

# 3xW

WĘGIEL  
WODÓR  
WIEDZA



# KWARTALNIK

**MATEUSZ WÓJCICKI, KRZYSZTOF NIEŚPIAŁOWSKI,  
BARTOSZ POLNIK, KORNELIUSZ SIERPOWSKI  
GRZEGORZ DEBITA**

Wysokociśnieniowy elektrolizer alkaliczny

**MARTA GAJDIK, MARTA PILARSKA, SEBASTIAN GUJA,  
ANDRZEJ CHMIELA, ADAM SMOLIŃSKI**

Zagospodarowanie wody opadowej i technologicznej do produkcji wodoru w pompowni wód kopalnianych obiegu zamkniętego

**POLSKI KONGRES KLIMATYCZNY 2024**  
Podsumowanie

# I KWARTAŁ 2024

#### WYDAWCA

📍 Agencja Rozwoju Przemysłu S.A. Oddział Katowice  
ul. Mikołowska 100, 40-065 Katowice



ISSN 2719-8677

Kwartalnik istnieje od 2020 r.

#### REDAKCJA

📧 redakcja@katowice.arp.pl ☎ 32 757 48 00

Redaktor Naczelny  
**dr Beata Barszczowska**

Zastępca Redaktora Naczelnego  
**dr hab. Marcin Sobczyk**

Sekretarz Redakcji  
**dr inż. Renata Włodarczyk**

Komitet wydawniczy  
**Magdalena Wojtyła**  
**Anna Kielerz**

#### RADA NAUKOWA

**prof. dr hab. inż. Maria Sozańska**, Politechnika Śląska,  
Wydział Inżynierii Materiałowej, Katedra Technologii Ma-  
teriałowych

**prof. dr hab. inż. Marek Brzeżański**, Politechnika Kra-  
kowska

**prof. dr hab. inż. Janusz Kotowicz**, Politechnika Śląska

**prof. dr hab. Adam Smoliński**, Główny Instytut Gór-  
nictwa

**prof. dr hab. inż. Konrad Świerczek**, Akademia Górniczo-  
-Hutnicza

**dr hab. Maria Jolanta Korabik, prof. Uniwersytetu**  
**Wrocławskiego**, kierownik Zakładu Dydaktyki Chemii

**dr hab. Marcin Sobczyk, prof. Uniwersytetu Wrocław-**  
**skiego**, Wydział Chemii

**dr inż. Renata Włodarczyk**, Katedra Zaawansowanych  
Technologii Energetycznych, Wydział Infrastruktury  
i Środowiska, Politechnika Częstochowska

**dr Michał Kobyłka**, Uniwersytet Wrocławski Wydział  
Chemii, Zakład Dydaktyki Chemii, koordynator egzami-  
nacyjny OKE we Wrocławiu

**dr inż. Aleksander Sobolewski**, Instytut Technologii  
Paliw i Energii

**dr inż. Artur Kozłowski**, Sieć Badawcza Łukasiewicz  
Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

**Joanna Kubit** dyrektor, Zespół Szkół Naftowo-Gazowni-  
cznych im. Ignacego Łukasiewicza w Krośnie

**Wojciech Pawłuszko, Radca Prawny ARP**

**dr Beata Barszczowska**, Wicedyrektor Oddziału ARP  
S.A. w Katowicach

## Od Redakcji

Pierwszy numer tegorocznego kwartalnika porusza tematy związane z klimatem i jego ochroną. Specjaliści ze Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. prezentują możliwość obniżenia kosztów zakupu energii elektrycznej dla pompowni wód kopalnianych oraz zmniejszenia zapotrzebowania wody w procesie produkcji wodoru metodą elektrolizy.

W marcu odbyła się kolejna edycja Polskiego Kongresu Klimatycznego, który jest miejscem spotkania międzynarodowych ekspertów, reprezentantów miast oraz przedstawicieli administracji centralnej. W Kongresie wzięło udział ponad 1200 uczestników, 150 prelegentów w 26 panelach dyskusyjnych, które odbyły się w trzech lokalizacjach.

Zachęcamy do zapoznania się z obszernym podsumowaniem wydarzenia.

Kolejny numer kwartalnika poświęcony będzie przede wszystkim targom H2Poland i Net Zero Forum, które odbędą się w Poznaniu w dniach 24-26 kwietnia 2024 r. Są pierwsze w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej targi poświęcone w całości technologiom wodorowym i dekarbonizacyjnym. Forum to spotkania, podczas których kluczową rolę ogrywają rozmowy o przyszłości dekarbonizacji oraz europejskiej gospodarce. ■

## Zapraszamy do zgłaszania publikacji!



Jak się zarejestrować  
na stronie

<https://journal.h2poland.eu>

OJS  
OPEN  
JOURNAL  
SYSTEMS



Wysłać na adres [ojshelp@h2poland.eu](mailto:ojshelp@h2poland.eu)

następujące informacje:

1. imię 2. nazwisko 3. adres e-mail

Administrator strony **zakłada konto**

i wysyła, na podany adres e-mail,

wiadomość z **danymi do logowania**



Teraz można się zalogować

<https://journal.h2poland.eu/3xw/login>

Mateusz WÓJCICKI, Krzysztof NIEŚPIAŁOWSKI, Bartosz POLNIK, Korneliusz SIERPOWSKI, Grzegorz DEBITA

## Wysokociśnieniowy elektrolizer alkaliczny

### Streszczenie

W artykule przedstawiono prace związane z rozwojem technologii wodorowych w ITG KOMAG pod kątem projektowania i potencjalnego wdrożenia wysokociśnieniowych elektrolizerów alkalicznych. W pierwszej części zaprezentowano stan techniki i perspektywy rozwoju przemysłu elektrolizerów w bliskiej przyszłości. Dalej opisano prace projektowe i pierwsze prace badawcze nad laboratoryjnym modelem elektrolizera alkalicznego.

**Słowa kluczowe:** wodór, elektrolizer alkaliczny, wysokociśnieniowa elektroliza

### 1. Wstęp

Stale rosnące zapotrzebowanie na energię przy jednoczesnym wzroście świadomości ekologicznej społeczeństwa generuje konieczność ograniczania wytwarzania energii ze spalania źródeł kopalnych. Jednym z przykładów niniejszej alternatywy może być wykorzystywanie jako paliwa wodoru, którego wynikiem spalania jest jedynie czysta woda.

Mimo, że wodór stanowi czyste i teoretycznie niemal niewyczerpywalne źródło energii, zasadniczy problem z masowym jego wykorzystywaniem stanowi proces wytwarzania. Literatura procesu produkcji wodoru przypisuje kolory, definiujące metodę pozyskiwania wodoru. Mówimy o wodorze czarnym i brązowym, gdy do produkcji wodoru wykorzystywany jest węgiel (kamienny lub brunatny), wodór różowy gdy wykorzystywana jest energia jądrowa, wodór szary gdy produkcja wodoru opiera

się o reforming gazu ziemnego, wodór biały gdy wodór pochodzi z bezpośredniej eksploatacji złoża (obecnie nie występujący), czy zielony gdy powstaje w wyniku procesu elektrolizy, którego zasilanie nie wiąże się z emisją gazów cieplarnianych.

Szacuje się, że obecnie niemal 96% światowej produkcji wodoru to tzw. „szary wodór”. Szanse na zwiększenie udziału zielonego wodoru widzi się w stale rosnącej powszechności i spadających kosztach produkcji energii z OZE. Szczególnie duże szanse widzi się w rozwoju konstrukcji elektrolizerów alkalicznych, których obecnie występujące rozwiązania pozwalają osiągać czystość pierwiastka na poziomie zbliżonym do PEM, przy znacznie niższych kosztach jednostkowych budowy i eksploatacji [4,5].

### 2. Elektroliza i jej potencjał

Elektrolizery przeznaczone są do wytwarzania wodoru i tlenu o wysokich parametrach czystości dochodzących do wartości stężenia 99,999% (tzw. pięć dziewiątek). Są to urządzenia o stosunkowo prostej budowie, zasilane energią elektryczną pochodzącą z właściwie dowolnego źródła. Wyprodukowany wodór służyć może jako półprodukt dla innych procesów technologicznych (branża chemiczna, spożywcza, w przemyśle ciężkim) oraz jako magazyn energii (wykorzystywanie wodoru w procesie odwrotnym do elektrolizy w ogniwach paliwowych). Dostępne komercyjnie lub na wczesnych etapach komercjalizacji metody produkcji wodoru zaprezentowano na poniżym rys. 1.

