w zakresie źródeł pozyskiwania energii (nie tylko tej neutralnej klimatycznie) potrafią spowodować istotne zmiany na rynkach energii od strony kosztu dostępności produktu, a interwencje regulacyjne są działaniami reaktywnymi. ■

Reklama

TWARDY ZAWODNIK, SZEROKIE MOŻLIWOŚCI

- Pompy rotacyjne i systemy pompowe
- Maceratory i rozdrabniacze
- Profesjonalny serwis i doradztwo



Vogelsang Polska

al. San Francisco 9, 55-020 Rzeplin
tel: 71 798 95 80

poland@vogelsang.info

www.vogelsang.info

VOGELSANG – LEADING IN TECHNOLOGY

VOGELSANG 



RÓŻNE ODCIENIE ZIELENI

Transformacja energetyczna w branży farb i klejów

Polski Związek Producentów Farb i Klejów

W obliczu rosnących wymagań ekologicznych i regulacji dotyczących emisji gazów cieplarnianych przedsiębiorstwa dostosowują swoje strategie działania do zrównoważonego rozwoju. Niezbędna tu transformacja energetyczna dotyczy niemal każdej branży, również sektora farb i klejów.

Wdrażanie technologii opierających się na odnawialnych źródłach energii, optymalizacja procesów produkcyjnych i poszukiwanie nowych, bardziej przyjaznych środowisku surowców staje się nie tylko koniecznością, lecz także sposobem na zwiększenie konkurencyjności.

Transformacja energetyczna to proces, który – w dużym uproszczeniu – polega na ograniczeniu zużycia energii i zmniejszeniu emisji gazów cieplarnianych. Takie działania wpisują się w politykę Unii Europejskiej, która w dłuższej perspektywie ma na celu osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku [1]. Transformacja energetyczna, chociaż pełna wyzwań, otwiera przedsiębiorstwom drogę do innowacji i stwarza szanse na zbudowanie bardziej zrównoważonej przyszłości. Przyjrzymy się, jakie rozwiązania w tym zakresie wdrażają firmy z branży farb i klejów zrzeszone w PZPFiK.

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii

Jak wskazują dane, w strukturze mocy zainstalowanej odnawialnych źródeł energii (OZE) w Polsce

dominuje obecnie fotowoltaika, która stanowi 62% wszystkich mocy OZE [2]. Boom na to rozwiązanie nie omija również sektora przemysłowego. Ceny energii z OZE są mniej podatne na wahania niż ceny gazu, węgla lub ropy. Dla przedsiębiorstw inwestycje we własne instalacje OZE, poza poprawą efektywności energetycznej, są też sposobem na obniżenie rachunków za prąd, wzrost poziomu bezpieczeństwa i stanowią krok ku uniezależnieniu się od dostaw zewnętrznych.

Przykładem przedsiębiorstwa z rodzimej branży farb i klejów, które mocno inwestuje w fotowoltaikę, jest Dragon Poland, czołowy producent chemii budowlanej, motoryzacyjnej i gospodarczej, z siedzibą w małopolskiej Skawinie. Obecnie firma posiada instalację paneli fotowoltaicznych o mocy 50 kW i do 2027 roku planuje jej rozbudowę do poziomu około 850 kW, co pozwoli na zaspokojenie większości zapotrzebowania zakładu produkcyjnego na energię elektryczną. Ma to przyczynić się do osiągnięcia przez spółkę neutralności klimatycznej w zakresie zużywanej energii elektrycznej. Zanim inwestycja zostanie w pełni zrealizowana,



DRAGON POLAND posiada instalację paneli fotowoltaicznych o mocy 50 kW i do 2027 roku planuje jej rozbudowę do poziomu około 850 kW

ZGODNIE Z NAJLEPSZYMI PRAKTYKAMI



– Transformacja energetyczna firmy jest kluczowym krokiem w kierunku zrównoważonego rozwoju, który stawia odpowiedzialność ekologiczną w centrum naszych działań – podkreśla **Michał Czekaj, prezes zarządu Dragon Poland**.

– Inwestycje w energię odnawialną, poprawa efektywności energetycznej oraz wykorzystanie ekologicznych rozwiązań w transporcie nie tylko przyczyniają się do ochrony środowiska, ale również umacniają naszą pozycję jako odpowiedzialnego i nowoczesnego przedsiębiorstwa. Dążymy do tego, aby nasza działalność była zgodna z najlepszymi praktykami z zakresu ochrony klimatu. Dragon Poland to firma, która stawia na zrównoważony rozwój i ekologiczną odpowiedzialność. Koncentrujemy się także na oszczędności energii w naszych halach produkcyjnych. Zainstalowane czujniki ruchu i obecności, a także oświetlenie LED, pozwalają na znaczną redukcję zużycia energii. System wentylacji bazujący na rekuperacji, który odzyskuje ciepło, wspomaga ogrzewanie hal w sezonie jesienno-zimowym, minimalizując koszty energetyczne i wpływ na środowisko – tłumaczy Michał Czekaj.

Dragon Poland będzie wykorzystywał energię w 100% pochodzącą z polskich farm wiatrowych i instalacji fotowoltaicznych, zgodnie ze standardem „Energia 2051”. To podejście znacząco redukuje ślad węglowy przedsiębiorstwa i potwierdza jego zaangażowanie w ekologię.

W produkcję energii odnawialnej inwestuje również Selena Energy, która łączy doświadczenia z zakresu profesjonalnych rozwiązań dla chemii budowlanej, stosowanej w konstrukcjach dachowych, z nowoczesnymi technologiami OZE, szczególnie związanymi z fotowoltaiką. Przykładem jest instalacja fotowoltaiczna składająca się z 282 paneli, zamontowana na dachu parterowego budynku w zakładzie chemicznym w Siechnicach, zajmującym się produkcją i konfekcją silikonów, klejów i innych uszczelnaczy budowlanych. Elektrownia wytwarza 90 MWh energii na rok i pozwala na zmniejszenie śladu węglowego zakładu o około 80 ton CO₂ rocznie.

Przykład innej inwestycji Selena Energy w zieloną energię to mikroinstalacja fotowoltaiczna o mocy 50 kWp, zbudowana z 148 paneli fotowoltaicznych i jednego falownika. Powstała ona w zakładzie w Lubinie, gdzie wytwarzane są produkty marki Tytan EOS: tynki i grunty elewacyjne, farby wewnętrzne i zewnętrzne, folie w płynie, środek grzybobójczy oraz grunty proste. W przeciwieństwie do wielu innych realizacji, w tym przypadku zdecydowano się na montaż paneli na gruncie. Są one pozycjonowane w kierunku południowym, co pozwala na maksymalne wykorzystanie promieniowania słonecznego. Dzięki instalacji zakład redukuje emisję CO₂ o około 40 ton rocznie.

Wykorzystanie energii ze spalania odpadów i ekofloty pojazdów

Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii, niemożliwe do zagospodarowania w inny sposób odpady, które wcześniej składowane były na wysypiskach, mogą stanowić cenne źródło energii. Na wykorzystanie ich potencjału energetycznego pozwala proces przetwarzania termicznego w spalarniach, co wpisuje

**INSTALCJA 282
PANELI**
fotowoltaicznych
zamontowana na
dachu budynku
w zakładzie
chemicznym
w Siechnicach



Fot. PZPFİK

się w gospodarce o obiegu zamkniętym. Spalarnie stanowią ważny element w systemach zarządzania odpadami i produkcji energii cieplnej oraz elektrycznej.

ZYSKAĆ PRZEWAGĘ RYNKOWĄ



Fot. PZPFİK

– Transformacja energetyczna odgrywa kluczową rolę w poprawie konkurencyjności firm z obszaru przemysłowego, które stają przed coraz większymi wyzwaniami związanymi z kosztami energii oraz regulacjami środowiskowymi – mówi **Wojciech Tyburski, prezes zarządu Selen Energy**. – Jako Selen Energy wspieramy przedsiębiorstwa w procesie redukcji kosztów operacyjnych, optymalizacji zużycia energii oraz spełnianiu wymagań z zakresu zrównoważonego rozwoju. Przykładowo, wdrożenie systemów fotowoltaicznych oraz magazynów energii pozwala firmom na zasilanie podstawowych procesów z własnych, odnawialnych źródeł, co prowadzi do zmniejszenia zależności od sieci energetycznych oraz obniżenia kosztów produkcji. Dzięki transformacji energetycznej przedsiębiorstwa budowlane nie tylko zyskują przewagę rynkową, ale również stają się bardziej odporne na zmienne warunki rynkowe i regulacyjne – podsumowuje Wojciech Tyburski.

Z takiego źródła energii korzystają również przedsiębiorstwa z branży farb i klejów. Przykładem jest Dragon Poland, który współpracuje z Miejskim Przedsiębiorstwem Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie. Dzięki temu, wykorzystując energię ze spalania odpadów, firma jest w stanie zaspokoić 10% rocznych potrzeb systemu ciepłowniczego, co dodatkowo wspiera jej działania na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Zaangażowanie przedsiębiorstw w ochronę środowiska i dążenie do neutralności klimatycznej pokazują również korzystanie z ekologicznej floty pojazdów. W pierwszym kwartale 2022 roku Dragon Poland dokonał modernizacji swojej floty samochodowej. Takie rozwiązanie pozwoliło na znaczną redukcję emisji spalin i obniżenie zapotrzebowania na paliwo.

Czy warto inwestować w transformację energetyczną? Warto!

Realizacja działań z zakresu transformacji energetycznej to dla firm przemysłowych, w tym przedsiębiorstw z branży produkcji materiałów chemii budowlanej, długofalowa inwestycja, która przynosi wymierne korzyści zarówno pod względem finansowym, jak i ekologicznym. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, optymalizacja procesów produkcyjnych czy też poszukiwanie nowych, bardziej przyjaznych środowisku surowców stanowią strategiczny krok w kierunku zrównoważonego rozwoju, a także niezależności, poprawy pozycji na rynku i bezpieczeństwa energetycznego. Trzeba bowiem pamiętać, że regulacje unijne będą coraz mocniej zobowiązywać przedsiębiorstwa do raportowania zrównoważonego rozwoju, a produkcja oparta o wykorzystanie paliw kopalnych przekłada się na wysoki ślad węglowy wyprodukowanych w ten sposób wyrobów, a więc spadek ich konkurencyjności.

Przypisy

- 1 <https://www.consilium.europa.eu/pl/infographics/fit-for-55-how-the-eu-will-turn-climate-goals-into-law/>
- 2 Na bazie danych z portalu rynekelektryczny.pl ■

MMR Group 30 lat pasji do innowacji.

Rok 2024 to dla MMR Group sp. z o.o. czas wyjątkowy – spółka obchodzi 30-lecie swojego istnienia. MMR Group Media Transfer (wcześniej TTM Technologia Transferu Mediów) jest wiodącym oferentem autorskich oraz zindywidualizowanych rozwiązań produktowo-usługowych na polski rynek **przesyłu mediów ciekłych, gazowych lub stałych**.



POZOSTAŃMY

w kontakcie



budujemy możliwości
porozumienia



DEKARBONIZACJA RAFINERII

Wyzwania, regulacje i narzędzia zarządzania projektami

Szymon Walkowski

dyrektor ds. efektywności i strategii, Rafineria Gdańska

W kontekście zmieniających się oczekiwań społecznych oraz coraz bardziej wymagających regulacji unijnych konieczność redukcji emisji CO₂ staje się jednym z głównych wyzwań branży. Osiągnięcie ambitnych celów klimatycznych wymaga jednak nie tylko zaangażowania operacyjnego, pozyskania finansowania i realizacji projektów dekarbonizacyjnych, ale także wdrożenia efektywnych metod identyfikowania i zarządzania tymi projektami.

Dekarbonizacja sektora rafineryjnego jest napędzana przez szeroki zakres regulacji unijnych oraz międzynarodowych porozumień, które mają na celu przeciwdziałanie zmianom klimatu. Przykładem jest porozumienie paryskie zawarte podczas Konferencji ONZ w sprawie zmian klimatu w 2015

roku. Zobowiązało ono sygnatariuszy do ograniczenia globalnego wzrostu temperatury do poziomu znacznie poniżej 2°C w stosunku do poziomu sprzed epoki przemysłowej oraz do podjęcia starań o ograniczenie tego wzrostu do 1,5°C. Oznacza to konieczność wdrażania strategii zmierzających do neutralności klimatycznej.



Fot. 123rf

W odpowiedzi na te wyzwania Unia Europejska opracowała pakiet regulacji „Fit for 55”, który ma na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych o 55% do 2030 roku w porównaniu z poziomem z 1990 roku. Kluczowymi elementami pakietu, które dotyczą rafinerii ropy naftowej, są:

- **System EU ETS** (European Emissions Trading System) – wymagający od dużych emitentów CO₂, w tym rafinerii, zakupu uprawnień do emisji. System ten będzie stopniowo zaostrzany, co zwiększy koszty emisji i wymusi dalsze inwestycje w technologii redukcji emisji.
- **Dyrektywa RED III** (Renewable Energy Directive) – promująca wykorzystanie energii odnawialnej i biopaliw, co wpływa na strukturalne zmiany w funkcjonowaniu i przyszłym układzie technologicznym rafinerii.
- **Dyrektywa CSRD** (Corporate Sustainability Reporting Directive) – wymuszająca na dużych przedsiębiorstwach raportowanie ich działań związanych ze zrównoważonym rozwojem, w tym w zakresie dekarbonizacji i wpływu na klimat.

Te regulacje oznaczają, że branża rafineryjna musi z jednej strony ograniczać emisję, a z drugiej zwiększać przejrzystość działań i dążyć do osiągania wyznaczonych celów klimatycznych, których posiadanie zgodnie z CSRD stanowi obowiązek raportujących przedsiębiorstw.

Zmieniające się postawy społeczne i rosnąca świadomość ekologiczna wywierają presję na przemysł rafineryjny, by ten dążył do zrównoważonej produkcji i minimalizacji wpływu na środowisko. Współcześnie konsumenci oraz inwestorzy coraz częściej zwracają uwagę na to, jakie działania proekologiczne podejmuje przedsiębiorstwa. Aktywiści klimatyczni, organizacje pozarządowe i społeczności lokalne wymagają transparentności i konkretnych działań w zakresie ograniczania emisji. W efekcie firmy naftowe muszą aktywnie pracować nad wizerunkiem, uwzględniając dekarbonizację jako kluczowy element swojej strategii.

Emisje gazów cieplarnianych branży oil&gas

Globalne emisje gazów cieplarnianych (GHG) w 2022 roku wyniosły około 50 miliardów ton ekwiwalentu CO₂. Sektor energetyczny, w tym produkcja paliw, odpowiada za znaczną część tych emisji. Według danych Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA) w 2022 roku sektor energetyczny był odpowiedzialny za około 73% globalnych emisji GHG.

Aby prawidłowo identyfikować, mierzyć i zarządzać emisjami gazów cieplarnianych w całym łańcuchu wartości, przyjęła się praktyka ich podziału na trzy zakresy, zgodnie z GHG Protocol [1]:

- **Zakres 1** (emisje bezpośrednie): obejmuje emisje powstałe bezpośrednio w procesach produkcyjnych, takich jak spalanie paliw w rafineriach.
- **Zakres 2** (emisje pośrednie energetyczne):

dotyczy emisji związanych z zakupem energii elektrycznej i ciepłej wykorzystywanej w procesach produkcyjnych. W sektorze wytwarzania paliw stanowi mniejszy udział w porównaniu do zakresu 1.

- **Zakres 3** (pozostałe emisje pośrednie): obejmuje emisje w całym łańcuchu wartości, w tym te związane z wydobyciem surowców, transportem oraz użytkowaniem produktów przez konsumentów. W sektorze produkcji paliw zakres 3 może stanowić nawet ok. 80% całkowitych emisji, głównie z powodu tych powstających podczas spalania paliw przez końcowych użytkowników.



Umiejętność efektywnego zarządzania projektami dekarbonizacyjnymi staje się kluczowym elementem długoterminowej strategii rafinerii

Emisje GHG w Polsce

W 2023 roku całkowita emisja gazów cieplarnianych w Polsce objętych systemem EU ETS wyniosła 154 mln ton CO₂. Dla porównania, emisja Rafinerii Gdańskiej w 2023 roku to 2,16 mln ton CO₂ w zakresie 1, co stanowiło 1,4% krajowej emisji w systemie ETS. Warto jednak zauważyć, że w Polsce sektor energetyczny, w tym produkcja i zużycie paliw, odgrywa kluczową rolę w emisjach GHG, co podkreśla potrzebę intensyfikacji działań dekarbonizacyjnych w tym obszarze.

Dokładne dane dotyczące globalnych emisji gazów cieplarnianych (GHG) z podziałem na zakresy 1, 2 i 3 dla branży rafineryjnej nie są powszechnie dostępne. Jednakże, na podstawie dostępnych informacji, można oszacować udział poszczególnych zakresów w całkowitych emisjach tego sektora:

- **Zakres 1:** szacuje się, że emisje te stanowią około 10-20% całkowitych emisji GHG branży rafineryjnej.
- **Zakres 2:** udział tych emisji w całkowitych emisjach sektora rafineryjnego jest stosunkowo niewielki, szacowany na około 5-10%.
- **Zakres 3:** w sektorze rafineryjnym zakres 3 stanowi dominującą część emisji, szacowaną na około 70-85% całkowitych emisji GHG.

Należy podkreślić, że powyższe wartości są szacunkowe i mogą różnić się w zależności od źródła danych oraz specyfiki poszczególnych rafinerii. Jeśli np. rafineria produkuje cały konsumowany prąd na swoje potrzeby w zakładowej elektrociepłowni, jej zakres



Fot. Rafineria Gdańska

2 może wynieść nawet 0%, jednak część tych emisji znajdzie się w zakresie 1.

Metoda zarządzania projektami dekarbonizacyjnymi: MACC

Efektywne zarządzanie projektami dekarbonizacyjnymi wymaga zastosowania narzędzi, które pozwolą na optymalizację działań w zakresie redukcji emisji. Jednym z nich jest wyznaczanie krańcowego kosztu redukcji emisji (MACC – Marginal Abatement Cost Curve), który pomaga w podejmowaniu decyzji inwestycyjnych.

Wykres MACC przedstawia koszty i potencjał redukcji emisji CO₂ dla różnych projektów i technologii. Na osi X wykresu znajduje się łączny potencjał redukcji emisji, a na osi Y – koszt jednostkowy redukcji (np. koszt na tonę CO₂). Wykres jest ułożony w taki sposób, że działania o najniższych kosztach redukcji znajdują się po lewej stronie, a te najdroższe – po prawej.

Stosowanie wykresu MACC w projektach dekarbonizacyjnych w rafineriach umożliwia:

1. identyfikację opłacalnych działań – pomagają zidentyfikować projekty, które przynoszą największą korzyść w stosunku do kosztów. Przykładem mogą być modernizacje energetyczne lub optymalizacja procesów produkcyjnych.

2. Priorytetyzację inwestycji – dzięki wizualnemu przedstawieniu kosztów można określić, które inwestycje powinny być realizowane w pierwszej kolejności, a które mogą poczekać lub wymagać dodatkowych analiz.
3. Wskazanie działań wymagających wsparcia – projekty znajdujące się po prawej stronie wykresu mogą wymagać dofinansowania, partnerstw lub dodatkowych bodźców regulacyjnych, aby były opłacalne.

Przy budowie wykresu MACC należy uwzględnić specyfikę danego zakładu, dostępne, sprawdzone technologie oraz potencjał modernizacyjny. Proces ten obejmuje:

- **Krok 1:** analiza technologii redukcji emisji – określenie, jakie technologie i rozwiązania mogą być zastosowane w rafinerii oraz oszacowanie ich potencjału redukcyjnego i dojrzałości technologicznej.
- **Krok 2:** oszacowanie kosztów – uwzględnienie zarówno kosztów inwestycyjnych, jak i kosztów operacyjnych związanych z wdrożeniem poszczególnych działań.
- **Krok 3:** opracowanie wykresu – wizualne przedstawienie wyników w formie krzywej, która ułatwia podejmowanie decyzji strategicznych.

RAFINERIA GDAŃSKA ujęła dekarbonizację jako jeden z kluczowych obszarów strategii na lata 2023-2027, co stanowi zobowiązanie firmy do realizacji długofalowego celu neutralności klimatycznej do 2050 roku

Projekty dekarbonizacyjne Rafinerii Gdańskiej

Rafineria Gdańska ujęła dekarbonizację jako jeden z kluczowych obszarów swojej strategii na lata 2023-2027. Stanowi to zobowiązanie firmy do realizacji długofalowego celu neutralności klimatycznej do 2050 roku. Wyróżnikiem Rafinerii Gdańskiej na tle innych zakładów tego typu w Europie od lat jest bardzo wysoka pozycja w zakresie efektywności energetycznej oraz złożoności technologicznej. Dzięki temu jednostkowa emisja dwutlenku węgla na jednostkę wyprodukowanych paliw jest jedną z niższych w porównaniu do konkurencji. Stanowi to jednocześnie wyzwanie w przypadku dalszej redukcji emisji poprzez najbardziej na dziś opłacalne sposoby, czyli realizację projektów poprawy efektywności energetycznej. Jako lider w tym obszarze rafineria w zasadzie nie posiada już „nisko wiszących owoców”, czyli projektów prostych i skutkujących dużą redukcją zużycia energii i tym samym emisji. Realizując szereg mniejszych inicjatyw poprawy efektywności, jak np. modernizacja systemów podgrzewania powietrza podawanego do palników pieców technologicznych, Rafineria Gdańska może zredukować zaledwie ok. 5% emisji w zakresie 1 i 2. Pozostałe projekty skutkujące redukcją emisji gazów cieplarnianych, które obecnie rozważa i przygotowuje lub analizuje rafineria, to:

- zakup energii elektrycznej bezpośrednio z odnawialnych źródeł energii – redukcja emisji w zakresie 2.
- Wychwyt dwutlenku węgla w procesie wytwarzania wodoru niezbędnego do procesów konwersyjnych w procesie produkcji paliw – redukcja emisji w zakresie 1.

”

Zmieniające się postawy społeczne i rosnąca świadomość ekologiczna wywierają presję na przemysł rafineryjny, by ten dążył do zrównoważonej produkcji

- Instalacja paneli fotowoltaicznych na dachach i terenach należących do Rafinerii Gdańskiej w celu produkcji własnej odnawialnej energii elektrycznej na potrzeby procesowe – redukcja emisji w zakresie 2.

Te projekty pozwolą na redukcję emisji własnych rafinerii. Równocześnie analizowana jest możliwość budowy wielkoskalowej instalacji do produkcji wodoru w procesie elektrolizy wody, zasilanej energią ze źródeł odnawialnych. Wpisze się to w realizację jednego

z głównych celów dyrektywy RED III, czyli wzrostu udziału syntetycznych paliw odnawialnych RFNBO (ang. *Renewable Fuels of Non-Biological Origin*).

Jednym z głównych wyzwań w zakresie zmniejszenia śladu węglowego produkcji paliw jest na dziś brak opłacalności dla realizacji większości inwestycji. Ceny uprawnień do emisji CO₂ od kilkunastu miesięcy spadają, a to one są głównym motywatorem do realizacji inwestycji w dekarbonizację. Należy też wskazać na niepewność legislacyjną. Dobrym przykładem jest potencjalny wybór między wychwytem dwutlenku węgla w procesie produkcji wodoru na instalacjach reformingu parowego – to na dziś (przy uzyskaniu wsparcia inwestycyjnego i operacyjnego) pierwszy duży projekt mogący znacząco zredukować emisję w rafinerii. Jednak konkuruje on do pewnego stopnia z zastępowaniem produkcji wodoru z gazu ziemnego (szarego wodoru) wodorem zielonym z elektrolizy wody.

Aktualnie nie są znane dalsze cele zwiększania udziału RFNBO w produkcji paliw po 2030 roku. Wprowadza to wysoką niepewność w procesie decydowania, którą ścieżkę dekarbonizacji wytwarzania wodoru wybrać, lub czy też połączyć je, dzieląc udział wytwórcy między dwie technologie. Między innymi z tymi wyzwaniami mierzy się cała branża, co wybrzmiewa podczas konferencji zarówno ze sceny, jak i w rozmowach kuluarowych. Nawigowanie w tej niepewności i podejmowanie trafnych decyzji inwestycyjnych zdecydowanie o przyszłej przewadze konkurencyjnej sektora paliwowego – nie tylko w Europie.

Dekarbonizacja sektora rafineryjnego to proces złożony i wieloaspektowy, który wymaga zaangażowania zarówno na poziomie inwestycji technologicznych, jak i zarządzania projektami. Odpowiednie podejście do planowania i realizacji projektów dekarbonizacyjnych, bazujące na narzędziach, takich jak MACC, pozwala na efektywne wykorzystanie zasobów i optymalizację kosztów. W obliczu wyzwań regulacyjnych oraz rosnącej presji społecznej, umiejętność efektywnego zarządzania projektami dekarbonizacyjnymi staje się kluczowym elementem długoterminowej strategii rafinerii. To też ogromna szansa na zdobywanie wiedzy zarówno przez pracowników, jak i przez całą organizację. Ważne, aby ta wiedza była wiedzą jawną, a nie ukrytą i aby poddawać ją cyklicznej krytycznej ocenie, co pozwoli aktywnie zarządzać rafineryjnym MACC i dzięki temu podejmować trafne i szybkie decyzje inwestycyjne.

Przypis

¹ GHG Protocol ustanawia kompleksowe, globalne, znormalizowane ramy pomiaru i zarządzania emisjami gazów cieplarnianych (GHG) z działalności sektora prywatnego i publicznego, łańcuchów wartości i działań łagodzących. ■

KM INSTAL

JESTEŚMY PRODUCENTEM URZĄDZEŃ WYKORZYSTYWANYCH
W SEKTORZE INŻYNIERII HYDROTECHNICZNEJ.

Produkty KM Instal znajdują zastosowanie w przemyśle energetycznym, petrochemicznym, gospodarki odpadami. Nasze możliwości pozwalają na kompleksowe wyposażenie oczyszczalni ścieków przemysłowych oraz komunalnych.

- **BOGATY PARK MASZYNOWY**
- **WYKWALIFIKOWANI SPECJALIŚCI**
- **WŁASNY DZIAŁ PROJEKTOWY**
- **DZIAŁ BADAŃ I ANALIZ**



ZASTOSOWANIE:

- **OBIEKTY PRZEMYSŁOWE**
- **OBIEKTY ENERGETYCZNE**
- **OCZYSZCZALNIE ŚCIEKÓW**
 - **HYDROTECHNIKA**
- **STACJE UZDATNIANIA WODY**
 - **PRZEPOMPOWNIE**
 - **JAZY, ŚLUZY, ZAPORY**



Posiadane certyfikaty

- Zakładowa Kontrola Jakości Produkcji TÜV EN 1090-1:2009+A1:2011
- Jakości Procesów Spawania TÜV wg. PN-EN ISO 3834-2:2021
- Krajowa Ocena Techniczna

Dane Kontaktowe firmy:

KM Instal Sp. z o.o.

ul. Konarzewska 16/1, 62-070 Dopiewo

Biurowo@kminstal.pl

www.kminstal.pl

Krzysztof Niewiedział (Prezes Zarządu) ☎ 785 194 294

Artur Ziółkowski (Dyrektor Handlowy) ☎ 535 102 799

Łukasz Józwiak (Kierownik Działu Konstrukcji) ☎ 601 304 420



foto: 123rf

SUSZA OZE

Kamil Moskwik
PLENTRA

Od 4 do 13 listopada w Polsce wystąpiło zjawisko dunkelflaute (susza OZE), czyli wielogodzinny lub wielodniowy przedział czasowy, kiedy „nie świeci” i „nie wieje”, a więc okres znikomej lub zerowej generacji mocy przez pogodozależne OZE. W artykule przeanalizujemy go pod kątem technicznej pracy systemu.

W Europie w listopadzie pojawia się czasem układ wysokiego ciśnienia, któremu towarzyszy duże zachmurzenie oraz dodatnia temperatura. Jest to zjawisko rzadkie, które może wystąpić 2-3 razy w roku. W okresie jesiennym jest to jedno z największych wyzwań dla zapewnienia bilansu mocy w systemie elektroenergetycznym, który w coraz

większym stopniu bazuje na OZE (PV i wiatr). Taka sytuacja wydarzyła się w Polsce w dniach od 4 do 13 listopada, co doskonale obrazuje rysunek nr 1.

Należy zadać pytanie, co tak naprawdę się stało? Dlatego oprócz samej grafiki, przedstawiającej generację mocy przez krajowe źródła wytwórcze w Polsce, musimy przeanalizować chwilowe współczynniki wy-

korzystania krajowych mocy (capacity factor), które są zainstalowane w wietrze i w PV.

W analizowanym okresie, chwilowy współczynnik wykorzystania mocy przez elektrownie wiatrowe w Polsce był niższy niż 5%. Taka sytuacja wystąpiła w następujących dniach:

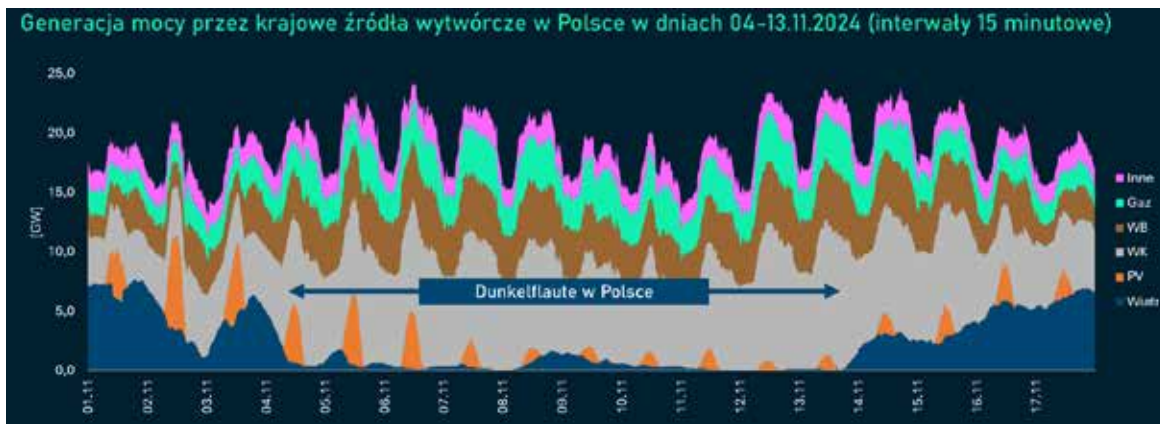
- 4-5 oraz 8 listopada przez 8-10 godzin oraz
- 6-7, 10-13 listopada przez 20-24 godzin.

Dlaczego dunkelflaute to wyzwanie?

Warto chwilę się nad tym pochylić. Susza OZE to fundamentalne wyzwanie dla zarządzania pracą systemów, które ewoluują w stronę wysokich wolumenów

mocy OZE. Podczas występowania wspomnianego wyżej zjawiska system elektroenergetyczny przez wiele godzin/dni nie może polegać na chwilowej generacji mocy z pogodozależnych odnawialnych źródeł energii. Oznacza to, że w bilansowaniu szczytów krajowego zapotrzebowania system musi bazować na źródłach dyspozycyjnych (ciepłowniach, magazynach energii, imporcie energii, a także ze strony popytowej przez np. redukcję zapotrzebowania). Taką sytuację opisuje rysunek nr 3.

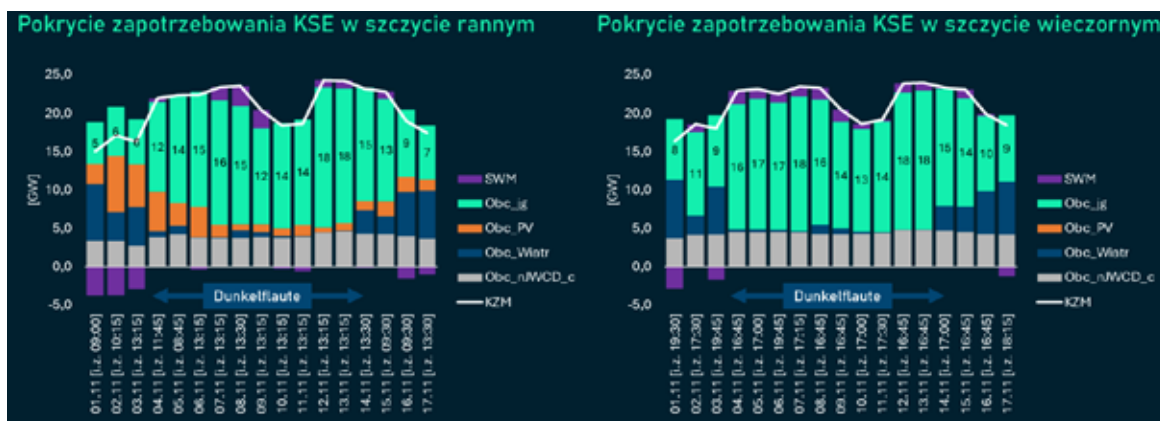
Jak wspomniano wcześniej, w momencie wystąpienia niskich poziomów generacji mocy kluczowe są moce dyspozycyjne, które pozwalają bilansować system elektroenergetyczny przez generację mocy



RYS. 1
Generacja mocy przez krajowe źródła wytwórcze w Polsce (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE, ENTSO-E)



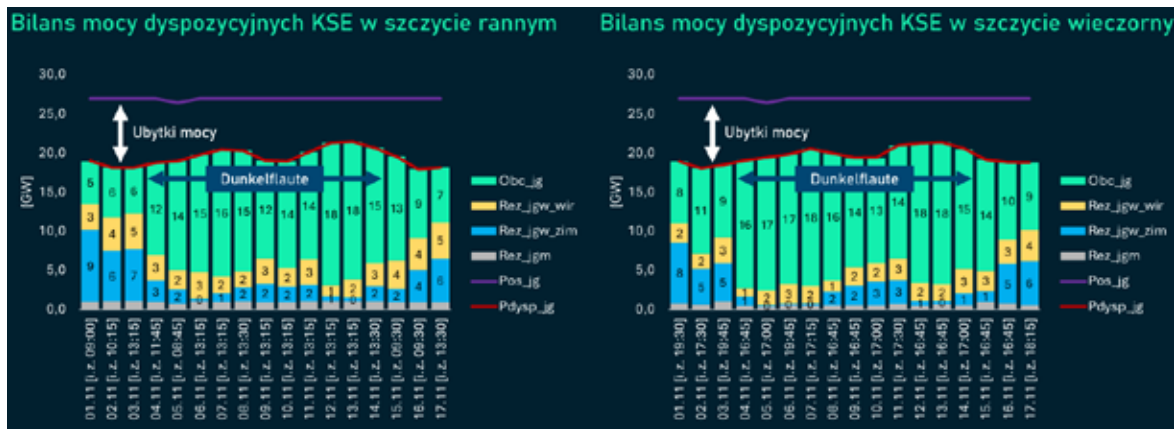
RYS. 2
Chwilowe współczynniki wykorzystania mocy zainstalowanych w wietrze i PV (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE, ENTSO-E)



RYS. 3
Pokrycie zapotrzebowania KSE w szczytach rannym oraz wieczornym (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE, ENTSO-E)

RYS. 4

Bilans mocy dyspozycyjnych KSE w szczycie rannym oraz wieczornym (źródło: opracowanie własne na podstawie danych PSE, ENTSO-E)



czynnej mającej za zadanie pokryć zapotrzebowanie oraz dostarczać rezerwy mocy na potrzeby kontroli częstotliwości „w górę” (FCR/FRR, dawniej rezerwa wirująca).

Te wszystkie czynniki są kluczowe, żeby zrozumieć zjawisko dunkelflaute oraz wyzwań w pracy systemu, jakie ze sobą niesie. Należy zatem zadać pytanie: dlaczego moce dyspozycyjne są ważne, nie tylko w okresach dunkelflaute?

Tutaj należy przybliżyć, czym są owe moce. W skrócie to:

- zasoby wytwórcze oparte o gaz, węgiel, wodę, atom;
- zasoby magazynowe (wodne – ESP, baterie);
- zasoby sieciowe (w tym moce importowe/eksportowe czy kondensatory synchroniczne);
- zdolność redukcji poboru (odpowiedź strony popytowej, DSR) pozwalająca na bilansowanie mocy czynnej oraz zapewnienie innych usług systemowych, których znaczenie jest coraz bardziej kluczowe w systemach opierających się na OZE.

- w tzw. okresach kłęski urodzaju, kiedy dostępna generacja z pogodozależnych OZE przekracza zapotrzebowanie i pojawia się ryzyko redukcji generacji z tych źródeł (tzw. curtailment lub energy spill),
- w okresach tzw. duck curve, kiedy generacja mocy przez źródła PV gwałtownie spada w godzinach popołudniowo-wieczornych, przy jednoczesnym szybkim wzroście tzw. zapotrzebowania rezydualnego.

Ponadto w czasie kłęski urodzaju oraz duck curve, kluczową cechą mocy dyspozycyjnych jest elastyczność:

- możliwie niskie minimum techniczne oraz szybkie czasy uruchomienia ze stanu zimnego, ciepłego, gorącego,
- możliwie wysokie tempo naboru/zrzutu mocy (gradient) pozwalające kompensować spadek generacji PV.

Warto także zaznaczyć, że oprócz elastyczności oraz bilansowania mocy czynnej, w systemach z dużą penetracją generacji z OZE (w okresach wysokiej generacji mocy z instalacji inwerterowych) istotna jest także zdolność dostarczania inercji (na potrzeby kontroli częstotliwości, tzw. parametr RoCoF), wsparcie – tzw. system strength (odporność sinusoidy napięcia na zaburzenia pracy systemu) oraz zdolność do dostarczania odpowiednich poziomów prądów zwarciovych do systemu (tzw. parametr SCR).

Wszystkie wspomniane w niniejszym artykule wyzwania pokazują, że transformacja energetyczna nie jest prostym zadaniem. Wymaga ona specjalistycznych analiz i głębokiego zrozumienia pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Dlatego tak ważne jest kompleksowe podejście do tematu, ponieważ okresy suszy OZE nie znikną, a równocześnie udział mocy pogodozależnych prawdopodobnie będzie wzrastał. ■



Susza OZE to fundamentalne wyzwanie dla zarządzania pracą systemów, które ewoluują w stronę wysokich wolumenów mocy OZE

Zatem dlaczego są takie istotne?

Ich kluczową cechą jest dostępność, możliwie niska awaryjność, możliwość oddania lub absorpcji energii (dotyczy zarządzania rezerwuarem magazynów) czy dostępność mocy importowych/eksportowych. Oprócz dunkelflaute, moce dyspozycyjne pozwalają także bilansować system w innych okresach specyficznych dla systemów z dużymi udziałami mocy pogodozależnych OZE:

Swagelok®

Swagelok Polska

Twój Dostawca Rozwiązań dla Układów Przepływowych

Produkty



Projektowanie i montaż



Wsparcie inżynieryjno-techniczne



Usługi na obiekcie



Terenowe doradztwo inżynieryjno-techniczne



Szkolenia



poland.swagelok.com | +48 717 079 150 | info@centralfluid.pl





A MOŻE AMONIAK?

W 2020 roku, kiedy wciąż niewiele myślano jeszcze o energetycznym wykorzystaniu amoniaku, kilku naukowców postanowiło wykorzystać go w sektorze małych maszyn rolniczych. Uzyskali dofinansowanie i rozpoczęli prace nad rozwiązaniem, które może zmienić oblicze przemysłu.

O początkach projektu, wyzwaniach i inspiracjach opowiadają: **prof. dr hab. inż. Wojciech Adamczyk**, **dr hab. inż. Grzegorz Przybyła**, **dr inż. Grzegorz Peczkis** z Politechniki Śląskiej oraz **Hubert Stępniewicz**, menadżer i trener ds. transformacji.

Aleksandra Grądzka-Walasz, Dominika Miensopust: Wasze prace nad prototypem trwały trzy lata, a ich efektem jest stojący przed nami sadowniczy ciągnik rolniczy. Na czym polega ten projekt? Co jest wyjątkowego w opracowanej na terenie Politechniki Śląskiej technologii?

Fot. zasoby rozmówcy



Wojciech Adamczyk: W ramach projektu opracowaliśmy technologię pozwalającą na przystosowanie silnika o zapłonie samoczynnym (ZS) do bezpośredniego wtrysku amoniaku. Silnik został zmodyfikowany tak, aby mógł równocześnie spalać

biodiesel oraz amoniak podawany pod wysokim ciśnieniem w stanie ciekłym bezpośrednio do cylindra.

Projekt ten realizowany jest wspólnie z partnerami zagranicznymi, takimi jak Norweski Uniwersytet Naukowo-Techniczny (NTNU) w Trondheim, oraz partnerem przemysłowym – LOGE Polska z Częstochowy, który zajmuje się tworzeniem oprogramowania softwaru obliczeniowego do modelowania działania silników spalinowych, stosowanych nie tylko w przemyśle samochodowym, ale również w energetyce. Partnerem związanym z zagadnieniami rolniczymi jest z kolei Uniwersytet Rolniczy z Krakowa.

A pomysły? Kierunek był jeden – dekarbonizacja, czyli ograniczenie emisji dwutlenku węgla w sektorze rolniczym.

Dlaczego wybraliście właśnie tę branżę?

Wydawała nam się bardzo atrakcyjna i do tej pory nieciesząca się szczególnym zainteresowaniem odnośnie modyfikacji energetycznych czy technologicznych.

Wspólnie z partnerami ustaliliśmy, że przeróbka silnika ZS, wykorzystywanego często w rolnictwie do napędu „na amoniak”, może być bardzo ciekawym rozwiązaniem.

Dlaczego nie wodór, o którym tak dużo się mówi?

W samym rolnictwie amoniak powszechnie wykorzystuje się jako półprodukt do wytwarzania nawozu. Nie jest postrzegany jako coś nieosiągalnego, może być długoterminowo przechowywany, łatwo transportowany i gromadzony. Nie wymaga wysokich ciśnień, wystarczy 10 bar – podobnie jak w przypadku propanu.

Wyobraźmy sobie sytuację, że przetwórstwo rolne mogłoby zaopatrzyć się w stosunkowo tanie paliwo np. w sezonie letnim, a następnie wykorzystywać je w okresie jesiennym. To źródło oszczędności, a dodatkowo uniknięcie opłat związanych z emisją. Dzięki temu produkty rolnicze powstawałyby w bardziej ekologiczny sposób.

Brzmi zachęcająco. Wróćmy jeszcze do wodoru...

Wodór w silnikach wysokoprężnych stosunkowo trudno się wprowadza, a dodatkowo jakiegokolwiek jego składowanie i przechowywanie wiąże się z dużymi nakładami inwestycyjnymi. Dostępność tego paliwa na tę chwilę również jest dość ograniczona. Amoniak zdecydowanie tu wygrywa.

Szary amoniak, czyli powstający z gazu ziemnego bez wychwytu dwutlenku węgla, jest powszechnie dostępny i można go kupić na rynku. Kraje Ameryki Południowej, Australii czy Afryki eksportują go statkami, w stanie ciekłym, do Europy czy Kanady i Japonii.

Zatem wybór pada na amoniak. A gdybyśmy przełożyli to na energetykę?

Nie ograniczamy się wyłącznie do środowiska rolniczego, ale pracujemy też nad tym, aby wykorzystać amoniak jako potencjalne paliwo, które zdekarbonizuje np. ciepłownictwo czy energetykę w układach skojarzonych. Mógłby on być współspalany z biodieslem czy innym paliwem wolnym od dwutlenku węgla, przy produkcji ciepła i energii elektrycznej z ograniczeniem emisji. Amoniak będzie także postrzegany jako paliwo pozwalające na osiągnięcie wymogów określonych w dyrektywie EED Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) dotyczących efektywności układów ciepłowniczych. Zgodnie z nią do 31 grudnia 2027 roku sieć ciepłownicza będzie uznawana za efektywną, jeśli system będzie oparty na wykorzystaniu co najmniej 50% energii odnawialnej, 50% ciepła odpadowego, 75% ciepła wytwarzanego w kogeneracji lub 50% kombinacji takiej energii i ciepła. Zastosowanie amoniaku będzie dawało taką możliwość poprzez częściowe zastąpienie paliwa kopalnego zielonym amoniakiem.

Myślimy również o wykorzystaniu amoniaku do zasilania pojazdów szynowych. W kolejnictwie widzimy duży potencjał, gdyż większość lokomotyw wykorzystuje olej napędowy, natomiast możemy częściowo zastąpić go amoniakiem i współspalać, tym samym ograniczając emisję CO₂. Chcemy więc zaproponować transport kolejowy bardziej przyjazny środowisku.

”

Pracujemy nad tym, aby wykorzystać amoniak jako potencjalne paliwo, które zdekarbonizuje np. ciepłownictwo czy energetykę w układach skojarzonych

W takim razie popatrzmy szerzej: transport morski, lotnictwo...?

Lotnictwo nie bardzo, ze względu na gęstość energii amoniaku i związaną z tym masę zbiornika. W przypadku np. energetyki czy kolejnictwa masa zbiornika z paliwem ma mniejsze znaczenie i dlatego też amoniak może być rozważany jako paliwo do zastosowań trakcyjnych, czyli w ruchu lądowym.

Natomiast na morzu już pływają statki zasilane amoniakiem, gdzie udział energetyczny amoniaku względem paliwa inicjującego proces spalania wynosi 90%. Jest to osiągalne głównie ze względu na niską prędkość obrotową silników okrętowych. Amoniak jest paliwem charakteryzującym się niską prędkością spalania, dlatego w silnikach wolnoobrotowych łatwiej zapewnić odpowiednie warunki procesu spalania.

Jest jeszcze jedna ważna wada amoniaku, o której warto wspomnieć. Toksyczność oraz zapach.

Istotnie, może on doprowadzić do zatrucia oraz powodować pewien dyskomfort w przypadku pojawienia się nawet nieznacznych ilości w otoczeniu, ale w przypadku szczelnej i dobrze zabezpieczonej instalacji ryzyko wystąpienia takiej sytuacji jest bardzo niskie. Dodatkowo, w przypadku jakiegokolwiek, bardzo szybko można rozpoznać, że nastąpiła jakaś usterka i szybko zareagować. W przeciwieństwie do np. wodoru.

”

Myślmy o wykorzystaniu amoniaku do zasilania pojazdów szynowych. W kolejnictwie widzimy duży potencjał

To wszystko brzmi bardzo przetomowo, więc dlaczego tak mało się o tym mówi?

Dlatego, że dzisiaj dużą uwagę skupiamy na wykorzystaniu wodoru. Oczywiście, będzie on używany w różnych gałęziach przemysłu, znajdzie szerokie zastosowanie, ale amoniak też znajdzie swoją niszę.

O jakiej kwocie mówimy w przypadku praktycznego zastosowania układu?

Myślę, że trudno to zbilansować. Po pierwsze, nasza instalacja jest badawcza. Po drugie, wiele komponentów zostało zaadaptowanych z rynku automotive, natomiast żeby móc je wprowadzić na rynek konieczna jest ich certyfikacja na amoniak itd. Zatem obecnie nie jesteśmy w stanie powiedzieć, ile finalnie taki układ zastosowania jeźdnego czy rolniczego by kosztował.

PRZERÓBKA SILNIKA
o zapłonie samoczynnym, wykorzystywanego często w rolnictwie do napędu „na amoniak”, może być bardzo ciekawym rozwiązaniem



Fot. BMP

Wracając jeszcze do zastosowań energetycznych... Obecnie pracujemy nad wykorzystaniem większej jednostki kogeneracyjnej – silnika 145 kW, przystosowanego w 100% do spalania amoniaku. Jest to silnik gazowy o zapłonie iskrowym, dedykowany do wykorzystania w sektorze ciepłowniczym. Niedługo będą prowadzone testy i tu widzę bardzo duże prawdopodobieństwo tego, że amoniak niebawem pojawi się w ciepłownictwie.

Kiedy konkretnie?

Chcielibyśmy, żeby był wykorzystywany już w przyszłym roku, jako alternatywa dla wodoru. Rozmawiamy dziś z różnymi partnerami, spółkami energetycznymi, zachęcając do tego, żeby podejmowały radykalne decyzje, dzięki którym możliwe stałoby się wprowadzenie amoniaku do ciepłownictwa czy energetyki.

Jaki jest odzew?

Bardzo dobry, dlatego że amoniak jest paliwem dostępnym na rynku i można go już teraz wykorzystywać.

Dodam tu, że marszałek województwa śląskiego w ostatnim wywiadzie wspominał, że ciepłownictwo będzie miało duży problem z paliwem i może pojawić się poważny dylemat, czym ogrzewać mieszkańców. W miejsce wygaszanych bloków węglowych trzeba zaproponować nowe rozwiązania, czasem noszące ze sobą skrajne odczucia. W jakiś sposób musimy zapewnić ciepło dla odbiorców końcowych w sezonie zimowym.

I rozwiązaniem ma być amoniak.

Tak, który może stać się remedium na energetyczne braki, zwłaszcza w okresie przejściowym, do czasu powstania w Polsce bloków jądrowych czy do momentu stabilizacji sytuacji z energią odnawialną.

Fot. zasoby rozmówcy



Grzegorz Przybyła: Pamiętajmy, że na rynku dostępne są jednostki kogeneracyjne z silnikami, które mogą być zasilane gazem ziemnym czy wodorem. Obecnie zastosowanie praktyczne silników wodorowych jest znikome, chociażby ze względu na sposób przechowywania wodoru czy jego dystrybucję – infrastruktura jest kosztowna i bardziej skomplikowana. W przypadku amoniaku sytuacja wydaje się być bardziej korzystna, między innymi dlatego, że można składować go długoterminowo. Warto tu też podać przykład wykorzystania wodoru w silnikach o zapłonie iskrowym – ze względu na jego własności proces spalania odbywa się z dużym nadmiarem powietrza. To powoduje, że jednostkowa moc takiego silnika jest niższa niż w przypadku jednostki na gaz ziemny lub zasilanej amoniakiem.

Wracając do „traktorka” – panowie wybaczą, ale to ze względu na rozmiar... To jedyny w Polsce prototyp?

Nawet powiedziałbym, że w całej Europie nie ma takiego drugiego. Istnieje traktor na amoniak w Chi-



Fot. BMP

PROJEKT ACTIVATE

Od 2021 roku w Katedrze Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej prowadzone są szeroko zakrojone badania w kierunku wykorzystania zielonego amoniaku jako paliwa w celu dekarbonizacji przemysłu rolniczego. Na zdjęciu od lewej: Dominka Miensopust, Wojciech Adamczyk, Grzegorz Przybyła, Aleksandra Grądzka-Walasz, Hubert Stępniewicz

nach, jest i w Stanach Zjednoczonych, ale z wykorzystaniem ogniwa paliwowego potrzebnego do konwersji amoniaku – nośnika – do wodoru będącego paliwem.

W ostatnich latach jednak sporo się wydarzyło jeżeli chodzi o projekty międzynarodowe i liczbę publikacji w zakresie wykorzystania amoniaku. Gdy rozpoczęliśmy nasz projekt właściwie nie było nic na temat wykorzystania amoniaku w silnikach; teraz materiałów jest dużo więcej.

Co byłoby największym problemem przy produkcji waszego rozwiązania na większą skalę?

Wojciech Adamczyk: Mierzmy się z dużymi wyzwaniami technologicznymi, jak choćby z pompą do zwiększenia ciśnienia amoniaku do wtrysku bezpośredniego w takim układzie, jaki zastosowaliśmy w naszym traktorze. Jeżeli myślelibyśmy o wdrożeniu omawianej technologii w pełnej skali do przemysłu rolniczego i wykorzystywaniu wtrysków bezpośrednich, wtedy takie rozwiązanie musiałyby powstać. Dziś nie istnieje, dlatego w energetyce i ciepłownictwie przechodzimy na układy o zapłonie iskrowym. Natomiast w przypadku silników o zapłonie samoczynnym do zastosowań energetycznych czy kolejnictwa – na rozwiązania z dawką pilotową paliwa ciekłego, np. oleju i wprowadzaniem amoniaku w fazie gazowej do kolektora dolotowego.

Kolejne ograniczenie związane jest z właściwościami żrącymi amoniaku. Konieczne jest więc zastosowanie odpowiednich materiałów do jego transportu i przechowywania. Dlatego też wiele elementów wykonywaliśmy samodzielnie.

Czy studenci Politechniki Śląskiej są zaangażowani w wasz projekt?

Jak najbardziej, natomiast ze względu na niebezpieczeństwo pracy z amoniakiem zajmują się nim pod

kątem analitycznym, np. zagadnieniami związanymi ze spalaniem silników. Pamiętajmy, że mamy do czynienia z prototypem i instalacją badawczą, więc ryzyko zawsze tu istnieje.

Jakie ryzyko macie panowie na myśli?

Grzegorz Peczkis: Amoniak jest lżejszy od powietrza i bardzo szybko się unosi. Przy związaniu z wilgocią bardzo łatwo się dezaktywuje i opada w postaci wody amoniakalnej, co nie stanowi jednak większego zagrożenia.



Fot. zasoby rozmówcy

Problem pojawia się wówczas, kiedy człowiek znajdzie się bezpośrednio w chmurze amoniaku, o bardzo dużej objętości gazu – wtedy trujący, toksyczny amoniak może bardzo mocno poparzyć chociażby drogi oddechowe.

Hubert Stępniewicz: To element zarządzania ryzykiem bezpieczeństwa, któremu trzeba poświęcić dziś dodatkowy wysiłek. Tak samo było też w przypadku tradycyjnych paliw – przez kilkadziesiąt lat uczyliśmy się, jak budować stacje, jak tankować diesla czy benzynę. Podobnie jest i z wodorem – wyzwanie wynikające z cech tego gazu i zarządzania ryzykiem jest przedmiotem wielu lat pracy, po to, aby zaadaptować go jako potencjalne paliwo. Dziś ten proces uczenia czeka nas w odniesieniu do amoniaku.



Fot. zasoby rozmówcy

Rozmawiały: Aleksandra Grądzka-Walasz, redaktorka czasopisma „Kierunek Chemia” i Dominika Miensopust, redaktorka czasopisma „Kierunek Energetyka”

WODÓR

KLUCZ DO TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ?

dr inż. Grzegorz Borówka

kierownik w dziale Glikol, ORLEN Południe S.A.

Wodór, obecnie nazywany paliwem przyszłości, ma coraz większe znaczenie w globalnej gospodarce dzięki swoim wyjątkowym właściwościom i potencjałowi jako alternatywne źródło energii.

Wodór to najlżejszy i najobficiej występujący pierwiastek we wszechświecie, a jego unikalną cechą jest zdolność do magazynowania i dostarczania energii, bez emitowania przy tym dwutlenku węgla. W kontekście transportu, wodór zyskuje szczególną uwagę jako paliwo w ogniwach

paliwowych, gdzie jego konkurencyjność w porównaniu głównie z benzyną i olejem napędowym staje się coraz bardziej widoczna. Wykorzystanie wodoru jako nośnika energii nie tylko zmniejsza zależność od ropy naftowej, ale także przyczynia się do dekarbonizacji sektorów gospodarki, które dotychczas opierały



foto. ORLEN Południe S.A.

się na emisyjnych źródłach energii. Dzięki wysokiej wydajności i braku emisji zanieczyszczeń podczas użytkowania, wodór staje się kluczowym elementem zrównoważonego transportu przyszłości.

Rynek wodoru w Polsce i Europie Środkowej

Obecnie wodór w głównej mierze wytwarzany jest z wykorzystaniem paliw kopalnych, w szczególności z gazu ziemnego. Roczne moce produkcyjne wodoru uzyskanego do wykorzystania własnego w Europie Środkowej wynoszą ok. 20,7 mld Nm³. Wartość ta nie obejmuje producentów amoniaku i metanolu, a także gazu syntezowego (mieszaniny tlenku węgla i wodoru). Wodór powstaje również jako produkt uboczny podczas różnych procesów.

Ok. 41% mocy wytwórczych wodoru w Europie Środkowej zlokalizowanych jest w Polsce, a produkcja odbywa się w:

- Grupie ORLEN S.A. (Anwil S.A. we Włocławku, ORLEN S.A. w Płocku, Rafineria Gdańska),
- Grupie Azoty w Policach, Puławach, Kędzierzynie-Koźlu i Tarnowie,
- PCC Rokita w Brzegu Dolnym [1].

Ok. 84% całkowitej mocy produkcyjnej w Europie Środkowej jest wykorzystywane na użytek własny. Roczna produkcja wodoru w Polsce wynosi ok. 1,3 mln ton [2].

Ponad 70% wodoru powstającego w naszej części kontynentu pochodzi z gazu ziemnego, a 28% – z ropy naftowej. Szacuje się, że tylko około 2% produkcji wodoru to efekt elektrolizy. Zważywszy na wysoką emisyjność (głównie dwutlenku węgla) obecnie stosowanych technologii produkcji wodoru, wiele firm rozwija alternatywne i niskoemisyjne technologie, jak np. elektroliza wody. Przejściowym rozwiązaniem może być również wykorzystanie aktualnego potencjału wytwórczego wzbogaconego o nowe metody wychwytywania, składowania i zagospodarowania CO₂.

Technologie produkcji wodoru

Najbardziej opłacalną i najczęściej stosowaną technologią produkcji wodoru jest reforming parowy gazu ziemnego. Do oczyszczania wodoru w tych technologiach używa się adsorberów wypełnionych specjalnie dobranymi adsorbentami, w których zachodzi adsorpcja zmienności-nieniowa. Proces reformingu parowego gazu ziemnego generuje znaczne ilości dwutlenku węgla jako produktu ubocznego, co ma negatywny wpływ na środowisko. Obecnie wiele firm i ośrodków badawczych rozwija technologie bazujące więc na elektrolizie wody. Zaletami tych rozwiązań są małe rozmiary instalacji, elastyczność wydajności produkcji, niezależnienie się od surowców kopalnych oraz zeroemisyjność.

- Reforming parowy gazu ziemnego (SMR) to najpowszechniejsza technologia produkcji wodoru, która polega na reakcji metanu (CH₄) z parą wodną (H₂O) w wysokiej temperaturze (700-1000°C). Proces składa się z dwóch etapów:

1. reforming – metan reaguje z parą wodną, tworząc tlenek węgla (CO) i wodór (H₂). W tym etapie wykorzystywane są głównie katalizatory niklowe,
2. katalityczna konwersja CO z wodą (water-gas shift) – tlenek węgla reaguje z parą wodną, tworząc dwutlenek węgla (CO₂) i wodór.

”

Do 2030 r. ORLEN przeznaczy 7,4 mld zł na inwestycje w wodór bazujący na odnawialnych źródłach energii i technologiach przetwarzania odpadów komunalnych

- Elektroliza wody – to technologia produkcji wodoru polegająca na rozkładzie H₂O na wodór i tlen za pomocą prądu elektrycznego. Proces ten wymaga energii elektrycznej, więc jego ekologiczność zależy od źródła pochodzenia. Jeśli energia jest z OZE, takich jak wiatr czy słońce, wówczas wodór uważa się za „zielony”. Wyróżnia się kilka typów elektrolizerów:

- » elektrolizery alkaliczne – stosowane są roztwory alkaliczne, np. wodorotlenek potasu. Stosunkowo tanie, ale mają niską wydajność,
- » elektrolizery PEM (Proton Exchange Membrane) – wykorzystywane są membrany polimerowe, które przepuszczają protony, a nie elektrony. Bardziej kompaktowe i wydajne, lecz droższe,
- » elektrolizery SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cells) – działają w wysokich temperaturach (600 – 800°C), co pozwala na wyższą efektywność. Nadają się do dużych instalacji, ale wymagają złożonego systemu sterowania [3].

Elektrolizery obecnie są wykorzystywane głównie do produkcji niewielkich ilości stosunkowo czystego H₂ i O₂ do specjalistycznych zastosowań lub w krajach bez dobrze rozwiniętej infrastruktury transportowej oraz z ograniczonymi dostawami gazu ziemnego lub wodoru.

Aktualnie obserwuje się duże zainteresowanie wykorzystaniem elektrolizerów do produkcji wodoru jako paliwa i na całym świecie zainstalowano już wiele tego typu urządzeń. Trwają również badania nad integracją odnawialnych źródeł energii (fotowoltaika i wiatr) z elektrolizerami do produkcji H₂, do wykorzystania jako paliwo lub do magazynowania energii.

- Wodór jako produkt uboczny – znaczne ilości wodoru są wytwarzane w różnych procesach pro-



MOBILNA STACJA TANKOWANIA

ORLEN Południe posiada w swoich zasobach mobilną stację tankowania oraz dwa mobilne zbiorniki o ciśnieniu 300 bar transportujące H₂ (na zdjęciu jeden z dwóch mobilnych zbiorników)

dukcyjnych, w których H₂ to produkt uboczny. Jest on zanieczyszczony i wymaga zastosowania odpowiednich procesów oczyszczania, głównie adsorpcji zmiennociśnieniowej (PSA). Jedno z najważniejszych źródeł wodoru ubocznego to proces reformingu katalitycznego stosowany w rafineriach. Ten wodór jest zazwyczaj odzyskiwany, oczyszczany i wykorzystywany w ramach własnych procesów rafineryjno-petrochemicznych. Innymi technologiami, w ramach których powstaje wodór uboczny, są m.in.: produkcja chloru, wodorotlenku sodu, chloranu sodu, styrenu, etylenu i cykloheksanu.

Zastosowania oraz „kolory” wodoru

Wodór jest kluczowym nośnikiem energii i od wielu lat znajduje zastosowanie głównie w przemyśle rafineryjno-petrochemicznym, chemicznym i nawozowym, gdzie jest niezbędny do produkcji amoniaku (stosowanego w nawozach) oraz metanolu. Warto zaznaczyć, że w Polsce – w przeciwieństwie do innych krajów Unii Europejskiej – sektor nawozowy był największym konsumentem wodoru w ostatnich latach.

Coraz większe znaczenie gaz ten zyskuje w energetyce, szczególnie jako magazyn energii z odnawialnych źródeł oraz paliwo dla ogniw paliwowych, które mogą zasilać transport bezemisyjny: samochody, autobusy, a także ciężarówki czy pociągi. Wodór staje się także kluczowym elementem w przemyśle stalowym, umożliwiając bardziej ekologiczną produkcję stali.

W zależności od źródła i sposobu produkcji istnieje kilka rodzajów wodoru, różniących się głównie emisyjnością i wpływem na środowisko. Definicje i kolory różnych wybranych rodzajów wodoru, to:

- **wodór kopalny (szary, czarny lub brązowy)** – wytwarzany głównie w procesie reformingu parowego z surowców kopalnych bez wychwytywania CO₂. Ta metoda jest najczęściej stosowana i powoduje wysokie emisje gazów cieplarnianych. Wykorzystując w procesie reformingu gaz ziemny (SMR) produkowany jest wodór szary. Stosując zgazowa-

REWOLUCJA W TRANSPORCIE

– Transport będzie zapewne tym obszarem gospodarki, który jako pierwszy przejdzie rewolucję wodorową. Obecnie H₂ uważany jest za paliwo przyszłości i na rynku europejskim zyskuje na znaczeniu jako kluczowy element transformacji energetycznej – podkreśla **Grzegorz Borówka**, kierownik w dziale Glikol, ORLEN Południe S.A.

– Unia Europejska liczy, że odegra on kluczową rolę w redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz osiągnięciu neutralności klimatycznej – tłumaczy.



nie węgla kamiennego uzyskuje się wodór czarny, a używając węgla brunatnego – wodór brązowy.

- **Wodór niebieski** – produkowany w taki sam sposób jak wodór szary (SMR), ale z zastosowaniem technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS), co redukuje emisję CO₂. Nie jest to powszechnie używana technologia głównie ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne i problemy ze składowaniem tlenu węgla (IV).
- **Wodór zielony** – powstaje w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych, takich jak energia wiatrowa lub słoneczna. To najbardziej przyjazna środowisku forma wodoru, ponieważ nie generuje emisji CO₂, ale wymaga znacznych ilości energii elektrycznej. Wodór odnawialny może być również wytwarzany poprzez reforming biogazu lub biochemiczną konwersję biomasy. Technologie produkcji wodoru zielonego są obecnie rozwijane i coraz częściej implementowane zarówno w Polsce, jak i całej Europie.
- **Wodór turkusowy** – produkowany przez pirolizę metanu, która powoduje rozkład CH₄ na wodór i węgiel stały. W procesie nie powstaje CO₂, a węgiel stały można przechowywać lub użyć w innych gałęziach przemysłu. Jeśli do procesu wykorzystano energię elektryczną ze źródeł odnawialnych (OZE) to proces jest zerowy pod względem emisji dwutlenku węgla, a nawet ujemny, jeśli surowiec to biometan, a nie metan kopalny (gaz ziemny).
- **Wodór biały** – pojęcie odnosi się do wodoru występującego naturalnie w skorupie ziemskiej, choć jest rzadko spotykany i trudny do wydobycia.
- **Wodór fioletowy** – produkowany w procesie elektrolizy zasilanej energią jądrową. To jedna z alternatywnych metod wytwarzania wodoru niskoemisyjnego. Nie jest on jednak uważany za wodór zielony z powodu problemów ze składowaniem odpadów promieniotwórczych.

Wodór w transporcie jako paliwo

Rośnie rola wodoru w transporcie publicznym. Autobusy wodorowe poruszają się po drogach 35 miast Europy, w tym Polski. Istnieją dwa sposoby wykorzystania H₂ jako paliwa: spalanie w celu wytworzenia ciepła lub – coraz bardziej popularne – wykorzystanie go w ogniwach paliwowych generujących energię elektryczną.

Zakup autobusów z ogniwami paliwowymi przyczyni się do osiągnięcia celów związanych z niskoemisyjnym transportem, określonych w strategii na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności Komisji Europejskiej [4]. Od 2025 roku miasta liczące powyżej 100 tys. mieszkańców będą zobligowane do zakupu jedynie pojazdów bezemisyjnych, aby osiągnąć wspomnianą zeroemisyjność floty do 2030 roku. We wrześniu 2023 roku Ministerstwo Klimatu i Środowiska zaproponowało w wariantcie bazowym wstępną lokalizację 34 stacji tankowania wodoru zgodnie z wymogami

rozporządzenia AFIR; planowane jest też użytkowanie 500 autobusów wodorowych w komunikacji publicznej. W wariantcie rozszerzonym założono budowę 16 dodatkowych stacji tankowania wodoru ponad wymogi AFIR, po jednej w każdym województwie (1 000 autobusów). Autobusy wodorowe poruszają się dziś po polskich drogach m.in. w Krakowie, Poznaniu, Gdańsku, Rybniku, Wałbrzychu. Wiele innych miejscowości oczekuje na dostarczenie pojazdów według zamówień, jakie zostały złożone.

W Koninie, na terenie zakładów ZE PAK, w 2024 roku uruchomiono instalację produkcji wodoru metodą elektrolizy. Zakład posiada zdolność wytwórczą wynoszącą 1 000 kg wodoru dziennie. W ramach dalszego rozwoju i transformacji regionu, do końca 2025 roku w pobliżu Elektrowni Konin powstanie również stacja tankowania H₂.

Przewiduje się, że aby sprostać rosnącemu popytowi, globalna zdolność produkcyjna elektrolizerów wzrośnie wykładniczo [5].

”

Do 2030 roku Grupa ORLEN planuje mieć w swoim portfolio 10 hubów wodorowych w Polsce i za granicą

Wodór paliwowy w ORLEN Południe i Grupie ORLEN

Zgodnie ze strategią wodorową, do 2030 r. ORLEN przeznaczy 7,4 mld zł na inwestycje w wodór bazujący na odnawialnych źródłach energii i technologiach przetwarzania odpadów komunalnych. Dzięki temu blisko połowa produkowanego w Grupie ORLEN wodoru będzie nisko- i zeroemisyjna. Do 2030 roku ORLEN otworzy ponad 100 stacji tankowania wodoru, z których będą mogli korzystać kierowcy w Polsce, Czechach i na Słowacji. W Polsce ma powstać ok. 57 takich punktów. Do 2030 roku Grupa planuje mieć w swoim portfolio 10 hubów wodorowych w Polsce i za granicą [6].

W listopadzie 2021 roku ORLEN Południe uruchomił w Trzebini pierwszy polski hub wodorowy. Roczna produkcja wynosi tu 16 mln Nm³, z czego ok. 25% jest doczyszczane do jakości paliwowej spełniającej wymagania normy ISO 14687:2019. Moce produkcyjne hubu wynoszą 350 ton rocznie czystego wodoru jakości paliwowej. ORLEN Południe posiada w swoich zasobach dwa mobilne zbiorniki o ciśnieniu 300 bar, transportujące H₂, oraz mobilną stację tankowania.

Warto dodać, że ORLEN otworzył w Poznaniu swoją pierwszą w Polsce, ogólnodostępną i działającą przez

PIERWSZA STACJA WODORU

ORLEN S.A. otworzył w Poznaniu swoją pierwszą w Polsce stację tankowania wodoru zarówno dla samochodów osobowych, ciężarowych, jak i autobusów



całą dobę stację tankowania wodoru, umożliwiającą napełnienie zarówno samochodów osobowych, ciężarowych, jak i autobusów. Ta poznańska stacja jest częścią projektu *Clean Cities*, współfinansowanego ze środków unijnych w ramach instrumentu CEF oraz krajowych z programu „Zielony transport publiczny”. Obiekt zasilił m.in. flotę 25 autobusów Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Poznaniu – w ciągu 15 lat ORLEN dostarczy na potrzeby tych pojazdów 1,8 mln kg wodoru.

Jeszcze w 2024 roku pojawi się też możliwość zatanowania wodoru do aut osobowych na kolejnej stacji ORLEN w Katowicach, a w latach 2025-2026 powstaną następne stacje wodorowe ORLEN: w Bielsku-Białej, Wałbrzychu, Gorzowie Wielkopolskim, Krakowie, Gdyni, Włocławku, Pile i Warszawie [6].

ORLEN Laboratorium z akredytacją dla badań wodoru paliwowego

Laboratorium w Trzebini zostało pierwszą w Polsce i trzecią na świecie placówką posiadającą akredytację zaawansowanych metod badawczych wodoru jakości paliwowej, przyznaną przez Polskie Centrum Akredytacji (pozostałe dwa laboratoria znajdują się w Wielkiej Brytanii i Stanach Zjednoczonych). Do 2025 roku planowane jest ponadto utworzenie specjalistycznej pracowni wodorowej w Centrum Badawczo-Rozwojowym ORLEN w Płocku, która będzie przeprowadzać testy na instalacjach badawczych związane z produkcją wodoru, kontrolą jego jakości, oczyszczaniem oraz z magazynowaniem i transportem.

Otoczenie legislacyjne dotyczące H₂

Do 2030 i 2035 roku zapotrzebowanie na odnawialny wodór (tzw. RFNBO – renewable fuels of non-biological origins) będzie gwałtownie wzrastać, zwłaszcza w sektorach: chemicznym, nawozowym i transportowym. Ten wzrost jest napędzany ambitnymi celami określonymi w dyrektywie dotyczącej odnawialnych źródeł energii (RED III). Do 2040 roku w transporcie i przemyśle zapotrzebowanie na wodór RFNBO może sięgnąć powyżej 1,15 mln ton ze względu na rosnącą presję dekarbonizacyjną [6].

Literatura

- [1] <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/production-trade-and-cost/hydrogen-production>
- [2] Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040, Warszawa, 2021.
- [3] Abdellatif M. Sadeq i in., Hydrogen energy systems: Technologies, trends, and future prospects, *Science of The Total Environment*, 2024, Vol. 939, s. 173622.
- [4] Komisja Europejska, Mobility Strategy – putting European transport on track for the future, Bruksela, 2020 (COM/2020/789 final).
- [5] M. Wappler i in., Building the green hydrogen market – current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing, *Int. J. Hydrogen Energy*, 2022, 47, s. 33551-33570. ■

GLIKOL PROPYLENOWY



Glikol propylenowy wytwarzany w ORLEN Południe produkowany jest z gliceryny będącej produktem ubocznym wytwarzania biodiesla powstającego z oleju rzepakowego, powstający z reakcji katalitycznej gliceryny destylowanej (99,7%) z wodorem. Instalacja w Trzebini jest pierwszą tego typu w Polsce i największą w Europie.

W ORLEN Południe oferujemy cztery wersje glikolu propylenowego, które dzięki doskonałym właściwościom i wysokiej jakości znajdują szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu.

Glikol propylenowy USP – stosowany jako surowiec do zastosowań farmaceutycznych i kosmetycznych,

Glikol propylenowy paszowy – stosowany jest jako materiał paszowy dla wszystkich gatunków zwierząt,

Glikol propylenowy spożywczy – wykorzystywany jako dodatek do żywności nieprzeznaczony do bezpośredniego stosowania przez człowieka,

Glikol propylenowy techniczny – szeroko stosowany jest w przemyśle jako surowiec do zastosowań technicznych (produkcja płynów chłodniczych oraz płynów niskokrzepnących).

Korzyści przy zastosowaniu Glikolu propylenowego w produkcji:

- dostosowanie się do wymagań kontrahentów,
- optymalizacja procesów oraz zużycia materiałów i energii,
- element opracowania zrównoważonych strategii rozwoju,
- wdrażanie systemów zarządzania środowiskiem,
- ekoinnowacje,
- uzyskanie przewagi konkurencyjnej,
- wzmocnienie wizerunku organizacji i budowa kapitału społecznego.



ZIELONY WODÓR

Czy woda będzie problemem?

Krzysztof Zuzanski

szeft projektu ds. dekarbonizacji, Grupa Azoty Kędzierzyn

Grupa Kapitałowa Grupy Azoty, w tym Grupa Azoty Kędzierzyn, prowadzi prace zmierzające do zbudowania Programu Dekarbonizacyjnego Grupy. Określać on będzie sposoby redukcji śladu węglowego i wskazywać najskuteczniejsze metody na ograniczenie negatywnego wpływu działalności przedsiębiorstwa na klimat.

Plan zakłada redukcję emisji gazów wpływających na efekt cieplarniany poprzez wdrażanie rozwiązań zwiększających efektywność energetyczną, zmniejszających emisję technologiczną, zastępowanie energii ze źródeł kopalnych energią z OZE oraz dokonywanie świadomych wyborów w kontekście współpracy z dostawcami.

Bieżący zakres działań roboczych obejmuje między innymi:

- wyznaczenie celów redukcji śladu węglowego organizacji oraz produktów, w tym redukcji bezpośredniej emisji GHG w horyzoncie 2030 r. z perspektywą do 2040 r.,
- zdefiniowanie projektów dekarbonizacyjnych zarówno inwestycyjnych, jak i organizacyjnych, określenie ich nakładów CAPEX, delta OPEX i efektu redukcji emisji dla każdego projektu,
- budowę listy rankingowej projektów dekarbonizacyjnych, dopasowanie zakresu projektów rozważanych do postawionych celów redukcji śladu węglowego,

- operacjonalizację Programu Dekarbonizacji, stworzenie harmonogramu działań oraz określenie sposobu ich finansowania.

W ciągu najbliższych lat Grupa Kapitałowa, w tym Grupa Azoty Kędzierzyn, zrealizuje szereg projektów zwiększających efektywność energetyczną i zmniejszających emisyjność zarówno energetyczną, jak i technologiczną obecnie istniejących aktywów produkcyjnych. Powstaną także nowe instalacje, bazujące na technologiach niskoemisyjnych.

Produkcja wodoru w Grupie Azoty Kędzierzyn

W ramach prowadzonych analiz rozważana jest między innymi stopniowa dekarbonizacja procesów prowadzących do otrzymywania amoniaku i nawozów, w tym produkcji/pozyskania wodoru i amoniaku.

W Grupie Azoty Kędzierzyn wodór jest w głównej mierze zużywany do produkcji amoniaku, a następnie nawozów azotowych. W części wykorzystuje się go w procesach uwodornień do wytwarzania alkoholi

oxo, a ponadto sprzedaje odbiorcom zewnętrznym. Wodór przeznaczony do sprzedaży jest doczyszczany w procesie PSA (Pressure Swing Adsorption – adsorpcja zmiennociśnieniowa) do czystości ok. 99,7%.

Wodór produkuje się z gazu ziemnego w procesie ATR (Autothermal Reforming – autotermicznego reformingu katalitycznego) z udziałem tlenu oraz pary wodnej. Gaz surowy po procesie reformingu, zawierający wodór, tlenek węgla, dwutlenek węgla, jest poddawany procesowi konwersji. CO wówczas reaguje z wodą tworząc dodatkową porcję wodoru oraz CO₂. Następnie dwutlenek węgla jest oddzielany w procesie AGR (Acid Gas Removal – usuwanie gazów kwaśnych) i w części wykorzystywany w kolejnym powiązonym procesie – produkcji mocznika, a także sprzedawany w części do podmiotu zewnętrznego. Po dokładnym oczyszczeniu jest produktem dla wielu różnych branż, w tym do chłodnictwa (suchy lód – zestalony CO₂) oraz dla zastosowań spożywczych. Część niewykorzystanego CO₂ emituje się do atmosfery. Powstający wodór jest wodorem „szarym”, a produkcji towarzyszy emisja dwutlenku węgla do atmosfery.

Grupa Azoty Kędzierzyn rozważa obecnie różne opcje dekarbonizacji produkcji amoniaku, między innymi poprzez elektrolizę wody, ale także przez zakup zielonego wodoru oraz zielonego amoniaku.

Regulacje UE dotyczące stosowania H₂ w przemyśle – dyrektywa RED III

18 października 2023 r. weszła w życie dyrektywa RED III, w której w art. 22a. określone są zasady wyliczania wskaźnika udziału wodoru RFNBO (Renewable Fuel of Non-Biological Origin – paliwo odnawialne pochodzenia niebiologicznego) w masie wodoru zużywanego w przemyśle. Dyrektywa wskazuje, że wskaźnik ten wynosi 42% od 2030 r. i 60% od 2035 r.

Przemysł UE obowiązuje wymóg zastosowania od 2030 r. 42% wodoru RFNBO (z elektrolizy) w całym wolumenie stosowanego wodoru.

Akt delegowany UE z 10.02.23 do dyrektywy RED II

Akt ten określa warunki uznania energii wykorzystywanej w elektrolizie do produkcji wodoru za energię odnawialną i uznania uzyskanego z jej użyciem wodoru za wodór „RFNBO”:

- dodatkowość: własna instalacja produkująca energię odnawialną lub umowa na zakup plus spełnienie warunków, tj.: instalacja wytwarzająca energię starsza nie więcej niż o 36 miesięcy od elektrolizera; instalacja produkująca energię nie otrzymała wsparcia.
- Korelacja czasowa: do końca 2029 r. obowiązuje bilansowanie miesięczne dostawy energii i jej zużycia; od 2030 r. – bilansowanie godzinowe.
- Korelacja geograficzna: ten sam obszar rynkowy dla obu instalacji (produkującej prąd odnawialny i elektrolizera).

Definicja wodoru RFNBO obejmuje wodór produkowany w elektrolizie zasilanej energią odnawialną (z wyłączeniem energii z biomasy/biogazu/biometanu), spełniającą wymogi aktu delegowanego.

Elektroliza wody jako metoda produkcji wodoru zielonego

Elektroliza wody może być prowadzona z wykorzystaniem różnych technologii i typów elektrolizerów (rys. 1).