<b>METODY PRODUKCJI WODORU</b>	<b>Na bazie węglowodorów</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Reforming gazu ziemnego parą wodną</li> <li>▶ Częściowe utlenianie gazu ziemnego</li> <li>▶ Reforming plazmą</li> <li>▶ Reforming autotermalny</li> </ul>
	<b>Na bazie wody</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Fotoliza</li> <li>▶ Termiczny rozkład wody</li> <li>▶ Elektroliza PEM</li> <li>▶ Elektroliza alkaliczna</li> <li>▶ Elektroliza AEM</li> <li>▶ Elektroliza SOE</li> </ul>
	<b>Na bazie biomasy</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Gazyfikacja biomasy</li> <li>▶ Fotofermentacja</li> <li>▶ Ciemna fermentacja</li> </ul>
	<b>Na bazie pozostałych źródeł chemicznie związanego wodoru</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Reforming amoniaku</li> </ul>

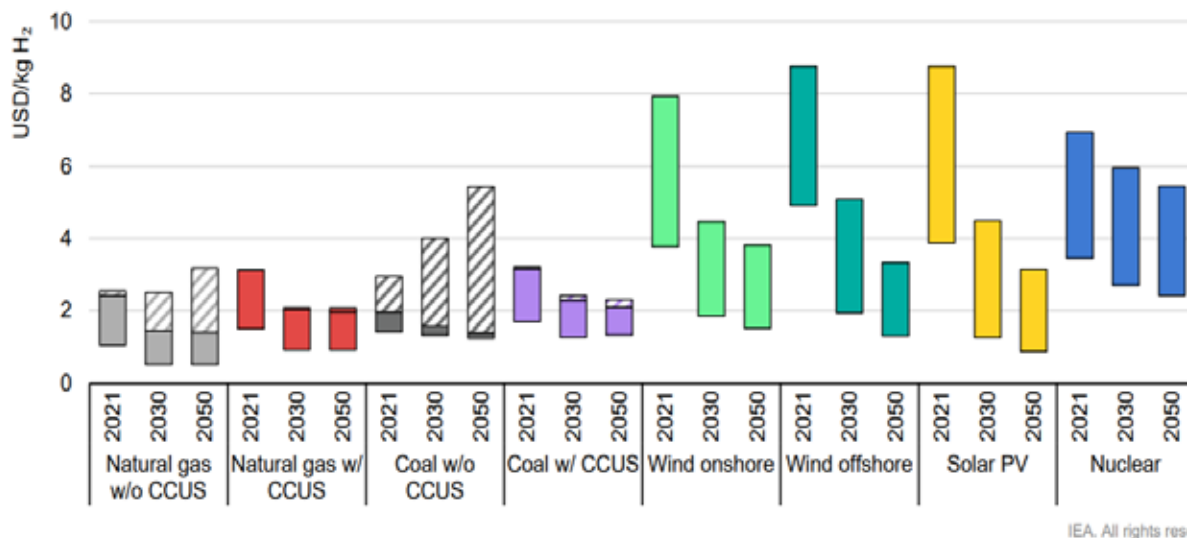
Rys. 1. Metody produkcji wodoru dostępne komercyjnie lub na wczesnym etapie komercjalizacji [7]

Obecnie, na świecie najpopularniejszą metodą produkcji wodoru jest tzw. reforming gazu ziemnego. Pomimo to, sytuacja geopolityczna na świecie oraz światowe trendy klimatyczne wymuszają zmiany w strukturze produkcji wodoru. Ważny katalizator zmian stanowią zmiany kosztów produkcji wodoru z danego źródła. Porównawczo, w tabeli 1 przedstawiono ceny produkcji wodoru w roku 2016 z rozróżnieniem na źródła produkcji. Poniżej, na rys. 2 pokazano wykres przedstawiający poziomy kosztów produkcji wodoru z różnych źródeł

w roku 2021 oraz prognozowane koszty produkcji wodoru w latach 2030 oraz 2050. Scenariusze zakładają wyrównanie się cen produkcji wodoru z różnych źródeł pomiędzy rokiem 2030, a 2050 [6]. Scenariusze nie uwzględniają obecnego zaburzenia łańcuchów dostaw węgla oraz gazu. Ponadto, ciągle zaostżana polityka klimatyczna z dużą dozą prawdopodobieństwa jeszcze bardziej ograniczy lub wyeliminuje w najbliższej perspektywie czasowej, źródła takie jak gaz ziemny czy węgiel. [6, 7]

<b>Metoda wytwarzania</b>	<b>Koszt wodoru w USD/kg</b>
Reforming gazu ziemnego	<b>1.56</b>
Elektroliza + farma wiatrowa	<b>6.64</b>
Gazyfikacja węgla	<b>1.03</b>
Gazyfikacja biomasy	<b>4.63</b>
Termalny rozkład wody	<b>1.63</b>

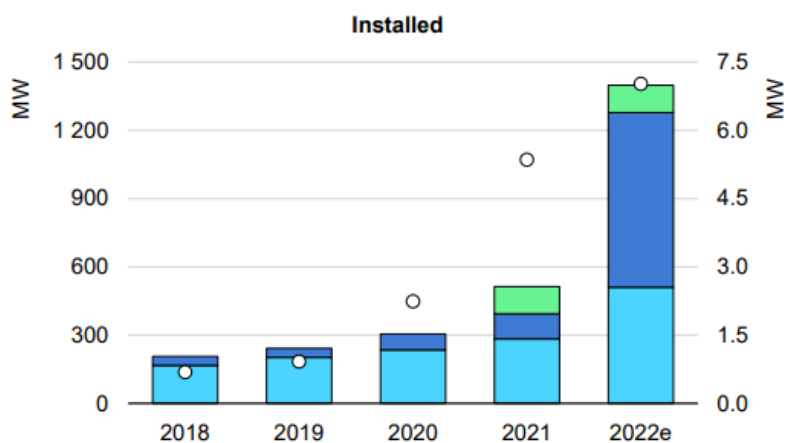
Tabela 1. Koszt produkowanego wodoru w 2016 roku z wybranych źródeł [3]

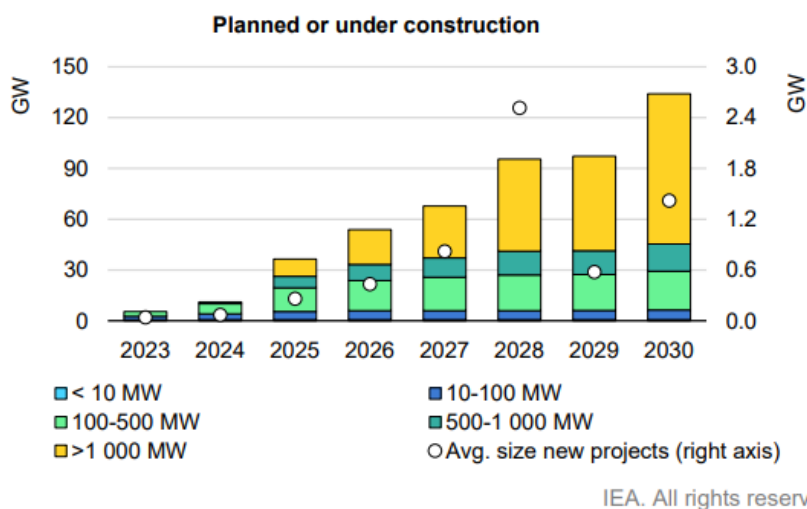


Rys 2. Koszt produkcji wodoru w roku 2021 oraz prognozy kosztów produkcji wodoru założone w scenariuszach Net Zero Emissions na lata 2030 i 2050 [6]. (*Wind Onshore – lądowe farmy wiatrowe z elektrolizerniami, Wind Offshore – pozalądowe farmy wiatrowe z elektrolizerniami, Solar PV – farmy fotowoltaiczne z elektrolizerniami, Nuclear – wykorzystywanie ciepła energii jądrowej do termicznego rozkładu wody*)

Światowe trendy na rynku elektrolizerów wskazują na rosnący popyt na urządzenia do produkcji czystego (zielonego) wodoru. Od kilku lat budowane są coraz większe instalacje do jego produkcji. Sumaryczny wzrost mocy zainstalowanej w elektrolizerach wykazuje

rosnący trend liniowy [6]. Wskaźniki rynkowe pokazują, że rynek elektrolizerów zaczyna się intensywnie rozrastać mając w perspektywie średnioterminowej wysoką popularność rozwiązań wodorowych. Na rys. 3 pokazano obecne trendy na rynku elektrolizerów.





Rys. 3. Światowy rynek elektrolizerów. Instalacje działające oraz planowane i w budowie [6]

Najważniejszymi parametrami dla docelowego odbiorcy elektrolizera są następujące parametry:

- jednostkowy koszt produkcji wodoru wyrażony w kWh/Nm<sup>3</sup> wodoru,
- okres eksploatacji urządzenia,
- koszt utrzymania instalacji w wysokiej dyspozycyjności,
- okres zwrotu / niski koszt inwestycji,
- stosunkowo niska awaryjność,

- dostępność materiałów i części zapasowych,
- dostępność usług serwisowych.

Najlepiej rozwinięte technologie elektrolizerów pod względem gotowości technologicznej oraz sprawności wytwarzania wodoru zostały przedstawione w tabeli 2. Do dalszych rozważań przyjęto technologię elektrolizerów alkalicznych oraz PEM, ze względu na gotowość technologiczną oraz dostępność komponentów do budowy rozwiązania.