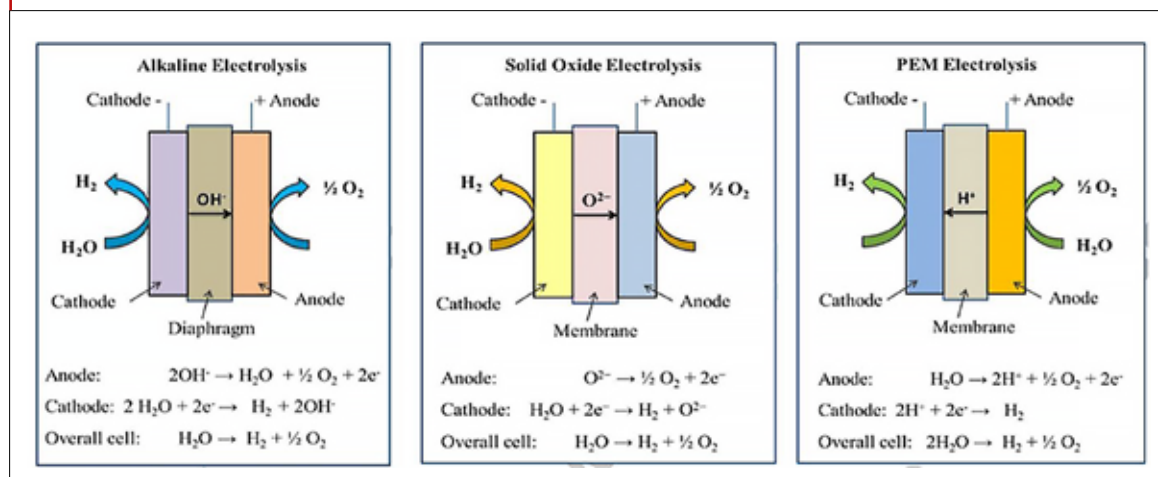
W elektrolizerze alkalicznym katoda i anoda znajdują się w wodzie. Czysta woda nie jest dobrym przewodnikiem; dodaje się do niej zasady, zazwyczaj KOH lub NaOH. Aby zapobiec ponownemu łączeniu się cząsteczek tlenu i wodoru w wodę, między elektrodami umieszcza się separator, zazwyczaj porowaty materiał nasycony elektrolitem, przewodzący jony.

Alkaliczna elektroliza wody to dojrzała technologia. Ze względu na dostatecznie długi czas życia można powiedzieć, że jej wykorzystanie jest efektywne ekonomicznie. Jednak elektrolizery alkaliczne nie wyka-

RYS. 1

Zasady działania elektrolizerów różnych typów

(źródło: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589299119300035#f0010>)



RYS. 2

Porównanie podstawowych parametrów i cech wariantów elektrolizy wody
(źródło: materiały własne autora)

	AEL (Alkaline Electrolysis)	PEM (Proton Exchange Membrane electrolysis)	SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell)	AEM(Anion-Exchange Membrane electrolysis)
elektrolit	ciekły- 20-30% KOH	stały - membrana PFAS (Nafion)	stały - membrana ceramiczna tlenek cyrkonu + tlenek itru	stały- membrana
elektrody/katalizatory	niklowana perforowana stal	platynowce (Pt, Ir)	nikiel na stałych tlenkach, związki metali ziem rzadkich	nikiel i stopy niklu
temperatura	70-90°C	50-80°C	500-850°C	40-60°C
CAPEX	najniższy	50-80% powyżej AEL	wysoki, wyższy niż dla PEM	
zużycie energii kWh/kg H ₂	47-55	47-55	35-45	47-55
status technologii	dojrzała	dojrzała	demonstracyjna	demonstracyjna w małej skali
zalety	najniższy koszt, dostępne duże jednostki, czas życia	kompaktowe/kontenerowe rozwiązania, duża elastyczność	wysoka efektywność w przypadku integracji termicznej	niskie koszty materiałów, potencjalna elastyczność
wady	korozyjny elektrolit	wysoki koszt, efektywność spada z niższym obciążeniem	potrzebna para, niska trwałość- czas życia	krótki czas życia, mała skala

zują się elastycznością, wymagają raczej stabilnego zasilania energią elektryczną.

Elektrolizery z polimerową membraną elektrolityczną (PEM, *proton exchange membrane*) różnią się od opisanej powyżej technologii elektrolizerów alkalicznych rodzajem użytego elektrolitu – w tym przypadku to stały polimer. W takim elektrolizerze wykorzystuje się tylko zdejonizowaną wodę, bez dodatkowego elektrolitu.

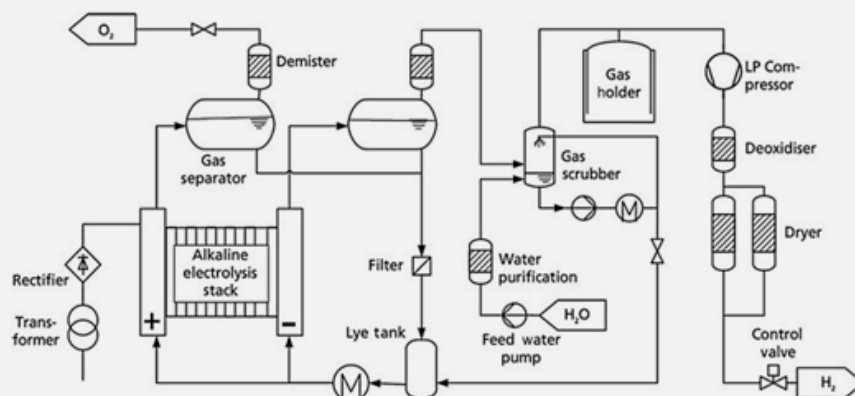
Technologia PEM ma liczne zalety: elastyczność pracy, wysoką sprawność, ale i wady – np. wysoki nakład inwestycyjny wynikający z kosztów materiałów.

Najsprawniejsze, jednak droższe i na etapie wczesnego rozwoju, są elektrolizery stałotlenkowe (solid oxide electrolyzers – SOEC), które posiadają membranę ceramiczną, zazwyczaj wykonaną z tlenku cyrkonu z domieszką tlenku itru. Temperatura elektrolizy wynosi 850-1200°C, ciśnienie – 1 bar. Dzięki wykorzystaniu ciepła zewnętrznego zużycie energii elektrycznej jest niższe

Z JAKICH ELEMENTÓW SKŁADA SIĘ PEŁNA INSTALACJA ELEKTROLIZY?

Instalacja elektrolizy składa się z wielu elementów. Przykładowo najbardziej rozpowszechniona elektroliza alkaliczna zawiera:

- elektrolizer pracujący w temperaturze ok. 70-90°C – wymagający chłodzenia,
- linię zasilającą energii elektrycznej wyposażoną w transformator oraz prostownik,
- linię zasilającą wody zawierającą system oczyszczania i przygotowania wody; woda jest przed zasileniem elektrolizera wykorzystana w procesie mycia wodoru opuszczającego elektrolizer,
- linię tlenu wydzielanego na anodzie zawierającą separator rozdzielający gazowy tlen od porwanych kropeł cieczy; tlen zazwyczaj jest kierowany do atmosfery,
- linię wodoru wydzielanego na katodzie, zawierającą: separator rozdzielający gazowy wodór od porwanych kropeł cieczy, skrubler dodatkowo odmywający z gazowego wodoru mgłą roztworu alkalicznego. Wodór w skruberze lub bezpośrednio po nim jest dodatkowo chłodzony, trafia do zbiornika, z którego następnie kompresorem jest podawany do odtleniania i osuszania. Osuszanie także wymaga dodatkowego chłodzenia,
- układ chłodzący zapewniający krążenie medium chłodniczego do elektrolizera, skrubera oraz osuszacza wodoru.



RYS. 3

Układ elektrolizera alkalicznego (BoP – Balance of Plant)

(źródło: <https://synerhy.com/en/2022/02/balance-of-plant-bop-of-an-electrolyser/>)

niż w procesie elektrolizy alkalicznej czy też elektrolizy PEM. Ciepło potrzebne do zwiększenia i utrzymywania temperatury na odpowiednim poziomie może być ciepłem odpadowym z elektrowni jądrowych lub pochodzić z dowolnego wysokotemperaturowego procesu. Jest to stosunkowo nowa technologia, wymagająca jeszcze badań, procesów skalowania oraz komercyjnego wdrażania. Największą jej wadą są wysokie koszty inwestycyjne oraz szybka degradacja materiału i jego ograniczona trwałość ze względu na wysokie temperatury pracy. Z powodu wrażliwości materiałów ceramicznych, elektrolizery te powinny pracować w trybie ciągłym, co stanowi wadę omawianego rozwiązania.

Elektrolizery niskotemperaturowe (AEM, Anion exchange membrane) to elektroliza z wykorzystaniem membrany, w środowisku lekko alkalicznym. Łączy zalety PEM – elastyczność, z zaletami elektrolizy alkalicznej – niski koszt materiałów, niski CAPEX. Technologia jest na bardzo wczesnym etapie (demonstracja w małej skali).

Zapotrzebowanie na wodę w elektrolizie

Ze stechiometrii reakcji rozkładu wody wynika, że do wyprodukowania 1 kg wodoru potrzeba 9 kg wody. Musi to być jednak woda czysta, spełniająca wysokie wymogi jakościowe. Kluczowym parametrem obrazującym czystość wody i jej przydatność do elektrolizy jest przewodność – stanowi ona miarę ilości minerałów rozpuszczonych w wodzie. Wymagania dla wody pitnej to $<2500 \mu\text{S}/\text{cm}$, a minimalne dla wody do elektrolizy – $5 \mu\text{S}/\text{cm}$, obserwuje się jednak trend rosnący. Wymagania mogą osiągać nawet poziom $<0,1 \mu\text{S}/\text{cm}$ dla elektrolizerów PEM i alkalicznych wykorzystujących zaawansowane elektrody. Zapewnienie układu uzdatniania wody wysokiej jakości i niezawodności może być inwestycją wydłużającą żywotność systemu elektrolizera.

Przyjmuje się szacunkowo, że na MW elektrolizera trzeba 400 l/h wody chłodzącej, czyli około dwukrotność wolumenu niezbędnego do elektrolizy.

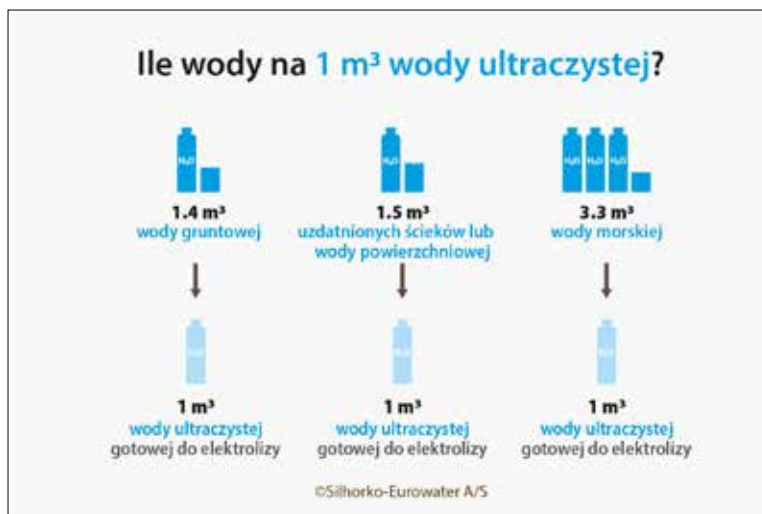
Konieczność doprowadzenia wody do stanu o wysokiej czystości powoduje, że jej zużycie będzie znacząco większe od ilości wody wynikającej ze stechiometrii. Wielkość zużycia wody o różnej czystości obrazuje rysunek 4.

Koszt oczyszczania wody to przede wszystkim koszt energii elektrycznej zużytej w procesie oczyszczania. Energia ta, nawet w przypadku odsalania wody morskiej, to zaledwie ok. 0,1% energii elektrycznej potrzebnej do elektrolizy. Ilość energii niezbędnej do oczyszczenia 1 m^3 wody o różnym pochodzeniu obrazuje rysunek 5.

Oczyszczanie wody do elektrolizy

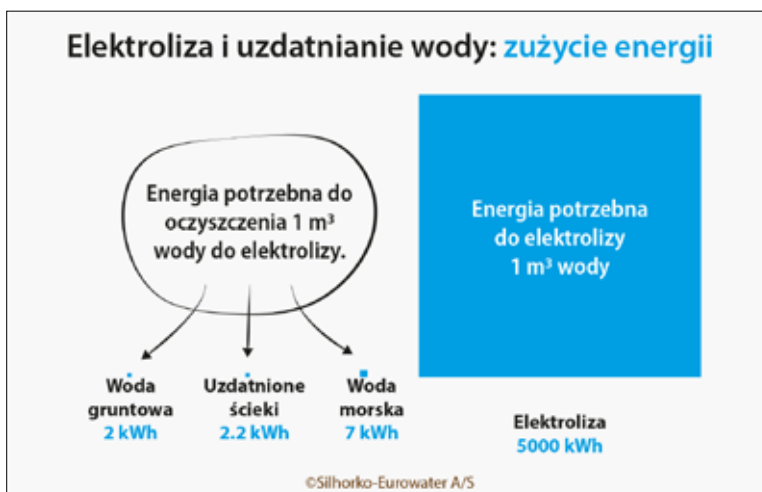
Proces przekształcania wody surowej w wodę ultraczystą:

- wody gruntowe zawierają żelazo i mangan – usuwa się je w drodze napowietrzania i filtracji zwirowej;
- wolny chlor eliminuje się za pomocą węgla aktywnego;



RYS. 4

Zużycie wody o różnych jakościach do wytwarzania wody ultraczystej do elektrolizy (źródło: https://www.eurowater.com/Files/Files/eurowater/Country/Poland/Leaflets/Eurowater_WhatYouNeedToKnow_WaterTreatment_Hydrogen_Polish.pdf)



RYS. 5

Ilość energii elektrycznej niezbędnej do oczyszczania wody o różnym pochodzeniu i do elektrolizy (źródło: https://www.eurowater.com/Files/Files/eurowater/Country/Poland/Leaflets/Eurowater_WhatYouNeedToKnow_WaterTreatment_Hydrogen_Polish.pdf)

- w przypadku oczyszczonych ścieków głównym problemem są cząstki stałe, substancje organiczne i mikroorganizmy – stosuje się ultrafiltrację w połączeniu z promieniowaniem UV;
- woda morska wymaga przede wszystkim odsalania, ale także usunięcia cząstek stałych. Wykorzystuje się standardowe odsalanie metodą odwróconej osmozy;
- twardość spowodowana obecnością np. jonów Ca i Mg wymaga użycia zmiękczenia/demineralizacji – wymiany jonów Ca i Mg na Na;
- membrany osmotyczne nie zatrzymują rozpuszczonych gazów, takich jak CO_2 . Do ich usunięcia potrzebny jest odgazowywacz membranowy. Alternatywna metoda to dozowanie ługu przed membranami, by przekształcić CO_2 w jony wodo-



fot. 123rf, zd. ilustracyjne

PRODUKCJA ZIELONEGO WODURU

w Grupie Azoty Kędzierzyn, która umożliwi spełnienie wymogu 42% RFNBO wiązałyby się z zapotrzebowaniem na wodę w ilości ok. 34 t/h – to odpowiada zwiększeniu poboru wody przez spółkę o około 5%

rowęglanowe, które są następnie usuwane w procesie odwróconej osmozy;

- do osiągnięcia bardzo niskiej przewodności, wymagającej wielu elektrolizerów, konieczna jest końcowa dejonizacja. Można zastosować filtr mixed-bed lub elektrodejonizator (EDI)¹.

Do wytworzenia wody ultraczystej wykorzystuje się także procesy destylacji, zwłaszcza pod obniżonym ciśnieniem, w szczególności z użyciem ciepła wytwarzanego w procesie elektrolizy. Służą do tego celu „generatory świeżej wody”. W porównaniu z procesem odwróconej osmozy, generator świeżej wody umożliwi schłodzenie elektrolizera i wytworzenie odpowiedniej jakości wody w jednym kroku, za pomocą specjalnego wymiennika. Zmniejsza to potrzebę dodatkowego chłodzenia, np. z wykorzystaniem wieży chłodniczej lub podobnego rozwiązania, i minimalizuje ogólne zużycie energii.

Zużycie wody w Grupie Azoty Kędzierzyn do elektrolizy do produkcji wodoru

Od 2030 r. Grupa Azoty Kędzierzyn będzie miała obowiązek spełniać wymóg udziału 42% wodoru lub amoniaku RFNBO w masie wodoru/amoniaku zużywanego w produkcji. Realizacja tego wymogu może nastąpić na różne sposoby:

1. poprzez własną produkcję wodoru w elektrolizie,
2. poprzez zakup wodoru RFNBO z zewnątrz firmy,
3. poprzez zakup amoniaku RFNBO z zewnątrz firmy.

Pomijając opcje 2 i 3 rozważmy, jaka ilość wody byłaby konieczna dla elektrolizy, przyjmując że Grupa Azoty Kędzierzyn we własnym zakresie będzie ten wodór wytwarzać.

Hipotetyczna produkcja zielonego wodoru w Grupie Azoty Kędzierzyn, która umożliwi spełnienie wymogu 42% RFNBO od 2030 r., wiązałyby się z zapotrzebowaniem na wodę w ilości ok. 34 t/h. Odpowiadałoby to zwiększeniu poboru wody przez GA Kędzierzyn o około 5%. To łączne, zwiększone zapotrzebowanie, stanowi zaledwie ok. 1% minimalnego przepływu wody w Odrze na wysokości Kędzierzyna-Koźła. Zatem wniosek z powyższego: nie ma zagrożenia deficytem wody dla elektrolizy, trzeba jednak brać pod uwagę konieczność jej oczyszczenia, którego koszty są pomijalnie małe w porównaniu do kosztów energii elektrycznej niezbędnej do elektrolizy.

Wodór a dekarbonizacja

- Dekarbonizacja – priorytetem powinna być produkcja odnawialnej energii elektrycznej, a w drugiej kolejności – wytwarzanie wodoru RFNBO (zamiana szarego na zielony), ale dopiero po uzyskaniu wysokiego udziału energii odnawialnej w miksie energii elektrycznej w sieci. Nie jest racjonalne z punktu widzenia efektywności dekarbonizacji przeznaczanie zielonej energii do elektrolizy i produkcji wodoru RFNBO, jeśli nadal będziemy uzyskiwać energię elektryczną z węgla w niskosprawnych elektrowniach.
- 1 MWh zielonej energii zastępującej 1 MWh energii z węgla pozwoli uniknąć emisji ok. 1010 kg CO₂ (średnia emisyjność polskich elektrowni węglowych: 60% kamienny, 40% brunatny).
- 1 MWh zielonej energii wytworzy ok. 18,2 kg H₂ i pozwoli uniknąć emisji ok. 182 kg CO₂ w alternatywnej, unikniętej produkcji wodoru szarego z gazu ziemnego. Efekt redukcji emisji dwutlenku węgla – ponad pięciokrotnie gorszy niż dla przypadku eliminacji czarnej energii z sieci.
- Zielony wodór to rozsądna opcja długoterminowego magazynowania energii, gdy energii z OZE będzie znaczący nadmiar. Złaszcza wtedy, gdy potrzeby wyłączania OZE w szczycie spowodują, że sumaryczna liczba godzin w roku z energią o cenie ujemnej/zerowej/bardzo niskiej osiągnie poziom rzędu 3000-4000 h w roku.
- Zielony wodór nie jest uniwersalnym środkiem dla dekarbonizacji. Jeśli już, to należałoby w pierwszym rzędzie wykorzystywać go jako zamiennik wodoru szarego w obecnych zastosowaniach (AMONIAK!). W pozostałych przypadkach jego użycie powinno być rozważane i konfrontowane z wykorzystaniem innych dostępnych technologii (elektryfikacja/biopaliwa).
- Wodór RFNBO jest kosztowną i trudną koniecznością dla niektórych obszarów dekarbonizacji.

Przypis

¹ https://www.eurowater.com/Files/Files/eurowater/Country/Poland/Leaflets/Eurowater_WhatYouNeedToKnow_WaterTreatment_Hydrogen_Polish.pdf ■

• ATEX • SIL2/SIL3 • HART • MID

APLISENS[®]

APLISENS S.A. – Produkcja Przemysłowej
Aparatury Pomiarowej i Elementów Automatyki



CIŚNIENIE

- przetworniki ciśnienia
- przetworniki różnicy ciśnień

PRZEPŁYW

- przepływomierze elektromagnetyczne
- zwężki pomiarowe



TEMPERATURA

- czujniki
- przetworniki

POZIOM

- sondy głębokości
- przetworniki poziomu



Aplisens S.A.
ul. Morełowa 7
03-192 Warszawa



www.aplisens.pl
aplisens@aplisens.pl
22 814 07 77



Andrzej Szczęśniak

niezależny ekspert rynku gazu i paliw

Wodór – zbawca czy fake energetyczny?

Dumnie wypina pierś do orderu na pierwszym miejscu tablicy Mendelejewa. Wodór, najpowszechniejszy pierwiastek na planecie. Czy stanie się też najważniejszym źródłem energii? Tak zapowiadają promotorzy tego trendu. Przyjrzyjmy się owemu kandydatowi na zbawcę ludzkości i klimatu.

Wodór ma być paliwem przyszłości – jak mantrę powtarzają konstruktorzy nowej energetycznej przyszłości. Dlatego każą z odrazą odwracać się od wszystkich źródeł energii, na których przez dwa ostatnie stulecia zbudowaliśmy dzisiejszy dobrobyt. Koniec z tym brudnym węglem, na celowniku jest już i ropa naftowa i gaz ziemny, a nawet biopaliwa. Także energia nuklearna, choć bezemisyjna, nie uchowa się przed kreatorami nowej rzeczywistości. Teraz już tylko wiatraki, panele, pompy ciepła... No i wodór. Ten przekaz dociera do nas przez media, które w służbie walki o ratowanie planety przed klimatyczną katastrofą – pieją unisono.

Tak więc karmieni doniesieniami o nieodległej szczęśliwej przyszłości energetycznej, przyjrzyjmy się, jak to wygląda realnie. Rodzi się bowiem pytanie: czy to tylko nowa bańka spekulacji technologicznych, jak kiedyś fuzja jądrowa, komputery kwantowe czy ostatnio – sztuczna inteligencja? Czy może przejaw geniuszu globalnych planistów energetycznych?

Trzeba sobie na początek jasno powiedzieć: planowana (wcale nie pewna) kariera wodoru została zdecydowana politycznie – i to na globalnym poziomie. A Ameryka i Europa wyznaczyły cele – ile milionów ton wodoru ma być zużywane w 2030, 2040, 2050 itd. itd. Jak widać, nie są to żadne „rynkowe mechanizmy”, a nakazowe centralne planowanie, stawiające wskaźniki, wymagające zobowiązań do realizacji celów i nakładające kary na tych, którzy się nie podporządkują albo słabo się starają. Zamierzchłe teorie, że to potrzeby konsumenta decydują o wszystkim, poszły w zapomnienie, wręcz przewracają się w grobie z oburzenia.

A że to dopiero początek mojej pisaniny o wodorze, więc zaspojeruję. Czytelnikowi należy się wiedza o tym, „z jakich pozycji” (tak się kiedyś mówiło w partyjnym żargonie przodującego ustroju światowego) pisze autor. Moim zdaniem wodór to raczej wyzwanie badawcze niż realna szansa na znaczące paliwo w najbliższej przyszłości.

Po pierwsze bowiem, to nie źródło energii, a jej nośnik. Jest tu trochę pomieszania pojęć, więc precyzyjnie: nie nośnik pierwotny (określany często jako źródło energii), ale wtórny. I o tej fundamentalnej różnicy w popularnym dyskursie raczej się zapominać. Rozpatrując więc wodór jako nośnik (podobnie jak prąd elektryczny), trzeba porównać dwa podstawowe parametry z innymi dostępnymi źródłami i nośnikami. Podstawowym z nich jest efektywność energetyczna, czyli ilość energii włożona w wytworzenie wobec energii otrzymanej. I tu, niestety, rachunek jest dramatycznie niski – trzeba włożyć znacznie więcej energii w wytworzenie wodoru, niż jej z niego otrzymujemy.

I drugi parametr – użytkowy, czyli gęstość energetyczna. Współczynnik ten oznacza ilość otrzymywanej energii wobec objętości lub masy nośnika. Wodór ma ogromną gęstość energetyczną liczoną wobec masy, jednak dramatycznie niską, jeśli liczyć ją wobec objętości. To bardzo utrudnia operowanie nim, zwłaszcza w zastosowaniach mobilnych. Warto przypomnieć, że przez dziesięciolecia użytkowania gazu ziemnego jako paliwa transportowego, właśnie z tego powodu ani CNG ani LNG nie jest w stanie zagrozić paliwom z ropy naftowej czy choćby innemu gazowi, który jednak występuje w warunkach naturalnych w postaci płynnej, czyli LPG (propan-butan).

Gospodarka wodorowa to pomysł lat 70. Prorokowana była jako jedna z dróg odejścia od paliw kopalnych. Jest jednak tyle problemów do rozwiązania, choćby związanych z właściwościami fizycznymi wodoru, że w najbliższej przyszłości (a jak wiadomo, w odległej przyszłości wszyscy będziemy martwi...) nie jest to obiecujący kierunek poszukiwań. Przydatność wodoru w procesach chemicznych jest oczywista, jednak jako nośnik energii nie zrobi on kariery. No, może w odległej przyszłości, ale co my o niej możemy powiedzieć...



WIĘCEJ FELIETONÓW
Andrzeja Szczęśniaka
na www.kierunekCHEMIA.pl



True End-to-End Solutions
From Molecules to Final Dosage Forms

Technologie Procesów Ciągłych

Produkcja z wykorzystaniem innowacyjnej
technologii chemii przepływowej

Mniejszy footprint

Nasza kompleksowa instalacja zastępuje tradycyjny 2-3 piętrowy zakład oparty na produkcji wsadowej

Filtracja ciągła

Jest dostępna na platformach laboratoryjnych, pilotażowych i produkcyjnych

Zaawansowane reaktory i krystalizatory

Kompletne modułarne systemy



Dowiedz się więcej o naszych rozwiązaniach - skontaktuj się z nami:

sprzedaz@dec-group.pl

dec-group.pl

CHEMICZNA CHMURA POD KONTROLĄ

Prognozowanie skutków rozprzestrzeniania skażeń chemicznych w drogowym transporcie materiałów niebezpiecznych

dr inż. Robert Brodzik

Institut Logistyki i Transportu
Lotnicza Akademia Wojskowa w Dęblinie

dr inż. Kamil Gugąła

Rzeczoznawstwo Samochodowe

Skutki po niekontrolowanym przedostaniu się do otoczenia materiałów niebezpiecznych wysokiego ryzyka, takich jak chlor i amoniak, mogą być olbrzymie. W artykule zaprezentowano autorski model systemu prognoz, symulacji rozprzestrzeniania się skażeń chemicznych oraz wpływu różnych czynników na zasięg powstania wybranych zagrożeń chemicznych.

Wzrastająca chemizacja współczesnego świata niesie za sobą tragiczne konsekwencje dla człowieka i jego otoczenia. Każdego roku powstaje kilka tysięcy związków chemicznych, z których duża część jest bardzo toksyczna [1].

Wykorzystanie tych materiałów w różnych gałęziach gospodarki i przemysłu ma związek z ich prze-

mieszczaniem. Przewóz materiałów niebezpiecznych realizowany jest transportem drogowym, kolejowym, śródlądowym, morskim i lotniczym. W Polsce, ze względu na dostępność i ekonomiczność, najczęściej wykorzystywany jest tu przewóz drogowy, który wymaga nie tylko specjalistycznych pojazdów, ale przede wszystkim stosownej wiedzy. Szacuje się, że około 10-15% przewo-



zonych obecnie materiałów niebezpiecznych stwarza zagrożenie dla zdrowia i życia organizmów żywych oraz środowiska naturalnego¹. Biorąc pod uwagę charakter oraz liczba transportów substancji i przedmiotów niebezpiecznych, ryzyko zaistnienia zagrożenia jest bardzo duże. Szkodliwość ta może być spowodowana ich właściwościami biologicznymi, fizycznymi oraz chemicznymi. Substancje i przedmioty, które generują zagrożenie, muszą być transportowane we właściwych warunkach oraz sklasyfikowane do kategorii materiałów niebezpiecznych.

Obserwowany w ostatnich latach wzrost liczby pojazdów jest przyczyną zwiększonego natężenia ruchu, co z kolei przekłada się na zmniejszenie bezpieczeństwa transportu drogowego. Wzrost ilości przewożonych materiałów niebezpiecznych powoduje podwyższenie ryzyka związanego z ich niekontrolowanym uwolnieniem, co może doprowadzić do powstania zagrożenia chemicznego, biologicznego, promieniotwórczego oraz wybuchowego. Zatem sytuacje z udziałem pojazdów przewożących materiały niebezpieczne mogą być przyczyną bardzo licznych ofiar w ludziach i dużych strat w środowisku.

W Polsce od 2015 roku odnotowuje się około półtora tysiąca zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów przewożących substancje i przedmioty niebezpieczne, w tym kilkadziesiąt wypadków oraz kilka katastrof o znamionach poważnej awarii². Może się wydawać, że jest to niewiele, zwłaszcza w porównaniu ze zdarzeniami z udziałem pozostałych użytkowników dróg. Bardzo ważną kwestią w przypadku takich zdarzeń jest jednak nie ich liczba, ale możliwa skala skutków. W związku z dużym prawdopodobieństwem wystąpienia potencjalnych awarii pojazdów z materiałami niebezpiecznymi, których konsekwencją mogą być pożary, wybuchy oraz skażenia znacznych obszarów, możliwość wystąpienia tego typu katastrof należy rozpatrywać szerzej, odnosząc się nie tylko do bezpośrednich konsekwencji powstałych w wyniku samego zdarzenia, ale również do skutków powypadkowych związanych z uwolnieniem przewożonej toksycznej substancji³.

System prognozowania rozprzestrzeniania skażeń chemicznych

Niekontrolowane przedostanie się substancji niebezpiecznych do otoczenia może być przyczyną skażenia chemicznego, w rezultacie którego ma miejsce pośrednie lub bezpośrednie zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, atmosfery, wód podziemnych i powierzchniowych, gleby oraz środowiska naturalnego. Szczególnie niebezpieczne jest powstawanie takich sytuacji na terenach wysoce zurbanizowanych, gdzie mogą one spowodować wystąpienie licznych strat ludzkich⁴. Zatem istotne znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa stanowią skutki zdarzeń drogowych pojazdów z materiałami niebezpiecznymi i związane z nimi modelowanie rozprzestrzeniania się w atmosferze szkodliwych chemikaliów.

ZADANIA SYSTEMU SPRSCh

Zadaniem opracowanego systemu SPRSCh jest nie tylko określenie wymiarów geometrycznych obszarów zagrożonych skażeniem chemicznym, ale również:

- przedstawienie przybliżonej wartości liczbowej potencjalnie poszkodowanych ludzi w wyznaczonych strefach zagrożeń;
- przedstawienie wartości liczbowej powierzchni obszaru poszczególnych stref zagrożeń i ostrzegania;
- graficzne wyznaczenie obszaru strefy ewakuacyjnej;
- graficzne wyznaczenie obszaru strefy ostrzegania wg zasad w PSP.



foto. 123rf

Przewidywanie zasięgu skażeń chemicznych jest bardzo ważnym elementem oceny zagrożeń podczas eksploatacji środków transportu drogowego służących do przewozu tego rodzaju ładunków. Określenie zagrożonych obszarów powstałych podczas poważnych awarii pojazdów, w wyniku których dochodzi do przedostania się substancji chemicznych do środowiska naturalnego, możliwe jest między innymi przy wykorzystaniu symulacji komputerowych. W celu oceny zasięgu oddziaływania poważnych awarii, skutkujących niekontrolowanym uwolnieniem trujących substancji chemicznych, wykonano autorski program symulacyjny, który nazwano Systemem Prognoz Rozprzestrzeniania Skażeń Chemicznych (SPRSCh).

”

Szacuje się, że około 10-15% przewożonych obecnie materiałów niebezpiecznych stwarza zagrożenie dla zdrowia i życia organizmów żywych oraz środowiska naturalnego

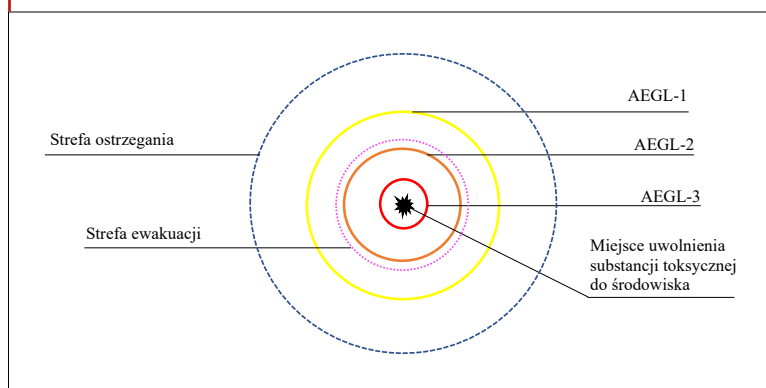
W opracowanym SPRSCh, z uwagi na brak możliwości przeprowadzenia praktycznych badań prowadzących do wyznaczenia rzeczywistych stref skażonych wybranymi substancjami toksycznymi, posłużono się ich wymiarami geometrycznymi występującymi w programie komputerowym Aloha⁵. Do budowy własnego autorskiego programu wykorzystano z tego systemu, dla określonych warunków terenowych i pogodowych, tylko dane takie jak długość i szerokość poszczególnych stref stężeń cząstek toksycznych dotyczących wybranych substancji zagrażających człowiekowi.

Opracowany system SPRSch, na podstawie analiz parametrów fizykochemicznych oraz toksykologicznych, umożliwia dokonanie oceny stopnia rozproszenia „chemicznej chmury” w wyniku oddziaływania warunków meteorologicznych i terenowych. W programie tym są uwzględnione takie parametry oraz dane, jak:

- rodzaj materiału niebezpiecznego: chlor i amoniak (z możliwością rozbudowy bazy do dużo większej ilości substancji chemicznych);
- ilość uwalnianego materiału niebezpiecznego: 5 ton, 10 ton, 15 ton, 20 ton;
- rodzaj zdarzenia:
 - » poważna awaria drogowa generująca źródło ciągłego rozprzestrzeniania się materiału niebezpiecznego (uwolnienie przewożonego ładunku wskutek miejscowego rozszczelnienia zbiornika, określonej ilości przewożonego ładunku w zależności od wielkości uszkodzenia zbiornika, w czasie 60 minut);
 - » zamach terrorystyczny generujący źródło chwilowego rozprzestrzeniania się materiału niebezpiecznego (uwolnienie całej ilości przewożonego ładunku z powodu detonacji zbiornika, a następnie jego wielomiejscowego rozerwania, w bardzo krótkim odcinku czasu);
- średnie warunki meteorologiczne dla czterech pór roku:
 - » lato (stopień zachmurzenia 50%, temperatura powietrza 22°C i wilgotność 70%);
 - » jesień, wiosna (stopień zachmurzenia 70%, temperatura powietrza 10°C i wilgotność 80%);
 - » zima (stopień zachmurzenia 80%, temperatura powietrza -5°C i wilgotność 90%);
- prędkości wiatru: 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s;
- charakterystyka urbanizacyjna terenu (otwarta przestrzeń i obszar zabudowany).

Na rysunku 1 przedstawiono strefy, jakie są wyznaczane poprzez system SPRSch podczas symulacji uwolnienia określonej substancji chemicznej:

RYS. 1
Określenie stref zagrożenia i ostrzegania po uwolnieniu substancji chemicznej
(źródło: opracowanie własne)



- strefa ostrzegania: granica obszaru, w którym znajdują się ludzie – w związku z możliwością powstania dla nich zagrożenia spowodowanego stężeniami toksycznej substancji – powinni być przygotowani na ewentualną ewakuację;
- strefa ewakuacji: granica obszaru, w którym znajdują się ludzie – w związku z powstałym dla nich zagrożeniem spowodowanym stężeniami toksycznej substancji – powinni zostać ewakuowani;
- AEGL-1: maksymalny zasięg strefy niskiego stopnia zagrożenia, w której występuje stężenie substancji powodujące u człowieka nietrwałe oraz odwracalne efekty skażenia;
- AEGL-2: maksymalny zasięg strefy średniego stopnia zagrożenia, w której występuje stężenie substancji powodujące u człowieka nieodwracalne lub poważne, długotrwałe efekty niekorzystne dla zdrowia;
- AEGL-3: maksymalny zasięg strefy wysokiego stopnia zagrożenia, w której występuje stężenie substancji powodujące u człowieka powstanie zagrożenia życia.

Przedstawiony autorski program SPRSch umożliwia wykonanie wizualizacji graficznej wykresu z zasięgiem oddziaływania skutków zdarzenia po uwolnieniu substancji chemicznej z naniesionymi różnymi wartościami stężeń, wskazującymi stopień zagrożenia organizmu ludzkiego w kontakcie z substancją chemiczną. Pozwala on też na określenie obszaru ostrzegania i ewakuacji. Zastosowanie w programie symulacji komputerowej w celu modelowania zdarzeń o znamionach poważnej awarii prowadzi w efekcie do uzyskania jakościowych danych o skali zagrożenia, które określają przybliżone wartości liczbowe możliwych osób znajdujących się w wyznaczonych strefach.

System komputerowy SPRSch jest narzędziem analiz pomocnym w zrozumieniu zagrożeń, jakie niesie transport drogowy materiałów niebezpiecznych. Pełne dane otrzymane podczas symulacji, odnoszące się do możliwej wielkości skutków skażeń, mają na celu określenie informacji przydatnych w realizacji działań zapobiegawczych służących ograniczeniu liczby poszkodowanych.

Symulacje rozprzestrzeniania uwalnianych do otoczenia substancji chemicznych

Opracowane w tej części artykułu symulacje komputerowe z wykorzystaniem SPRSch umożliwiają prognozowanie zasięgu uwalniania do otoczenia dwóch substancji niebezpiecznych oraz pozwalają na przewidywanie ich niekorzystnego oddziaływania na ludzi znajdujących się w rejonie powstałego zdarzenia. W związku z tym, oceniając wymiar zagrożenia, do którego może dojść wskutek poważnych awarii w ruchu drogowym z udziałem pojazdów ADR, biorąc pod uwagę lotność oraz toksyczność, uwzględniono podczas projektowania tego programu substancje

toksyczne takie jak amoniak oraz chlor. Przedstawione substancje chemiczne należą do materiałów niebezpiecznych wysokiego ryzyka, a wypadki z ich udziałem mogą generować liczne straty, głównie w ludziach.

W początkowej grupie symulacji założono, że badane zdarzenie powstało z powodu poważnej awarii drogowej, w wyniku której nastąpiło rozszczelnienie płaszczu ochronnego cysterny przewożącej dwadzieścia ton niebezpiecznej substancji. W rezultacie tego zdarzenia doszło do uwolnienia pięciu ton ładunku do atmosfery. Przyjęto, że wyciek substancji z takim samym natężeniem emisji (źródło ciągłe) trwał przez 60 minut. W wykonanych symulacjach zostały określone między innymi strefy występowania ofiar śmiertelnych, ciężkich uszkodzeń organizmów ludzkich oraz lekkich obrażeń i dyskomfortu ludzi.

”

Przewidywanie zasięgu skażeń chemicznych jest bardzo ważnym elementem oceny zagrożeń

W pierwszym kroku symulacji badano wpływ prędkości wiatru na wymiar obszaru skażonego. Przyjęto, że przeprowadzone badania dotyczą wiatru ze zmienną prędkością, w przedziale od 1 m/s do 8 m/s dla uśrednionych warunków meteorologicznych panujących w Polsce latem, zimą, wiosną oraz jesienią. W celu przedstawienia przybliżonego wymiaru strat ludzkich założono, że wszystkie warianty symulacji przeprowadzono w obszarze zabudowanym o gęstej strukturze mieszkaniowej, gdzie gęstość zaludnienia na km² wynosi 1000 osób. Z kolei w następnym kroku symulacji badano wpływ ilości uwolnionego materiału niebezpiecznego na zasięg stref skażonych. Analizie poddano cztery wielkości (5 t, 10 t, 15 t, 20 t) uwolnionych substancji chemicznych.

Na podstawie dotychczas wykonanych analiz odnoszących się do powstania możliwych zdarzeń stwierdzono, jak potwierdzają to przypadki z różnych części świata, że pojazdy drogowe z toksycznymi substancjami mogą być wykorzystane jako narzędzie zamachu terrorystycznego. W związku z tym, w następnym kroku symulacji przeanalizowano również powstanie zagrożenia w wyniku uprowadzenia pojazdu ADR przez terrorystów. Wówczas badane zdarzenie polegało na detonacji cysterny, wskutek czego wystąpiło uwolnienie całej ilości przewożonej niebezpiecznej substancji. Wtedy założono, że substancja ze zbiornika wydobyła się nagle, w bardzo krótkim czasie (źródło chwilowe). W celu przedstawienia maksymalnych strat ludzkich badanego

zdarzenia terrorystycznego, symulacje wykonano w warunkach atmosferycznych najbardziej korzystnych do powstawania niebezpiecznych dla człowieka stężeń toksycznej substancji. Dla zaprezentowania uzyskanych wyników, w następnym etapie przedstawiono prognozy skutków skażeń, z uwzględnieniem takich samych danych wyjściowych dla wybranych już badanych materiałów niebezpiecznych.

Chlor i skutki jego uwolnienia

Chlor jest silnie trującym, zielonożółtym gazem, o ostrym, duszącym zapachu, który rozpuszcza się w wodzie. Jest używany jako środek dezynfekcyjny do odkażania wody pitnej oraz jako materiał wyjściowy do produkcji licznych związków nieorganicznych, np. chloroformu, wapna chlorowanego, czterochloru węgla itp., a także ma zastosowanie w niektórych syntezach związków organicznych i służy do bielenia w przemyśle włókienniczym i celulozowym⁶. Chlor ma masę o około 2,5-krotnie większą od powietrza, co powoduje, że w pierwszej fazie po przedostaniu do otoczenia, pozostaje w miejscach o niewielkich ruchach wiatru, w bliskiej odległości od ziemi⁷.

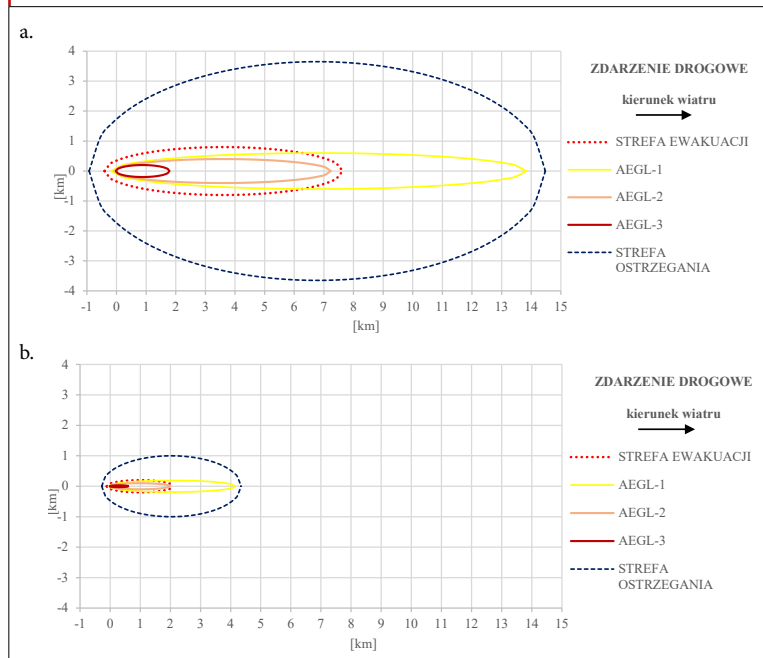
Przeprowadzona symulacja miała miejsce w terenie zabudowanym i dotyczyła poważnej awarii cysterny, w wyniku której wystąpiło przedostanie się do otoczenia pięciu ton chloru. Analizę tego zdarzenia wykonano dla różnych prędkości wiatru: zarówno w warunkach meteorologicznych letnich, jak i zimowych. Strefy stężeń dla różnych prędkości wiatru w czasie letnim i zimowym z trzema wartościami progowymi AEGL zobrazowano na rysunkach 2 oraz 3. Natomiast ich wymiary geometryczne oraz przybliżoną liczbę poszkodowanych osób w wyniku tego zdarzenia – ukazano w tabeli 1 i 2. Określone w symulacjach strefy skażenia, zagrażające życiu i zdrowiu ludzi, stanowią rozkład stężeń cząstek chloru dla danych warunków meteorologicznych występujących w Polsce. Poszczególne granice stref zostały zaznaczone na rysunkach przy użyciu następujących linii:

- strefa ostrzegania (linia kropkowana granatowa);
- strefa ewakuacji (linia kropkowana czerwona);
- strefa żółta AEGL-1 [60 min] 0,5 ppm (wartość stężenia chloru powodującego u człowieka lekkie zatrucie i dyskomfort);
- strefa pomarańczowa AEGL-2 [60 min] 2 ppm (wartość stężenia chloru powodującego u człowieka silne zatrucie);
- strefa czerwona AEGL-3 [60 min] 20 ppm (wartość stężenia chloru powodującego śmierć).

Porównując ze sobą wyniki symulacji, które przeprowadzono dla różnych uwarunkowań pogodowych stwierdzono, że najbardziej korzystne okoliczności na rozprzestrzenianie się szkodliwych dla człowieka stężeń cząstek chloru występują latem, przy najmniejszych prędkościach wiatru.

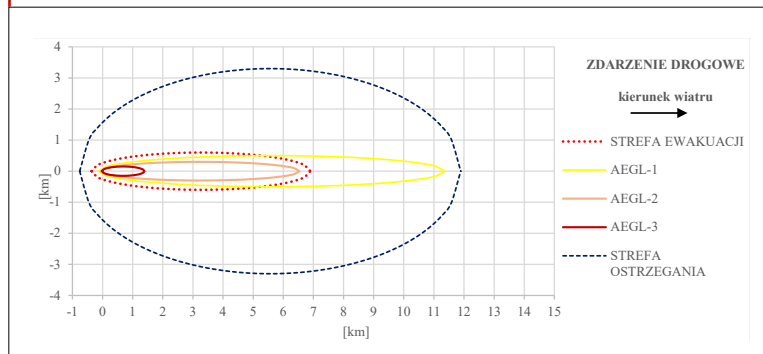
RYS. 2

Strefy skażeń powstałe po wycieku chloru w wyniku zdarzenia drogowego dla letnich warunków meteorologicznych, przy prędkości wiatru: a) 1 m/s, b) 8 m/s
(źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCH)



RYS. 3

Strefy skażeń powstałe po wycieku chloru w wyniku zdarzenia drogowego w zimowych warunkach meteorologicznych, dla prędkości wiatru 1 m/s
(źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCH)



TAB. 1

Zasięg oddziaływania chloru dla danych stref skażeń przy poszczególnych prędkościach wiatru
(źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCH)

V wiatru	Zasięg stref skażenia chlorem (5 ton / 60 min) [km]											
	AEGL 3				AEGL 2				AEGL 1			
	lato		zima		lato		zima		lato		zima	
	Dł.	Szer.	Dł.	Szer.	Dł.	Szer.	Dł.	Szer.	Dł.	Szer.	Dł.	Szer.
1 m/s	1,8	0,4	1,4	0,3	7,3	0,8	6,6	0,6	14	1,2	11,5	1,0
2 m/s	1,4	0,2	1,1	0,16	5,2	0,4	3,9	0,36	10	0,7	8,1	0,68
3 m/s	0,98	0,14	0,93	0,13	3,4	0,35	3,2	0,32	6,9	0,6	6,6	0,6
4 m/s	0,85	0,12	0,81	0,10	2,9	0,32	2,8	0,28	6,0	0,56	5,7	0,48
5 m/s	0,76	0,1	0,73	0,8	2,6	0,3	2,5	0,26	5,3	0,5	5,1	0,43
6 m/s	0,69	0,08	0,66	0,06	2,3	0,24	2,2	0,22	4,8	0,44	4,6	0,4
7 m/s	0,65	0,07	0,61	0,05	2,15	0,22	2,1	0,2	4,5	0,41	4,3	0,38
8 m/s	0,60	0,06	0,57	0,04	2,0	0,2	1,9	0,18	4,2	0,38	4,0	0,36

Jak widać na rysunku 2a oraz w tabelach 1 i 2, uwolnienie chloru do atmosfery w terenie zabudowanym o założonej na wstępie gęstości zaludnienia, w warunkach letnich przy wietrze 1 m/s, może spowodować obrażenia u około 13 195 osób, w tym:

- śmierć ludzi znajdujących się w odległości do 1,6 km w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (503 ofiary);
- ciężkie uszkodzenia ciała u ludzi znajdujących się w odległości do 7,3 km w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (4 084 osoby ciężko ranne);
- lekkie uszkodzenia ciała u ludzi znajdujących się w odległości do 14 km w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (8 608 osób lekko rannych).

”
Prognozowanie skutków niebezpiecznych zdarzeń drogowych z udziałem toksycznych substancji to jeden z głównych elementów nadzorowania bezpieczeństwa w kontekście przeciwdziałania tego typu poważnym awariom

Na rysunku 4a oraz 4b zobrazowano graficznie dla analizowanych przypadków zestawienie wartości zasięgu stref AEGL-3, AEGL-2 i AEGL-1, gdzie a) prędkość wiatru 1÷8 m/s, ilość uwalnianego chloru 5 t, warunki pogodowe letnie i zimowe, b) masa uwolnionego chloru 5 t, 10 t, 15 t, 20 t, prędkość wiatru 2 m/s, warunki pogodowe letnie i zimowe. Przedstawione wykresy stanowią wyniki symulacji, które pozwalają stwierdzić, jak warunki meteorologiczne oraz ilość uwolnionego chloru wpływa na rozprzestrzenianie się w atmosferze trujących cząstek chloru i na – co jest z tym związane – zasięg stref zagrażających życiu i zdrowiu ludzi. Można stwierdzić, że dla zadanych warunków trująca chmura z chlorem zmniejsza swój zasięg wraz ze wzrostem prędkości wiatru, przy czym zmiana strefy AEGL-3 jest łagodniejsza (letnie warunki z 1,8 km do 0,6 km, zimowe z 1,4 km do 0,57 km), w porównaniu do stref AEGL-2 (letnie z 7,3 km do 2,0 km, zimowe z 6,6 km do 1,9 km) i AEGL-1 (letnie z 14 km do 4,2 km, zimowe 11,5 km do 4,0 km).

W celu określenia wpływu ilości uwolnionej substancji na rozmiar szkodliwych stref konieczne jest wprowadzenie współczynnika proporcji ilości do zasięgu, zwanego dalej WspIz. W celach obliczeniowych,

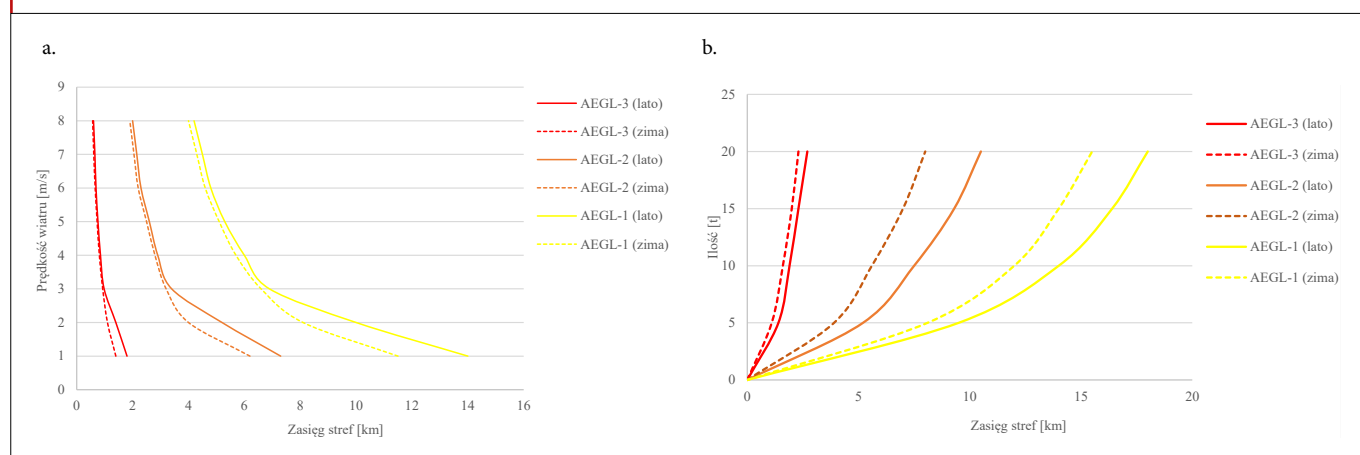
TAB. 2

Liczba poszkodowanych wskutek oddziaływania chloru dla danych stref skażeń przy poszczególnych prędkościach wiatru (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)

V wiatru	Liczba poszkodowanych po skażeniu chlorem (5 ton 60 min)							
	AEGL 3		AEGL 2		AEGL 1		SUMA	
	lato	zima	lato	zima	lato	zima	lato	zima
	liczba ofiar	liczba ofiar	liczba rannych	liczba rannych	liczba lekko rannych	liczba lekko rannych	poszkodowanych	
1 m/s	503	330	4 048	2 780	8 608	5 922	13 195	9 032
2 m/s	220	138	1 414	964	5 513	3 223	7 147	4 325
3 m/s	108	95	827	709	2 317	2 306	3 252	3 110
4 m/s	81	64	648	552	1 910	1 533	2 639	2 149
5 m/s	60	46	553	465	1 469	1 212	2 082	1 723
6 m/s	44	31	390	349	1 225	1 065	1 659	1 445
7 m/s	36	24	336	306	1 078	953	1 450	1 283
8 m/s	28	18	286	251	939	862	1 253	1 131

RYS. 4

Zasięg stref AEGL-3, AEGL-2, AEGL-1 po uwolnieniu chloru dla różnych: a) prędkości wiatru, b) ilości uwolnionej substancji (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)



TAB. 3

Wartości współczynnika ilości uwolnionego chloru do zasięgu skażonych stref (WspIZ) (źródło: opracowanie własne)

Ilość MN [t]	AEGL-3 LATO	AEGL-3 ZIMA	AEGL-2 LATO	AEGL-2 ZIMA	AEGL-1 LATO	AEGL-1 ZIMA
5	1	1	1	1	1	1
10	1,36	1,45	1,44	1,44	1,47	1,48
15	1,64	1,81	1,79	1,79	1,73	1,72
20	1,93	2,09	2,02	2,05	1,89	1,91

ny wzrost zasięgu strefy AEGL-1 z 1,4 km do 2,7 km (WspIZ = 1,93), a w warunkach zimowych z 1,1 km do 2,3 km (WspIZ = 2,09). Następnie AEGL-2 w letnich warunkach zwiększa się z 5,2 km do 10,5 km (WspIZ = 2,02), a w warunkach zimowych z 3,9 km do 8 km (WspIZ = 2,05). Natomiast zasięg strefy AEGL-3 w warunkach letnich w tym przypadku zwiększa się z 9,5 km do 18 km (WspIZ = 1,89), a w zimowych – z 8,1 km do 15,5 km (WspIZ = 1,91).

Chlor i jego wykorzystanie w zamachu terrorystycznym

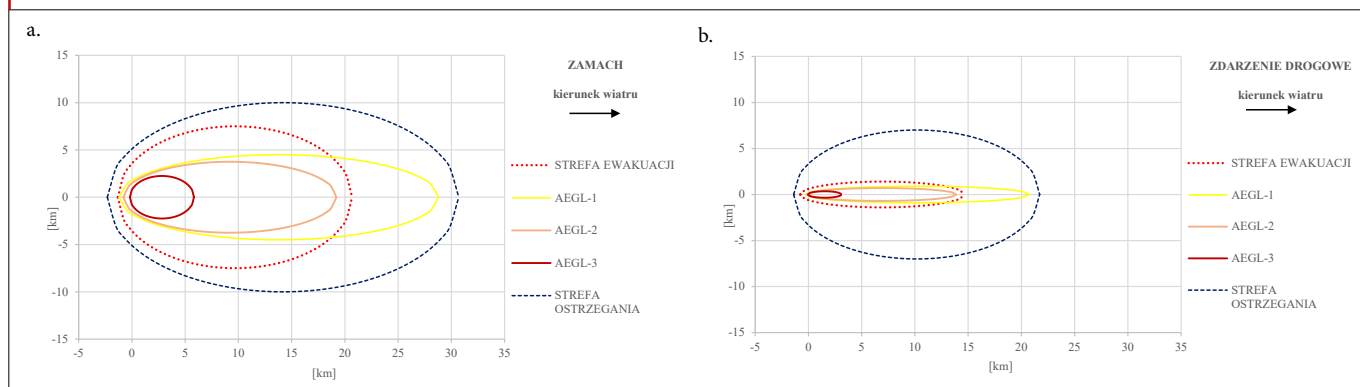
Symulowane zdarzenie polegało, tak jak przyjęto w założeniach początkowych, na uwolnieniu w bardzo krótkim czasie 100% przewożonej substancji niebezpiecznej poprzez detonację cysterny w najbardziej korzystnych (dla rozprzestrzeniania się toksycznej chmury) warunkach atmosferycznych. Strefy stężeń w wyniku tego typu zdarzenia, po uwolnieniu do

w dalszych analizach tej i innej substancji niebezpiecznej przyjęto, że 5 ton uwolnionego materiału niebezpiecznego jest wartością początkową i dla niej współczynnik wynosi 1.

Analizując wpływ ilości uwolnionego chloru na zasięg skażonych stref można stwierdzić, że zwiększenie ilości uwolnionego chloru z 5 do 20 ton, w warunkach letnich, wpływa na prawie dwukrot-

RYS. 5

Strefy skażeń powstałe w wyniku a) zamachu, b) zdarzenia drogowego cysterny z chlorem w letnich warunkach meteorologicznych, przy prędkości wiatru 1 m/s (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)



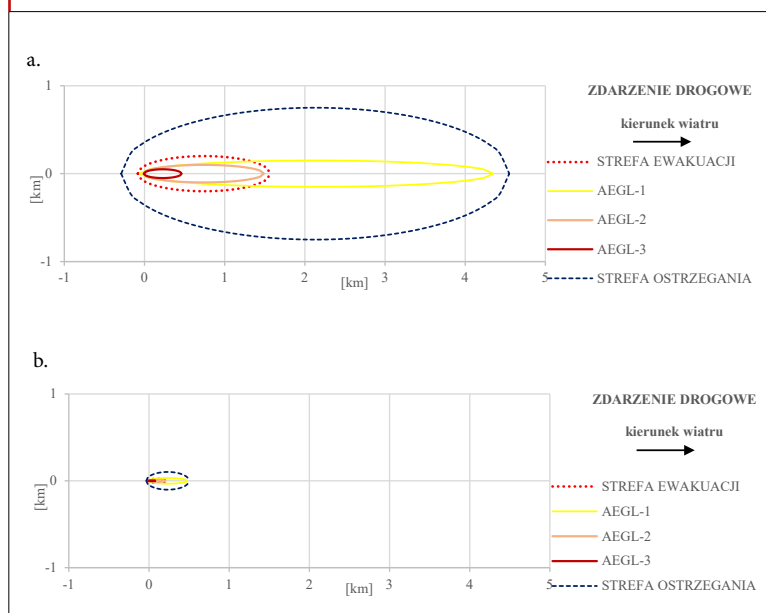
TAB. 4

Skutki skażeń powstałych w wyniku zamachu terrorystycznego i zdarzenia drogowego – porównanie (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)

	Liczba osób poszkodowanych i zasięg stref skażenia uwolnionym chlorem [km]											
	AEGL-3				AEGL-2				AEGL-1			
	Zamach		Zdarzenie drogowe		Zamach		Zdarzenie drogowe		Zamach		Zdarzenie drogowe	
	dl.	szer.	dl.	szer.	dl.	szer.	dl.	szer.	dl.	szer.	dl.	szer.
Zasięg strefy skażonej	6,0	4,5	3,1	0,7	20	7,5	14	1,4	30	9,0	21	1,8
Liczba	21 206 ofiar		1 704 ofiar		96 604 rannych		13 689 rannych		94 248 lekko rannych		14 294 lekko rannych	
Liczba	poszkodowanych w zamachu terrorystycznym								212 058			
	poszkodowanych w zdarzeniu drogowym								29 687			

RYS. 6

Strefy skażeń powstałe po wycieku amoniaku w wyniku zdarzenia drogowego dla letnich warunkach meteorologicznych przy prędkości wiatru a) 1 m/s, b) 8 m/s (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)



atmosfery chloru, z określonymi wartościami progowymi AEGL, zobrazowano na rysunku 5a.

Dla zobrazowania wielkości skażenia powstałego po detonacji cysterny w wyniku ataku terrorystycznego, wykonano porównanie graficzne oraz liczbowe (tab. 4) tego zdarzenia ze skażeniem powstałym po rozszczelnieniu cysterny wskutek zdarzenia drogowego (rys. 5b). Symulacje tych dwóch porównywanych zdarzeń zostały wykonane w takich samych warunkach atmosferycznych oraz dla takich samych ilości uwolnionego chloru. Różnią się od siebie tylko rodzajem sposobu uwolnienia substancji niebezpiecznej, gdzie w przypadku zamachu terrorystycznego zadano źródło chwilowe (bardzo szybkie uwolnienie 100% materiału niebezpiecznego), natomiast dla zdarzenia drogowego – źródło ciągłe (w czasie 60 minut uwolniono 100% materiału niebezpiecznego).

W przypadku uwolnienia chloru w wyniku zamachu terrorystycznego, przy bardzo korzystnych warunkach na powstawanie niebezpiecznych stężeń, strefy skażone powodują obrażenia u około 212 tys. ludzi (około 21 tys. ofiar), natomiast w wyniku zdarzenia drogowego obrażenia występują u około 29,5 tys. osób (z czego około 1,7 tys. ofiar).

Amoniak i skutki jego uwolnienia

Amoniak to związek chemiczny nieorganiczny azotu i wodoru. Jest szeroko stosowany w przemyśle przy produkcji nawozów sztucznych, kwasu azotowego, a także węgla sodu. Używa się go przy wytwarzaniu tkanin syntetycznych, cyjanowodoru i materiałów wybuchowych, ma też zastosowanie jako czynnik chłodniczy⁸.

Następne z kolei, badane w programie SPRSch zdarzenie, przedstawia – w takich samych warunkach meteorologicznych jak we wcześniejszych symulacjach – poważną awarię cysterny przewożącej dwadzieścia ton amoniaku, która również miała miejsce w terenie zabudowanym. Przyjęto, że w rezultacie zdarzenia drogowego doszło do rozszczelnienia cysterny, skutkiem czego było uwolnienie do atmosfery pięciu ton amoniaku.

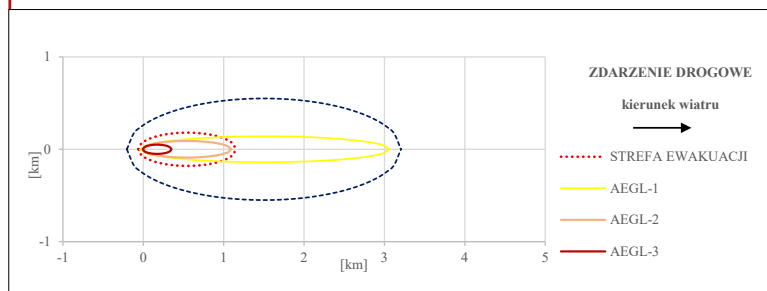
Strefy z określonymi wartościami progowymi AEGL dla różnych prędkości wiatru oraz warunków letnich i zimowych zobrazowano na rysunkach 6 i 7. Ich wartości wymiarów geometrycznych oraz liczbę poszkodowanych ludzi w wyniku tego zdarzenia – pokazano w tabeli

5 i 6. Poszczególne granice stref zostały zaznaczone na rysunkach przy użyciu następujących linii:

- strefa ostrzegania (linia przerywana granatowa);
- strefa ewakuacji (linia kropkowana czerwona);
- strefa żółta AEGL-1 [60 min] 30 ppm (wartość stężenia chloru powodującego u człowieka lekkie zatrucie);
- strefa pomarańczowa AEGL-2 [60 min] 160 ppm (wartość stężenia chloru powodującego u człowieka silne zatrucie);
- strefa czerwona AEGL-3 [60 min] 1100 ppm (wartość stężenia chloru powodującego u człowieka śmierć).

RYS. 7

Strefy skażeń powstałe po wycieku amoniaku w wyniku zdarzenia drogowego w zimowych warunkach meteorologicznych, dla prędkości wiatru 1 m/s (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCh)



Analizując symulację skutków niekontrolowanego uwolnienia amoniaku do otoczenia, przy założeniach jak na początku tego podpunktu, można stwierdzić, że obrażenia w wyniku tego zdarzenia wystąpią u około 1 037 osób, w tym:

TAB. 5

Zasięg oddziaływania amoniaku dla danych stref skażeń przy poszczególnych prędkościach wiatru (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCh)

V wiatru	Zasięg stref skażenia amoniakiem (5 ton / 60 min) [km]											
	AEGL 3				AEGL 2				AEGL 1			
	lato		zima		lato		zima		lato		zima	
	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.
1 m/s	0,46	0,1	0,35	0,1	1,5	0,2	1,1	0,18	4,4	0,3	3,1	0,28
2 m/s	0,25	0,05	0,15	0,04	0,75	0,07	0,4	0,06	2,1	0,2	1,5	0,18
3 m/s	0,13	0,03	0,12	0,03	0,34	0,05	0,3	0,04	0,8	0,16	0,77	0,14
4 m/s	0,11	0,02	0,10	0,01	0,29	0,04	0,3	0,03	0,7	0,12	0,66	0,1
5 m/s	0,1	0,01	0,09	0,01	0,26	0,03	0,2	0,03	0,6	0,09	0,59	0,08
6 m/s	0,09	0,01	0,08	0,01	0,23	0,03	0,2	0,02	0,6	0,08	0,53	0,07
7 m/s	0,08	0,01	0,07	0,01	0,22	0,02	0,2	0,02	0,5	0,07	0,49	0,06
8 m/s	0,08	0,01	0,07	0,01	0,2	0,02	0,2	0,02	0,5	0,06	0,46	0,06

TAB. 6

Liczba poszkodowanych wskutek oddziaływania amoniaku dla danych stref skażeń przy poszczególnych prędkościach wiatru (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCh)

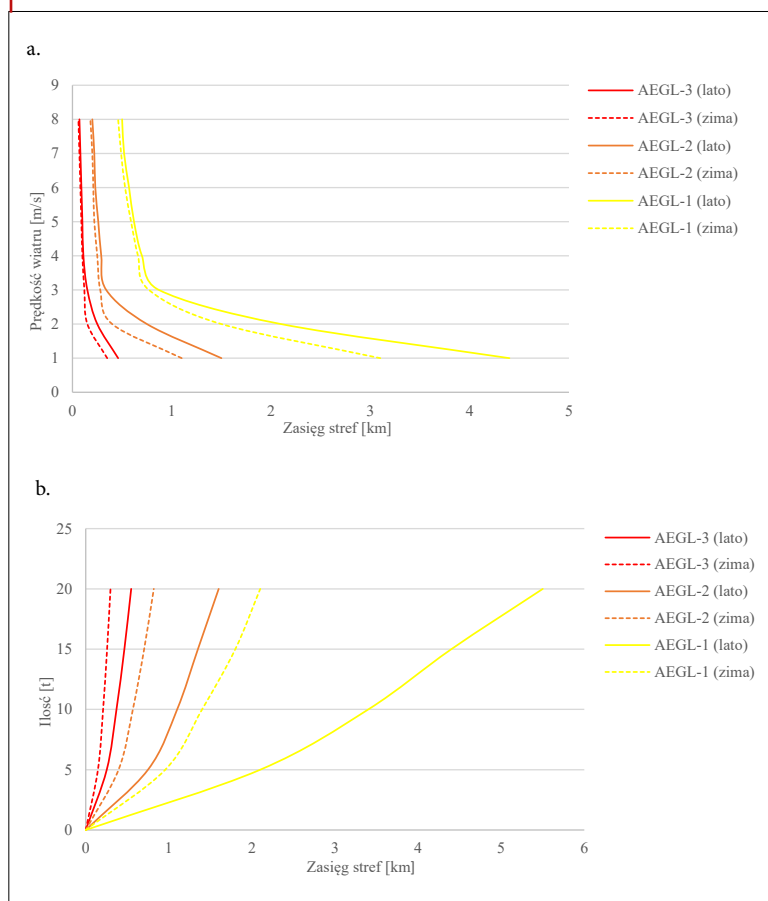
V wiatru	Liczba poszkodowanych po skażeniu amoniakiem (5 ton / 60 min)							
	AEGL 3		AEGL 2		AEGL 1		SUMA	
	lato	zima	lato	zima	lato	zima	lato	zima
	liczba ofiar	liczba ofiar	liczba rannych	liczba rannych	liczba lekko rannych	liczba lekko rannych	poszkodowanych	
1 m/s	37	28	199	128	801	526	1 037	682
2 m/s	10	5	34	13	286	117	330	135
3 m/s	3	3	10	9	89	73	102	85
4 m/s	1	1	8	6	56	44	65	51
5 m/s	1	1	6	5	37	31	44	37
6 m/s	1	1	5	4	30	25	36	30
7 m/s	1	0	4	3	24	21	29	24
8 m/s	0	0	3	3	21	19	24	22

- śmierć ludzi znajdujących się w odległości do 0,465 km, w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (37 ofiar);
- ciężkie uszkodzenia ciała u ludzi znajdujących się w odległości do 1500 m, w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (199 osoby ciężko ranne);
- lekkie uszkodzenia ciała u ludzi znajdujących się w odległości do 4 400 m, w kierunku wiatru od źródła powstałego skażenia (801 osób lekko rannych).

Na rysunku 8a oraz 8b zobrazowano przebieg zasięgu stref AEGL-3, AEGL-2 i AEGL-1 dla następujących przypadków: a) prędkość wiatru w przedziale 1÷8 m/s,

ilość uwalnianego amoniaku 5 t, warunki pogodowe letnie i zimowe, b) masa uwolnionego amoniaku 5 t, 10 t, 15 t, 20 t, prędkość wiatru 2 m/s, warunki pogodowe letnie i zimowe. Powyższe wykresy stanowią wyniki symulacji, które pokazują, jak warunki meteorologiczne oraz ilość uwolnionego amoniaku wpływają na rozprzestrzenianie się trujących cząstek i zarazem na zasięg stref, w których występuje zagrożenie dla człowieka. Na podstawie wykresów można stwierdzić, że w zadanych warunkach trująca chmura z amoniakiem zmniejsza swój zasięg wraz ze wzrostem prędkości wiatru, przy czym zmiana stref AEGL-3 (letnie warunki z 0,46 do 0,07 km, zimowych z 0,35 do 0,06) i strefy AEGL-2 (letnie z 1,5 do 0,2 km, zimowe z 1,1÷0,18 km) jest łagodniejsza w porównaniu do AEGL-1 (letnie z 4,4 do 0,5 a zimowe z 3,1 do 0,46 km).

RYS. 8
Zasięg stref AEGL-3, AEGL-2, AEGL-1 po uwolnieniu amoniaku dla różnych: a) prędkości wiatru, b) ilości uwolnionej substancji
(źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSch)



TAB. 7
Wartości współczynnika ilości uwolnionego amoniaku do zasięgu skażonych stref (WspIZ)
(źródło: opracowanie własne)

Ilość MN [t]	AEGL-3 LATO	AEGL-3 ZIMA	AEGL-2 LATO	AEGL-2 ZIMA	AEGL-1 LATO	AEGL-1 ZIMA
5	1	1	1	1	1	1
10	1,46	1,42	1,47	1,44	1,62	1,46
15	1,84	1,75	1,80	1,78	2,09	1,88
20	2,16	2,03	2,14	2,07	2,62	2,19

”

Biorąc pod uwagę charakter oraz ilość transportów substancji i przedmiotów niebezpiecznych, ryzyko zaistnienia zagrożenia jest bardzo duże

W tabeli 7 przedstawiono wartości liczbowe współczynnika ilości uwolnionego amoniaku do zasięgu skażonych stref. Wraz ze wzrostem uwolnionego amoniaku z 5 t do 20 t, zasięg stref AEGL-1 zwiększa się z 0,25 km do 0,54 km (WspIZ = 2,16) dla warunków letnich, a z 0,15 km do 0,3 km (WspIZ = 2,03) – warunki zimowe. Natomiast zasięg strefy AEGL-2 w warunkach letnich powoduje w tym przypadku zwiększenie zasięgu strefy zagrożonej z 0,75 km do 1,6 km (WspIZ = 2,14) – warunki letnie. Dla warunków zimowych takie czterokrotne zwiększenie uwolnionego amoniaku powoduje zmianę zasięgu z 0,39 km do 0,81 km (WspIZ = 2,07). Z kolei w tym samym przypadku, po takim zwiększeniu ilości uwolnionego materiału, strefa AEGL-1 zmienia się dla warunków letnich z 2,1 km do 5,5 km (WspIZ = 2,62), a w warunkach zimowych z 0,96 km do 2,1 km (WspIZ = 2,19).

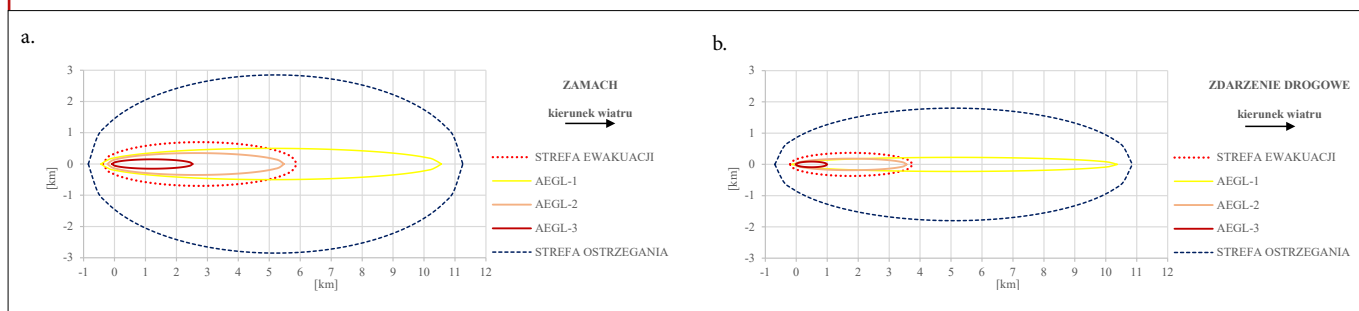
Analizując otrzymane wyniki symulacji dotyczących rozprzestrzeniania się amoniaku, łatwo można zauważyć, że na wielkość skażonych stref – a w szczególności AEGL-1 – mają wpływ warunki meteorologiczne, które występują latem (wysoka temperatura, niska wilgotność względna powietrza).

Amoniak i jego wykorzystanie w zamachu terrorystycznym

Badaniu poddano sytuację, w której miało miejsce – w bardzo krótkim czasie – uwolnienie 100% przewo-

RYS. 9

Strefy skażeń powstałe w wyniku: a) zamachu, b) zdarzenia drogowego cysterny z amoniakiem w letnich warunkach meteorologicznych dla prędkości wiatru 1 m/s (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCh)



TAB. 8

Strefy skażeń powstałe w wyniku zamachu terrorystycznego i zdarzenia drogowego – porównanie (źródło: opracowanie własne przy użyciu autorskiego programu SPRSCh)

	Liczba osób poszkodowanych i zasięg stref skażenia uwolnionym amoniakiem [km]											
	AEGL-3				AEGL-2				AEGL-1			
	Zamach		Zdarzenie drogowe		Zamach		Zdarzenie drogowe		Zamach		Zdarzenie drogowe	
	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.	dł.	szer.
Zasięg strefy skażonej	2,6	0,3	1,0	0,18	5,7	0,7	3,6	0,37	11,0	1,0	10,5	0,45
Liczba	613 ofiar		141 ofiar		2 521 rannych		905 rannych		5 506 lekko rannych		2 665 lekko rannych	
Liczba	poszkodowanych w zamachu terrorystycznym								8 640			
	poszkodowanych w zdarzeniu drogowym								3 711			

żonej substancji niebezpiecznej w letnich warunkach atmosferycznych przy prędkości wiatru 1 m/s. Strefy stężeń po takim uwolnieniu do atmosfery materiału niebezpiecznego, z określonymi wartościami progowymi AEGL, zobrazowano na rysunku 9 a. Dla ukazania wielkości skażenia powstałego w rezultacie zamachu terrorystycznego porównano go graficznie oraz liczbowo (tab. 8) z wcześniej wykonaną analizą dla warunków meteorologicznych, takich samych jak

w tej przeprowadzonej symulacji, tylko przy uwolnieniu materiału niebezpiecznego powstałego w wyniku zdarzenia drogowego cysterny (rys. 9b).

W przypadku zamachu terrorystycznego, podczas uwolnienia amoniaku, strefy skażenia powodują obrażenia u około 8,6 tys. ludzi (około 613 ofiar). Natomiast w wyniku zdarzenia drogowego występują obrażenia u około 3,7 tys. osób (około 141 ofiar).

TOKSYCZNA CHMURA

Ilość uwolnionej substancji toksycznej i jej właściwości fizykochemiczne oraz prędkość przedostawania się do środowiska mają decydujący wpływ na wielkość toksycznej chmury zagrażającej organizmom żywym



foto. 123rf

Nagle i gwałtowne zdarzenia drogowe z udziałem materiałów niebezpiecznych mogą powodować powstawanie bardzo dużego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego na znacznych obszarach – zarówno wysoko, jak i niskozurbanizowanych. Wielkość skażonych obszarów oraz stopień szkodliwych stężeń zależy przede wszystkim od rodzaju biorącej udział w zdarzeniu substancji toksycznej, sposobu jej przedostania do otoczenia, ale także od warunków meteorologicznych. Analizując symulacje dotyczące różnych materiałów niebezpiecznych można stwierdzić, że ilość uwolnionej substancji toksycznej i jej właściwości fizyko-chemiczne oraz prędkość przedostawania się do środowiska mają decydujący wpływ na wielkość toksycznej chmury zagrażającej organizmom żywym.

Dodatkowymi sprzyjającymi czynnikami, które mają duży wpływ na obszar skażenia niebezpieczną substancją, są warunki meteorologiczne ze znaczącym uwzględnieniem siły ruchów powietrza (wiatru).

Zestawienie wyników wykonanych badań symulacyjnych dla różnych prędkości wiatru pokazało, że czynnik ten ma bardzo duży wpływ na rozprzestrzenianie cząstek substancji, gdyż wraz ze wzrostem jego prędkości maleje rozmiar toksycznej chmury. Stężenie toksycznej substancji jest również zależne od temperatury powietrza, która ma wpływ na wilgotność – wraz z jej wzrostem wilgotność powietrza maleje. Zachmurzenie oraz opady atmosferyczne i zwiększona wilgotność powietrza powodują zmniejszenie stężenia uwalnianej do otoczenia toksycznej substancji. Zjawisko to jest konsekwencją procesów takich jak absorpcja na powierzchni cząstek wody oraz rozpuszczanie się niebezpiecznego materiału w wodzie. Znaczny stopień zachmurzenia zwiększa występowanie chmur, które mogą pochłaniać cząsteczki szkodliwej substancji. Wraz ze wzrostem ilości substancji toksycznej w atmosferze zwiększają się strefy skażenia, a zarazem liczba osób poszkodowanych. Sytuacja jest diametralnie najgorsza w przypadku nagłego przedostania się do otoczenia całej ilości przewożonej toksycznej substancji, bo wtedy rozmiar stref skażenia jest bardzo duży, a liczba poszkodowanych osób – znacząco większa.

Prognozowanie skutków niebezpiecznych zdarzeń drogowych z udziałem toksycznych substancji to jeden

z głównych elementów nadzorowania bezpieczeństwa w kontekście przeciwdziałania tego typu poważnym awariom. Przedstawione w artykule symulacje uwalniania materiałów niebezpiecznych, z udziałem cystern, są przypadkami o skrajnie niebezpiecznych oraz wysoce szkodliwych skutkach i dotyczą zdarzeń, które mogą mieć miejsce w Polsce. Przeprowadzone badania w postaci symulacji wpływają na wyznaczenie stref zagrożenia dla ludzi, przez co stanowią jeden z kilku analizowanych elementów projektowanego systemu.