Technologia	Źródło energii	Sprawność	Poziom gotowości	Źródło
Elektrolizer alkaliczny	OZE + sieć	55-73%	Produkt komercyjny	[6], [2]
Elektrolizer PEM	OZE + sieć	55-75%	Produkt komercyjny	[6], [2]
Elektrolizer SOE	OZE + sieć + ciepło	40-60%	Gotowość w średnim okresie	[6]

Tabela 2. Porównanie najbardziej obiecujących technologii elektrolizerów

W tabeli 3 porównano technologię elektrolizera alkalicznego oraz elektrolizera PEM. Należy zwrócić szczególną uwagę na porównywalną czystość gazu, sprawność wytwarzania oraz temperatury pracy. Na korzyść elektrolizera alkalicznego wskazują takie parametry jak: wyższe ciśnienia pracy (możliwość pominięcia co najmniej jednego ze stopni sprężania) oraz podobne

jednostkowe zużycie energii na Nm<sup>3</sup> wodoru. Najważniejszą przewagą elektrolizera alkalicznego jest czas życia „stacku” elektrolizera, który przy odpowiednim serwisowaniu jest ponad dwa razy dłuższy (w skali laboratoryjnej nawet do 3 razy dłuższy). Długość życia stacku bezpośrednio przekłada się na łagodniejszą amortyzację kosztów [1, 2, 3, 7]

Parametr	Elektrolizer alkaliczny	Elektrolizer PEM
1	2	3
Elektrolit	25-30% KOH	Elektrolit stały (polimer)
Temperatura celli	60-90°C	50-80°C
Maksymalna czystość gazu	99.999%	99.999%
Ciśnienie	Do 200 bar	Do 50 bar
Gęstość prądu	0.2-1.0 (2.0*) A/cm <sup>2</sup>	0.6-2.0 (3.0*) A/cm <sup>2</sup>
Napięcie celli	1.5-2.6 V	1.4-2.3 V
Sprawność systemu (LHV-HHV**)	55-73%	55-75%
Jednostkowe zużycie energii	3.8-4.4 kWh/Nm <sup>3</sup>	4.53-7.3 kWh/Nm <sup>3</sup>
Zakres dynamiczny produkcji	15-100%	0-100%
Czas życia stosu	<90 000 h	<60 000 h
Czas życia stosu z uwzględnieniem serwisu	Powyżej 170 000 h (powyżej 20 lat)	Do 80 000 h (około 9 lat)

Tabela 3. Porównanie technologii elektrolizera alkalicznego i PEM [1, 2, 3, 7]

### 3. Elektrolizer alkaliczny - KOMAG

Wychodząc naprzeciw zagadnieniom opisywanym w powyższej analizie, w KOMAG-u zdecydowano się na rozpoczęcie prac nad opracowaniem własnej konstrukcji elektrolizera alkalicznego. W projekcie założono możliwość wytwarzania wodoru pod ciśnieniem od do 200 bar, przy osiągniętej temperaturze elektrolitu w zakresie od 20°C do 80°C. Dzięki prowadzeniu procesu elektrolizy pod wysokim ciśnieniem, możliwe jest pominięcie pierwszych stopni sprężania wodoru do docelowego ciśnienia 200 bar, które jest standardem magazynowania. Ze względu na swoją budowę, rozwiązanie charakteryzuje się obniżoną sprawnością względem elektrolizerów atmosferycznych. Jednak pomimo tego, wstępne sprężanie wodoru w elektrolizerze

będzie generowało oszczędności energetyczne, obniżenie kosztów kapitałowych oraz operacyjnych względem atmosferycznych elektrolizerów alkalicznych, które muszą być połączone ze stacjami sprężania wodoru.

Założono również, że elektrolizer będzie wykonany z materiałów dostępnych w Polsce i EU. Na materiał elektrod wytypowano stal nierdzewną o niskiej zawartości niklu. Dzięki takiemu podejściu istnieje możliwość taniej produkcji elektrolizerów alkalicznych, w których koszt elektrody stanowi około 50% ceny urządzenia. Wykorzystanie tego typu stali obniży cenę docelowego rozwiązania, co przełoży się bezpośrednio na koszt produkowanego wodoru. Szczegółowe parametry zespołu elektrolizera alkalicznego zaprezentowano w tab. 3.



<b>Natężenie prądu elektrolizy</b>	do 2 A/cm <sup>2</sup>
<b>Wydajność produkcji wodoru (na celę)</b>	0,52 mg/s (20,8 m <sup>3</sup> /h)
<b>Wydajność produkcji tlenu (na celę)</b>	4,145 mg/s (10,44 m <sup>3</sup> /h)
<b>Ciśnienie maksymalne elektrolitu</b>	210 bar
<b>Przepływ elektrolitu</b>	2x20 dm <sup>3</sup> /min (dwa obiegi pompowe)
<b>Ubytek elektrolitu</b>	~5 mg/s
<b>Temperatura dopuszczalna</b>	2 - 60 °C
<b>Wydajność układu chłodniczego</b>	~60 dm <sup>3</sup> /min
<b>Parametry regulowane</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• natężenie i napięcie zasilania,</li> <li>• objętościowa wielkość przepływu,</li> <li>• ciśnienie pracy,</li> <li>• temperatura elektrolitu.</li> </ul>

Tabela 3. Parametry zespołu elektrolizera

Serce układu zespołu elektrolizera stanowi tzw. „Stos”. Obieg elektrolitu realizowany jest przez dwa zespoły pompowe pracujące w układzie zamkniętym, pobierające po stronie ssawnej medium z separatorów poszczególnych gazów. Po elektrolizie, elektrolit z pęcherzykami gazów, przepływając przez wysokociśnieniową chłodnicę, ponownie trafia do separatorów, gdzie następuje rozdzielenie faz. Linie tłoczne poszczególnych obiegów połączone są poprzez stabilizator ciśnienia, którego rolą jest wyrównywanie ciśnienia w poszczególnych obiegach (różna objętościowa produkcja gazów). Separatory wyposażone są w czujniki poziomu sygnalizujące ubytek elektrolitu oraz czujniki ciśnienia determinujące moment opróżnienia separatorów z gazu pod ciśnieniem. Opróżnienie gazu odbywa się poprzez zainstalowane na separatorach elektrozapory i zawory dławiące ograniczające efekt „dynamicznego ude-

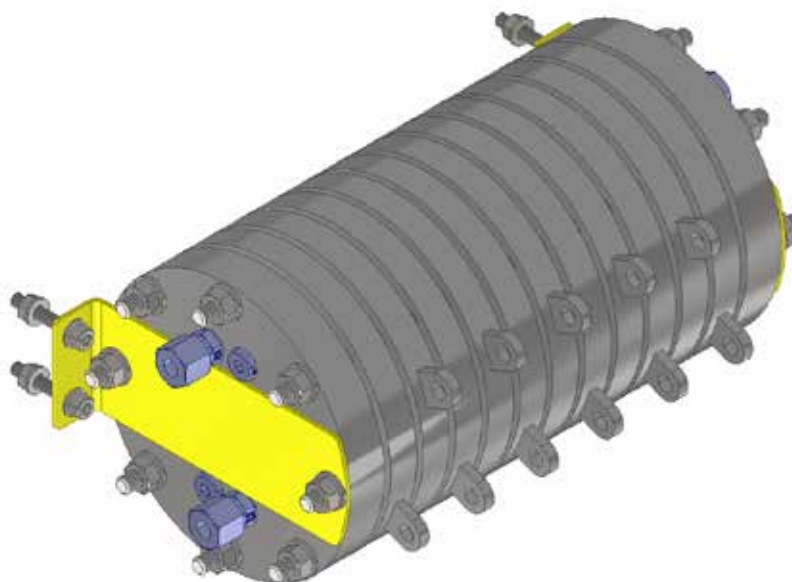
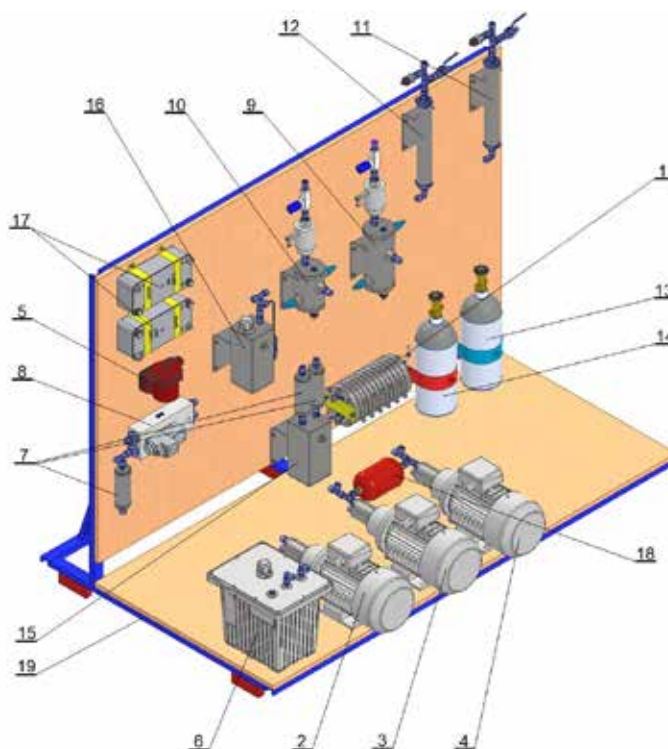
żenia” pneumatycznego. Gazy pod ciśnieniem poprzez osuszacze trafiają do wysokociśnieniowych zbiorników.

Poza obwodem zasadniczym, zespół elektrolizera wyposażony jest w układy peryferyjne. Pierwszy z nich stanowi układ doładowania elektrolitu ubywającego w czasie trwania procesu roboczego. Elektrolit doładowywany jest poprzez pompę hydrauliczną, a za sterowanie nią odpowiada zespół rozdzielacza kierunkowego, zamontowanego na dedykowanej płycie z zabudowami zaworami zwrotnymi i przelewowym.