Przypisy

- ¹ W. Drewek, Ryzyko powstania wypadku w transporcie drogowym towarów niebezpiecznych, *Logistyka – nauka*, Logistyka 6/2014, Poznań 2014, s. 550.
- ² Raport NIK, Realizacja przez organy państwa i samorządu terytorialnego zadań w zakresie przewozu drogowego towarów niebezpiecznych, Warszawa 2018, s. 86.
- ³ A. Obolewicz, Wypadki z udziałem towarów niebezpiecznych w transporcie drogowym, *Opakowanie 10/2018*, Warszawa 2018, s. 14.
- ⁴ Astel A., Symulacja komputerowa jako narzędzie przewidywania skutków katastrof w przemyśle chemicznym, *Problemy Ekologii*, vol. II, nr 3, maj-czerwiec 2007.
- ⁵ ALOHA Areal Locations of Instructor Manual Hazardous Atmospheres, Washington 1999, s. 5.
- ⁶ https://www.naukowiec.org/wiedza/chemia/chlor_534.html [20.06.2024 r.].
- ⁷ <https://www.products.pcc.eu/pl/id/16740/chlor/> [25.06.2024 r.].
- ⁸ <https://www.szkolnictwo.pl/szukaj,Amoniak> [20.06.2024] ■

Reklama

 kierunek**chemia**.pl

**W NASZYM
WYDANIU**
chemia nie jest
skomplikowana

W GRUPIE PORTALI




GESTRA jest światowym liderem w dziedzinie projektowania i produkcji zaworów oraz systemów kontroli pary i kondensatu.

Nasze urządzenia można znaleźć wszędzie tam, gdzie:

- para wodna jest wytwarzana, przesyłana lub wykorzystywana
- występują przepływy czynników ciekłych lub gazowych
- istotne są oszczędności energii oraz ochrona środowiska
- ważną rolę odgrywa niezawodność działania i szczelność zamknięcia



Urządzenia **GESTRA** od lat sprawdzają się w **krytycznych aplikacjach!**

Inżynierowie **GESTRA** zapewniają wsparcie przy realizowanych projektach. Wiedzą i doświadczeniem wspieramy zarówno na etapie projektowania, jak również w fazie wykonywania instalacji.

Nasze rozwiązania dla energetyki cechuje **dobór pod konkretne wymagania klienta**, co w połączeniu z wysoką jakością produktów gwarantuje długoletnią bezawaryjną pracę.

Oferta dla przemysłu chemicznego obejmuje m.in.:

- program poprawy efektywności energetycznej w oparciu o badanie poprawności pracy odwadniaczy pary[®]
- odwadniacze instalacji parowych
- wyposażenie systemów ogrzewania towarzyszącego
- systemy monitorowania poprawności pracy odwodnień rurociągów pary
- stacje redukcyjne i redukcyjno-schładzające
- zawory i kłapy zwrotne (również na media inne niż para)
- zawory bezpieczeństwa, ograniczniki temperatury
- zawory regulacji temperatury powrotu oleju
- układy kontroli zaolejenia i zmętnienia kondensatu
- pomiary przepływu pary, wody, gazów i cieczy
- zbiorniki oraz inne specjalne urządzenia dla instalacji pary lub kondensatu, projektowane pod indywidualne potrzeby



Rozwiązywanie problemów to nasza specjalność, dlatego zapraszamy do skorzystania z **bezpłatnych konsultacji technicznych** oraz oferty audytów systemów pary i kondensatu!



Fot. Grupa Azoty S.A.

AZOTY 2024

ĆWICZENIA TAKTYCZNO-BOJOWE

Grupa Azoty S.A.

Praca w przemyśle chemicznym wiąże się z koniecznością szczególnej troski o bezpieczeństwo pracowników. Ważnym elementem w jego zapewnieniu są regularne szkolenia w zakresie obsługi sprzętu oraz znajomości procedur awaryjnych. Przykładem mogą być tu przeprowadzone na terenie Grupy Azoty S.A. ćwiczenia taktyczno-bojowe o kryptonimie „AZOTY 2024”.

W branży chemicznej występują substancje niebezpieczne, które mogą stwarzać zagrożenie dla ludzi, jeśli nie są odpowiednio kontrolowane. Ponadto technologie wymagające pracy w wysokich temperaturach i pod dużym ciśnieniem zwiększają ryzyko wypadków i awarii. Dlatego kluczowe jest wprowadzenie odpowiednich

procedur bezpieczeństwa, przeprowadzania ćwiczeń służb ratowniczych oraz ciągły nadzór, aby zapewnić bezpieczne warunki dla pracowników oraz bezpieczeństwo dla środowiska.

Nie można tu także zapominać o aspekcie psychicznym. Stworzenie kultury pracy, w której bezpieczeństwo jest priorytetem, wiąże się z budo-

waniem świadomości i odpowiedzialności wśród pracowników oraz społeczności lokalnej. Otwarte komunikowanie potencjalnych zagrożeń oraz promowanie dobrych praktyk przyczyniają się do tworzenia bezpiecznego i przyjaznego środowiska pracy i życia w otoczeniu zakładów wysokiego ryzyka. Do takich przedsiębiorstw należy Grupa Azoty, której największe fabryki mieszczą się w Tarnowie, Puławach Policach i Kędzierzynie-Koźlu. Ciągłe udoskonalanie się poprzez ćwiczenia taktyczno-bojowe służb ratowniczych, doposażanie jednostek zakładowych straży pożarnych funkcjonujących na terenie powyższych spółek to priorytetowe zadania tych zakładów produkcyjnych.

Co robić, aby pracownicy oraz mieszkańcy otoczenia fabryk mogli czuć się bezpiecznie? Przede wszystkim przygotować się na potencjalne zagrożenia, ćwiczyć i edukować.

Ćwiczenia taktyczno-bojowe w tarnowskiej spółce

Dobrym przykładem są przeprowadzone niedawno na terenie Grupy Azoty S.A. w Tarnowie wojewódzkie ćwiczenia taktyczno-bojowe o kryptonimie „AZOTY 2024”. Ich celem było zapoznanie wszystkich jego uczestników – prawie stu osób z różnych jednostek ratowniczych – z warunkami ochrony przeciwpożarowej i możliwymi utrudnieniami podczas prowadzenia działań na terenie zakładu dużego ryzyka oraz dosko-

NA WYPADEK SYTUACJI KRYZYSOWYCH

– Te ćwiczenia są bardzo dla nas ważne, gdyż jesteśmy zakładem dużego ryzyka, co się wiąże z szeregiem obowiązków, które musimy spełniać – mówi

Zbigniew Paprocki, członek zarządu, dyrektor generalny Grupy Azoty S.A. – Ćwiczenia z wieloma służbami, z którymi na co dzień musimy współpracować, czyli PSP, Centrum Zarządzania Kryzysowego Miasta Tarnowa, straż miejska, policja, Inspektor Ochrony Środowiska są niezbędne, aby potwierdzić nasze przygotowanie jako zakładu do działań w sytuacjach kryzysowych – zaznacza przedstawiciel zarządu.



Fot. Grupa Azoty S.A.

nalenie umiejętności realizacji działań ratowniczych w takich obiektach.

Cenne doświadczenia zdobyte podczas manewrów na pewno przyczynią się do zwiększenia bezpieczeństwa zarówno pracowników Grupy Azoty, jak i mieszkańców okolicznych miejscowości. Tożsame działania są prowadzone na terenie każdego zakładu produkcyj-



ĆWICZENIA taktyczno-bojowe w Grupie Azoty S.A.

Fot. Grupa Azoty S.A.

ĆWICZENIA
taktyczno-bojowe
w Grupie Azoty S.A.



Fot. Grupa Azoty S.A.

nego należącego do Grupy Kapitałowej Grupa Azoty. Warto również podkreślić, że inwestycje w nowoczesny sprzęt, jak choćby wyposażenie zakładowej straży pożarnej w samochód bojowo-gaśniczy oraz ciągłe doskonalenie procedur ratowniczych, stanowią istotny element polityki bezpieczeństwa Grupy Azoty.

Podczas ćwiczeń zrealizowano kilka scenariuszy, które miały na celu skoordynować działania wielu jednostek. Wśród zaplanowanych etapów znalazły się między innymi: wybuch zbiornika ciśnieniowego, rozszczelnienie przyłącza z nasady dolnej cysterny

na bocznicę kolejowej, niekontrolowany upadek części konstrukcji podczas prac rozbiórkowych, a także wzrost temperatury na kolumnach reakcyjnych. Wielość zadań i ich złożoność to duże wyzwanie również dla koordynatorów akcji ratunkowych. W tym wypadku udało się to doskonale i każdy ze scenariuszy został w pełni zrealizowany.

Ćwiczenia przeprowadzone były we współpracy Zakładowej Straży Pożarnej Grupy Azoty S.A. z Komendą Miejską Państwowej Straży Pożarnej w Tarnowie, Komendą Wojewódzką Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, ochotniczymi strażami pożarnymi z Tarnowa-Rzędzina, Wojnicza, Żabna, Gromnika i Zgłobiec. W wydarzenie zaangażowani byli również: kierownictwo Grupy Azoty S.A., wydziałowe grupy ratownicze, Służba Ochrony Zakładu, policja, pogotowie ratunkowe (aplikacyjnie), pogotowie energetyczne (aplikacyjnie), pogotowie gazowe (aplikacyjnie), Urząd Miasta Tarnowa, Starostwo Powiatowe w Tarnowie, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie, Oddział w Tarnowie.

Zaproszenie do udziału w przedsięwzięciu tak dużej liczby służb i instytucji współdziałających pozwoliło na pełne symulowanie sytuacji kryzysowej z udziałem różnych jednostek ratowniczych. Szerokie grono uczestników miało na celu nie tylko sprawdzenie gotowości i skuteczności działania służb, ale również zacieśnienie współpracy między nimi. Dzięki takim inicjatywom możliwe jest podnoszenie standardów bezpieczeństwa oraz przygotowanie na ewentualne realne zagrożenia w przyszłości. Jest to doskonalenie umiejętności realizacji działań ratowniczych w zakładach wysokiego ryzyka. Tego typu działania nie tylko wzmacniają zaufanie społeczne, ale także przyczyniają się do budowania kultury bezpieczeństwa w całym sektorze przemysłowym. ■

ĆWICZENIA I EDUKACJA

– Ćwiczenia były doskonałą okazją do sprawdzenia możliwości przygotowania operacyjnego Grupy Azoty S.A. do działań ratowniczych – podkreśla **Jacek Zapart**, komendant Zakładowej Straży Pożarnej Grupy Azoty S.A. – Sam zakres ćwiczeń obejmował działania ratowniczo-gaśnicze, chemiczno-ekologiczne, wysokościowe i techniczne. Przetestowaliśmy także system łączności, alarmowania oraz możliwości techniczne i taktyczne sprzętu ratowniczego. Ćwiczenia były również okazją do sprawdzenia wiedzy poszczególnych jednostek i samych pracowników, zaczynając od aparatowych, mistrzów, kierowników zmian i koordynatorów, a także strażaków i kierujących działaniami technologicznymi – podsumował komendant.



Fot. Grupa Azoty S.A.



FOCUS-1

**PIERWSZY INTELIGENTNY
ZAWÓR POMIAROWY**



Pomiar
- przepływu
- ciśnienia
- temperatury

oraz

- diagnostyka
- komunikacja

- Przemysł 4.0
- cyfrowy bliźniak
- IoT
- Ethernet/WiFi
- HART®/PROFINET®



SAMSON Sp. z o.o.
Automatyka i Technika Pomiarowa
02-180 Warszawa · al. Krakowska 197 · tel. (22) 57 39 777
www.samson.com.pl · e-mail: samson@samson.com.



FOCUS-ON VoF
A SAMSON & KROHNE COMPANY
The Netherlands

MODELOWANIE POŻARU MAGAZYNU ENERGII

Czy to możliwe?

Dorota Brzezińska, Mateusz Brzeziński, Maria Brzezińska, Natalia Kraus-Namroży
Politechnika Łódzka

Rosnące wykorzystanie baterii litowo-jonowych m.in. w magazynach energii sprawia, że ochrona przeciwpożarowa tych obiektów staje się jednym z kluczowych elementów zarządzania bezpieczeństwem w wielu zakładach przemysłowych. Sposobem na ich ochronę może być modelowanie komputerowe (CFD).

Baterie litowo-jonowe (LiB) są szeroko wykorzystywane w różnych systemach energetycznych. Zawierają łatwopalne elektrolity organiczne, co stwarza istotne ryzyko zapłonu w przypadku niekontrolowanego wzrostu temperatury, przeładowania lub uszkodzenia mechanicznego akumulatora [1], [2]. Wraz z szybkim wzrostem zastosowań baterii zjawisko to stało się poważnym zagrożeniem pożarowym, co potwierdzają liczne badania [3]. Niestety, wyniki pozostają niezadowolające. Poza poprawą metod zapobiegania pożarom baterii, ich ochrona przeciwpożarowa stanowi poważne wyzwanie.

Pożary magazynów energii

W ostatnich latach pożary magazynów energii stają się coraz bardziej zauważalnym problemem, szczególnie w kontekście rosnącej liczby instalacji baterii litowo-jonowych (LiB) stosowanych w systemach magazynowania energii (ang. *Battery Energy Storage Systems*, BESS). Baterie te, choć bardzo efektywne, są podatne na ryzyko przegrzania i tzw. ucieczki termicznej (ang. *thermal runaway*), co prowadzi do pożarów i eksplozji. O poważnym zagrożeniu świadczą liczne zdarzenia, które miały miejsce w ostatnich latach.

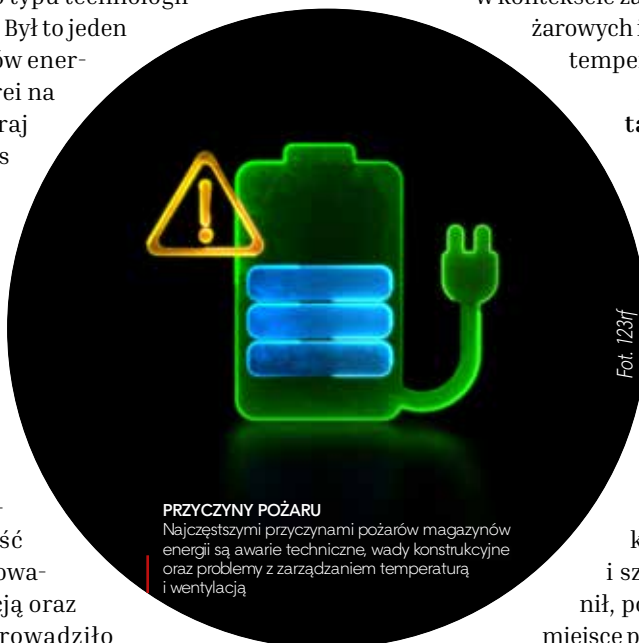
Incheon, Korea Południowa (2018). W południowokoreańskim mieście Incheon wybuchł pożar w systemie magazynowania energii, co doprowadziło do częściowego zamknięcia instalacji i wzbudziło obawy o bezpieczeństwo tego typu technologii w całej Korei Południowej. Był to jeden z serii pożarów magazynów energii, które wybuchły w Korei na przestrzeni kilku lat – kraj ten doświadczył wówczas ponad 20 incydentów związanych z BESS. Pożary te skłoniły południowokoreańskie władze do przeprowadzenia audytu wszystkich magazynów energii oraz wprowadzenia bardziej restrykcyjnych przepisów dotyczących ich budowy i eksploatacji. Stwierdzono, że częścią incydentów była spowodowana problemami z instalacją oraz wadami baterii, co doprowadziło do wprowadzenia zmian regulacyjnych, zwłaszcza dotyczących systemów zarządzania temperaturą i wymogów przeciwpożarowych.

Arizona, USA (04.2019). W Surprise, w stanie Arizona, doszło do poważnego pożaru w instalacji BESS firmy Arizona Public Service (APS). W magazynie tym znajdowały się litowo-jonowe baterie o dużej pojemności. Pożar zaczął się wewnątrz systemu magazynowania. Niestety, doszło do wybuchu, który zranił czterech strażaków przybyłych na miejsce, by ugasić ogień. Jeden z nich odniósł poważne obrażenia. Eksplozja była tak silna, że części baterii zostały wyrzucone na zewnątrz. Po śledztwie odkryto, że do pożaru doszło z powodu problemów z systemem zarządzania bateriami (BMS), który nie kontrolował poprawnie temperatury i napięcia w ogniwach. Stało się to jedną z głównych przyczyn dyskusji nad koniecznością ulepszenia standardów bezpieczeństwa w instalacjach BESS w USA. Incydent ten zwrócił uwagę opinii publicznej oraz ustawodawców na problem bezpieczeństwa takich systemów w USA i w efekcie – do zmian w przepisach regulujących bezpieczeństwo magazynów energii w USA.

Beijing, Chiny (04.2021) – pożar w jednym z największych magazynów energii prowadzonym przez chińską firmę State Grid w Pekinie. Instalacja była częścią projektu mającego na celu przechowywanie energii słonecznej i wiatrowej w celu stabilizacji sieci. Niestety, pożar okazał się tragiczny w skutkach – zginęły dwie osoby, a wiele budynków wokół zostało ewakuowanych. Chińskie media informowały, że pożar mógł być spowodowany zwarciem lub awarią systemu chłodzenia baterii. Zdarzenie wywołało debatę publiczną na temat

bezpieczeństwa magazynów energii w Chinach, które są jednym z największych rynków dla takich technologii. Incydent ten doprowadził również do zaostrzenia przepisów dotyczących instalacji BESS, zwłaszcza w kontekście zabezpieczeń przeciwpożarowych i systemów zarządzania temperaturą.

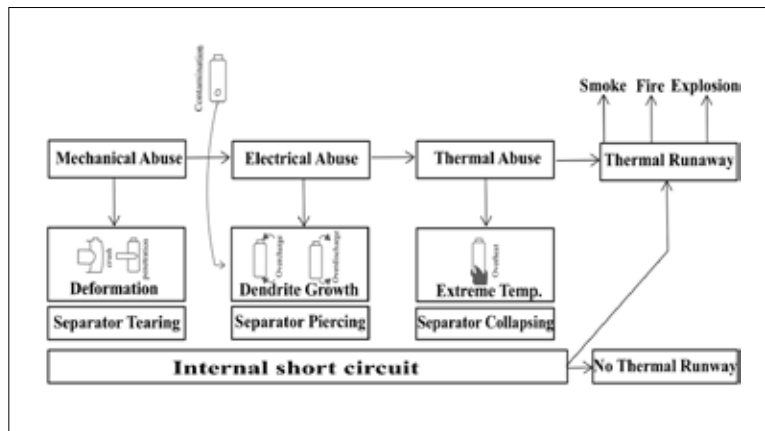
Liverpool, Wielka Brytania (2020) – groźny pożar w jednym z największych brytyjskich magazynów energii. Instalacja ta, wykorzystująca baterie litowo-jonowe, była przeznaczona do magazynowania energii z odnawialnych źródeł oraz stabilizacji sieci. Pożar wybuchł wewnątrz kontenera z bateriami i szybko się rozprzestrzenił, powodując eksplozję. Na miejsce przybyły jednostki straży pożarnej, które przez wiele godzin walczyły z ogniem. Analiza przyczyn pożaru wskazała na możliwy błąd konstrukcyjny oraz problemy z systemem zarządzania bateriami. Rząd brytyjski nakazał po tym zdarzeniu przegląd wszystkich podobnych instalacji w kraju, a w jego wyniku zmieniono przepisy dotyczące bezpieczeństwa magazynów energii, w tym dotyczące wentylacji i czujników temperatury.



”

Chociaż wewnętrzne systemy ochrony baterii są bardzo istotne, nie zawsze wystarczają, by zapobiegać pożarom, co powoduje konieczność stosowania także zewnętrznych systemów gaśniczych

Moss Landing, Kalifornia, USA (2021 i 2022) – największy magazyn energii na świecie, zlokalizowany w Moss Landing w Kalifornii, doznał dwóch poważnych incydentów w krótkim czasie. Pierwszy pożar miał miejsce we wrześniu 2021 roku, kiedy to doszło do przegrzania się jednej z sekcji baterii, co wywołało pożar i wymagało zamknięcia części instalacji. W lutym 2022 roku w tej samej instalacji doszło do kolejnego pożaru, który także był wynikiem przegrzania. Instalacja o pojemności 400 MWh była jednym z kluczowych elementów kalifornijskiego planu trans-



RYS. 1
Przyczyny powstawania pożarów baterii (źródło: zasoby własne autorów)

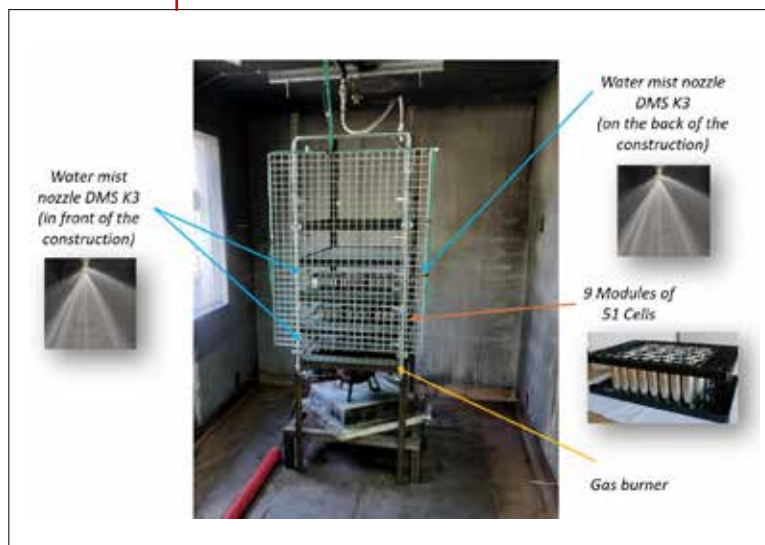
formacji energetycznej. Pożary te wywołały duże obawy dotyczące niezawodności magazynów energii na dużą skalę. Operatorzy obiektu podjęli działania naprawcze, instalując zaawansowane systemy chłodzenia oraz dodatkowe czujniki, które mają zapobiegać przyszłym przegrzaniom.

Przyczyny awarii

Po analizie tych pożarów stwierdzono, że najczęstszymi ich przyczynami są awarie techniczne, wady konstrukcyjne oraz problemy z zarządzaniem temperaturą i wentylacją. Obecnie wiele firm z branży energetyki wprowadza zmiany w swoich systemach, aby poprawić bezpieczeństwo, między innymi poprzez:

- rozwój bardziej niezawodnych systemów chłodzenia i wentylacji,
- używanie nowoczesnych czujników do monitorowania parametrów ognia,
- opracowywanie bardziej zaawansowanych systemów zarządzania bateriami (BMS), które mają minimalizować ryzyko ucieczki termicznej TR,
- zwiększenie liczby szkoleń dla strażaków, by potrafili odpowiednio reagować na pożary związane z magazynami energii.

RYS. 2
Stanowisko badawcze (źródło: zasoby własne autorów)



- zastosowanie stałych urządzeń gaśniczych do ograniczania rozwoju pożaru wewnątrz magazynów energii.

Chociaż różne popularne środki mogą potencjalnie ugasić te pożary, w praktyce skutki termicznego rozbiegania powodują znacznie więcej problemów niż inne rodzaje pożarów, wymagając długotrwałego chłodzenia, aby kontrolować ogień i zapobiec ponownemu zapłonowi [4]. Ucieczka termiczna (TR) występuje, gdy uszkodzony zostaje separator wewnętrzny między katodą a anodą, co prowadzi do gwałtownej reakcji egzotermicznej i parowania elektrolitu. Zjawisko to zwykle wiąże się z jednym lub większą liczbą następujących zdarzeń: wydzielaniem dymu i gazu, pęknięciem lub eksplozją obudowy ognia, wybuchami gazu i rozprzestrzenianiem się ciepła na sąsiednie ognia LiB [5], [6]. Mechanizmy powstawania pożarów baterii przedstawiono schematycznie na rys. 1.

Niniejszy artykuł opisuje kontynuację badań przeprowadzonych przez Politechnikę Łódzką, przy współpracy z firmą Supo Cerber Sp. z o.o., których pierwszy etap został przedstawiony na łamach „Kierunku Chemia” w styczniu tego roku. Opisano tu metody badawcze i narzędzia używane do przeprowadzenia testów eksperymentalnych pożarów akumulatorów, które następnie posłużyły do opracowania komputerowego modelu CFD (ang. Computational Fluid Dynamics). Projekt podzielono na dwa etapy:

- a. mała skala – test pożaru pojedynczej komórki – omówione w artykule w styczniu 2024,
- b. duża skala – testy pożarów magazynów z systemem gaśniczym mgły wodnej niskociśnieniowej. Szczegóły wykonanych prac opisano poniżej.

Badania rozwoju pożaru prowadzone przez Politechnikę Łódzką

W ramach badań Politechniki Łódzkiej nad poprawą poziomu bezpieczeństwa polskich systemów magazynowania energii przeprowadzono dwuletnie testy w skali rzeczywistej, ukazujące przebieg rozwoju pożaru od pojedynczego ognia, aż po układ złożony z wielu modułów. Test pożaru pojedynczej baterii zrealizowano poprzez wywołanie zapłonu mechanicznego uszkodzenia ognia, obserwując zachodzące wówczas zjawiska, takie jak dynamika TR i czas trwania pożaru. Wykazano, że bezpośrednio po mechanicznym uszkodzeniu baterii następuje jej spontaniczny zapłon, a całkowity czas palenia komórki wyniósł około 12 s, podczas którego nastąpiło kilka eksplozji.

Dalsze eksperymenty skupiały się na obserwacji magazynu akumulatorów i weryfikacji skuteczności dyszy DMS niskociśnieniowego systemu mgły wodnej w warunkach pożaru baterii umieszczonych w tym magazynie.

Badanie przeprowadzono w komorze testowej o wymiarach 6,05 m długości, 2,44 m szerokości i 2,50 m wysokości, podzielonej na dwie części. W przedsiönku



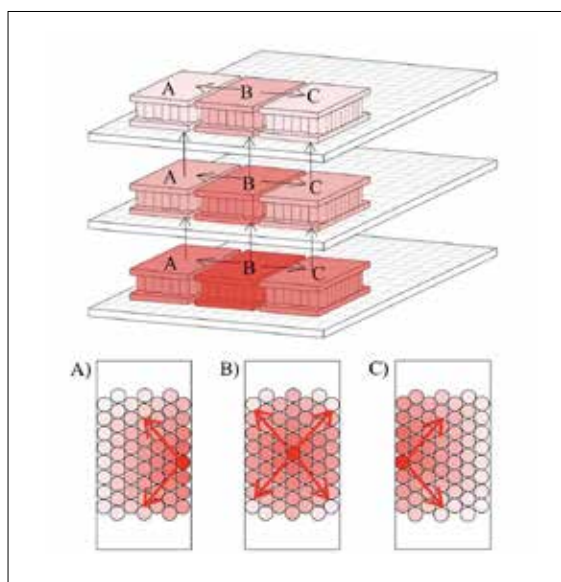
RYS. 3
Widok palących się modułów i rozkład temperatury uzyskany za pomocą kamery termowizyjnej w teście 2 (źródło: zasoby własne autorów)

znajdował się sprzęt kontrolny, a główna część była przeznaczona do prowadzenia testów ogniowych. Na zdjęciu (rys. 2) przedstawiono badaną konstrukcję magazynu energii.

Przeprowadzone zostały dwa testy rozwoju pożaru. W pierwszym – system gaśniczy mgły wodnej został ręcznie uruchomiony bezpośrednio po wystąpieniu płomieni strumieniowych w jednej komórce. W teście tym system mgły wodnej uruchomiono natychmiast po wystąpieniu płomieni w module. Temperatury modułów, zarejestrowane za pomocą kamery termowizyjnej podczas testu, przedstawiono na rys. 3.

Pierwsze płomienie pojawiły się 190 sekund po rozpoczęciu testu, osiągając temperaturę 711°C. System mgły wodnej został aktywowany w tym momencie, obniżając temperaturę do 186°C w ciągu kolejnych 5 sekund. Pomimo stosunkowo niskiej temperatury, kolejne płomienie strumieniowe w module powyżej zapalanego pierwotnie pojawiły się 2 sekundy później. Następnie system mgły wodnej obniżył temperaturę reprezentatywnego modułu do 35°C w ciągu kolejnych 145 sekund.

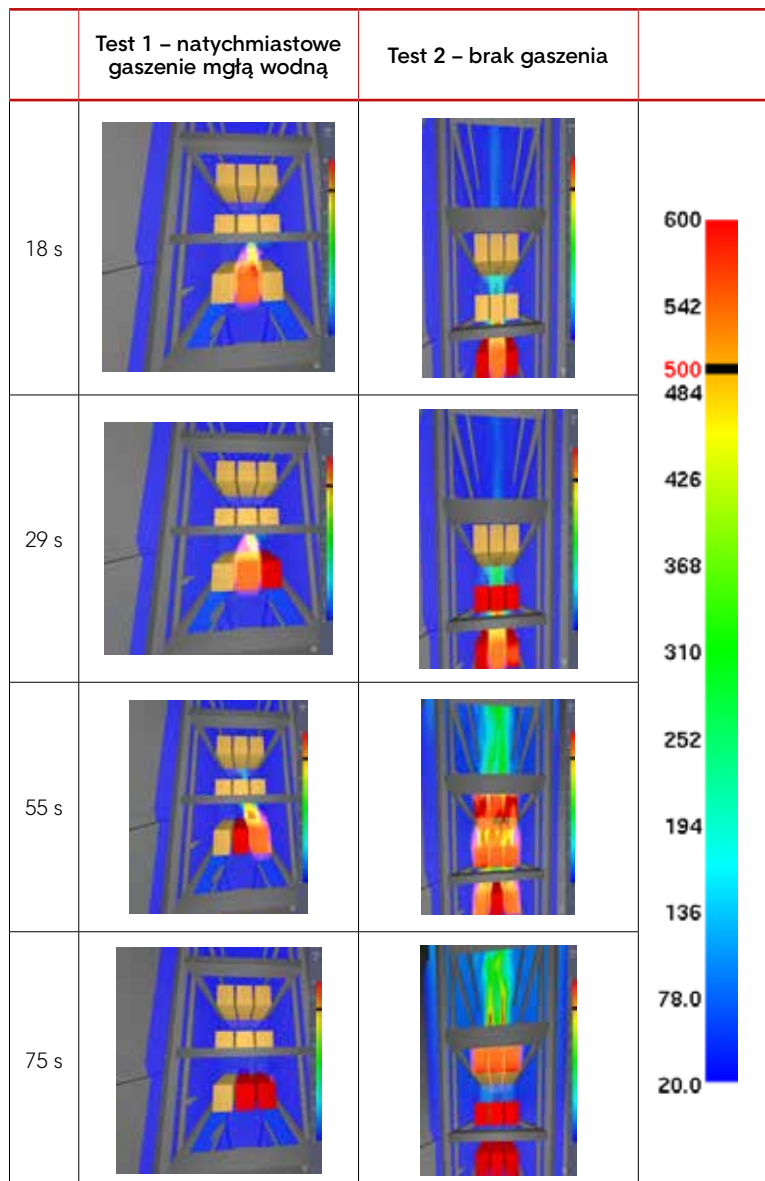
Drugi test miał na celu obserwację, jak trwały pożar z pierwszego modułu rozprzestrzeni się na inne moduły; w tym przypadku system gaśniczy uruchomiono po pojawieniu się płomieni strumieniowych w drugim module. Wszystkie testy zakończono, gdy moduły schłodziły się do 35°C. W tym scenariuszu uruchomienie systemu gaśniczego opóźniono do momentu, gdy pojawiły się płomienie strumieniowe w drugim module. Jak przedstawiono na rys. 4, początkowa faza pożaru trwała 190 sekund. Pierwsze płomienie strumieniowe w module 3.1.2 wystąpiły 195 sekund po rozpoczęciu testu, osiągając temperaturę 750°C. Kolejne płomienie strumieniowe pojawiły się 28 sekund później (po 223 sekundach), z temperaturą 850°C. Eksperymenty zostały udokumentowane za pomocą kamery termowizyjnej i kamery wideo, co pozwoliło na rejestrację temperatury pożaru. Rysunek 3 pokazuje zdjęcie w czasie testu 2, w którym pożar jest silnie rozwinięty na dwa moduły baterii.



RYS. 4
Rozwój pożaru w module baterii: a) zapłon na krawędzi prawej, b) zapłon centralny, c) zapłon na krawędzi lewej (źródło: zasoby własne autorów)

Symulacje komputerowe rozwoju pożaru w magazynach energii

Opisane powyżej eksperymenty posłużyły jako podstawa do przeprowadzenia symulacji CFD. W artykule przedstawiono wyniki analiz komputerowych dla testowanego magazynu energii. Na podstawie eksperymentów wyodrębniono dwa scenariusze rozwoju pożaru modułu baterii. W pierwszym przypadku zakłada się rozpoczęcie pożaru od ogniwa znajdującego się na skrajnej ścianie modułu (rys. 4a, c), natomiast w drugim – ogniwo inicjujące znajduje się w centrum modułu (rys. 4b). Na rysunku 5 pokazano wyniki symulacji komputerowej badanych przypadków. W ramach analiz założono symulację pożaru w magazynie energii oraz porównanie jego rozprzestrzeniania w zależności od użycia mgły wodnej jako środka gaśniczego. W symulacjach założono wstępne zapłonienie pierwszego modułu, podczas gdy pożar kolejnych modułów rozpoczynał się automatycznie po osiągnięciu przez wewnętrzne termopary temperatury 500°C.



RYS. 5
Wyniki symulacji CFD
(źródło: zasoby
własne autorów)

Chociaż wewnętrzne systemy ochrony baterii są bardzo istotne, nie zawsze wystarczają, by zapobiegać pożarom, co powoduje konieczność stosowania także zewnętrznych systemów gaśniczych. Przedstawione w artykule wyniki badań eksperymentalnych i symulacji CFD potwierdziły możliwość zastosowania systemów mgły wodnej niskociśnieniowej w kontroli pożarów LiB, szczególnie w warunkach ucieczki termicznej (TR). Choć systemy mgły wodnej nie zatrzymują bezpośrednio tego zjawiska, zapewniają znaczne chłodzenie otoczenia wokół palącego się ogniwa, zapobiegając zapłonowi kolejnych ogniw i sąsiednich modułów w instalacji.

Opracowane modele komputerowe do przeprowadzenia symulacji CFD i odwzorowywania przebiegu pożarów baterii oraz działania mgły wodnej w ich gaszeniu mogą stanowić istotne narzędzie w projektowaniu systemów zabezpieczeń powstających magazynów energii.

Jak zatem widać, modelowanie komputerowe pożarów magazynów energii jest nie tylko możliwe, ale wręcz stanowi niezastąpione narzędzie do doboru optymalnych środków ich zabezpieczenia przeciwpożarowego.

Literatura

- [1] X. Feng, D. Ren, X. He, and M. Ouyang, „Mitigating Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries,” *Joule*, vol. 4, no. 4, pp. 743–770, 2020, doi: 10.1016/j.joule.2020.02.010.
- [2] H. Joachin, T. D. Kaun, K. Zaghbi, and J. Prakash, „Electrochemical and Thermal Studies of LiFePO4 Cathode in Lithium-Ion Cells,” 2008. doi: 10.1149/1.2943220.
- [3] D. Mishra, R. Tummala, T. Brigmon, and A. Jain, „Simulations-based investigation of the effectiveness of fire suppression techniques for safe, large-scale storage of Li-ion batteries,” *J Energy Storage*, vol. 84, no. PB, p. 110870, 2024, doi: 10.1016/j.est.2024.110870.
- [4] R. Spotnitz and J. Franklin, „Abuse behavior of high-power, lithium-ion cells,” *J Power Sources*, vol. 113, no. 1, pp. 81–100, 2003, doi: 10.1016/S0378-7753(02)00488-3.
- [5] P. Russo, C. Di Bari, M. Mazzaro, A. De Rosa, and I. Morriello, „Effective fire extinguishing systems for lithium-ion battery,” *Chem Eng Trans*, vol. 67, pp. 727–732, 2018, doi: 10.3303/CET1867122.
- [6] B. Łukasz, I. Rybakowska, A. Krakowiak, M. Gregorczyk, and W. Waldman, „Lithium Batteries Safety, Wider Perspective,” *Int J Occup Med Environ Health*, vol. 36, no. 1, pp. 3–20, 2023, doi: 10.13075/ijom.1896.01995.
- [7] M. Ghiji et al., „A review of lithium-ion battery fire suppression,” Oct. 01, 2020, MDPI AG. doi: 10.3390/en13195117.
- [8] Y. Chen et al., „A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards,” *Journal of Energy Chemistry*, vol. 59, pp. 83–99, 2021, doi: 10.1016/j.jechem.2020.10.017.
- [9] L. Zhang, K. Jin, J. Sun, and Q. Wang, „A Review of Fire-Extinguishing Agents and Fire Suppression Strategies for Lithium-Ion Batteries Fire,” *Fire Technol*, 2022, doi: 10.1007/s10694-022-01278-3.
- [10] N. Kraus-Namrozy and D. Brzezińska, „Effectiveness of Swirl Water Mist Nozzles for Fire Suppression,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/ijerph192316328.
- [11] N. Kraus-Namrozy and D. Brzezińska, „Effectiveness of Swirl Water Mist Nozzles for Fire Suppression,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/ijerph192316328.
- [12] „EN 14972-1: 2020: Fixed firefighting systems. Water mist systems. Part 1: Design, installation, inspection and maintenance,” 2021.
- [13] NFPA 750, „NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems,” *NFPA Codes and Standards*, 2019.
- [14] K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, R. McDermott, M. Vanella, and E. Mueller, „Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model,” Gaithersburg, MD, Apr. 2024. doi: 10.6028/NIST.SP.1018.
- [15] „Z. Orzechowski, J. Prywer, Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy, Warszawa 2008”.
- [16] A. W. Golubkov et al., „Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivine-type cathodes,” *RSC Adv*, vol. 4, no. 7, pp. 3633–3642, 2014, doi: 10.1039/c3ra45748f.
- [17] D. Brzezińska and N. Kraus-Namrozy, „Jak to się pali, jak to gasić?,” *Przegląd Pożarniczy*, Jun. 2023.
- [18] N. Kraus-Namrozy, D. Brzezińska, M. Brzezińska, and M. Brzeziński, „The effectiveness of low-pressure water mist systems on battery fire extinguishing, 4th European Symposium on Fire Safety Science, Book of abstracts, 9-11 October 2024,” E. Planas, E. Pastor, and B. Merci, Eds., Barcelona, ch. ID119-PP58. [Online]. Available: <https://esfss2024.com/> ■

APLIKACJA BMP

**BEZPŁATNE NARZĘDZIE
dla uczestników konferencji**



budujemy możliwości
porozumienia

Aktualne informacje o wydarzeniu

termin, program, miejsce, prelegenci, plan stoisk

Funkcje interaktywne

komentowanie debat, wymiana wizytówek

Budowanie relacji

aranżowanie spotkań między
uczestnikami



**ZESKANUJ
i POBIERZ**

Google Play

App Store



WCZESNE STADIUM DBAŁOŚCI

o wspomaganie UR, cz.1

Adrian Antonowicz

były pracownik Grupy Azoty Polyolefins S.A.

Grzegorz Goleniewski

ORLEN S.A.

Ryszard Nowicki

niezależny ekspert MMS

Przedsiębiorstwa przygotowujące proces inwestycyjny prezentują różne podejście do problematyki przyszłościowego utrzymania ruchu majątku produkcyjnego. W artykule opisano dwa pozytywne przypadki takiego wczesnego myślenia – inwestycji Grupy Azoty Polyolefins S.A. oraz Olefin III, należącej do ORLEN S.A.

Historia działań ORLENu na kierunku CBM (czyli UR bazującego na stanie technicznym) liczy już 35 lat. Natomiast doświadczenia Grupy Azoty Polyolefins S.A. były tu... zerowe. To przedsiębiorstwo bowiem wcześniej nie istniało. Mimo faktu, że obie wymienione firmy działają w obszarze O&G, to prezentowane przez nie podejście winno budzić refleksje w każdym innym podmiocie generującym produkcję o dużej wartości – niezależnie od obszaru działania. Takim obszarem jest np. energetyka, zwłaszcza jądrowa. Dedykowane jej przedsiębiorstwo istnieje już blisko dekadę, a wciąż nie zatrudnia specjalisty zajmującego się tematyką przyszłościowego UR.