Drugi z układów peryferyjnych stanowi układ obiegowy medium chłodniczego. Wyposażony jest on w zespół pompowy ze zmiennym wydatkiem, pracujący w niskociśnieniowym układzie zamkniętym, wyposażonym w zbiornik wyrównawczy. Rolą układu jest regulacja temperatury elektrolitu.

Rys 4. Zespół elektrolizera

- 1-stos,
- 2-pompa doładowania,
- 3,4-pompy obiegowe
- 5-pompa chłodnicza
- 6-zbiornik wyrównawczy
- 7-zawór bezpieczeństwa
- 8-zespół rozdzielacza
- 9,10-sepratory
- 11,12-osuszacze
- 13,14-zbiorniki ciśnieniowe
- 15,16- zborniki wyrównawcze
- 17-chłodnica
- 18-stabilizator
- 19-rama



Rys 5. Stos elektrolizera

#### 4. Pierwsze próby badawcze i pierwsze wnioski

W ramach prac rozwojowych w ITG KOMAG zdecydowano się na budowę i badania modelu laboratoryjnego elektrolizera na bazie powyższych założeń konstrukcyjnych.

Elektrolizer zbudowano w ograniczonej formie 2 celowej i poddano go badaniom. Prace realizowane były przy dywersyfikacji dwóch parametrów – wymuszonego zasilaczem natężenia prądu elektrycznego oraz temperatury.



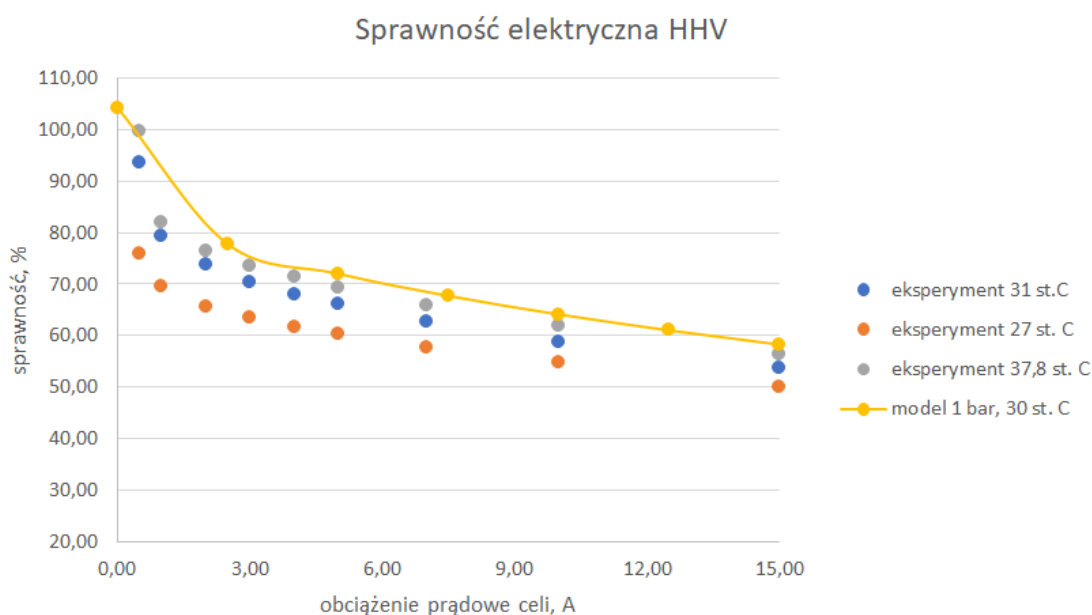
Rys. 6. Model badawczy elektrolizera  
Pomiarów dokonywano w 3 seriach dla temperatur 27, 31 i 38°C przy natężeniu prądu 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7; 10; 15A. Odczytywano wartość napięcia, która z kolei posłużyła do

wyznaczenia parametrów pracy elektrolizera tj. napięcia na celę ( $U_{celi}$ ), gęstości prądu ( $I_{A}$ ), mocy na celę ( $P_{celi}$ ), strumienia wodoru na celę ( $Q$ ), mocy, energii i sprawności LHV i HHV. Elektroliza z uwagi na brak na wyposażeniu KOMAG-u wysokociśnieniowej pomy do substancji żrących odbywała się przy ciśnieniu atmosferycznym. Poza tym przeprowadzono:

- próby szczelności wodnej (do 140 bar),
- rozruch z próbami elektrycznymi i identyfikacją uzyskiwanego stężenia gazów,
- długotrwały pomiar stabilności działania elektrolizera.

Niniejsze prace pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- a) Badania wykazały zgodnie z oczekiwaniem, że sprawność rośnie wraz ze wzrostem temperatury.



Rys. 7. Wykres sprawności laboratoryjnego elektrolizera

b) Na obecnym etapie prac, sprawność prototypu wyznaczona eksperymentalnie wykazuje dobrą zgodność z modelem obliczeniowym. Sprawność wyznaczona eksperymentalnie dla temp. 31°C wykazuje wartość

niższą o kilka punktów procentowych względem obliczeń modelowych dla 30°C, co zdaniem zespołu realizującego pracę jest dobrą zgodnością jak na początkowy etap prac.

- c) Sprawność bliska 100 % przy niskim obciążeniu jest spowodowana pracą poniżej napięcia termoneutralnego przy niskim obciążeniu prądowym. Reakcja elektrolizy jest endoenergetyczna i konsumuje ciepło zgromadzone w elektrolicie. Jest to kolejny możliwy kierunek rozwoju elektrolizera - urządzenie o bardzo dużym gabarycie jest zdolne do konsumpcji ciepła odpadowego i produkcji wodoru o bardzo wysokiej sprawności wytwarzania. Model obliczeniowy przewidywał możliwość zaistnienia tego procesu.
- d) Brak oznak korozji wżerowej sugeruje duży potencjał w wykorzystaniu zastosowanego materiału do produkcji elektrolizerów.

Obserwowane przez wiele lat zmiany klimatyczne, spowodowane emisją gazów cieplarnianych w wyniku spalania paliw kopalnych, kształtują globalne tendencje naukowe, które skupiają się na maksymalnym wykorzystaniu źródeł energii odnawialnej oraz konieczności przechowywania energii wytworzonej w okresach jej największego dostępu. Jednym z potencjalnych rozwiązań przechowywania tej energii jest produkcja wodoru poprzez elektrolizę, a następnie wykorzystanie go w ogniwach paliwowych w okresach, gdy źródła energii odnawialnej są mniej dostępne.

Zrealizowane prace badawcze wykazały duży potencjał w wykorzystaniu wysokociśnieniowej elektrolizy. Współczesne wyzwania związane z produkcją i przechowywaniem energii z odnawialnych źródeł energii wymagają nowatorskich rozwiązań. Dzięki prowadzeniu procesu elektrolizy pod wysokim ciśnieniem, możliwe będzie pominięcie pierwszych stopni sprężania wodoru przy sprężaniu do docelowego ciśnienia powyżej 700 bar, które jest standardem branży automotive. Ponadto, wstępne sprężanie wodoru w elektrolizerze powinno generować oszczędności energetyczne, obniżenie kosztów kapitałowych oraz operacyjnych względem atmosferycznych elektrolizerów alkalicznych połączonych ze stacjami sprężania wodoru.

## Literatura

1. Felgenhauer M., Hamacher T.: State-of-the-art of commercial electrolyzers and on-site hydrogen generation for logistic vehicles in South Carolina. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 40, Issue 5, 2015, p. 2084-2090. 6
2. Gambou F., Guilbert D., Zasadzinski M., Rafaralahy H.: A comprehensive survey of alkaline electrolyzer modeling: electrical domain and specific electrolyte conductivity. *Energies*, Volume 15, Issue 9, 2022, p. 1-20. 5
3. Hosseini S. E., Wahid M. A.: Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: Promising green energy carrier for clean development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016) p. 850-866. 2
4. Instrukcja laboratoryjna 2-OP: badanie elektrolizera i ogniwa paliwowego, Zintegrowany Program Rozwoju Politechniki Gdańskiej, POWR.03.05.00-00-Z044/17. 13
5. Sakr I. M., Mahrous A-F. M., Balabel A., Ibrahim K.: Experimental investigation of the operating parameters affecting hydrogen production process through alkaline water electrolysis, *The International Journal of Thermal & Environmental Engineering*, Volume 2, No. 2, 2011, p. 113-116. 8
6. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>. 3
7. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-resources>. 1

## High-pressure alkaline electrolyzer

### Abstract

The article presents work related to the development of hydrogen technology at ITG KOMAG focusing on the design and potential implementation of high-pressure alkaline electrolyzers. The first part introduces the state of the art and prospects for the development of electrolyzer industry in the near future. Subsequently, it describes the design work and initial research on a laboratory model of an alkaline electrolyzer.

**Keywords:** hydrogen, alkaline electrolyzer, high-pressure electrolysis

Marta GAJDIK, Marta PILARSKA, Sebastian GUJA, Andrzej CHMIELA, Adam SMOLIŃSKI

## Zagospodarowanie wody opadowej i technologicznej do produkcji wodoru w pompowni wód kopalnianych obiegu zamkniętego

### Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono przykład obniżenia kosztów zakupu energii elektrycznej dla pompowni wód kopalnianych, spowodowania jej niezależności energetycznej oraz zmniejszenia zapotrzebowania na wodę do procesu produkcji „zielonego” wodoru metodą elektrolizy. Efektywne wykorzystanie OZE wymaga zastosowania magazynowania energii. Wodór postrzegany jest jako doskonałe medium do długotrwałego i efektywnego magazynowania nadwyżek energii. Zmiany klimatyczne i środowiskowe wymusiły poszukiwanie nowych źródeł zaopatrzenia w wodę. Wody opadowe i technologiczne są nadal mało wykorzystywanym źródłem zwiększenia zasobów wody i zmniejszenia odciążenia zasobów wodnych w Unii Europejskiej. Przedstawiony projekt zapewnia samowystarczalność energetyczną koncepcji funkcjonowania pompowni obiegu zamkniętego.

**Słowa kluczowe:** odnawialne źródła energii, magazynowanie energii, „zielony” wodór, rewitalizacja terenów pogórnich, likwidacja kopalni.

### 1. Wstęp

Efekt cieplarniany i stałe podnoszenie się temperatury skłaniają do korzystania z odnawialnych źródeł energii (OZE). Aby OZE mogło dostarczać energię elektryczną poza okresami jej generowania, należy rozważyć zastosowanie systemu magazynowania energii [7]. Wodór ze względu na stosunkowo łatwą możliwość przechowywania, a następnie spalania postrzegany jest jako medium do efektywnego, długotrwałego magazynowania nad-

wyżek wygenerowanej „zielonej” energii [1, 2]. W pracy przedstawiono ideę wykorzystania wody opadowej i technologicznej jako źródła wody do procesu elektrolizy. Ta forma produkcji wodoru jest najkorzystniejsza z punktu widzenia zeroemisyjnej energetyki i transportu [21].

Światowy niedobór wody pitnej wymusił poszukiwanie nowych źródeł zaopatrzenia w wodę. Aby zoptymalizować obieg wody i zapewnić uniezależnienie się od zasilania z sieci wodociągowej, niezbędne jest podjęcie działań umożliwiających zmniejszenie zużycia energii i wody z tradycyjnych ich źródeł pozyskiwania. Wody opadowe są niedocenianym sposobem pozyskania wody w Europie.

Produkcja wodoru w procesie elektrolizy wymaga stosunkowo dużych ilości energii elektrycznej i wody. W warunkach idealnych to około 50 kWh i 9 kg wody na 1 kg wodoru. Względy techniczne i potencjalne straty wody na cele utrzymania sprawności wyposażenia w skrajnych przypadkach powodują, że zużycie wody przez elektrolizer wzrasta nawet do około 22 dm<sup>3</sup>/kg H<sub>2</sub> [16, 25]. Zmniejszająca się ilość i pogarszająca się jakość zasobów wodnych wymusza poszukiwanie nowych możliwości zapewnienia bezpiecznego funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę. [4, 26]. Niedobór czystej wody na świecie może doprowadzić do sytuacji ograniczenia wykorzystania wody wodociągowej do produkcji wodoru. Działaniem zaradczym jest znalezienie alternatywnych, stabilnych źródeł wody zasilających proces elektrolizy [24]. Zaprezentowane w pracy wykorzystanie do tego celu oczyszczonych wód opadowych i technologicznych może zapewnić prawidłowe funkcjonowanie procesu elektrolizy wody. Zastosowanie konkretnego procesu pozyskiwa-

nia wody do zasilania elektrolizerów musi być rozpatrywany indywidualnie, pod względem ilości, dostępności, zmineralizowania wody czy warunków klimatycznych. [9, 17, 19]. Do produkcji bardzo czystego wodoru (czystość powyżej 99,999% wódór 5.0) potrzebna jest woda dejonizowana [5, 22], o przewodności nie większej niż 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [18, 23], wolna od wszelkich zanieczyszczeń. Zanieczyszczenia wody mogą negatywnie wpływać na proces elektrolizy, zwiększając zużycie energii elektrycznej oraz powodować korozję na elektrodach elektrolizera.

## 2. Założenia projektowe

Zagospodarowanie wód kopalnianych i opadowych w połączeniu z opracowaniem koncepcji pilotażowego rozwiązania samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych stanowiło główny cel badawczy. Dodatkowo bardzo istotnym elementem projektowym było ograniczenie negatywnego wpływu emisji zanieczyszczonych wód na środowisko i zwiększenie efektywności finansowej przedsięwzięcia [10, 11, 15]. Omawiany projekt będzie kreował nowe rynki związane z nowoczesnym transportem i miksem energetycznym opartym częściowo o OZE [3, 13, 14, 20].

Jednym z zadań Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. (SRK S.A.) jest ciągłe odwadnianie zrobów zlikwidowanych kopalń [21]. Zaprzestanie odwadniania poza zatopieniem czynnych kopalń i niżej położonych terenów na powierzchni mogłoby doprowadzić do zanieczyszczenia ujęć wody pitnej [6, 8]. Spółka odpompowuje rocznie około 100 mln m<sup>3</sup> wody kopalnianej (dane za 2023 r.). Zakup energii elektrycznej jest jednym z największych składników kosztów niezbędnych do prowadzenia tej części działań SRK S.A. [7, 21]. Zużycie „czarnej” energii w 2023r. w Spółce wyniosło około 300 GWh, co odpowiada około 160 mln Mg ekwiwalentnej emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery [12, 23].

Pompownia wód kopalnianych znajduje się na terenie jednej z dzielnic dużego miasta w Aglomeracji Śląskiej.

Jednym ze sposobów ograniczenia zapotrzebowania na zakup energii elektrycznej z sieci jest wykorzystanie Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) [7, 21]. Z uwagi na ochronę lokalnego rynku energii oraz ograniczoną chłonność lokalnej sieci energetycznej, warunkiem realizacji projektu jest nieoddawanie do sieci krajowej nadmiaru wygenerowanej energii. Projekt zakłada wybudowanie przy pompowni wód kopalnianych farmy fotowoltaicznej. Produkcja energii elektrycznej w dni słoneczne pokrywa z nadatkiem zapotrzebowanie energetyczne pompowni. Prawidłowe funkcjonowanie większości instalacji opartych o OZE nie jest możliwe bez technologii magazynowania energii w okresach jej zwiększonego wytwarzania [10, 11, 21]. W projekcie samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych przyjęto magazynowanie nadmiaru energii w wodorze pozyskiwanym z elektrolizy wody [7, 8]. Magazynowanie energii w wytworzonym wodorze pozwala na bardzo efektywne długoterminowe przechowywanie wygenerowanych nadwyżek energii i ich wykorzystanie w czasie większego zapotrzebowania na energię elektryczną. Wodór można wytwarzać za pomocą różnych procesów i źródeł energii.

Modernizacja pompowni dla jej funkcjonowania jako obiektu samowystarczalnego energetycznie obejmuje wyposażenie jej w farmę fotowoltaiczną, elektrolizer, akumulatorowy magazyn energii, magazyn energii cieplnej, zbiornik do magazynowania wodoru, zbiornik do magazynowania tlenu, silniki kogeneracyjne lub ogniwa wodorowe niezbędne do zasilania wyposażenia pompowni w okresach niesłonecznych lub w nocy, Stację Uzdatniania Wód Dołowych (SUWD) i instalację do pozyskiwania wód deszczowych i technologicznych.

Wytworzony wodór ma być magazynowany i na miejscu wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej w okresach niedoboru. Ewentualny nadmiar wodoru ma być transportowany do innej pompowni celem wytworzenia tam energii elektrycznej.

W obliczeniach przyjęto, że do wyprodukowania 1 kg wodoru konieczne będzie zużycie 15 kg wody. Założono też, że dochód ze sprzedaży uzdatnionej wody oraz wyprodukowanego tlenu zostanie skierowany do zakupu energii elektrycznej od lokalnego dostawcy. Przyjęto, że media te zostaną odsprzedane lokalnym dystrybutorom za 60 % ich ceny detalicznej.

### 3. Projekt samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych obiegu zamkniętego.

Po modernizacji pompowni w dni słoneczne farma fotowoltaiczna produkować będzie energię elektryczną, która zasili wyposażenie pompowni. Gdy produkcja energii przekracza zapotrzebowanie pompowni, jej nadmiar przekazany będzie do zasilania elektrolizera. Ewentualne chwilowe nadmiary wytworzonej energii elektrycznej, jako energia „odpadowa”, kierowane będą do buforowego akumulatorowego magazynu energii i w odpowiednim momencie dodatkowo zasili proces elektrolizy. Energia cieplna pochodząca z chłodzenia pracującego elektrolizera będzie magazynowana w podziemnym magazynie ciepła i wykorzystywana na własne potrzeby w pompowni,

na przykład do podgrzania wody użytkowej w łaźni górniczej. W dni w których następuje niewielka produkcja prądu z instalacji fotowoltaicznej, produkowana energia będzie gromadzona w buforowym akumulatorowym magazynie energii dla krótkotrwałego pełnego zasilenia pracy elektrolizera po wypełnieniu magazynu.