Różne formy podejścia do UR

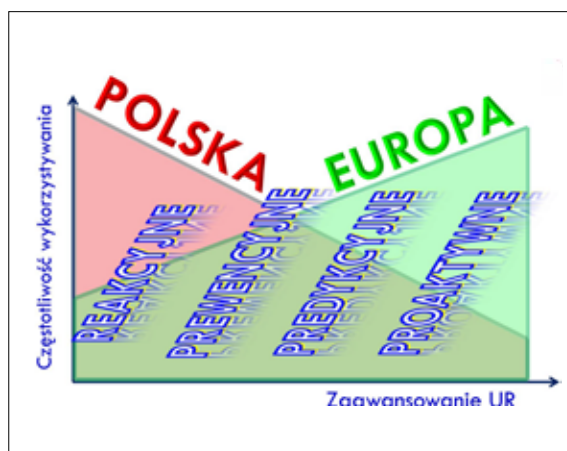
Problematyka utrzymania ruchu, w szczególności dla maszyn krytycznych oraz tych, które mają duże znaczenie dla realizowanego procesu produkcyjnego, jest nierozdzielnie związana z potrzebą oceny stanu technicznego. Remonty środków produkcji realizowane są coraz rzadziej przez służby przedsiębiorstwa, w którym maszyny pracują, a coraz częściej na warunkach outsourcingu, co powoduje zmniejszenie kontroli nad niektórymi szczegółami ich realizacji.

Istnieją w kraju przedsiębiorstwa świadome wartości dodanej dzięki standaryzacji rozwiązań pomiarowych niezależnie od tego, czy są to pomiary realizowane

dla kontroli i sterowania procesu produkcyjnego, czy też mające wspomagać nadzór stanu technicznego majątku produkcyjnego. Natomiast w większości spółek do wymienionej tematyki prezentowane jest podejście: „niech się dzieje”. Tzn. cokolwiek dostawca (lub wykonawca) zaproponuje, to „będzie dobrze”. Przyczyn takiego stanu rzeczy upatruje się w słabości kadry odpowiedzialnej za UR. Specjaliści ci zbyt często bazują jeszcze na rozwiązaniach jednostkowych i nie są świadomi korzyści płynących z rozwiązania systemowego (czy to na poziomie pojedynczego przedsiębiorstwa, czy – tym bardziej – na poziomie grupy przedsiębiorstw) i zaczynają myślenie o przyszłościowym UR inwestycji na zbyt późnym etapie [1].

Na rysunku 1 pokazano jakościowo zróżnicowanie w częstotliwości wykorzystywania różnych form UR w Polsce oraz w Europie Zachodniej. Widoczne jest, że w naszym kraju wciąż jeszcze najczęściej wykorzystuje się prymitywne formy podejścia do UR (tzn. reakcyjne i prewencyjne), gdy tymczasem w Europie zdecydowanie częściej stosuje się (i to od wielu lat) formy bardziej zaawansowane, tzn. bazujące na stanie technicznym, a także proaktywne. Należy pamiętać, że wraz z Przemysłem 4.0 pojawiło się preskryptywne UR, którego tak od razu – bez nabycia doświadczenia w formach UR, jakie je poprzedzały – nie da się zaaplikować.

W [2] opisano strukturę współczesnego systemu wspomagającego UR. Składają się na niego systemy monitorowania i zabezpieczeń stanu technicznego majątku produkcyjnego ukierunkowane przede wszystkim na tzw. integralność mechaniczną. W przypadkach bardziej zaawansowanych realizowane jest także systemowe podejście do śledzenia zmian procesowych, co stwarza dodatkową możliwość oceny stanu technicznego maszyny na bazie zmiany jej sprawności termodynamicznej. Wszak to bowiem ta sprawność w pierwszej kolejności wpływa na efektywność procesu produkcyjnego, natomiast jej pogorszenie świadczy jednoznacznie o pogorszeniu się także stanu technicznego – niekoniecznie prowadząc do zwiększenia zagrożenia na kierunku integralności mechanicznej.



”

Specjaliści UR zbyt często bazują jeszcze na rozwiązaniach jednostkowych i nie są świadomi korzyści płynących z rozwiązania systemowego

W niektórych przedsiębiorstwach wykorzystujących systemy nadzoru stanu technicznego myśli się o standaryzacji, choć tu za słowem „standaryzacja” może kryć się różne podejście. W przypadku koncernów zachodnich, które stosują systemy nadzoru stanu – standaryzacja jest realizowana bez wyjątków. Natomiast w odniesieniu do krajowej rzeczywistości wciąż jeszcze można spotkać podejście unikalne, sięgające korzeniami do głębokiego socjalizmu: jako standard stosujemy dwa różne systemy, aby nie być uzależnionym od jednego dostawcy.

Dążenie do jednego standardu jest łatwiejsze w przypadku przedsiębiorstw posiadających już jakieś dokonania na niwie wdrażania systemów nadzoru. Natomiast jeszcze większe uznanie dla zarządzających winno mieć miejsce w przypadkach, w których jakąś instalację, lub tym bardziej nowe przedsiębiorstwo, buduje się od podstaw.

W kolejnych częściach opisane zostaną dwa przykłady pokazujące celowość budowy takiego standardowego systemu z odpowiednim poziomem jego zaawansowania. Oba dotyczą szeroko rozumianego obszaru O&G.

Projekt Grupy Azoty Polyolefins

Spółka Grupa Azoty Polyolefins S. A. została powołana kilka lat temu do realizacji „Projektu Polimery Police”, jednej z największych inwestycji w przemyśle petrochemicznym nie tylko w kraju, ale i poza jego granicami. Projekt miał na celu stworzenie nowego zakładu przemysłowego zdolnego do produkcji 429 tys. ton rocznie propylenu, a następnie 437 tys. ton polipropylenu wraz z bazą logistyczną. Z początkiem roku 2024 rozpoczęły się testy odbiorcze instalacji wchodzących w skład kompleksu, a w końcu lipca podpisano z Hyundai Engineering Co., Ltd., czyli z Generalnym Wykonawcą Polimerów Police, dwustronne protokoły Warunkowego Odbioru Tymczasowego dla podprojektu Instalacji Polipropylenu i podprojektu Terminala Przeładunkowo-Magazynowego H&ST, dążąc do jak najszybszego przeprowadzenia działań związanych z przekazaniem przez Generalnego Wykonawcę projektu Polimery Police do komercyjnej eksploatacji [3].

Kontrakt w formule EPC przewidywał wybudowanie zakładu „pod klucz” wraz ze wszelkimi systemami wspomagającymi produkcję oraz utrzymanie ruchu. Zgodnie z zapisami SIWZu, główny wykonawca został zobowiązany do dostarczenia Systemu Monitorowania

RYS. 1
Częstotliwość wykorzystywania różnych form UR w Polsce i w Europie Zachodniej

oraz Nadzoru Stanu Technicznego MMS (ang. Machinery Monitoring System) dla maszyn wyższej ważności oraz narzędzi umożliwiających okresową kontrolę stanu maszyn niższej ważności z pomocą systemu mobilnego realizującego pomiary drgań.

Zapisy kontraktowe wymagały zaprojektowania, montażu, konfiguracji oraz odpowiednich testów odbiorczych komponentów systemu nadzoru. W celu dopasowania zaawansowania poziomu opomiarowania maszyn zostały one podzielone na cztery grupy krytyczności: A – maszyny krytyczne, B – maszyny semikrytyczne, C – maszyny ważne, D – maszyny pozostałe. Systemem MMS objęto maszyny z grup: A, B oraz C, w sumie ~80 maszyn. W tym celu gromadzone są sygnały z około 1200¹ czujników, podłączonych do ~50 kaset SYSTEM 3500, a te z kolei są włączone do systemu diagnostyki SYSTEM 1 Evo. Ten ostatni pracuje także na rzecz mniej ważnych maszyn, tzn. takich, które nie kwalifikowały się do objęcia systemem nadzoru on-line, ale ze względu na ich relatywną ważność dla pracy całej instalacji zakwalifikowane zostały do objęcia nadzorem obchodowym. Ten realizowany jest z pomocą przenośnego analizatora i zbieracza danych drganiowych SCOUT 200. Przyrząd umożliwia gromadzenie danych w bazie ww. systemu diagnostyki.

Z historycznego punktu widzenia wdrożony system jest największym systemem diagnostycznym w Polsce uruchomionym jednorazowo w ramach pojedynczej inwestycji (po ukończeniu realizacji miano to przejmie system projektu Olefny III). Jako dostawcę systemu wybrano firmę BENTLY NEVADA, prekursora i w dalszym ciągu jednego ze światowych liderów rynku systemów monitorowania i nadzoru stanu technicznego. Wymagania kontraktowe specyfikowały także normy, według których system powinien być zaprojektowany oraz zbudowany (z których najważniejszą jest API 670).

Inwestor już w początkowej fazie realizacji projektu zatrudnił osobę odpowiedzialną za nadzór nad przebiegiem wdrożenia systemu nadzoru stanu technicznego, wspieraną przez kompetentnego konsultanta zewnętrznego.

W trakcie budowy systemu MMS zgromadzono szereg doświadczeń oraz rozpoznano wiele niedopowiedzeń w SIWZie, które odbiły się na jakości implementacji systemów, w tym m.in.:

- do realizacji funkcji celu, tj. należytego zabezpieczenia oraz monitorowania stanu technicznego maszyn, niezbędny jest dobór odpowiednich sygnałów diagnostycznych w zależności od krytyczności oraz specyfikacji maszyny;
- szczególną uwagę winno się zwrócić na selekcję rodzaju pomiarów, poprawną lokalizację czujników drgań, temperatur oraz czujników pulsacji ciśnienia, a także na ich poprawny montaż²;
- w przypadku pomiarów dynamicznych, aby zapewnić możliwie dobry stosunek sygnału do szumu, wymagane jest nie tylko zastosowanie

właściwych kabli sygnałowych, ale także właściwe prowadzenie tras kablowych; powinny one znajdować się z dala od kabli zasilających i sterujących. Niezbędne jest również zapewnienie kultury montażu kabli czujnikowych począwszy od czujnika na monitorowanej maszynie, aż do skrzynki obiektowej. Producent systemu określa wymagania, np. dotyczące ich mocowania, tak aby zapobiec negatywnemu wpływowi drgań ze strony maszyny i instalacji (np. zapewnienie właściwego promienia gięcia dla różnych kabli czujnikowych, mocowanie kabla zapewniające możliwie małą długość swobodną od czujnika);

- tylko poprawna konfiguracja systemu monitorowania i zabezpieczeń (tutaj: SYSTEM 3500) umożliwia odpowiednie zabezpieczenie maszyn oraz diagnostykę;



Na systemowe podejście do wspomagania UR składa się odpowiednio wyszkolony i doświadczony zespół ludzi wspomagany przez odpowiednie narzędzia diagnostyczne

- dla zapewnienia możliwie wysokiej efektywności pracy systemu diagnostyki na etapie jego konfiguracji wymagane jest wprowadzenie pewnych danych specyficznych dla maszyn (np. rzeczywisty luz poprzeczny i pionowy w łożyskach ślizgowych, liczba zębów kół zębatych w przekładni; dla łożysk tocznych ważny jest nie tylko ich typ, ale także producent, bowiem łożyska tego samego typu mogą się charakteryzować nieznacznie zróżnicowanym wymiarowaniem wewnętrznym u różnych ich wytwórców, ...); niestety, w wielu przypadkach wymagane dane nie były dostępne na etapie pierwotnej konfiguracji systemu i nie można ich było wyegzekwować od dostawcy instalacji (tego typu dane można znaleźć dopiero w dokumentacji powykonawczej, choć też nie zawsze);
- w stosunku do nowoczesnych systemów diagnostycznych wymaga się dwustronnej komunikacji z innymi systemami przedsiębiorstwa (DCS, PLC, historian, ...); dostarczany dla inwestycji MMS ma takie możliwości. W systemie DCS dostępne są podstawowe trendy z systemu MMS, tak aby operatorzy wstępnie mogli ocenić, który sygnał wyzwolił dane zdarzenie alarmowe, natomiast MMS może odczytywać oraz importować do swojej bazy danych wybrane zmienne procesowe z DCS (co jest ważne dla symptomów stanu technicznego wrażliwych także na proces);

- wymogiem SIWZu było zapewnienie przez MMS możliwości bardziej zaawansowanego wspomagania diagnostyki stanu technicznego dla najbardziej krytycznych maszyn z pomocą systemu eksperckiego. System taki realizuje w trybie on-line konwersję gromadzonych danych diagnostycznych w informacje użyteczne dla służb UR; jest to pierwsza taka sytuacja w Polsce, w której dla nowej inwestycji, ponad tradycyjnym systemem akwizycji danych diagnostycznych, zostaje wdrożona „inteligentna” aplikacja wspomagająca konwersję danych diagnostycznych w informacje użyteczne dla służb UR. W przypadku systemu SYSTEM 1 Evo funkcjonalność ta jest realizowana przez moduł dodatkowego oprogramowania Decision Support [4]. SIWZ wymagał odpowiedniej konfiguracji tegoż systemu dla maszyn krytycznych, w konsekwencji wykonawca instalacji dostarczył system ekspercki, a jego skonfigurowanie zrealizował serwis BENTLY NEVADA na podstawie swoich wieloletnich doświadczeń. Należy jednak pamiętać, że są to jedynie ogólne algorytmy i przy tego typu maszynach – najczęściej produkcji jednostkowej – wymagane będzie ciągłe doskonalenie algorytmów przez jego obsługę. Oczekuje się więc, że system ten będzie informować załogę o anomaliiach i niesprawnościach wcześniej, nim zostaną przekroczone progi alarmowe ustanowione przez producentów maszyn w systemie zabezpieczeń i w konsekwencji oczekiwane jest usprawnienie pracy służb UR. Po odbiorze instalacji planuje się dodatkowo zrealizować import z DCS do SYSTEM 1 Evo wyżej wspomnianych wybranych zmiennych procesowych wpływających na zmiany symptomów stanu technicznego.

Na rysunku 2 wymieniono statystycznie spodziewane korzyści po zakończeniu konfiguracji wdrożonego systemu diagnostyki.

Poprawnie wdrożony system nadzoru stanu technicznego (tutaj jako system rozumie się wyszkolony zespół specjalistów wyposażonych w odpowiednie narzędzia) już na etapie realizacji projektu jest nieocenionym wsparciem inwestora na okoliczność odbioru maszyn. Pozwala on na wykrywanie ewentualnych niesprawności oraz identyfikację ich źródeł. W przypadku maszyn włączanych do systemu nadzoru on-line gromadzone są dane charakteryzujące ich stan techniczny, poczynając od fazy pierwszych uruchomień. W przypadku pozostałych maszyn, ocena ich stanu dynamicznego jest realizowana z pomocą przenośnego systemu diagnostycznego (czyli w trybie nadzoru off-line). Do akwizycji oraz analizy danych z maszyn monitorowanych on-line oraz off-line użyty został jeden system diagnostyczny, co jest niewątpliwym atutem. Zauważmy, że dwa niekompatybilne programowo systemy to większe potrzeby na nauczanie się ich funkcjonowania, konieczność zorganizowania dwóch różnych baz danych, potrzeba podwójnego interfejsowania ze



RYS. 2
Oczekiwane korzyści z zaawansowanego systemu diagnostyki

środowiskiem, zwiększone zagrożenie bezpieczeństwa cybernetycznego, a także potrzeba większych nakładów na ich unowocześnianie w przyszłości.

Specjaliści inwestora dokonali selekcji maszyn włączanych do diagnostycznego nadzoru obchodowego (tzn. w trybie off-line). W procesie selekcji zastosowano kryterium mocy napędu oraz ważność danej maszyny dla procesu produkcyjnego. Po wybraniu agregatów przeprowadzono dla nich konfigurację w ww. systemie diagnostyki: zdefiniowano punkty pomiarowe, rodzaje pomiarów oraz wprowadzono dodatkowe, wspomagające proces diagnozowania danych. Przeprowadzenie tych działań (w wielu przypadkach jeszcze przed przystąpieniem do ruchów próbnych maszyn) pozwoliło na gromadzenie danych w fazie odbiorów, co dawało lepszy wgląd w stan techniczny maszyn. Zgromadzone dane są traktowane jako referencyjne i to do nich będą porównywane dane gromadzone z maszyn po ich włączeniu do procesu produkcyjnego. Takie podejście jest pomocne w ocenie zmian stanu technicznego zarówno w czasie trwania gwarancji, jak i po jej zakończeniu.

Do prowadzenia diagnostyki maszyn w trybie off-line została zatrudniona firma zewnętrzna (ale także wchodząca w skład Grupy Azoty). Odpowiada ona zarówno za obchodowe zbieranie danych, jak i ich analizę. W pierwszej fazie współpracy specjaliści tej firmy, odpowiedzialni za wykonywanie pomiarów, zostali zapoznani z topologią inwestycji, w celu wygenerowania optymalnych ścieżek pomiarowych.

Dla inwestora było ważnym, aby zabrać dane charakteryzujące stan techniczny ze wszystkich maszyn włączonych do programu off-line już w czasie ich pierwszych uruchomień. Na etapie finalizowania inwestycji przyjęto następujące podejście na okoliczność kontroli ich stanu technicznego:

- raz na trzy tygodnie dla maszyn pracujących poprawnie,
- po wykryciu oznak wskazujących na jakieś anomalie, częstotliwość była zwiększana najpierw do pomiarów cotygodniowych, a później nawet

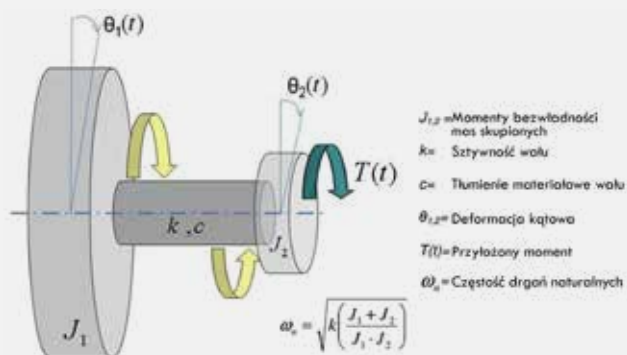
do codziennych (o czym współdecydowała ocena zagrożenia oraz możliwości wyłączenia maszyny celem przeprowadzenia działań korekcyjnych).

Ze względu na ograniczoną licznosc specjalistów diagnostów, niecały pomocniczy majątek produkcyjny mógł być objęty wystarczająco dokładnym nadzorem. W konsekwencji, outsourcingowy zespół diagnostyczny

jest również zobowiązany do reagowania na zgłoszenia obsługi o podejrzeniu wystąpienia stanów przedawaryjnych na maszynach, które nie są włączone do standardowej procedury nadzoru obchodowego.

W niektórych przypadkach identyfikacja właściwości dynamicznych i hipotetycznego problemu może wiązać się mimo wszystko z trudnościami. Wykonawca dostarczył dla pewnej liczby maszyn wymagane

DRGANIA SKRĘTNE



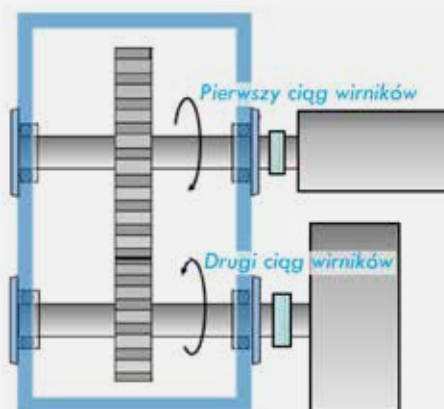
RYS. 3
Drgania skrętne w układzie dwumasowym

Drgania skrętne to oscylacyjne odkształcenie kątowe (swobodne skręcanie dynamiczne) obracającego się układu wirników.

W przypadku niektórych agregatów ich wystąpienie jest wysoce prawdopodobne, a prawdopodobieństwo to wzrasta w przypadku agregatów wielowirnikowych – także wykorzystujących przekładnie.

Jeśli występuje ryzyko ich pojawienia się, to dostawca takiego agregatu winien być zobowiązany do dostarczenia wyników analiz modelowych, z których wynika, że drgania te nie stanowią zagrożenia dla obszaru projektowych punktów pracy maszyny. Nawet jeśli taki dokument istnieje i zapewnia, że wszystko jest w porządku, to dojrzały inwestor winien być świadomy możliwości dewiacji modelu od rzeczywistości, bowiem model to... tylko model. Z praktyki wiemy, że nie w każdym przypadku modele, a w konsekwencji wynikające z nich analizy, dobrze opisują rzeczywistość. Im większa niedoskonałość modelu tym większe ryzyko pojawienia się drgań skrętnych w niektórych punktach pracy.

W przypadku agregatów, co do których podejrzewa się ryzyko diskutowanego zagrożenia, próby odbiorowe powinny uwzględniać sprawdzenie rzeczywistej dynamiki i w konsekwencji stopnia zgodności modelu z rzeczywistością. W interesie inwestora jest odbiór poprawnie działającej maszyny, a działania kontrolne winny być prowadzone przez jej dostawcę, czyli nie obciążać kosztowo inwestora, ale obowiązkowo być pod jego nadzorem.



RYS. 4
Możliwość drgań skrętnych w agregacie z dwoma ciągami wirników

O dojrzałości inwestora świadczy zabezpieczenie się już w SIWZie na diskutowaną okoliczność. Jeśli SIWZ ten problem pominął, to wciąż w interesie inwestora jest sprawdzenie poprawności dynamiki maszyny dla wymaganego obszaru pracy na etapie odbiorów. Po rozpoczęciu użytkowania maszyn z tej grupy ryzyka ich dynamika winna być szczególnie bacznie obserwowana. Koszty sprawdzenia w każdym przypadku będą wielokrotnie niższe od ewentualnych strat produkcyjnych i kosztów remontów w następstwie awarii spowodowanej przez drgania skrętne. Zyski z rozpoznania problemu w jego wczesnej fazie i podjęte środki zaradcze (np. unikanie pewnych punktów pracy) będą przekładać się na wydłużenie czasu do najbliższego wymuszonego stanem technicznym remontu.

Na zakończenie zauważmy jeszcze, że pozytywny wynik prób odbiorowych nie jest jednoznaczny z brakiem możliwości wystąpienia drgań skrętnych w przyszłości. Pogorszenie stanu technicznego (np. sprzęgła) może skutkować obniżeniem sztywności k (pokazanej na pierwszym rysunku), co pociągnie za sobą obniżenie częstości ω_n naturalnych drgań skrętnych i w konsekwencji może wystąpić jej koincydencja z wymuszeniami odpowiadającymi projektowym punktom pracy agregatu.

przez normy API analizy modelowe dotyczące drgań skrętnych. Dla przykładu, wymagane jest takie sformułowanie w normie API618 dotyczącej sprzężarek tłokowych: „Dostawca sprzężarki musi wykonać niezbędne studia dla drgań poprzecznych i skrętnych, tak aby wykazać wyeliminowanie wszelkich drgań poprzecznych oraz skrętnych, które mogą utrudniać pracę całego urządzenia w określonym zakresie przewidywanych prędkości roboczych oraz dla dowolnych obciążeń procesowych”. Dostarczony system nadzoru stanu technicznego umożliwi analizę właściwości dynamicznych maszyny dla drgań poprzecznych, niestety nie umożliwi on bezpośredniej analizy drgań skrętnych. Inwestor nie dysponuje środkami technicznymi pozwalającymi na stwierdzenie poprawności zaprojektowania maszyny pod względem jej dynamiki drgań skrętnych poprzez porównanie modelowej dynamiki maszyny z zachowaniem obiektu rzeczywistego.

Faza ostatnich testów

W momencie pisania tego artykułu aplikacja systemu MMS „Projekt Polimery Police” została już uruchomiona i jest w fazie ostatnich testów. Po odbiorze systemu, diagności będą odpowiedzialni nie tylko za bieżącą analizę wykrytych anomalii, ale także ciągle doskonalenie konfiguracji systemu diagnostycznego, jak również eksperckiego, w taki sposób, aby system mógł wiarygodnie wykrywać jak największą liczbę anomalii oraz niesprawności automatycznie. W grę wchodzi:

- uzupełnienie konfiguracji systemu o niezbędne dane mechaniczne przydatne w diagnostyce;
- definiowanie alarmów systemowych, co jest możliwe po jakimś czasie pracy maszyn oraz po analizie sygnałów zebranych dla różnych stanów pracy (tzn. obciążeń) maszyny. Zadanie to powinno zostać np. zrealizowane dla obszarów akceptacji wektorów NX w uzależnieniu od obciążenia maszyny, co nie jest ze względów oczywistych (brak danych) możliwe do zrobienia w czasie pierwszej konfiguracji systemu;
- import do systemu diagnostyki sygnałów procesowych, które wpływają na wartości monitorowanych symptomów stanu technicznego;
- wdrożenie wspomaganie ekspertowego dla kolejnych z punktu widzenia ważności maszyn inwestycji;
- analiza poprawności wdrożenia (także z perspektywy potrzebnej kompletności pomiarów) i wprowadzenie niezbędnych korekt i uzupełnień;
- analiza potrzeb ewentualnego doposażenia systemu w diagnostykę on-line odpowiednich parametrów oleju największych układów olejowych nie tylko z myślą o jakości oleju, ale przede wszystkim mającą na celu rozpoznawanie naruszenia poprawności działania maszyn bazując na analizie produktów zużycia (pod kątem: liczność, wielkość, przyczyna).

Podsumowując: na systemowe podejście do wspomaganie UR składa się odpowiednio wyszkolony i doświadczony zespół ludzi wspomagany przez odpowiednie narzędzia diagnostyczne, takie jak systemy on-line, systemy off-line oraz wypracowane standardy diagnostyczne przedsiębiorstwa. Należy pamiętać, że tego rodzaju systemy oraz zespoły wymagają ciągłego doskonalenia. Liczne publikacje pokazują, że przedsiębiorstwa realizujące UR i wspomagające się CBM są w stanie:

- odnotowywać znaczne oszczędności wynikające z ograniczenia liczby kosztownych awarii,
- wydłużyć okresy pomiędzy remontami, a więc tym samym
- zwiększyć dostępność instalacji oraz
- zmniejszyć nakłady finansowe na remonty i części zapasowe.

Wymienione korzyści przekładają się zawsze na wzrost produktywności.

Druga część artykułu, opisująca proces przygotowania do dużej inwestycji w ORLEN S.A., znajdzie się w czasopiśmie „Kierunek Chemia” 1/2025.

Literatura

- [1] Nowicki R., Jak dążyć do mistrzostwa, czyli początki myślenia o UR, *Chemia Przemysłowa*, 2/2024 (857), str. 10..15.
- [2] Nowicki R., SYSTEMY NADZORU: prerekwizyty wymagane na rzecz różnych strategii UR, *Napędy i Sterowanie* Nr 11 (271), Listopad 2021, str. 44-56.
- [3] <https://polyolefins.grupaazoty.com/spolka/o-firmie>
- [4] <https://www.bakerhughes.com/bently-nevada/orbit-home/orbit-article/system-1-decision-support>

Przypisy

- ¹ W pierwotnej wersji dostawca zaproponował włączenie do systemu on-line ~1100 punktów. Natomiast bazując na zapisach w SIWZie, zespołowi nadzorującemu realizację inwestycji ze strony inwestora udało się wymóc zwiększenie do wymienionych ponad 1200 punktów, a więc znacznie polepszyć możliwości wykrywania anomalii oraz analizy diagnostycznej systemu. Przełożmy te suche liczby (bazując na oszacowaniach ALLIANZ) na liczby budzące zazwyczaj trochę emocji: szacuje się, że statystyczny koszt pojedynczego kanału w systemie monitorowania i zabezpieczeń to ~3500 USD, a w przypadku jego włączenia także do systemu diagnostyki koszt ten wzrasta do ~5000 USD. Tak więc w przypadku opisywanego projektu nadzór inwestorski doprowadził do wzrostu wartości dostarczanych dóbr o około pół miliona USD (100 dodatkowych punktów po 5 kUSD), co nic nie kosztowało inwestora, bowiem koszty leżały po stronie EPC.
- ² SIWZ był generowany przez „specjalistów – tradycjonalistów”. W związku z tym ograniczał się do wymienionych tradycyjnych pomiarów. Współcześnie wiadomo, że niektóre maszyny krytyczne winny być dodatkowo wyposażone co najmniej w systemy analizy on-line produktów zużycia. ■

OCHRONA ZAINSTALOWANEJ BAZY NAPĘDOWEJ

Pakiet produktów serwisowych Danfoss DrivePro®

Rafał Rutkowski

kierownik ds. Kluczowych Klientów, Rynek chemiczny i petrochemiczny, Danfoss Drives

Wraz z rozwojem branży chemicznej oraz rosnącymi wymaganiami dotyczącymi efektywności produkcji, firmy muszą inwestować w rozwiązania, które nie tylko usprawnią codzienną pracę, ale także zabezpieczą ich majątek technologiczny przed awariami i uszkodzeniami.

Ochrona zainstalowanej bazy napędowej staje się kluczowym elementem strategii, która gwarantuje przewagę konkurencyjną i stabilność finansową. W artykule przyjrzymy się, jak usługi serwisowe Danfoss DrivePro® wspierają przedsiębiorstwa chemiczne w zarządzaniu, modernizacji i długofalowej ochronie zasobów napędowych, dając pewność, że infrastruktura działa efektywnie i bezpiecznie nawet w najtrudniejszych warunkach.

Polski przemysł chemiczny należy do czołowych sektorów narodowej gospodarki, generując w 2023 roku produkcję o wartości 442 mld zł, co stanowi aż 18% całego przemysłu krajowego. Branża ta zatrudnia około 340 tys. pracowników, których praca bezpośrednio przekłada się na stabilność gospodarki, jak również na innowacje i rozwój całego przemysłu, bez jakich trudno wyobrazić sobie przyszłość w dynamicznie zmieniającym się świecie.

W sektorze chemicznym odpowiednie zabezpieczenie (poprzez monitoring, modernizację i proaktywny serwis) zainstalowanej bazy napędowej jest fundamentem stabilności operacyjnej i zgodności z wymaganiami produkcyjnymi. Ze względu na specyficzne warunki pracy – od wysokich temperatur po agresywne środowisko – minimalizowanie ryzyka przestojów, wydłużanie cyklu życia sprzętu oraz optymalizacja kosztów stają się kluczowe.

Proaktywne zarządzanie urządzeniami z wykorzystaniem algorytmów predykcyjnych

Condition-Based Monitoring (CBM) to nowoczesne rozwiązanie, które w kontekście przemysłu chemicznego nabiera szczególnego znaczenia, umożliwiając monitorowanie stanu technicznego napędów w czasie rzeczywistym, co pozwala firmom na wykrywanie potencjalnych usterek na długo przed wystąpieniem awarii.

W tej branży, gdzie niezawodność i ciągłość produkcji są kluczowe, funkcjonalność pozwala na precyzyjną ocenę stanu maszyn w trudnych warunkach, takich jak wysoka temperatura i agresywne środowisko chemiczne. Dzięki zaawansowanym algorytmom przetwarzającym ogromne ilości danych z czujników na urządzeniach możliwe jest nie tylko rozpoznawanie bieżącego stanu maszyn, ale także przewidywanie ich przyszłego zachowania. CBM analizuje parametry takie jak wibracje, temperatura czy zużycie energii, by zidentyfikować subtelne zmiany trendów wskazujące na potencjalne problemy.

W praktyce CBM znacząco wydłuża cykl życia napędów i redukuje koszty związane z przestojami, co jest niezbędne w przemyśle chemicznym, gdzie każdy przestój może prowadzić do dużych strat. Przewidywalność algorytmów pozwala na planowanie prac serwisowych z minimalnym zakłóceniem produkcji, co nie tylko wpływa na stabilność finansową firmy, ale również na efektywność i bezpieczeństwo operacyjne. Condition-Based Monitoring, jako przykład zaawansowanej technologii w zarządzaniu infrastrukturą technologiczną, wyznacza nowy standard w proaktywnej obsłudze serwisowej, wspierając realizację długofalowych celów przedsiębiorstw chemicznych.

W PAKIECIE
CBM umożliwia proaktywne monitorowanie stanu napędów na terenie zakładu, retrofit wspiera opłacalną modernizację i redukcję kosztów operacyjnych, audyt – dostarcza analiz niezbędnych do planowania konserwacji i serwisu

Przemysłana modernizacja jako inwestycja w przyszłość

W miarę zużycia przetwornic częstotliwości rosną koszty ich utrzymania, coraz trudniej o części zamienne, a dodatkowo spada ich efektywność. Dzieje się tak po zakończeniu planowanego cyklu życia. DrivePro® Retrofit to usługa zaprojektowana, aby wspierać firmy w świadomej modernizacji poprzez wymianę przestarzałych napędów na nowoczesne, bardziej wydajne i niezawodne technologie.

- **W kontekście biznesowym retrofit oferuje:**
- **oszczędności energetyczne** – nowe napędy są bardziej efektywne energetycznie, co pozwala na redukcję kosztów operacyjnych i zmniejszenie śladu węglowego.
- **Zmniejszenie kosztów konserwacji** – nowoczesne urządzenia są mniej podatne na usterki i łatwiejsze do serwisowania, co obniża koszty związane z ich utrzymaniem.
- **Minimalizacja ryzyka awarii** – nowe systemy, zaprojektowane zgodnie z najnowszymi standardami jakości, są bardziej odporne na przestoje, co jest kluczowe dla ciągłości produkcji i stabilności finansowej.

Warto podkreślić, że retrofit to także krok w stronę zrównoważonego rozwoju. Wymiana starszych napędów na nowsze i bardziej ekologiczne rozwiązania wpisuje się w globalne standardy ograniczania emisji oraz odpowiedzialności środowiskowej.

Całościowa ocena i strategia serwisowa

Kompleksową ocenę stanu technicznego zainstalowanych napędów i wsparcie w opracowaniu długoterminowej strategii serwisowej oferuje z kolei DrivePro® 360Live (dawniej: Site Assessment). Usługa daje przedsiębiorstwom precyzyjne dane na temat stanu technicznego ich maszyn oraz potencjalnych obszarów do modernizacji lub optymalizacji, a także pozwala na lepsze planowanie przyszłych konserwacji i serwisu.

Dzięki dogłębnej ocenie eksperci są w stanie zidentyfikować wczesne symptomy ewentualnych problemów, co pozwala na ich naprawę jeszcze przed wystąpieniem awarii, eliminując tym samym nieprzewidziane przestoje i związane z nimi straty finansowe. Z kolei szczegółowe raporty z przeprowadzonych audytów ułatwiają planowanie budżetu na utrzymanie infrastruktury, co minimalizuje występowanie nieprzewidzianych wydatków. 360Live przekłada się też na bardziej efektywne zarządzanie zespołem utrzymania ruchu oraz magazynem części zamiennych.

Pakiet usług Danfoss DrivePro® – obejmujący Condition-Based Monitoring, Retrofit oraz 360Live – to kompleksowe rozwiązanie dla firm, które pragną zabezpieczyć swoje zasoby napędowe i zapewnić im długotrwałą wydajność. CBM umożliwia proaktywne monitorowanie stanu napędów, retrofit wspiera opłacalną modernizację i redukcję kosztów operacyjnych, a audyt dostarcza szczegółowych analiz niezbędnych do efektywnego planowania serwisu. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii i podejściu zorientowanemu na biznes, pakiet pomaga firmom nie tylko zredukować koszty, ale także zwiększyć konkurencyjność i efektywność operacyjną w długim okresie. ■



foto: 123rf

MAŁE NIE ZAWSZE JEST PIĘKNE

Jak rozwiązać globalny problem mikroplastików w wodzie?

dr inż. Roksana Markiewicz

Centrum NanoBioMedyczne, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu



foto. zasoby autorki

Mikroplastiki określa się mianem zanieczyszczeń budzących niepokój, łatwo dostających się do łańcucha pokarmowego. Występują one w wielu formach i co ważne, przenoszą się każdą możliwą drogą transportu: powietrzem, glebą i oczywiście wodą. W przypadku tworzyw sztucznych, wytwarzane są głównie z dużych, wszechobecnych materiałów, a ich wykrywanie, analiza i usuwanie to niezwykle istotny problem środowiskowy.

Jednym z największych wyzwań współczesnego świata jest oczyszczanie wody w celach konsumpcyjnych. Woda zanieczyszczona cząstkami stałymi, mikroorganizmami, toksynami, rozpuszczonymi pierwiastkami i związkami nieorganicznymi (np. metale ciężkie, tj. ołów, kadm, rtęć, żelazo i inne), arsenem, chlorem, fluorem, rozpuszczonymi substancjami organicznymi (herbicydy i pestycydy, resztki roślin i zwierząt oraz ich fragmenty) i wszelkimi innymi naturalnymi lub wytworzonymi przez człowieka chemikaliami, każdego roku zbiera śmiertelne żniwo w postaci setek istnień ludzkich. Ostatnie dziesięciolecie przyniosło wiele dyskusji na temat niedostatku zasobów wodnych i zagrożeń z tym związanych. Ostatecznie w końcu woda nie ma zamiennika, nie istnieje dla niej żadna alternatywa, nie można jej zastąpić [1].

Niezwykle ważnym problemem jest w tym momencie zanieczyszczenie wody tworzywami sztucznymi, w szczególności tymi, których rozmiary okre-

śla się jako mikro-, submikro- i nano-. Materiały te (*micro-/nanoplastics*) powstają najczęściej z większych odpadów, ale mogą pochodzić również ze środków czystości, kosmetyków, leków czy tkanin. Zgodnie z definicją, mikroplastikami określa się cząstki tworzyw sztucznych o wielkości poniżej 5 milimetrów, z kolei mianem nanoplastików – cząstki mniejsze niż 1 mikrometr. Najczęściej występującymi zanieczyszczeniami są te zbudowane z poli(tereftalanu etylenu) (PET), polietylenu o różnych gęstościach (PE: LDPE, LLDPE, HDPE), polipropylenu (PP), polistyrenu (PS), poli(chlorku winylu) (PVC), ABS (kopolimeru złożonego z akrylonitrylu, butadienu i styrenu), polilaktydów (PLA), poliamidów (PA), poliwęglanów (PC) i poliuretanów (PU). Za główne źródła nano- i mikrocząstek polimerowych uważa się kolejno: włókna syntetyczne (35%), cząstki opon samochodowych (29%), kurz miejski (24), cząstki powstałe z degradacji oznaczeń dróg (7%) i inne (6%), w tym produkty do higieny osobistej

(20%), powłoki morskie (3,7%) i granulki z tworzyw sztucznych (0,3%) [2].

Wszechobecne mikroplastiki

Zanieczyszczenia tego typu materiałami są niebezpieczne nie tylko ze względu na skalę ich występowania i trudności w usunięciu, ale również wspomaganie przenoszenia się toksycznych substancji. Ostatnie badania wykazują, że mikroplastiki są wszechobecne: występują we wszelkich akwenach wodnych i wodach podziemnych, w glebie, w powietrzu, ale przede wszystkim znajdują się zarówno w organizmach ludzkich, jak i zwierzęcych.

Problem zanieczyszczeń roztworów wodnych przez tworzywa sztuczne o rozmiarach mniejszych niż mikrometry jest coraz częściej poruszany przez organizacje rządowe, pozarządowe oraz jednostki naukowe. Prowadzone kampanie informacyjne (WHO, UNICEF, ONZ, Komisja Europejska), badania naukowe dotyczące zanieczyszczenia zasobów wodnych, ich wykrywania, analizy i skutków środowiskowych nimi wywołanych, ustawodawstwo (m.in. zakaz wykorzystywania mikro- i nanocząstek w produktach kosmetycznych) oraz kampanie medialne sprawiają, że problem jest coraz bardziej widoczny i istnieje szansa, że zwróci on na siebie uwagę wielu ośrodków naukowo-badawczych. Ważne jest również, że pomimo postępującego od wielu lat wzrostu świadomości w zrozumieniu potrzeby recyklingu, zwiększania świadomości konsumentów w kontekście wyrobów z tworzyw sztucznych czy wprowadzenia filozofii „zero waste”, rynek tworzyw sztucznych rokrocznie rośnie. Do pogłębienia problemu mikro(tworzyw sztucznych) przyczyniły się również czasy pandemii COVID-19, podczas której, ze względu na bezpieczeństwo, używano większej ilości materiałów jednorazowych, w tym jednorazowych maseczek wykonanych głównie z poliestrów i polipropylenu. Pandemia i kryzys ekonomiczny zatrzymały na kilka lat rozwój kwestii środowiskowych jeśli chodzi o wykorzystanie tworzyw sztucznych, ale również produktów ekologicznych, np. z zakresu chemii gospodarczej. Zgodnie z szacunkami obecnie produkuje się około 3 miliardów ton tworzyw sztucznych rocznie, a rynek ten będzie nadal wzrastał i przy utrzymaniu dotychczasowej tendencji w roku 2050 osiągnie niebywałą wartość 33 miliardów ton rocznie. Kluczowym elementem jest również fakt, że w skali globalnej recyklingowi poddaje się zaledwie około 7% powstałych tworzyw sztucznych, około 12% rocznie jest spalanych, pozostałe 79% trafia do użytku, a dalej składowane jest na wysypiskach czy trafia bezpośrednio do naszego otoczenia [3-5].