Wyprodukowany tlen i wodór poprzez sprężarki podawany będzie do zbiorników magazynowych. Zmagazynowany tlen sprzedawany będzie hurtowniom specjalizującym się w obrocie gazami. Za uzyskane dochody pompownia zakupi „czarną energię” od lokalnego dostawcy. W okresach zapotrzebowania na energię elektryczną wodór podawany będzie do silników kogeneracyjnych lub ogniw wodorowych wytwarzających energię elektryczną i ciepłą. Wytworzona energia elektryczna zasili wyposażenie pompowni. Wyprodukowana energia cieplna kierowana będzie do podziemnego magazynu ciepła. Dla przewidywanych cen energii w I kwartale 2024 roku, zaproponowana inwestycja spowodowałaby zaspokojenie potrzeb energetycznych pompowni w 101,3% (tabela 1.). Odpowiada to obniżeniu o około 6671 Mg ekwiwalentnej emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery.

Tabela 1. Prognozowane parametry pracy pompowni wód dołowych obiegu zamkniętego dla prognozowanej ceny zakupu energii elektrycznej w I kwartale 2024 roku

Prosty czas zwrotu nakładów	<b>15,4</b>	[lata]
Pokrycie zapotrzebowania energetycznego pompowni	<b>101,28</b>	[%]
Ekwiwalentne ograniczenie emisji CO <sub>2</sub>	<b>6671</b>	[Mg CO <sub>2</sub> /rok]
Autokonsumpcja wygenerowanej energii elektrycznej	<b>55,55</b>	[%]
Utrzymane miejsca pracy	<b>16</b>	[szt.]

Źródło: Opracowanie własne.

Ze względu na poszukiwanie alternatywnych możliwości pozyskania i stabilizacji dostaw wody do procesu elektrolizy przyjęto budowę Stacji Uzdatniania Wód Dołowych (SUWD) dostosowanej do wolumenu wód pompowanych przez pompownię i instalację pozyskiwania wody opadowej i technologicznej [8, 21]. Część uzdatnionej wody zostanie skierowana do elektrolizera, co uniezależni pompownię od dostaw wody pitnej z lokalnej instalacji wodociągowej. Dochód ze sprzedaży pozostałej części uzdatnionej wody będzie dodatkowym źródłem finansowania zakupu brakującej części energii elektrycznej od lokalnego dostawcy. Przy wykorzystaniu pełnego wolumenu pompowanych wód kopalnianych, pompownia zapewniłaby zapotrzebowanie elektrolizera na czystą, uzdatnioną wodę oraz mogłaby zasilać lokalną sieć wodociągową w wodę uzdatnioną do spożycia przez ludzi jako alternatywne źródło wody pitnej (zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia). Szacunkowe koszty budowy SUWD i uzdatniania wód przyjęto na podstawie przeprowadzonych już przez Spółkę badań pilotażowych w pompowniach o porównywalnych parametrach wody kopalnianej.

Poza pompowaną wodą kopalnianą do procesu trafi dodatkowy wolumen wody opadowej i technologicznej. Ze względu na roczne opady i powierzchnię dachów oraz powierzchnię paneli fotowoltaicznych oceniono, że możliwe będzie pozyskanie około połowy wód opadowych spadających na te powierzchnie, czyli około 0,4 mln m<sup>3</sup> wody. Stwierdzono, że możliwe będzie odzyskanie około połowy wody kierowanej do mycia paneli, co daje kolejne około 0,1 mln m<sup>3</sup>. Ze względu na stosunkowo małe zanieczyszczenie wody pochodzącej z łaźni górniczej w projekcie uwzględniono dodatkowy wolumen około 0,1 mln m<sup>3</sup> wody możliwej do uzdatnienia. Uzdatnienie zmieszanych wód dołowych, opadowych i technologicznych wpłynie na dalsze zmniejszenie niedoborów wody, zmniejszenie zrzutu zanieczyszczonych wód kopalnianych do cieków, ograniczenie emisji soli i innych zanieczyszczeń do środo-

wiska. Niezbędna część uzdatnionej wody zostanie skierowana do zasilania elektrolizera, a dochód ze sprzedaży pozostałej części uzdatnionej wody będzie przekazany na zakup brakującej części energii elektrycznej.

W tabeli 1. zaprezentowano podstawowe wskaźniki efektywności przeprowadzenia opcji modernizacji pompowni z budową farmy fotowoltaicznej, Stacji Uzdatniania Wód Dołowych (SUWD) i instalacji pozyskiwania wody opadowej i technologicznej. Opcja budowy OZE, SUWD i instalacji pozyskiwania wody opadowej i technologicznej na terenie pompowni, dla prognozowanych cen zakupu energii w I kwartale 2024 roku, spowoduje obniżenie szacowanych kosztów zakupu energii elektrycznej. Pompownia dla tych uwarunkowań będzie miała teoretyczną nadprodukcję energii elektrycznej, która przekroczy zapotrzebowanie pompowni o około 1,3%. Uzyskaną nadwyżkę energii w postaci wodoru będzie można wykorzystać w innej pompowni po przewiezieniu tam i spalaniu zmagazynowanego wodoru. Oceniono, że autokonsumpcja wygenerowanej „zielonej energii” wyniesie około 56%. Odpowiada to ekwiwalentnej emisji 6671 Mg CO<sub>2</sub> do atmosfery. Prosty czas zwrotu nakładów na rozbudowę pompowni ocenia się na około 15 lat. Dla prawidłowego funkcjonowania w tym wariantcie modernizacji przewiduje się stworzenie do 16 nowych, alternatywnych dla górnictwa, miejsc pracy dla pracowników relokowanych z innych oddziałów Spółki.

Prawie cały produkowany obecnie wodór pozyskiwany jest z paliw kopalnych, co wiąże się z emisją gazów cieplarnianych. Rozwój gospodarki wodorowej, zgodnie z Europejską i Polską Strategią Wodorową uwzględnia, m.in. to, że otrzymywanie tzw. zielonego wodoru, musi pochodzić z bezemisyjnego procesu elektrolizy wody z wykorzystaniem energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii (OZE). Produkcja wodoru w procesie elektrolizy wymaga znacznych nakładów energetycznych i wolumenu wody zasilającej elektrolizer. W pracy przedstawiono ideę wy-



korzystania wody opadowej i technologicznej jako źródła wody do procesu elektrolizy.

W wyniku przeprowadzonych badań przeanalizowano koncepcję pilotażowego rozwiązania samowystarczalności energetycznej przykładowej pompowni wód kopalnianych, pracującej w tzw. obiegu zamkniętym. W projekcie przyjęto zamianę w wodór nadwyżek energetycznych produkowanych przez farmę fotowoltaiczną zbudowaną na terenie pompowni. Wyprodukowany wodór napędzałby silniki kogeneracyjne lub ogniwa wodorowe produkujące energię elektryczną i ciepłą w okresach ich niedoboru wyłącznie na potrzeby własne. Wyniki finansowe będą powiększane o dochód ze sprzedaży wyprodukowanego tlenu i uzdatnionej wody. W obliczeniach przyjęto, że tlen będzie sprzedawany za 60% obowiązującej ceny tlenu technicznego, a wody za 40% jej ceny zakupu z sieci wodociągowej. W projekcie zastosowano akumulatorowy magazyn energii o wielkości 1 MWh. Ten magazyn energii będzie buforował szczytkową produkcję energii elektrycznej np. przy częściowym zachmurzeniu. Po przynajmniej częściowym zapełnieniu akumulatorowego magazynu energii, przechowana energia wykorzystywana będzie do stabilizacji zasilania wyposażenia pompowni lub procesu elektrolizy.

#### 4. Wnioski

W obliczu pogłębiającego się światowego niedoboru wody pitnej, nadmierne wykorzystywanie konwencjonalnych źródeł zaopatrzenia w wodę może ten niedobór jedynie powiększyć. Tzw. kryzys wodny wymusił poszukiwanie nowych źródeł zaopatrzenia w wodę na cele spożywcze i technologiczne. Dla skutecznego wdrożenia gospodarki wodorowej niezbędne jest prowadzenie badań, rozwoju i wdrażania opracowanych rozwiązań i technologii wykorzystania wodoru w energetyce, transporcie i przemyśle. Do niezagospodarowanych źródeł wody na cele spożywcze lub technologiczne należą,

m.in. wody opadowe i kopalniane. Obecne rozpoznanie technologii uzdatniania wody z wód opadowych i technologicznych pozwala dobrać procesy technologiczne tak, aby system funkcjonował bezpiecznie, niezawodnie i trwale. Jedynym ograniczeniem jest wysokość kosztu uzdatniania.

Analizowana pompownia jest jedną z 19 pompowni należących do SRK S.A. zlokalizowanych w aglomeracji śląskiej, która zabezpiecza przed zalaniem czynne kopalnie i powierzchnię terenu. Największym komponentem kosztów działalności każdej pompowni są opłaty za zakup energii elektrycznej. Odpowiedzią jest wykorzystanie OZE jako elementu wspomaganie zasilania konwencjonalnego. Efektywne wykorzystanie OZE wymaga zastosowania magazynowania energii. Opracowanie i wdrażanie wydajnych sposobów wytwarzania i magazynowania energii jest istotnym zadaniem dla działalności Spółki. Działania te wpisują się również w projekty zwiększające udział energii pozyskanej ze źródeł odnawialnych w miksie energetycznym Polski. Innowacyjne systemy wytwarzania i magazynowania energii w obiektach nieczynnych kopalń są atrakcyjne zarówno ekologicznie jak i ekonomicznie.

Wszystkie przedstawione rozwiązania techniczne są ekonomicznie uzasadnione i zalecane do realizacji ze względu na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego i bezpieczeństwa dostaw wody pitnej. Modernizacja istniejącej infrastruktury pompowni połączona z nowymi technologiami służącymi również lokalnej społeczności, będzie samofinansującym się rozwiązaniem, pozytywnie odbieranym społecznie i wizerunkowo. ■

#### Literatura

- [1]. Barszczowska B., Hydrogen valleys as opportunities for SME in Poland [in:] Preserving, Evaluating And Developing The Mediterranean, K. Jurčević, L. K. Lipovčan, R. Medić, O. Ramljak (Eds.), Institute of Social Sciences Ivo Pilar, VERN' University, ISBN 978-

- 953-8404-20-7 (Institute of Social Sciences Ivo Pilar) ISBN 978-953-8101-12-0 (VERN' University), pp. 379-386. 2023.
- [2]. Barszczowska B., Polska Strategia Wodorowa. Rola dolin wodorowych, [in:] Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk 1 (111). Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej. Zagrożenia dla bezpieczeństwa energetycznego Polski i UE, <https://doi.org/10.33223/zn/2023/09>. 109–116. 2023
- [3]. Bluszcz A., Smoliło J., Uwarunkowania transformacji rejonów górniczych, [in] Wybrane problemy środowiska przyrodniczego w ujęciu naukowym. Lublin: Wydaw. Naukowe Tygiel. 2021.
- [4]. Bondaruk J., Janson E., Wysocka M., Chałupnik S., Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian Coal Basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. *Journal of Sustainable Mining*, 2015.
- [5]. Chand K., Paladino O., Recent developments of membranes and electrocatalysts for the hydrogen production by anion exchange membrane water electrolyzers: A review, *Arabian Journal of Chemistry*, 2023.
- [6]. Chmiela A., Procesy restrukturyzacji i rewitalizacji kopalń postawionych w stan likwidacji. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 2022.
- [7]. Chmiela A., Smoliło J., Smoliński A., Magdziarczyk M.; Zarządzanie wyborem wariantu samowystarczalności energetycznej pompowni wód kopalnianych, *Management and Quality – Zarządzanie i Jakość*, Vol 5 No 3, 2023.
- [8]. Chmiela A., Smoliło J.: Systemy magazynowania energii szansą transformacji terenów pogórniczych. *Napędy i Sterowanie* 02/2023, ISSN 1507-7764, 2023-02
- [9]. Chmielewska I., Chałupnik S., Wysocka M., Smoliński A., Radium measurements in bottled natural mineral-, spring- and medicinal waters from Poland, *Water Resources and Industry*, 2020.
- [10]. Gawęda, A. (2021). Sustainability Reporting: Case of European Stock Companies. *European Journal of Sustainable Development*, 10(4), 41-53. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2021.v10n4p41>
- [11]. Gawęda, A., Złoty, M. The impact of ESG ratings on the market performance of commodity stock sector before and during the COVID-19 pandemic. *Ekonomia i Prawo. Economics and Law. Online*. 30 September 2023. Vol. 22, no. 3, pp. 531-553.
- [12]. Jae-Chan K., Junhyeong K., Jong Chel P., Sang Hyun A., Dong-Wan K., Ru2P nanofibers for high-performance anion exchange membrane water electrolyzer, *Chemical Engineering Journal*, 2021.
- [13]. Kaczmarek J., Kolegowicz K., Szymba W. Restructuring of the Coal Mining Industry and the Challenges of Energy Transition in Poland (1990–2020). *Energies* 2022.
- [14]. Kaczmarek J. The Balance of Outlays and Effects of Restructuring Hard Coal Mining Companies in Terms of Energy Policy of Poland PEP 2040. *Energies* 2022.
- [15]. Khomenko, D., & Jelonek, I. (2023). Study of a Low-Cost Method for Estimating Energy Fuel Resources in Anthropogenic Sediments. *Management Systems in Production Engineering*, 31(4), 434-441.
- [16]. Liu L., Bai L., Liu Z., Miao S., Pan J., Shen L., Shi Y., Li N., Side-chain structural engineering on poly (terphenyl piperidinium) anion exchange membrane for water electrolyzers, *Journal of Membrane Science*, 2023.
- [17]. Łabaj P., Wysocka M., Janson E., Deska M. Application of the Unified Stream Assessment Method to Determine the Direction of Revitalization of Heavily Transformed Urban Rivers. *Water Resources* 47(4), 2020.
- [18]. Martín Narbaitz R., Chartrand Z.G., Sartaj M., Downey J. Ammonia-Ca-K competitive ion-exchange on zeolites in mining wastewater treatment: batch regeneration and column performance, *Journal of Sustainable Mining*, 2020.
- [19]. Prakash Pandey B., Prasad Mishra D. Improved Methodology for Monitoring the Impact of Mining Activities on Socio-Economic Conditions of Local Communities, *Journal of Sustainable Mining*, 2022.
- [20]. Salom AT, Kivinen S. Closed and abandoned mines in Namibia: a critical review of environmental impacts and constraints to rehabilitation, *South African Geographical Journal* 2020; 102:3, 389-405.
- [21]. Smoliło J., Morawski A., Gajdzik M., Chmiela A.: Projekt pilotażo-

wego rozwiązania samowystarczalności energetycznej pompowni zabezpieczającej przed zalaniem sąsiednie zakłady górnicze. Napędy i Sterowanie 04/2023, ISSN 1507-7764, 2023-04

- [22]. Smoliński A., Howaniec N., Hydrogen energy, electrolyzers and fuel cells – The future of modern energy sector, International Journal of Hydrogen Energy 45(9), 2020.
- [23]. Wojtacha-Rychter K., Kucharski P., Smoliński A., Conventional and alternative sources of thermal energy in the production of cement an impact on CO2 emission, Energies 2021.
- [24]. Wysocka M., Chałupnik S., Chmielewska I., Janson E., Radziejowski W., Samolej K. Natural Radioactivity in Polish Coal Mines: An Attempt to Assess the Trend of Radium Release into the Environment. International Journal of Mine Water, 2019.
- [25]. Zawadzki P, Smoliński A.; 2023; Otrzymywanie zielonego wodoru w procesie elektrolizy wody odzyskanej ze ścieków komunalnych, 3xW Węgiel-Wodór-Wiedza 1, 17-20
- [26]. Zawadzki P, Smoliński A.; 2023; Zastosowanie podczyszczonych ścieków komunalnych jako źródła wody w procesie produkcji zielonego wodoru metodą elektrolizy, 3xW Węgiel-Wodór-Wiedza 2, 4-8

water are still not enough used source of increasing water resources and the reduction of the burden on water resources in the European Union. The presented project ensures energy self-sufficiency of the the circular economy of mine water pumping station operation concept.

**Keywords:** renewable energy sources, energy storage, "green" hydrogen, revitalization of post-mining areas, mine closure, circular economy.

## Management of rainwater and process water for hydrogen production in the circular economy of mine water pumping station

### Summary:

The study presents an example of reducing the costs of purchasing electricity for a mine water pumping station, making it energy independent and reducing the demand for water for the production process of "green" hydrogen by electrolysis. The effective use of renewable energy sources requires the use of energy storage. Hydrogen is perceived as an excellent medium for long-term and effective storage of energy surplus. Climate and environmental changes forced the search for new sources of water supply. Rainwater and process

## Polski Kongres Klimatyczny 2024. Podsumowanie



W dniach 19 i 20 marca 2024 roku odbył się Polski Kongres Klimatyczny i Central Northern European Climate Summit, międzynarodowe spotkanie ekspertów w dziedzinie zrównoważonego rozwoju i innowacyjnych technologii, przedstawiciele organów administracji centralnej oraz agend międzynarodowych, reprezentantów miast z Polski i zagranicy, przedstawiciele ambasad, delegatów biznesu i jego otoczenia oraz organizacji pozarządowych, ekspertów, naukowców i dziennikarzy. W wydarzeniu wzięła udział znana ekspertka w kwestiach regulacji, Elina Bardram, reprezentująca DG Climate Action Komisji Europejskiej oraz Laszlo Borbely, Radca Stanu, Koordynator Departamentu Zrównoważonego Rozwoju Rumunii oraz Szef Europejskiej Sieci Zrówno-

ważonego Rozwoju (European Sustainable Development Network).

W dwudziestu sześciu panelach dyskusyjnych wzięło udział niemal 150 ekspertów z polski i zagranicy. Kongres odbył się dzięki wsparciu Partnerów: Leroy Merlin, AMS, PKO Bank Polski, Łukasiewicz-ITECH, Digital Care, WiseEuropa, Goldbeck Solar, Polenergia, KEZO, Bank Gospodarstwa Krajowego, Veolia, EDP, Saint-Gobain, InPost Green City, Deloitte, Global Wind Consulting, Grupa Danone, SRS i Enel X.

Dwa dni Kongresu wypełnione były panelami dyskusyjnymi, spotkaniami i okrągłymi stołami z udziałem wybitnych zagranicznych i polskich ekspertów. Zagadnienia omawiane podczas wydarzenia Podzielone zostały na



cztery fora tematyczne: zielone finanse i ESG, zrównoważone inwestycje publiczne, przyszłość energetyki oraz dekarbonizacja przemysłu.