Regulacje na ratunek

Problem tworzyw sztucznych nie jest wyzwaniem nowym, ale coraz częściej podejmuje się działania mające na celu nie tylko podniesienie kwestii potencjalnych zagrożeń powodowanych przez tego typu zanieczyszczenia, ale również stosuje się nowe regulacje dotyczące

stosowania mikrocząstek polimerów syntetycznych w celu ograniczenia ich emisji do środowiska. 17 października 2023 wydano rozporządzenie UE 2023/2055 wprowadzające okresy katerycznego zaprzestania używania mikrocząstek polimerowych wraz z okresami przejściowymi w przypadku odpowiednich towarów. M.in. od 17 października 2027 zabronione będzie stosowanie ich w produktach splukiwanych do zastosowań kosmetycznych, od 17 października 2028 r. – w produktach nawozowych, detergentach, pastach czy woskach, od 17 października 2029 r. – w wyrobach medycznych czy produktach stosowanych do kapsulacji substancji zapachowych, od 17 października 2031 r. – w środkach ochrony roślin, a od 17 października 2035 r. – w produktach do makijażu. Istotne, że to samo rozporządzenie nakłada na producentów i dalszych użytkowników mikroplastików konieczność raportowania od roku 2026 nie tylko zastosowania i ogólnych danych wykorzystanych tworzyw polimerowych, ale również szacowania ilości mikrocząstek uwalnianych do środowiska podczas transportu. Trwają ponadto prace Komisji nad nowym rozporządzeniem regulującym cały rynek opakowań, w celu ograniczenia stosowania substancji szkodliwych i potencjalnie niebezpiecznych. Co istotne, 11 marca 2024 w życie weszła w życie decyzja 2024/1441 uzupełniająca dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 poprzez ustanowienie metodyki pomiaru zawartości mikroplastiku w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

”

Recyklingowi poddaje się zaledwie około 7% powstałych tworzyw sztucznych, około 12% rocznie jest spalanych, pozostałe 79% trafia do użytku

Mikrocząstki a oczyszczanie wody

Oszacowano, że ilość tworzyw sztucznych wchodzących do oceanów rocznie tylko w 2017 r. wynosiła ponad 33 razy więcej niż całkowita ilość tworzyw sztucznych zgromadzonych w oceanach do 2015 r. (szacuje się w tym czasie ilości 93-236 tysięcy ton), co stanowi niepokojący wskaźnik pogorszenia sytuacji obecności cząstek tworzyw sztucznych. Badania dotyczące wpływu tworzyw sztucznych mniejszych niż 5 mm na organizmy (rośliny, zwierzęta i ludzi) wykazały, że mogą one być spożywane i gromadzone przez różne organy i tkanki. Nie dość, że same w sobie mikrocząstki polimerowe są szkodliwe, to mogą one dodatkowo działać jako nośniki różnych toksyn, metali ciężkich, herbicydów, antybiotyków itp. [6-9].

Problem mikrocząstek tworzyw sztucznych jest ważny przede wszystkim z punktu widzenia oczyszczania wody. Nadmienić należy, że ogólna wartość usuwania tego typu cząstek w klasycznym procesie oczyszczania wody jest bardzo wysoka, przekracza przeważnie 99%. Po procesie oczyszczania dość duża ilość nadal trafia jednak do oczyszczonej wody (do 447 cząstek na litr) oraz pozostaje w osadach w ilościach do $1,69 \times 10^5$ cząstek na gram osadu, które wchodzą dalej do środowiska poprzez praktyki rzutu i/lub ponownego wykorzystania szlamu i odzyskanej wody. Szacuje się, że to właśnie oczyszczalnie ścieków są odpowiedzialne za wejście do środowiska około 90% cząstek – do nich trafiają ogromne ilości mikro- i nanocząstek przede wszystkim z działalności człowieka i przemysłu. To oczyszczalnie ścieków są dziś „gorącymi punktami” i to tam przede wszystkim powinno się wprowadzać technologie usuwające również te zanieczyszczenia. Co ważne, mikrocząstki tworzyw sztucznych pozostające w wodzie oczyszczonej mogą – podobnie jak w każdym innym środowisku – oddziaływać z innymi znajdującymi się tam zanieczyszczeniami, w tym organicznymi, nieorganicznymi czy patogenami. Zbadano wpływ mikrocząstek w wielu oczyszczalniach ścieków na całym świecie – wyniki tych badań zależą m.in. od technologii wykorzystywanej w danym obiekcie (np. oczyszczalnie stosujące ultrafiltrację mają dużo wyższy poziom zatrzymania cząstek polimerowych), poziomu zurbanizowania czy uprzemysłowienia danego obszaru. Wszystkie analizy zgodnie potwierdzają ogromne ilości mikroplastików wydostających się z oczyszczalni bezpośrednio do środowiska.

Miejskie oczyszczalnie ścieków zazwyczaj posiadają etapy wstępne, pierwotne, wtórne, a czasem trzecio- i czwartorzędowe, zakładające szereg różnych procesów oczyszczania wody metodami fizycznymi, chemicznymi

i biologicznymi. Procesy wstępne to przede wszystkim usuwanie dużych elementów pływających. Podczas etapów pierwotnych następuje usunięcie zawieszonych ciał stałych, w tym stałych cząstek organicznych, co osiąga się poprzez sedymentację grawitacyjną, czasem wspieraną przez koagulanty. Oczyszczanie wtórne zazwyczaj opiera się na procesach biologicznych; kolejne etapy to m.in. filtracja (oraz ultrafiltracja) czy różnorodne procesy dezynfekcji.

Zakresy wydajności usuwania mikrocząstek tworzyw sztucznych są zróżnicowane, przy czym zaznaczyć należy, że to dwa pierwsze etapy eliminacji dużych i zawieszonych zanieczyszczeń stałych powodują usunięcie największych ich ilości: od 30-35% we wstępnym oczyszczaniu do aż 98% podczas etapów sedymentacyjnych. Te etapy są najbardziej skuteczne dla stosunkowo dużych cząstek tworzyw sztucznych, których wielkość sięga od 0,3 do 5 mm. Tylko zaawansowane technologiczne oczyszczanie ścieków pozwala w kolejnych etapach usunąć co prawda mniejsze ilości, ale też i mniejsze cząstki.

Występowanie mikrocząstek polimerowych w ściekach może pogorszyć skuteczność procesów oczyszczania. Na przykład obecność mikroplastików na wstępnych etapach oczyszczania może blokować drobne osadników lub dodawania innych lub bardziej efektywnych koagulantów czy flokulantów. Na kolejnych etapach oczyszczania, cząstki te hamować mogą aktywność mikroorganizmów, promować sorpcję zanieczyszczeń organicznych lub nieorganicznych na swojej powierzchni, zanieczyszczać (blokować pory) membrany dużo szybciej niż inne zanieczyszczenia, powodując zwiększenie się kosztów operacyjnych i zmniejszenie żywotności tychże elementów. Dodatkowo mogą działać osłonowo przy procesach dezynfekcyjnych czy

**ROCZNIE 33
MILIARDY TON**
Obecnie produkuje się około 3 miliardów ton tworzyw sztucznych rocznie, a rynek ten będzie nadal wzrastał. Przy utrzymaniu dotychczasowej tendencji, w roku 2050 osiągnie niebywałą wartość 33 miliardów ton rocznie



Fot. 123rf

rozpraszać światło UV, nie pozwalając na odpowiednie oczyszczenie pozostałych zanieczyszczeń.

Ciężko jest określić całkowity wpływ nanocząstek na procesy oczyszczania wody, szczególnie biorąc pod uwagę niewielką liczbę dostępnych badań w samych oczyszczalniach ścieków. Co istotne, nawet w zawartych w literaturze światowej opracowaniach dotyczących poszczególnych etapów brano pod uwagę często nie-realistyczne warunki laboratoryjne. Ważne jest, aby dowiedzieć się, w jaki sposób nano- i mikrocząstki polimerowe przeszkadzają w warunkach rzeczywistych. Należy również uświadomić sobie, że same stanowią zagrożenie, same są zanieczyszczeniem, które należy usunąć.

Pomimo świadomości niekorzystnych skutków wywoływanych przez mikroplastiki, skuteczne usunięcie ich z wody pozostaje wyzwaniem. Konwencjonalne metody są nie całkiem efektywne. Różne sposoby oczyszczania charakteryzują się różnym skutkiem, jednak generalnie poziom usuwania tych cząstek jest daleki od zadowolenia. Całkowite wyeliminowanie mikro- i nanocząstek polimerowych wymaga zarówno nowych metod, jak i przemyslenia stosowanych obecnie procesów.

Jest wiele aspektów, które należy brać pod uwagę w przypadku mikroplastików. Są one zanieczyszczeniami złożonymi o różnych właściwościach, które stawiają nam duże wyzwania w zakresie oceny nie tylko ryzyka, ale przede wszystkim monitorowania ich ilości, wykrywania i usuwania. Pomimo szeregu technik analitycznych, brak znormalizowanych metod analizy dostępnych dla wszystkich wpływa na niewiedzę o poziomie zagrożenia „pływającym” w naszym otoczeniu. Efekty toksykologiczne zależą zarówno od właściwości cząstek, jak i poziomu narażenia na nie. Dodatkowo, podczas gdy wiele rozwiązań wykazuje potencjał do usuwania mikroplastików ze ścieków, wiele testów odbywa się wyłącznie w laboratoriach, na nierzeczywistych układach. Brak im oceny ekonomicznej, a często techniki te, z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju, mogą być bardziej szkodliwe niż ich niestosowanie. Należy się problemem zająć systematycznie, integrując wysiłki w wielu sektorach i dyscyplinach, biorąc pod uwagę poprawę gospodarki odpadami, wdrażanie zakazu używania niektórych produktów, postępy w technologiach wykrywania zanieczyszczeń oraz metod ich usuwania, całkowite zrozumienie wpływu ekologicznego i zdrowotnego, ale także edukację i kampanie informacyjne.

Autorka dziękuje Narodowemu Centrum Nauki, finansującemu projekt nr. 2022/47/D/ST8/02389, zatytułowany: „Nowe biosorbenty na bazie celulozy w technologiach uzdatniania wody: rola oddziaływań powierzchniowych i międzycząsteczkowych”.

NANOSTRUKTURY CELULOZOWE

– Jednym z rozwiązań opisywanych w moich badaniach jest wykorzystanie sfunkcjonalizowanych nanostruktur celulozowych. Prowadzone prace dotyczą wykorzystania potencjału zmiany powinowactwa powierzchni nanostruktur celulozowych w celu wyodrębniania, usunięcia czy zmniejszenia zanieczyszczenia mikroplastikami – tłumaczy **dr inż. Roksana Markiewicz** z Centrum NanoBioMedycznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. – Pod tym względem flokulanty bazujące na biopolimerach mogą w przyszłości stanowić wiarygodną alternatywę, aby pomóc w rozwiązaniu potencjalnych zagrożeń. Kluczowe jest to, że projekt przyniesie podstawową wiedzę o roli oddziaływań powierzchniowych i międzycząsteczkowych między zanieczyszczeniem a materiałem, co pozwoli dalej opracować proces technologiczny usuwania nano- i mikro(tworzyw sztucznych) – zaznacza autorka.

fot. zasoby autorki



Literatura

1. Markiewicz R. Eco-Friendly alternative for water treatment from nanotechnology. *Journal of Nanoscience and Technology*. 2016;4:28-34.
2. Kaushik A, Singh A, Kumar Gupta V, Mishra YK. Nano/micro-plastic, an invisible threat getting into the brain. *Chemosphere*. 2024;361:142380. doi:10.1016/J.CHEMOSPHERE.2024.142380.
3. Adeel M, Mina T, Rizzo L, Fatta-Kassinos D. The impact of microplastics on the efficacy of urban wastewater treatment processes. *J Environ Chem Eng*. 2024;12(5):113625. doi:10.1016/J.JECE.2024.113625.
4. Mousazadehgavan M, Khademi S, Naeini AM, et al. Fate of micro- and nanoplastics in water bodies: A critical review of current challenges, the next generation of advanced treatment techniques and removal mechanisms with a special focus on stormwater. *Journal of Water Process Engineering*. 2024;67:106159. doi:10.1016/J.JWPE.2024.106159.
5. Matavos-Aramyan S. Addressing the microplastic crisis: A multifaceted approach to removal and regulation. *Environmental Advances*. 2024;17:100579. doi:10.1016/J.ENVADV.2024.100579.
6. Qian N, Gao X, Lang X, et al. Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2024;121(3):e2300582121. doi:10.1073/PNAS.2300582121/.
7. Marfella R, Prattichizzo F, Sardu C, et al. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *New England Journal of Medicine*. 2024;390(10):900-910. doi:10.1056/NEJMOA2309822/.
8. Dong S, Gao P, Li B, et al. Occurrence and migration of microplastics and plasticizers in different wastewater and sludge treatment units in municipal wastewater treatment plant. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* 2022 16:11. 2022;16(11):1-10. doi:10.1007/S11783-022-1577-9
9. Shen M, Zhang Y, Zhu Y, et al. Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. *Environmental Pollution*. 2019;252:511-521. doi:10.1016/J.ENVPOL.2019.05.102. ■

WIECZNE CHEMIKALIA

Czy zostaną z nami na zawsze?

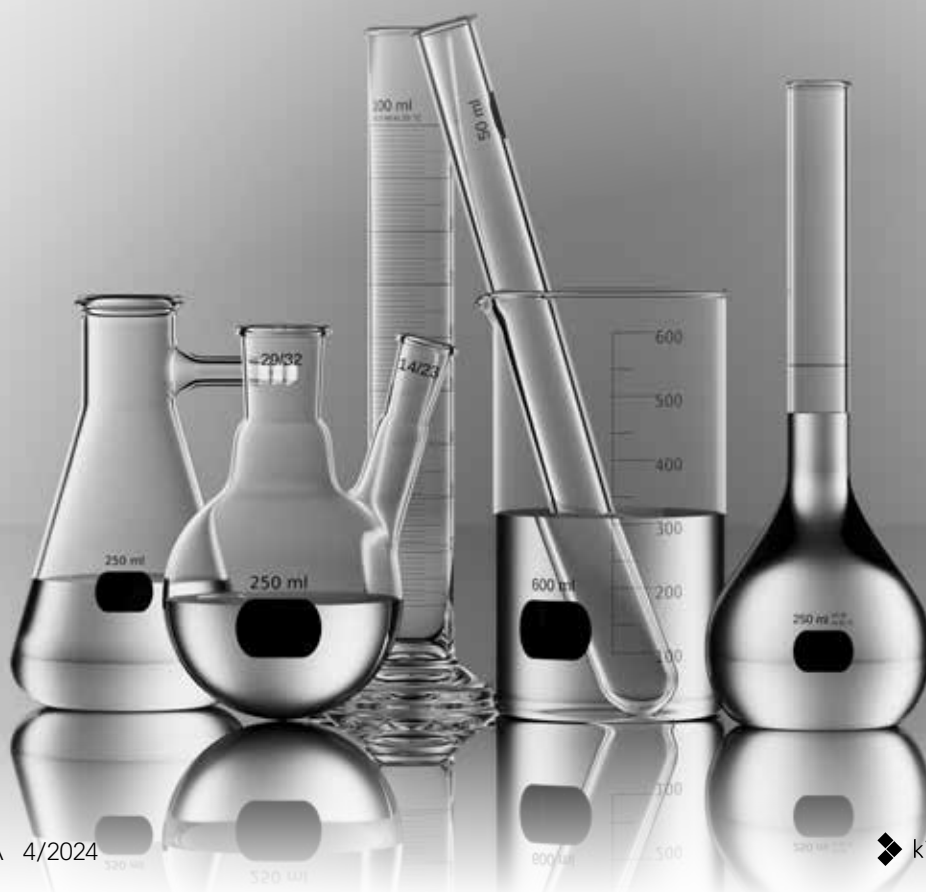
Natalia Walczak, Małgorzata Szopińska, Filip Gamoń,
Aneta Łuczkiwicz, Sylwia Fudala-Książek

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

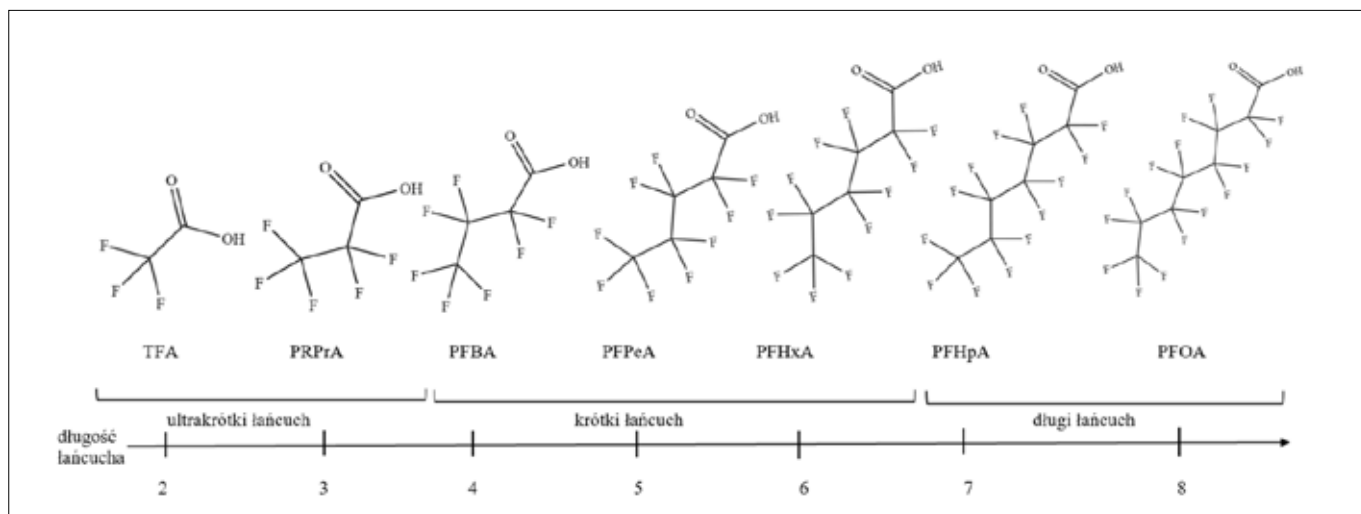
Każdy z nas ma kontakt z przedmiotami takimi jak patelnia z powłoką teflonową, baterie, nici dentystyczne, papierowe kubki i słomki czy kosmetyki. Co je łączy? Wszystkie w swojej strukturze mogą zawierać związki poli- i perfluoroalkilowe znane jako PFAS i należące do grupy tzw. „wiecznych chemikaliów”.

PFAS – poli- i perfluoroalkilowe związki organiczne to szeroka grupa syntetycznych związków organicznych o budowie łańcuchowej i dużej masie cząsteczkowej, obejmująca ponad 9000 indywidualów chemicznych [1]. Można je podzielić według długości łańcucha na:

ultrakrótkie (łańcuch składający się z 2-3 atomów węgla), krótkie (łańcuch z 4-6 atomów węgla) oraz długie, zawierające 7 i więcej atomów węgla w łańcuchu [2]. PFAS zawierają w swojej budowie silne wiązanie węgiel-fluor (rys. 1). To połączenie jest znacznie trwalsze



Fot. 123rf



RYS. 1

Struktura chemiczna wybranych PFAS z podziałem na długość łańcucha

niż węgiel-wodór i sprawia, że znane dotąd metody degradacji, takie jak promieniowanie ultrafioletowe (UV), rozkład termiczny lub chemiczny, są nieskuteczne. Związki te należą więc do grupy tzw. „wiecznych chemikaliów” (ang. *forever pollutants*, *forever chemicals*). Ich struktura składa się z hydrofobowego łańcucha fluorowęglowego i grupy hydrofilowej, co ma wpływ na ich różnorodne właściwości fizyczne i chemiczne [1], a w konsekwencji umożliwia szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach.

Gdzie znajdziemy PFAS?

Dzięki swoim niezwykłym właściwościom, PFAS znajdują szerokie zastosowanie w różnych sektorach

gospodarki. Związki z grupy PFAS są używane w wielu produktach już od lat 50., np. jako materiały nieprzywierające, wodoszczelne i wodoodporne, plamoodporne, uszczelniające, a także przedmioty o wysokiej trwałości termicznej. Można je znaleźć w rzeczach codziennego użytku, takich jak odzież nieprzemakalna, patelnie z powłoką nieprzywierającą, wszelkiego rodzaju opakowania do żywności odporne na tłuszcz i wilgoć. Śliska powłoka wewnątrz słomek, kubków i pojemników papierowych zawiera właśnie związki z grupy PFAS.

Stosowane są one również w przemyśle chemicznym jako związki powierzchniowo czynne dodawane do farb i klejów oraz w przemyśle kosmetycznym, jako składnik kosmetyków wodoodpornych [3]. Związki PFAS wykorzystuje się także w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, elektronicznym i biomedycynie. W lotnictwie są używane przy uszczelnieniach, gdzie uszczelki muszą wytrzymać wysokie ciśnienia, a także jako powłoki antykorozyjne. W medycynie – w materiałach do implantów oraz w różnych rodzajach opatrunków. Stosuje się je też w pianach gaśniczych służących do gaszenia substancji łatwopalnych. Najbardziej znanymi materiałami, które zawierają związki z tej grupy, są: teflon, produkowany przez amerykańską firmę DuPont i Gore-Tex, wykorzystywany w odzieży wodoodpornej [3].

Substancje te obecne są nie tylko w wyżej wspomnianych materiałach, ale identyfikowane też w różnych środowiskach (rys. 2), do których mogą przedstawiać się ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi, ale i z wodami opadowymi, w wyniku spływu powierzchniowego z terenów przemysłowych. Najczęściej oznaczanymi związkami w wodach powierzchniowych i gruntowych są: PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS. Ich stężenia różnią się w zależności od regionu.

Alarmujące wyniki badań

Ze względu na powszechne występowanie oraz niezwykłą trwałość związków z grupy PFAS w środowisku, konieczne jest monitorowanie ich ilości oraz

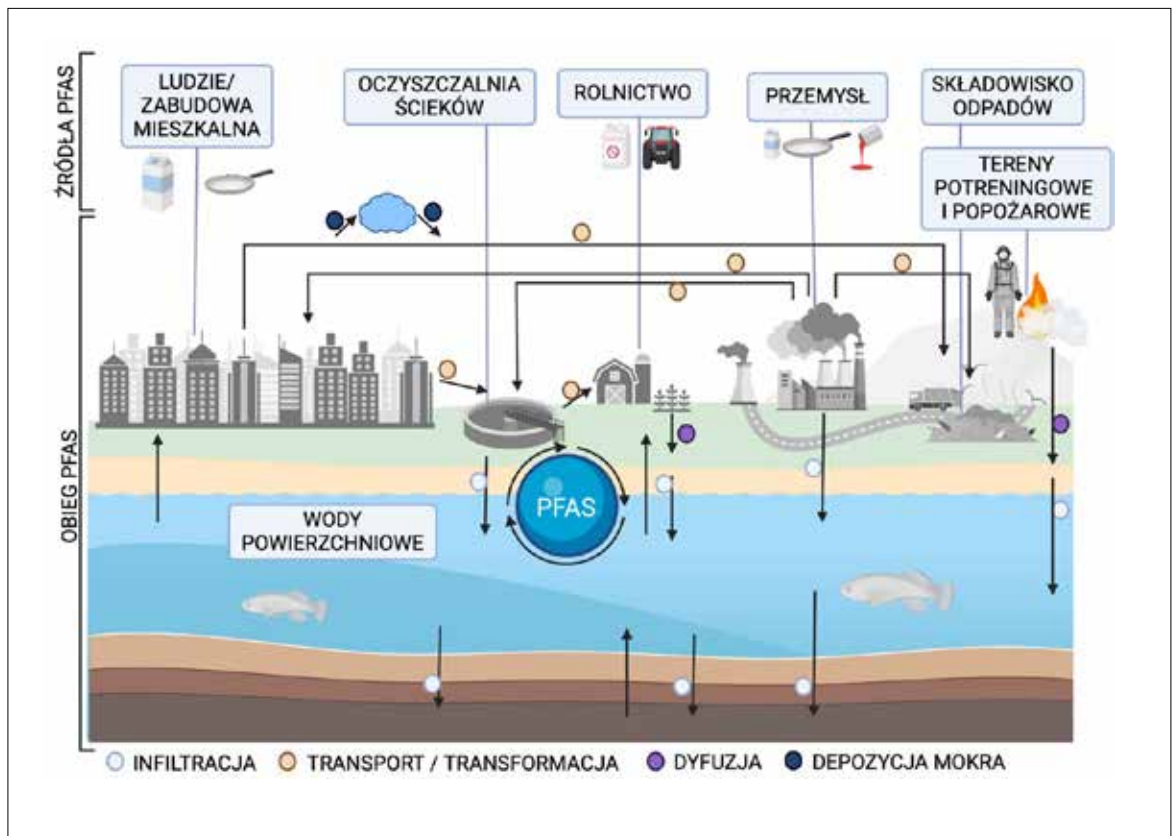
WPEŁYW ZWIĄZKÓW Z GRUPY PFAS

Obecność związków poli- i perfluoralkilowych w materii nieożywionej (w wodzie i w glebie) niesie za sobą szereg negatywnych konsekwencji i nie jest obojętna dla ludzi i środowiska



Fot. 123rf

RYS. 2
Los środowiskowy
„wiecznych
zanieczyszczeń”



tempa wzrostu stężeń. Grupa dziennikarzy z Le Monde, w ramach *Forever Pollution Project*, przez prawie rok zgromadziła dane mające na celu sprawdzenie, gdzie znajdują się skupiska wiecznych zanieczyszczeń w Europie. Odkryli oni 23 000 skażonych miejsc (stężenie PFAS powyżej 10 ng/L) oraz ponad 2300 takich, w których skażenie osiąga stężenia niebezpieczne dla zdrowia (ponad 100 ng/L). Tam, gdzie wykryto największe skażenie, znajdują się zakłady przemysłowe zajmujące się produkcją PFAS [3]. Innym istotnym źródłem emisji PFAS mogą być składowiska odpadów. Na terenie północnej Polski w próbkach odcieków składowiskowych oznaczono PFOA o stężeniu 1350 ± 320 ng/L oraz PFOS o stężeniu 3280 ± 940 ng/L (stan na rok 2020) [4].

dla ludzi i środowiska. Wyniki badań wskazują na występowanie PFAS w tkankach organizmów żywych (skorpionów, pand, żółwi wodnych, a także psów czy koni) [1]. PFAS do organizmu człowieka mogą dostać się poprzez inhalację, spożycie zanieczyszczonej żywności lub wody [5]. Przeprowadzone badania pokazują, że zawartość wybranych związków z grupy PFAS w tkankach niektórych gatunków ryb może dochodzić do stężeń w zakresie 9,38-262,92 ng/g [6], w mięsie zwierząt hodowlanych Σ PFAS wynosiła 0,0110 μ g/kg u bydła, 0,001 μ g/kg u świń, a nawet 0,93 μ g/kg w mięsie dzików [7]. W innym badaniu porównano zawartości PFAS w warzywach: świeżych, mrożonych i gotowych sałatkach. Spośród tych trzech grup największe ilości szkodliwych związków wykryto właśnie w ostatniej grupie – średnia zawartość PFAS wynosiła 0,13 ng/g, podczas gdy dla warzyw świeżych było to 0,07 ng/g, a mrożonych – 0,06 ng/g [8]. Ich obecność wykazano również we krwi człowieka, a także w mleku matki [9, 10]. Donosi się, że związki z grupy PFAS zwiększają ryzyko powstawania nowotworów i powodują problemy z płodnością [3]. Co więcej, mogą wywoływać immunosupresyjność, czyli obniżenie odpowiedzi immunologicznej organizmu. [11]

”

Ważną cechą związków mających zastąpić PFAS jest biodegradowalność

Wpływ na środowisko i zdrowie człowieka

Obecność omawianej grupy związków w materii nieożywionej (w wodzie i w glebie) niesie za sobą szereg negatywnych konsekwencji i nie jest obojętna

Czy znamy odpowiednie technologie usuwania PFAS?

Z powodu opisanych wcześniej negatywnych skutków środowiskowych wywołanych obecnością PFAS

TAB. 1
Zestawienie aktów prawnych dotyczących PFAS

Rodzaj regulacji prawnej	Związki z grupy PFAS objęte regulacjami /materiał	Czego dotyczy?	Limity	Lit
Konwencja Sztokholmska	PFOA i PFOS oraz ich sole	Eliminacja lub ograniczenie stosowania trwałych zanieczyszczeń organicznych	Wprowadzane indywidualnie przez poszczególne kraje	[15]
REACH	PFOA, PFBS, PFHxS	Gromadzenie informacji o właściwościach i zagrożeniach związanych z substancjami	W żywności: 4,4 ng/kg W tekstyliach: nie więcej niż 0,1% masowego i 1 µg/m ²	[16]
Dyrektywa Wodna	PFOS i jego pochodne	Monitoring stanu wód powierzchniowych i gruntowych	Wody powierzchniowe średnia roczna 6,5•10 ⁻⁴ µg/L, maksymalne stężenie 36 µ/L Wody inne niż powierzchniowe: średnia roczna 1,3•10 ⁻⁴ µg/L, maksymalne stężenie 7,2 µg/L	[17]
Rozporządzenie (WE) Nr 1935/2004	Kleje, tworzywa sztuczne, papier i tektura, lakiery i powłoki	Regulacja materiałów mających kontakt z żywnością	Materiały nie mogą uwalniać niebezpiecznych substancji	[18]
Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184	ΣPFAS ₂₀ *	Monitorowanie stężenia związków PFAS w wodzie przeznaczonej do spożycia	PFAS ogółem: 0,50 µg/L Suma PFAS: 0,10 µg/L	[19]
Raport Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności „Ryzyko dla zdrowia człowieka związane z obecnością PFAS w żywności” z dn. 17.09.2020	PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS	Określa próg tygodniowego spożycia związków z grupy PFAS.	Tolerowane tygodniowe spożycie: 4,4 ng/kg masy ciała	[20]

* ΣPFAS₂₀: PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFTrDA, PFBS, PFPS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDOS, PFTrDS

kluczowe staje się szukanie innowacyjnych alternatywnych związków, jak również zaproponowanie strategii obejmujących technologie ich usuwania. Obecnie, poszukując nowych rozwiązań, wzrasta zainteresowanie wykorzystywaniem materiałów pochodzenia naturalnego. Testuje się stosowanie wosków naturalnych w opakowaniach do żywności, a także materiałów na bazie skrobi. W przemyśle kosmetycznym i tekstylnym wykorzystuje się silikon, z kolei w przemyśle chemicznym – szuka środków powierzchniowo czynnych, niezawierających w budowie fluorowców [12, 13]. Ważną cechą związków mających zastąpić PFAS jest biodegradowalność. Proces ten umożliwia rozkład skomplikowanych substancji chemicznych na prostsze, takie jak woda i ditlenek węgla, które nie stanowią już zagrożenia dla środowiska.

Aby usunąć PFAS ze środowiska wodnego, badane są obecnie różne metody separacyjne: adsorpcja na węglu aktywnym, adsorpcja na żywicach jonowymiennych, elektrokoagulacja. Adsorpcja na węglu aktywnym lepiej sprawdza się podczas usuwania związków długołańcuchowych, a adsorpcja na złożach jonowych jest skuteczna przy wysokich stężeniach PFAS w wodzie. Adsorbenty polimerowe również wykazują wysoką skuteczność wiązania

zanieczyszczeń. Wymienione podłoża wymagają jednak regeneracji i są używane w połączeniu z innymi metodami. Sprawdza się również różne sposoby degradacji: elektrochemiczne utlenianie, procesy fotokatalityczne, sonolizę (oczyszczanie z udziałem fal ultradźwiękowych). Procesy fotokatalityczne dają wysoką efektywność usuwania, ale zależy ona od warunków reakcji.

Elektrochemiczne utlenianie ma poważną wadę – mogą powstawać nowe związki, których obecność może powodować wzrost toksyczności. Niemniej, z pomocą procesów elektrolitycznych stopień usuwania PFAS jest wysoki. W matrycy odcieków składowiskowych, wykorzystując tę technikę, usunięto 95% PFOA i 84% PFOS [4]. Dodatkowo, ewaluowane jest wykorzystanie właściwości wody w stanie nadkrytycznym do degradacji związków z grupy PFAS. Woda w stanie nadkrytycznym przybiera właściwości rozpuszczalnika niepolarnego, dzięki czemu umożliwia utlenianie substancji organicznych, tym samym prowadząc do ich rozkładu [14].

Regulacje prawne

W obliczu rosnących obaw związanych z wpływem związków z grupy PFAS na środowisko, wprowadzane

są liczne regulacje prawne [15, 16, 17, 18, 19, 20] mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa poprzez monitorowanie i eliminowanie czynnika szkodliwego z otoczenia (dostępne akty prawne podsumowano w tabeli 1). Jednym z takich dokumentów jest Konwencja Sztokholmska [15], w której znajdują się zapisy mające na celu eliminację lub ograniczenie stosowania trwałych zanieczyszczeń organicznych, w tym PFOA i PFOS oraz ich soli. Wśród europejskich regulacji znajduje się np. REACH [16], która zabrania lub ogranicza stosowanie i produkcję niektórych związków z grupy PFAS. Inne regulacje wprowadzone w UE to także: dyrektywa wodna UE [17], określająca dopuszczalną ilość PFAS w wodach powierzchniowych, oraz rozporządzenie o materiałach do kontaktu z żywnością [18], narzucające ograniczenie i eliminację związków PFAS z opakowań mających kontakt z żywnością.

Pomimo szerokiej gamy zastosowań i niezwyklej trwałości związków z grupy PFAS należy poszukiwać alternatywnych substancji, które mogłyby je zastąpić. Stwierdzono bowiem, że ich obecność w środowisku może mieć negatywny wpływ zarówno na ekosystemy, jak i zdrowie ludzi. Rozwój metod detekcji oraz technologii usuwania tych związków z wody i ścieków powinien być zatem priorytetem w sektorze inżynierii środowiska.

Podziękowania



Literatura

- [1] Rekić, H., Arab, H., Pichon, L., El Khakani, M. A., & Drogui, P. (2024). Per- and polyfluoroalkyl (PFAS) eternal pollutants: Sources, environmental impacts and treatment processes. *Chemosphere*. (https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142044).
- [2] https://swana.org/news/blog/swana-post/swana-blog/2024/01/23/sorting-through-science-unearting-role-of-short-chain-pfas [dostęp dn. 28.10.2024 r.].
- [3] Artykuł "Revealed: The massive contamination of Europe by PFAS 'forever chemicals'" https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/revealed-the-massive-contamination-of-europe-by-pfas-forever-chemicals-6016906_8.html [dostęp 24.10.2024].
- [4] Pierpaoli, M., Szopińska, M., Wilk, B. K., Sobaszek, M., Łuczkiwicz, A., Bogdanowicz, R., & Fudala-Książek, S. (2021). Electrochemical oxidation of PFOA and PFOS in landfill leachates at low and highly boron-doped diamond electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123606. (https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123606).
- [5] https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas [dostęp dn. 28.10.2024 r.].
- [6] Xiu, Z., Zheng, N., An, Q., Chen, C., Lin, Q., Li, X., Wang, S., Peng, L., Li, Y., Zhu, H., Sun, S., & Wang, S. (2024). Tissue-specific distribution and fatty acid content of PFAS in the northern Bohai Sea fish: Risk-benefit assessment of legacy PFAS and emerging alternatives. *Journal of Hazardous Materials*, 480, 136024. (https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136024).
- [7] Mikołajczyk, S., Warenik-Bany, M., Pajurek, M., & Marchand, P. (2024). Perfluoroalkyl substances in the meat of Polish farm animals and game – Occurrence, profiles and dietary intake. *Science of The Total Environment*, 945, 174071. (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174071).
- [8] Piva, E., Fais, P., Ioime, P., Forcato, M., Viel, G., Cecchetto, G., & Pascali, J. P. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) presence in food: Comparison among fresh, frozen and ready-to-eat vegetables. *Food Chemistry*, 410, 135415. (https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135415).
- [9] Cursino Hron, L. M., Wöckner, M., Fuchs, V., Fembacher, L., Aschenbrenner, B., Herr, C., Schober, W., Heinze, S., & Völkel, W. (2024). Monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human blood samples collected in three regions with known PFAS releases in the environment and three control regions in South Germany. *Archives of Toxicology*, 98(11), 3727–3738. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39167139/
- [10] LaKind, J. S., Naiman, J., Verner, M.-A., Lévêque, L., & Fenton, S. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in breast milk and infant formula: A global issue. *Environmental Research*, 219, 115042. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36529330/
- [11] https://media.pg.edu.pl/aktualnosci/pr/837192/naukowcy-pg-pracuja-nad-technologie-usuwania-wiecznych-chemikaliow-z-wody-i-ściekow [dostęp dn. 24.10.2024].
- [12] Sharma, R., Shelke, S., Bagheri Kashani, M., Morose, G., Christuk, C., & Nagarajan, R. (2023). Safer and effective alternatives to perfluoroalkyl-based surfactants in etching solutions for the semiconductor industry. *Journal of Cleaner Production*, 415, 137879. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137879.
- [13] Glenn, G., Shogren, R., Jin, X., Orts, W., Hart-Cooper, W., & Olson, L. (2021). Per- and polyfluoroalkyl substances and their alternatives in paper food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12726.
- [14] Li, J., Austin, C., Moore, S., Pinkard, B. R., & Novosselov, I. V. (2023). PFOS destruction in a continuous supercritical water oxidation reactor. *Chemical Engineering Journal*, 451(Part 4), 139063. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139063.
- [15] Konwencja Sztokholmska w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych, sporządzona w Sztokholmie dnia 22 maja 2001 r.; Dz.U. 2009 nr 14 poz. 76.
- [16] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów.
- [17] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- [18] Rozporządzenie (WE) nr 1935/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 października 2004 r. W sprawie materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz uchylające dyrektywy 80/590/EWG i 89/109/EWG.
- [19] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32020L2184 [dostęp dn. 21.10.2024].
- [20] https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2020.6223 [dostęp dn. 28.10.2024 r.]. ■

XXXI Sympozjum Naukowo-Techniczne

CHEMIA 2025

29-30

STYCZNIA



2025 r., PŁOCK



GRA o wielką

CHEMIĘ



budujemy możliwości
porozumienia



ODRA Atujemy RZEKI

SEEN Technologie – rozwiązania na rzecz zmniejszenia zasolenia wód

Krzysztof Pacierpnik

dyrektor Działu Sprzedaży w SEEN Technologie

Odsalanie wód stanowi jedno z najważniejszych wyzwań współczesnego świata. W obliczu rosnącego zasolenia rzek, takich jak Odra, staje się ono kluczowym narzędziem w ochronie środowiska i utrzymaniu równowagi ekologicznej.

Wysoka zawartość soli w rzekach prowadzi do ubożenia bioróżnorodności, ponieważ wiele gatunków zwierząt nie jest w stanie przetrwać w takich warunkach. Rośliny wodne, które odgrywają kluczową rolę w ekosystemach rzecznych, również zaczynają obumierać. Zasolenie ma także bezpośredni wpływ na jakość wody pitnej, a co za tym idzie – na zdrowie ludzkie. W sektorze rolnictwa zasolona woda wykorzystywana do nawadniania powoduje degradację gleby, zmniejszając jej płodność i prowadząc do spadku wydajności upraw. Rolnicy, zmuszeni do korzystania z coraz gorszej jakości wody, stają przed wyzwaniem utrzymania produkcji na opłacalnym poziomie.

Technologia odsalania wód

W obliczu tych wyzwań, technologia odsalania wód staje się nieodzownym elementem ochrony środowi-

ska i zrównoważonego rozwoju. Odsalanie pozwala na redukcję poziomu soli w wodach rzecznych, przywracając im naturalne właściwości i wspierając odnowę ekosystemów. Dzięki temu rzeki mogą odzyskać swoje naturalne funkcje.

SEEN Technologie, jako firma specjalizująca się w inżynierii środowiskowej, od lat rozwija nowoczesne rozwiązania w zakresie odsalania wód. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii, takich jak nanofiltracja, odwrócona osmoza, wymiana jonowa, elektrodializa odwracalna oraz systemy wyparnej i krystalizacyjnej, możliwe jest skuteczne obniżenie poziomu zasolenia, niezależnie od skali problemu. Każdy przypadek charakteryzuje się jednak specyficznymi wymaganiami, celami i ograniczeniami, dlatego kluczowy jest dobór odpowiednich procesów dostosowanych do konkretnego zadania i uwzględniających



fol. SEEN Technologie

**JEDNOSTKI
ODWRÓCONEJ
OSMOZY**
zainstalowane przez
SEEN Technologie
na terenie jednej
z polskich elektrowni

lokalne warunki. Każda z wymienionych metod ma swoje unikalne zalety i może być optymalnie dostosowana do specyficznych potrzeb klienta.

Technologie odsalania oferowane przez SEEN Technologie znajdują szerokie zastosowanie nie tylko w kontekście projektów, takich jak plan ratowania Odry, ale także w wielu innych przypadkach, gdzie zasolenie stanowi zagrożenie dla środowiska i gospodarki. Nasze rozwiązania są dostosowane zarówno do dużych instalacji przemysłowych, jak i tych mniejszych, co czyni nas idealnym partnerem dla przedsiębiorstw i instytucji z różnych sektorów. Współpracujemy z różnorodnymi branżami: od górnictwa, przez energetykę, aż po sektor wodno-kanalizacyjny, oferując kompleksowe wsparcie na każdym etapie realizacji projektu (analiza problemu, projektowanie, wdrożenie i serwisowanie systemów odsalania).

W stronę zrównoważonej przyszłości

W obliczu zmian klimatycznych i rosnącej świadomości ekologicznej, odsalanie wód zyskuje na znaczeniu jako kluczowy element strategii ochrony środowiska. Inwestycje w technologie odsalania to nie tylko odpowiedź na aktualne wyzwania, ale także krok w stronę zrównoważonej przyszłości, gdzie czysta woda będzie dostępna dla wszystkich, a ekosystemy rzeczne będą mogły się rozwijać w harmonii z działalnością człowieka.

SEEN Technologie jest gotowe sprostać tym wyzwaniom oferując nowoczesne, efektywne i dostosowane do indywidualnych potrzeb rozwiązania, które przyczynią się do ochrony rzek oraz wielu innych zasobów wodnych nie tylko w Polsce, ale też na całym świecie.

Doświadczenie i zaangażowanie w tworzenie technologii przyjaznych środowisku pozwalają nam z optymizmem patrzeć w przyszłość, w której odsalanie stanie się podstawowym elementem zarządzania



fol. SEEN Technologie

**ODPŁYW
OCZYSZCZONYCH
I ODSOŁONYCH
ŚCIEKÓW**
z największej
w Polsce
membranowej
oczyszczalni ścieków
przemysłowo-
deszczowych,
zrealizowanej przez
SEEN Technologie

zasobami wodnymi. Jesteśmy przekonani, że nasze rozwiązania mogą przyczynić się do ochrony wielu rzek i zbiorników wodnych, które są narażone na negatywne skutki zasolenia.

Zaufaj ekspertom, którzy łączą zaawansowane technologie z pasją do ochrony środowiska.

SEEN Technologie Sp. z o.o. | GLIWICKI ODDZIAŁ
ul. Toszecka 102, 44-117 Gliwice
tel. +48 609 000 129
gliwice@seen.pl
www.seentechnologie.pl

SEEN Technologie – Twój partner
w budowaniu zrównoważonej przyszłości!

OGRANICZANIE EMISJI ODORÓW DO ŚRODOWISKA

Metody biologiczne

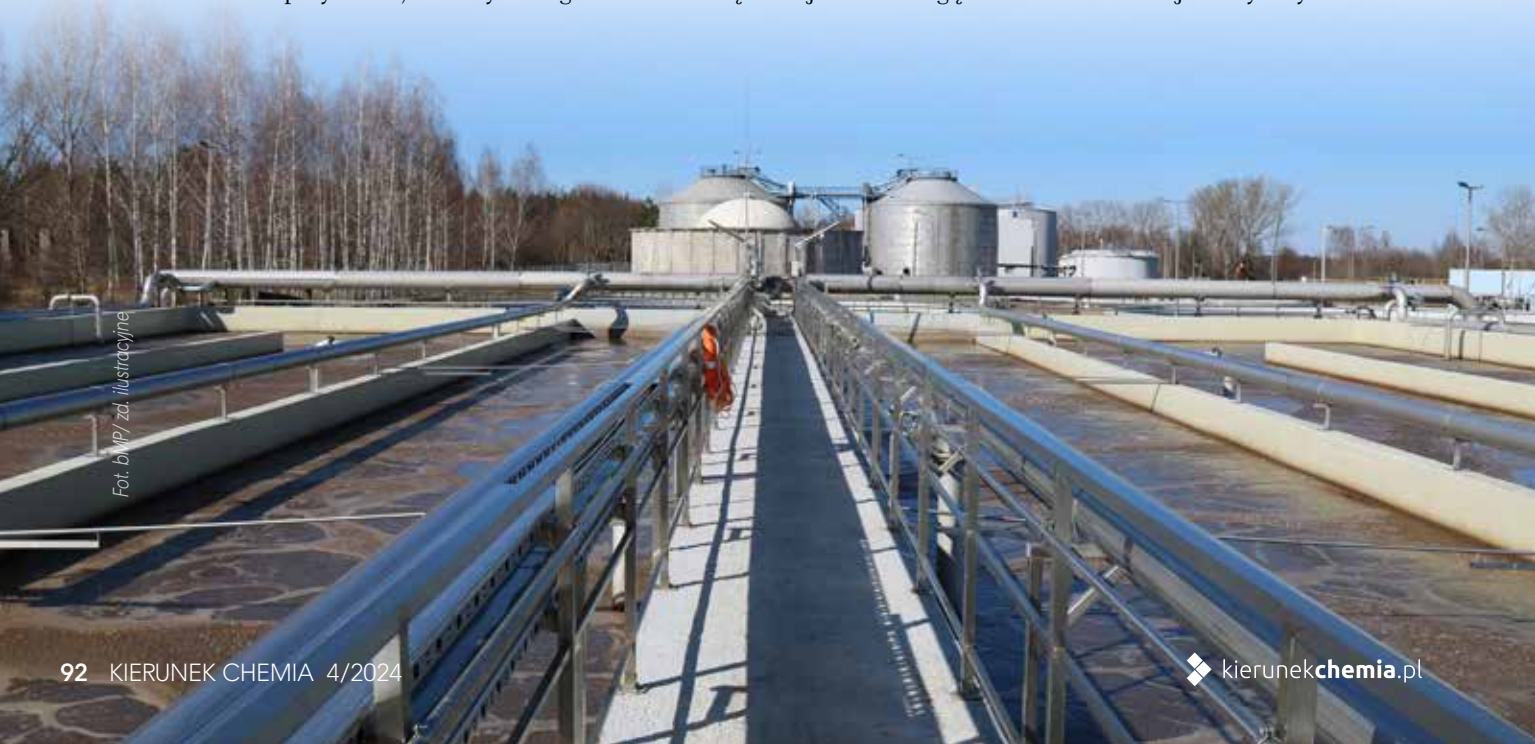
prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński
Politechnika Śląska, Gliwice

mgr inż. Anita Parzentna-Gabor
Ekoinwentyka sp. z o.o.

Biologiczne metody oczyszczania gazów bazują na naturalnych procesach rozkładu związków organicznych, zachodzących w wyniku aktywności metabolicznej mikroorganizmów. Poprzez zapewnienie optymalnych warunków do wzrostu i rozwoju tych mikroorganizmów możliwa jest maksymalizacja efektywności biodegradacji zanieczyszczeń. W tym celu istotne jest utrzymywanie odpowiednich proporcji składników odżywczych, w tym pierwiastków biogennych, temperatury, pH, wilgotności oraz dostępu tlenu.

Z względu na ekonomiczność, czystość ekologiczną, brak generowania dodatkowych zanieczyszczeń oraz z uwagi na wysoką efektywność wykorzystania procesów naturalnie występujących w przyrodzie, metody biologiczne uważa się za naj-

korzystniejsze do degradacji odorów i LZO. Mają one jednak pewne ograniczenia. Usuwane z gazów odlotowych zanieczyszczenia muszą być podatne na rozkład biologiczny, być rozpuszczalne w środowisku wodnym, nie mogą zawierać substancji toksycznych dla mi-



kroorganizmów ani związków inhibitujących procesy biologiczne. Ponadto, gazy poddawane oczyszczaniu muszą mieć temperaturę, która nie hamuje aktywności mikroorganizmów.

Prezentowana publikacja jest kontynuacją artykułu dotyczącego fizykochemicznych metod usuwania odorów, który ukazał się w czasopiśmie BMP – Kierunek Wod-Kan 2/2024.

Biologiczne metody oczyszczania gazów: biofiltry

Wyróżnia się trzy główne metody stosowane do biooczyszczania powietrza: z użyciem biofiltrów, bioskruberów oraz z wykorzystaniem bioreaktorów ze złożem zraszanym. Różnią się one między sobą typem nośników i faz ruchomych oraz umiejscowieniem mikroorganizmów degradujących zanieczyszczenia [1-3].

Biofiltry są najstarszą metodą biologicznego oczyszczania gazów polegającą na przepuszczaniu zanieczyszczonego gazu przez stałe złożo, w którym znajdują się mikroorganizmy zdolne do degradacji odorów. Zanieczyszczenia dyfundują do biofilmu bakteryjnego, tworzonego przez unieruchomione na złożu mikroorganizmy, w którym zachodzi biologiczne utlenianie zanieczyszczeń [3, 4]. Istnieją dwa główne rodzaje biofiltrów:

- biofiltry otwarte – są to kontenery bez górnej pokrywy narażone bezpośrednio na działanie czynników atmosferycznych, dlatego proces oczyszczania jest trudny do kontrolowania. Istnieje obawa, że podczas opadów złożo biofiltra może być zbyt mokre, natomiast podczas upałów – zbyt suche.
- Biofiltry zamknięte – to stalowe lub plastikowe zamknięte kontenery, w których kontrolowanie procesu i efektywności oczyszczania gazów (poprzez pomiary przepływu fazy ciekłej, temperatury i wilgotności oraz składu cieczy) jest dużo łatwiejsze.

Bakteriom tworzącym biofilm na powierzchni złoża należy zapewnić odpowiednie warunki do wzrostu i rozwoju. Wilgotność złoża powinna mieścić się w zakresie 30-60%, dlatego konieczne jest zastosowanie systemu nawilżania powietrza przed wprowadzeniem do biofiltrów. W tym celu stosuje się skrubery przed biofiltrami, które nawadniają oczyszczane gazy lub strumień zanieczyszczonych gazów miesza się ze strumieniem pary wodnej [5]. Wilgotność złoża nie powinna być za wysoka, ponieważ może przyczynić się do powstawania stref beztlenowych i w konsekwencji do zakłócania rozwoju odpowiednich grup mikroorganizmów. Może ponadto prowadzić do zagniwania złoża i do zwiększania oporów przepływu gazu przez złożo [6]. Temperatura winna mieścić się w zakresie 30-40°C, a gazy dolotowe nie mogą powodować wahań temperatury złoża. Bardzo istotnym parametrem warunkującym rozwój mikroorganizmów zasiedlających biofilm jest odpowiednie pH (zazwyczaj pH = 5-8)

[7], brak substancji toksycznych w zanieczyszczonym gazie, a także dostępność i odpowiednie proporcje pierwiastków biogennych. Stosunek C:N:P powinien wynosić 100:5:1.

Złożo biofiltra jest kluczowym elementem, który warunkuje skuteczność i długość pracy instalacji. Złożo powinno charakteryzować się wysoką porowatością (powyżej 90% objętości porów), luźną strukturą, małymi oporami przepływu gazu, średnicą ziaren większą niż 4 mm, a materiał winien się składać w ponad 55% z materiału organicznego [5]. Musi być łatwo dostępny i stosunkowo tani.

Złożo w większości przypadków stanowią materiały organiczne: kora drzew, torf, słoma, spulchniona gleba, kompost, włókno kokosowe i węgiel aktywny. Należy je usypać od jednej do kilku warstw w taki sposób, aby zapewnić kontakt całego strumienia gazu ze złożem oraz aby utrzymać równomierne napowietrzenie złoża. Konieczność spełnienia wymienionych warunków wynika z potrzeby zapobiegania rozwojowi bakterii beztlenowych, powodujących gnienie złoża oraz tworzenie się kanałów drenażowych [8]. Dlatego ważne jest zapewnienie optymalnego ciśnienia i prędkości przepływu gazu.

”

W zależności od rodzaju i ilości zanieczyszczeń w gazie wlotowym można stosować różne bioreaktory, charakteryzujące się zmienną wydajnością i opłacalnością

Biofiltry powszechnie stosuje się w oczyszczalniach ścieków, ponieważ są stosunkowo niedrogie i skuteczne w usuwaniu zarówno zanieczyszczeń organicznych (m.in. toluenu, ksylenu, alkoholi, aldehydów, kwasów organicznych i amin), jak i związków nieorganicznych, takich jak siarkowodór i amoniak [9]. W przypadku zanieczyszczeń nieorganicznych konieczna jest jednak kontrola stężenia, z uwagi na produkty powstające w wyniku ich rozkładu, które powodują zakwaszenie środowiska biofiltra.

Metoda biofiltracji ma również pewne ograniczenia. Biofiltry są zwykle stosowane do oczyszczania dużych strumieni gazów, o niskim stężeniu odorów i LZO [1]. Ponadto technologia ta charakteryzuje się utrudnioną kontrolą procesu w utrzymaniu odpowiedniej wilgotności oraz pH złoża. Dobór wypełnienia i właściwych warunków do rozwoju mikroorganizmów może zapewnić wysoką efektywność degradacji zanieczyszczeń, przy czym konieczna jest regularna wymiana i utylizacja złoża biofiltra.

W niektórych przypadkach wykorzystywane są systemy hybrydowe z użyciem biofiltrów. Jednym z tego typu rozwiązań są biofiltry wyposażone w bufor w formie wstępnego filtra z węglem aktywnym. Zastosowanie znajdują też systemy biofiltracji wspomagane utlenianiem fotokatalitycznym, w którym zanieczyszczenia odporne na biodegradację są rozkładane do produktów biodegradowalnych, które następnie doprowadza się do biofiltra, gdzie następuje ich rozkład biologiczny [10].

”

Ciekawymi rozwiązaniami są układy hybrydowe, w których przed bioreaktorami stosuje się wstępne filtry z węglem aktywnym

Bioskrubery

Degradacja odorów w bioskruberach (biopłuczkach) obejmuje absorpcję zanieczyszczeń z gazu do cieczy oraz biodegradację zanieczyszczeń przez mikroorganizmy. Proces zazwyczaj prowadzony jest w odrębnych komorach [3, 11]. W pierwszej (w absorberze) zanieczyszczenia gazowe są absorbowane do fazy ciekłej, która następnie trafia do komory drugiej (bioreaktora), wypełnionej wodną zawiesiną mikroorganizmów (najczęściej osadem czynnym), gdzie zachodzi biodegradacja zanieczyszczeń. Ciecz cyrkuluje przez zbiorniki, do których doprowadzane jest powietrze, pożywki dla bakterii i roztwory regulujące pH. Nadmiar powstającego osadu czynnego zostaje odprowadzony poza układ. Proces jest prowadzony zwykle w przeciwnym kierunku, a ciecz okresowo regenerowana.

Stopień napowietrzenia to czynnik warunkujący odpowiednią efektywność redukcji zanieczyszczeń. Stabilizacja pH i utrzymanie optymalnej temperatury to warunki konieczne dla utrzymania aktywności mikroorganizmów, osiągnięcia wysokiej efektywności i uniknięcia inhibicji biodegradacji zanieczyszczeń. Mikroorganizmy degradujące zanieczyszczenia są wrażliwe na brak ciągłości w dostawie substratów, stąd też niewskazane są przerwy w pracy bioskruberów [3]. Niewątpliwie ich zaletą jest stabilność operacyjna i możliwość precyzyjnej kontroli parametrów pracy, takich jak pH, skład pożywki i stopień napowietrzenia. Ponadto aparatura jest niewielkich rozmiarów, co w porównaniu do biofiltrów stanowi istotną zaletę. Nie występuje też obawa o zbijanie się materiału filtracyjnego. Bioskrubery jednakże generują duże ilości produktów ubocznych, takich jak osad nadmierny oraz zanieczyszczona, recykulowana ciecz. Ponadto koszty operacyjne utrzy-

mania takiej instalacji są wyższe niż w przypadku biofiltrów [1, 12].

Bioskrubery to efektywna metoda także dla oczyszczania dużych strumieni gazów, o wysokich stężeniach zanieczyszczeń. Ze względu na krótki czas przebywania zanieczyszczeń w absorberze są jednak bardziej odpowiednie dla związków dobrze rozpuszczalnych w wodzie.

Dotychczasowe doniesienia naukowe wskazują, że stosowanie bioskruberów jest efektywną metodą usuwania odorów pochodzenia komunalnego (w szczególności H_2S i NH_3), która jednak generuje duże ilości produktów ubocznych, wymagających oczyszczenia przy użyciu metod chemicznych. Z tego względu stosuje się różne kombinacje bioskruberów z innymi systemami. Przykładowo, w jednej z oczyszczalni zastosowano 3-stopniową instalację złożoną z dwóch bioskruberów wypełnionych materiałem wulkanicznym oraz trzeciego skrubera chemicznego, w którym następowało doczyszczanie produktów ubocznych powstałych w I i II stopniu. Uzyskano usunięcie odorów z efektywnością 92,8% po I bioskruberze, 99,6% po dwóch bioskruberach i 100% dla całej instalacji trójstopniowej [13].

Bioreaktory ze złożem zraszanym

Metodą konkurencyjną do stosowania biofiltrów i bioskruberów jest oczyszczanie gazów w bioreaktorach ze złożem zraszanym (strużkowych). Proces absorpcji zanieczyszczeń do fazy ciekłej i ich biodegradacja wraz z regeneracją cieczy przebiega tu jednocześnie w jednym urządzeniu. Zanieczyszczony gaz wprowadzony do bioreaktora płynie współprądowo lub przeciwnieprądowo do cyrkulującej cieczy, w której następuje absorpcja zanieczyszczeń. Ciecz zawierająca składniki odżywcze niezbędne dla rozwoju mikroorganizmów wraz z zaabsorbowanymi zanieczyszczeniami przepływa w sposób ciągły, w postaci cienkiej warstwy po powierzchni złoża (wypełnienia) z rozwiniętym biofilmem, w którym zachodzi biodegradacja zanieczyszczeń. Krążąca w instalacji ciecz jest stale recykulowana.

Złoże składa się z materiałów obojętnych chemicznie, takich jak pierścienie ceramiczne Raschiga, szklane kulki lub specjalnie ukształtowane elementy z tworzywa sztucznego (pierścienie Palla, Bialeckiego). Ponadto powinno charakteryzować się ono dużą powierzchnią właściwą, odpowiednią do immobilizacji biofilmu, stabilnością chemiczną, wytrzymałością, małą masą oraz niską ceną. W celu maksymalizacji efektywności biooczyszczania powietrza konieczne jest utrzymywanie odpowiednich warunków do wzrostu i rozwoju mikroorganizmów. Dotyczy to temperatury (zwykle w zakresie 10-40°C), pH, natlenienia i stężenia składników odżywczych [1, 2, 4, 14].

Istotną zaletą bioreaktorów ze złożem zraszanym jest możliwość kontroli warunków pracy panujących w reaktorze, takich jak odpowiednie pH, temperatura, skład soli mineralnych cieczy cyrkulującej w bioreaktorze, a także uzyskiwanie bardzo wysokich efektów

Technologia	Zalety	Wady
Biofiltry	Odpowiednie dla dużych strumieni gazów o niewielkim stężeniu zanieczyszczeń; możliwość oczyszczania szerokiej gamy zanieczyszczeń; małe spadki ciśnienia; niskie koszty inwestycyjne i operacyjne.	Niska efektywność technologii dla wysokich stężeń zanieczyszczeń; trudności w kontroli procesu; ryzyko zakwaszenia i zatkania złoża; konieczność regularnej wymiany złoża; duże rozmiary instalacji.
Bioskrubery	Wysoka efektywność oczyszczania dużych strumieni gazów i wysokich stężeń zanieczyszczeń; łatwa kontrola procesu (pH, temperatura, składniki odżywcze); stabilność procesu; mniejsze rozmiary instalacji w porównaniu z biofiltrami.	Niska efektywność oczyszczania słabo rozpuszczalnych zanieczyszczeń; generowanie produktów ubocznych (osad nadmierny); wysokie koszty operacyjne.
Bioreaktory ze złożem zraszanym	Niskie koszty eksploatacyjne; mała energochłonność i łatwość kontrolowania procesu; stosunkowo małe rozmiary instalacji; realizacja procesu w jednym zbiorniku; brak produktów ubocznych; długi czas życia i wytrzymałość złoża.	Ryzyko nadmiernego przyrostu biomasy i zatkania złoża.

TAB. 1
Porównanie biologicznych metod oczyszczania gazów, na podstawie [16, 17]

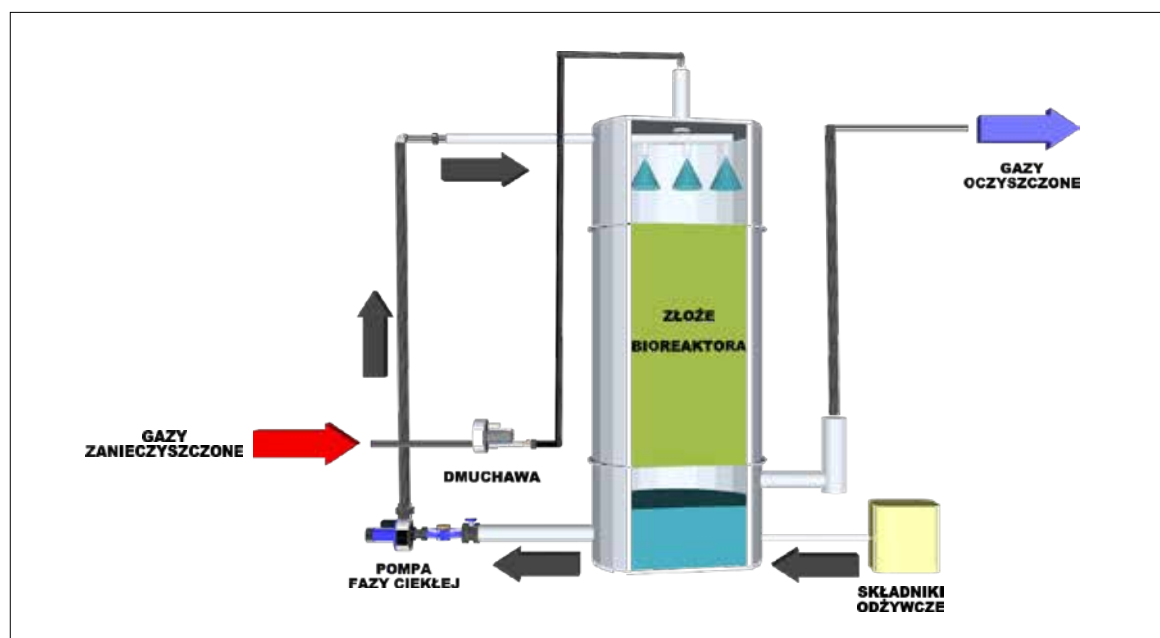
oczyszczania, nawet przy bardzo dużych wahaniami ilości i ładunków zanieczyszczeń w doprowadzanym gazie. Omawiane bioreaktory nie generują dodatkowych odpadów, nadmiernych kosztów eksploatacji, nie wymagają regeneracji złoża, jak w przypadku biofiltrów, ani utylizacji odcieków (jak przy bioskruberach). Natomiast wadą jest możliwość nadmiernego przyrostu biomasy, co może prowadzić do zatkania złoża i spadku efektywności oczyszczania. Dla przeciwdziałania tym zagrożeniom możliwe jest chwilowe zwiększanie przepływu fazy ciekłej w celu zerwania części biofilmu z wypełnienia lub odpowiedni dobór mikroorganizmów (np. pierwotniaków), eliminujących nadmierny wzrost biofilmu.

Jednym ze sposobów zwiększenia efektywności biofiltracji jest też zastosowanie specjalnych dodat-

ków, np. surfaktantów, ułatwiających rozpuszczalność zanieczyszczeń w wodzie, co poprawia ich biodostępność i w efekcie sprawność biodegradacji [10]. Bada się też zastosowanie płynu polidimetylosiloksanu, który zwiększa aktywność metaboliczną mikroorganizmów poprzez lepszy transfer tlenu i LZO do biofilmu [15]. Wady i zalety biologicznych metod oczyszczania powietrza, zestawiono w tabeli 1.

Kompaktowe Bioreaktory Trójfazowe

Kompaktowe Bioreaktory Trójfazowe (KBT) są innowacyjną modyfikacją bioreaktorów ze złożem zraszanym. Zanieczyszczony gaz jest przepuszczany współprądowo przez złożo złożone z pierścieni polietylenowych z immobilizowaną biomasą mikroorganizmów (biofilm), stale zwilżane cienką warstwą spływającej cieczy, którą



RYS. 1
Schemat Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego [18]

stanowi woda wzbogaćana solami mineralnymi i buforowana chemicznie dla uzyskania odpowiedniego pH (rys. 1). Grubość biofilmu wynosi od kilku mikrometrów do kilku milimetrów w zależności od warunków pracy instalacji. Bioreaktory KBT pracują w sposób ciągły, w warunkach ciśnienia atmosferycznego i temperatury w zakresie 20-35°C. Reaktory zostały z powodzeniem zastosowane w skali technicznej zarówno w oczyszczalniach ścieków, jak i w różnych gałęziach przemysłu. Ponadto, w tego typu bioreaktorach szybkość eliminacji zanieczyszczeń gazowych jest znacznie większa niż w biofiltrach i bioskrublerach z jednoczesnym znacznym zmniejszeniem zużycia energii [4, 18].

Bioreaktory membranowe

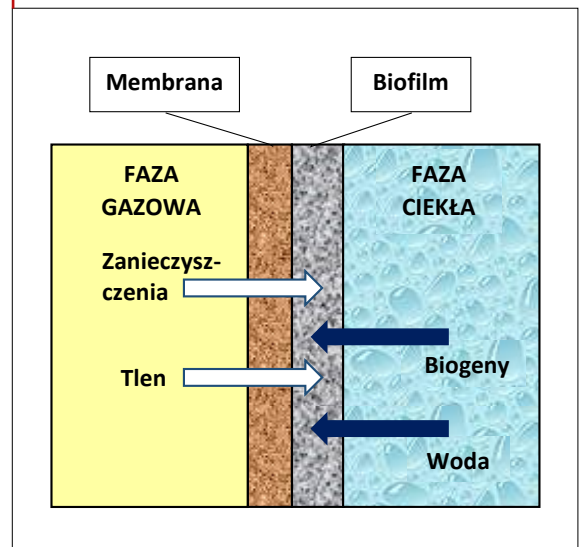
Bioreaktory membranowe (MBR) znane są głównie z zastosowań do oczyszczania ścieków komunalnych lub przemysłowych, łącząc działanie reaktora biologicznego z systemem separacji membranowej. Obecnie, po odpowiednich modyfikacjach, podejmuje się próby ich zastosowań do biooczyszczania powietrza, dotychczas głównie w systemach prototypowych lub pilotażowych. Są to więc rozwiązania przyszłościowe.

Reaktory MBR zapewniają dużą granicę rozdziału faz gaz-ciecz i korzystne warunki przenoszenia masy, co powoduje, że potencjalnie nadają się do usuwania zanieczyszczeń hydrofobowych z zanieczyszczonego powietrza. Jako materiały do konstrukcji membran bada się m.in. polidimetylosiloksan, polipropylen, polietylen i kauczuk silikonowy. Wśród bioreaktorów stosowanych do usuwania odorów i LZO, MBR mają

unikalną cechę, gdyż mogą być wyposażone w membranę, która jest przepuszczalna tylko dla docelowych substancji zanieczyszczających [1]. Zasada działania polega na dyfuzji zanieczyszczeń przez membranę, rozdzielającą fazę gazową od ciekłej, do biofilmu rozwiniętego po drugiej stronie membrany, gdzie ulegają biodegradacji (rys. 2). Siłą napędową przenoszenia zanieczyszczeń przez membranę jest różnica stężeń pomiędzy fazą gazową a biofilmem. Im większa jest aktywność drobnoustrojów, tym mniejsze stężenie zanieczyszczeń w biofilmie, co zwiększa szybkość usuwania w reaktorze [19].

RYS. 2

Schemat przenoszenia masy w bioreaktorze membranowym [20]



METODY BIOOCZYSZCZANIA POWIETRZA

Wyróżnia się trzy główne metody stosowane do biooczyszczania powietrza: z użyciem biofiltrów, bioskrublerów oraz z wykorzystaniem bioreaktorów ze złożem zraszanym. Różnią się one między sobą typem nośników i faz ruchomych oraz umiejscowieniem mikroorganizmów degradowujących zanieczyszczenia



W reaktorze MBR przepływy gazu i cieczy można kontrolować niezależnie od siebie. Koszty inwestycji są jednak wysokie i podczas długotrwałej eksploatacji może również występować nadmierny przyrost biofilmu.

W wielu przypadkach oczyszczanie gazów pochodzących z różnych źródeł stanowi wyzwanie techniczne i technologiczne. W zależności od rodzaju i ilości zanieczyszczeń w gazie wlotowym można stosować różne bioreaktory, charakteryzujące się zmienną wydajnością i opłacalnością. W każdym przypadku konieczne jest dokładne zrozumienie podstawowych zasad funkcjonowania bioreaktorów, w tym ograniczeń w ich eksploatacji. Rodzaj bioreaktora, jego parametry techniczne oraz rodzaj mikroorganizmów powinny być odpowiednio skorelowane ze względu na natężenie przepływu gazu, rodzaj mediów, wilgotność gazu, spadek ciśnienia w instalacji, czas przebywania gazu w bioreaktorze itp. Nie można pominąć zagadnień związanych z obróbką wstępną gazów przed ich wprowadzeniem do bioreaktora, a także monitorowaniem wszystkich parametrów procesu. Do ważnych zagadnień należy także kontrolowanie gromadzenia się nadmiaru biomasy metodami fizycznymi, chemicznymi lub biologicznymi.

Ciekawymi rozwiązaniami są także układy hybridowe, w których przed bioreaktorami stosuje się wstępne filtry z węglem aktywnym. Bardzo obiecujące wyniki uzyskano również w skali pilotowej w zintegrowanym systemie biofiltracji wspomaganej wcześniej utlenianiem fotokatalitycznym. Takie rozwiązania można stosować do degradacji zanieczyszczeń opornych na rozkład biologiczny. Wstępna obróbka promieniami UV poprawia stopień usunięcia zanieczyszczeń, a także ma pozytywny wpływ na biocenozę w bioreaktorze.

Literatura

1. Mudliar S., Giri B., Padoley K., Satpute D., Dixit R., Bhatt P., Pandey R., Juwarkar A., Vaidya A.: *J. Environ. Manag.*, 91, 1039-1054, 2010.
2. Rene E.R., Montes M., Veiga M.C., Kennes C.: *In Environmental Chemistry for a Sustainable World*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2, 121-164, 2012.
3. Barbusiński K., Kalembe K., Kasperczyk D., Urbaniec K., Kozik V.: *J. Clean Prod.*, 152, 223-241, 2017.
4. Kasperczyk D., Urbaniec K., Barbusiński K., Rene E.R., Colmenares-Quintero R.F.: *J. Environ. Manag.*, 236, 413-419, 2019.
5. Wierzbińska M., Modzelewski W.E.: *Inżynieria Ekologiczna*, 41, 125-132, 2015.
6. Wysocka I., Gębicki J., Namieśnik J.: *Environ Sci. Pollution Res.*, 26, 9409-9434, 2019.
7. Ralebitso-Senior T.K., Senior E., Felice R., Jarvis K.: *Environ Sci. Technol.*, 46, 16, 8542-8573, 2012.
8. Kwarciań-Kozłowska A., Bańka B.: *Inżynieria Ochrony Środowiska*, 17, 631-645, 2014.
9. Chang S., Lu C., Huang H., Hsu S.: *Process Safety and Environ. Prot.*, 93, 218-226, 2015.
10. Turała A., Wieczorek A.: *Aktualne problemy w inżynierii i ochronie atmosfery. Praca zbiorowa pod red. Józefa Kurocki, Kazimierza Gaja i Izabeli Sówki. Wrocław 2018 (214-221).*
11. Gospodarek M., Rybarczyk P., Szulczyński B., Gębicki J.: *Processes*, 7, 187, 2019.
12. Vergara-Fernández A., Quiroz E.F., Aroca G., Pulido N.A.A.: *Electronic J. Biotech.*, 11, 2008.
13. Friedrich M., Kośmider J., Terebecki P., Nizerna-Nowotna P.: *Chem. Eng. Trans.*, 40, 205-210, 2014.
14. Bąk A., Kozik V., Dybał P., Sułowicz S., Kasperczyk D., Kuś S., Barbusiński K.: *Inter. Biodeter. Biodegrad.*, 119, 316-328, 2017.
15. Han M-F, Wang C, Fu Y.: *Sci. Total Environ.*, 640-641:1447-1454, 2018.
16. Ren B., Zhao Y., Lyczko N., Nzihou A.: *Waste and Biomass Valorization*, 10, 1443-1458, 2019.
17. Rybarczyk P., Szulczyński B., Gębicki J., Hupka J.: *Biochem Eng. Journal*, 141, 146-162, 2019.
18. Barbusiński K., Kasperczyk D., Parzenta-Gabor A.: *Kierunek Wod-Kan*, 4, 30-34, 2021.
19. Padhi SK, Gokhale S.: *J Environ Chem. Eng.*, 2(4), 2085-2102, 2014.
20. Barbusiński K., Urbaniec K., Kasperczyk D., Thomas M.: *Chapter 2. 29-51. From Biofiltration To Promising Options In Gaseous Fluxes Biotreatment. Edited by Soreanu G., Dumont E. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819064-7.00002-9>.* ■

Reklama



POCZUJ CHEMIĘ
DO WIEDZY

chemicznej, petrochemicznej,
refineryjnej i gazowniczej

kierunek**chemia**





dr Agnieszka Gajek

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kończy się pewna epoka... a może raczej: coś się kończy, coś się zaczyna – przemyslenia pokonferencyjne

Za nami XXIII Konferencja Bezpieczeństwo Instalacji Przemysłowych. Infrastruktura Krytyczna. 23 edycje – szmat czasu. Czekając na dworcu na pociąg ze Szczecina dopadła mnie refleksja, że nie ma co już dłużej ukrywać i trzeba w końcu spojrzeć prawdzie w oczy, że świat wokół nas się zmienił. Nie jest to żadne novum. Krąży wokół mnie stwierdzenie wypowiedziane przez Gustawa Kramera, a dokładnie Leonarda Pietraszaka w filmie Vabank II: „Taa, skończyła się pewna epoka”. Profesorów, którzy tworzyli bezpieczeństwo procesowe w Polsce, albo już z nami nie ma, jak prof. Jerzego Michalika, albo już zdrowie nie pozwala im uczestniczyć w konferencji, jak w przypadku prof. Kazimierza Lebeckiego czy prof. Adama Markowskiego. Jedynie prof. Andrzej Biskupski ze „starej gwardii” wziął udział w tegorocznej edycji.

Nie ma co ukrywać, że problemów jest wiele: czy to brak pracowników w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, w nauce, czy zupełnie inne „nowe pokolenie”. Tak różne od nas i to zarówno w oczekiwaniach, jak i dążeniach: jak do nich dotrzeć, jak zrozumieć, jak zrobić z nich kompetentnych pracowników, jak poradzić sobie z nadmiarem obowiązków, przepracowaniem (bo jak długo można pracować za trzy, cztery osoby), jak rozwiązać problem wynagrodzeń (zbyt niskich pensji długoletnich pracowników w porównaniu ze znacznie wyższymi nowo przyjmowanych osób), itd.

Można usiąść i narzekać. Tylko do czego to doprowadzi? Do rozgoryczenia, frustracji, smutku, depresji...

A może by tak, zupełnie wbrew wszystkiemu, jednak spojrzeć z uśmiechem na nadchodzący dzień i powiedzieć: jest super. Nie na zasadzie zaklęcia dnia, udawania, że wszystko jest dobrze, gdy w rzeczywistości jest koszmarnie, tylko, tak naprawdę, z uśmiechem, najpierw nieśmiałym, potem może coraz większym. Po prostu uśmiechnąć się do świata. Docenić to, co mamy, co osiągnęliśmy.

23. konferencja to szmat czasu i tak wiele wspomnień, rozmów, sytuacji... Trochę nostalgicznie, ale z radością stwierdzić, że może nie jest wcale tak źle. I zmierzyć się z każdym problemem po kolei, na zasadzie nowego wyzwania. Małymi kroczkami okiełznać naszą „nową” rzeczywistość. Nie rzucać się z motyką na słońce, ale na chłodno, z dystansu zdiagnozować jeden problem. Obejrzeć go pod lupą z każdej strony. To nieprawda, że jest źle. Jest INACZĘJ. I warto oswoić tę nową rzeczywistość. Przestać użalać się i tęsknić za czymś, co już było. Jak to przed chwilą prof. Lebecki przez telefon powtórzył za Czechami: *To se neuráti*. Nie chodzi mi o karmienie się złudzeniami, ale o realną ocenę sytuacji. Damy radę, tylko „nie od razu” i „nie wszystko naraz”. Na każdy z dzisiejszych problemów znajdzie się rozwiązanie. Najpewniej nieoczywiste i zaskakujące. Często „idiotycznie” proste, ale czasem mozolnie wypracowywane, pełne niechcianych kompromisów i walki. Ludzkość nie od dziś mierzy się z problemami i daje radę, to dlaczego my nie mielibyśmy sobie poradzić? Naiwne? Może, ale co innego nam pozostaje? Depresja?



XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna

REMONTY I UTRZYMANIE RUCHU W PRZEMYŚLE CHEMICZNYM



budujemy możliwości
porozumienia

UR

ZAWSZE GÓRĄ!

14-16 maja 2025 r.



Zakopane



Więcej
informacji

#Zakopane_HEJ

ORGANIZATOR



budujemy możliwości
porozumienia

HONOROWY GOSPODARZ



PATRONAT MEDIALNY

CHEMIA



kierunekchemia.pl



HAŁAS, PYŁ, WYSOKA TEMPERATURA.
KTO W TAKICH WARUNKACH NIE
STRACI KONTROLI?
THE 6X[®] FIRMY VEGA.

Zapylenie, hałas, skrajne temperatury – dokładnie do takich warunków VEGA stworzyła sondę radarową VEGAPULS 6X do pomiaru poziomu.

Idealne rozwiązanie: dla każdego rodzaju materiałów sypkich i dla wszystkich operatorów instalacji, którzy chcą zmaksymalizować wydajność swoich procesów.

VEGA. HOME OF VALUES.

www.vega.com/radar

VEGA