Największym zainteresowaniem cieszyła się międzynarodowa sesja plenarna pod nazwą „Zielona Rewolucja. Przyspieszenie Transformacji Klimatyczno-Energetycznej: Reformy, Regulacje, Wyzwania” opracowana została merytorycznie przez ekspertów z firmy Deloitte, w której wzięło udział ponad 400 uczestników. Tematem dyskusji były regulacje, finansowanie, technologie oraz energetyka. Eksperci opowiedzieli jak zreformować systemy wsparcia zielonych inwestycji.

Zakres merytoryczny dedykowany energetyce obejmował szeroki horyzont bieżących tematów z nią związanych, interesujących zarówno dla uczestników reprezentujących sektory biznesowe jak i instytucji publicznych. Eksperci omówili nowe strategie ewolucji polskiego mixu energetycznego, umowy PPA i dekarbonizację biznesu, technologie i rozwiązania z północy Europy, które można wdrożyć na polskim rynku, znaczenie OZE dla biznesu, możliwości dekarbonizacji ciepłownictwa, drogę do osiągnięcia równowagi i zwiększenia zastosowania OZE.

Ogromnym zainteresowaniem cieszyła się ścieżka tematyczna dotycząca zielonych inwestycji publicznych, w której dyskusje oparte zostały o najlepsze praktyki w zakresie projektowania nowoczesnej przestrzeni miejskiej uwzględniającej błękitno-zieloną infrastrukturę jako istotny zasób miasta. Tutaj omówiony został potencjał współpracy wydziałów inwestycji z wydziałami klimatu w samorządach, której efektem miałyby być lepsza skuteczność i zastosowanie rozwiązań opartych na naturze.

Ścieżki tematyczne biznes i finansowanie odbyły się z udziałem wybitnych ekspertów zagranicznych. W tym obszarze merytoryka obejmowała raportowanie ESG i taksonomię zrównoważonego finansowania w kontekście dekarbonizacji przemysłu energochłonnego w Polsce. Ważnym tematem była również gospodarka cyrkularna.

Eksperci, którzy wystąpili w wydarzeniu: Krzysztof Bolesta, Wiceminister Klimatu i Środowiska; Elina Bardram, Dyrektorka w DG Climate Action, Komisja Europejska; Laszlo Borbely, President of the Sustainable Development Network; Ireneusz Sawicki, Prezes Zarządu Polenergii Sprzedaż; Piotr Maciołek, Prezes Zarządu Polenergia; Krzysztof Fal, Dyrektor Rozwoju Programu, WiseEuropa; Andy Kerr, CSO, Climate KIC; Jacek Hutyra, Chief ESG Officer Leroy Merlin Polska; Danuta Szlak-Sun, dyrektor ds. finansowych, członek zarządu Veolia term; Piotr Hałoń Członek Grupy Energy & Resources w Deloitte w Polsce; Angelika Szufel, CMS; Jarosław Ziębiec, Towarowa Giełda Energii; Magdalena Ruszniak, Dyrektor ds technicznych, Członek Zarządu Veolia; Kamil Sankowski, Członek Zarządu, Polenergia Fotowoltaika; Marek Kuzaka, Prezes AMS; Grzegorz Rabsztyń, Head of Warsaw Office, Europejski Bank Inwestycyjny EBI; Sebastian Cieniewski, Vice President Senior Credit Officer, Moody's; Ewa Czarnecka, Bank of China; Katarzyna Kurbiel-Auleytner, Principal Banker, EBRD; dr hab. inż. Zbigniew Karaczun, profesor SGGW, współzałożyciel Koalicji Klimatycznej; Paweł Nowakowski, dyrektor odpowiadający za Środowisko, produkty uboczne, zarządzanie majątkiem w ArcelorMittal Poland; Edyta Żabczyńska, Członek zarządu Veolia term; Mariusz Cnota, Założyciel i właściciel Global Wind Consulting Sp. z o.o. oraz GoWind s.r.o.; Piotr Glen, Kierownik Zespołu Zrównoważonego Rozwoju i ESG, SGH; Piotr Matczuk, Country Advisor, International Finance Corporation IFC; Tycjan Bielecki, Dyrektor Departamentu ESG i rozwiązań dla domu, Santander Bank Polska; dr hab. Agnieszka Słomka-Gołębiowska, prof. SGH; Maciej Tarnawski Dyrektor Departamentu Rynków Kredytowych CIB w Santander Bank Polska; Patryk Darowski, Dyrektor Zarządzający Pionem Ryzyka Branżowego i ESG, BGK; Karolina Studniarek,

Senior ESG Manager, Zespół Relacji Inwestorskich Giełda Papierów Wartościowych w Warszawie; dr Aleksandra Smyczyńska, Szefowa komunikacji korporacyjnej E.ON; Agnieszka Okońska, Członkini zarządu STOEN Operator S.A; Paweł Łączkowski, Deloitte; Marek Ulman, Koordynator w Krajowym Punkcie Kontaktowym ds. Instrumentów Finansowych Unii Europejskiej; Radosław Hutnik - Dyrektor Pionu Transformacji Bankowości Korporacyjnej i Przedsiębiorstw, PKO Bank Polski; Michał Fisiak, Dyrektor Departamentu Finansów Publicznych, UM Łodzi (tbc); Wojciech Modzelewski, ClientEarth; Joanna Smolik, Dyrektor Departamentu Relacji Strategicznych, BGK; dr hab. Marcin Kawiński, prof. SGH; Ewa Wesołowska, Dyrektorka Rynku Strategicznego Oszczędny DOM, Leroy Merlin; dr inż. Marcin Gawroński, Prezydent | Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego PLGBC, Dyrektor Działu Budownictwa Ekologicznego, Sweco Polska; Beata Tylman-Nowakowska, Dyrektorka Działu Rynku Pierwotnego na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie; Małgorzata Darowska, Dyrektor Departamentu Zrównoważonego Rozwoju ESG, PKO Bank Polski; Krzysztof Kamiński, CFA, doradca inwestycyjny, Prezes POLSA; Renata Filipek-Baryłowska, B2B & Business Lines Director w Digital Care; Michał Czernek, B2B Sales Director w Digital Care; Patrycja Woźniak, Manager w zespole ds. ESG, Climate and Nature w KPMG; Weronika Czaplowska, CSO Envirly; Edyta Czarnota, Managing Partner Zymetria; Jolanta Okońska-Kubica, przewodnicząca Komitetu ds. ESG w Krajowej Izbie Gospodarczej; Włodzimierz Kiciński, Wiceprezes Związku Banków Polskich; Kamil Liberadzki, UKNF, Monika Bogdanowska, Narodowy Instytut Dziedzictwa; Piotr Gerber, TICCIH; Łukasz Konarzewski, Śląski Wojewódzki Konserwator Zabytków; Arkadiusz Węglarz, Krajowa Agencja Poszanowania Energii; Agata Skrzy-

pek, Ministerstwo Klimatu i Środowiska; Agata Byrszewska-Łasińska, Narodowy Instytut Dziedzictwa; Wojciech Dziegiel, Fundacja Most the Most; Marcin Kowalczyk, WWF Polska, WWF International; Agnieszka Oleksyn-Wajda, Dyrektor Instytutu Zrównoważonego Rozwoju i Środowiska, Uniwersytet Łazarskiego; dr Agnieszka Sznyk, Prezes zarządu, Innowo; Henryk Kwapisz, Dyrektor ds. relacji instytucjonalnych, Saint Gobain; Łukasz Łyżwa, Prezes zarządu, SRS; Alicja Kuczera, Dyrektorka zarządzająca, Polskie Stowarzyszenie Budownictwa Ekologicznego PLGBC; Karol Poprawa, Menedżer projektów ESG, Leroy Merlin Polska; Klaudia Subutkiewicz, Dyrektor Wydziału Gospodarki Odpadami Urzędu Miasta Bydgoszczy; dr Katarzyna Iwińska (Łukasiewicz – ITECH, Collegium Civitas); dr inż. Kamil Kulesza koordynator modułu inżynierskiego w projekcie „Bezpieczny Wodór”; dr Marek Troszyński, kierownik Obserwatorium Cywilizacji Cyfrowej w Collegium Civitas; Andrzej Meler, badacz z Centrum Monitorowania Dyskursu Publicznego; Piotr Lewandowski, Ekspert ds. programów badawczych, Sieć badawcza Łukasiewicz; Katarzyna Więckiewicz-Dominiczak – ekspertka w obszarze innowacyjnych rozwiązań technologicznych.; Andrzej Maciejewski, Prezes zarządu SIM KZN-Północ; Maciej Żywno, Senator RP; Marcin Jakubowski, Burmistrz Mińska Mazowieckiego; Stanisław Szultka, Dyrektor Departamentu Rozwoju Gospodarczego, Urząd Marszałkowski Woj. Pomorskiego; dr Krzysztof Krawiec, Politechnika Śląska I WiseEuropa; Jarosław Makowski, Wiceprezydent Miasta Katowice; Jakub Mielczarek ZWRP; Sylwia Słomiak, ekspertka ds. projektów i partnerstw w sektorze energii i klimatu, EuroCities; dr hab. Jacek Sierak, prof. SGH; Paula Rapiej-Kaczmarczyk, Specjalistka ds. relacji partnerskich i Programu InPost Green City; Halina Pomianowska, Dyrektor Wydziału Środo-

wiska i Ekologii Urzędu Miasta Torunia; dr Aleksander Jakubowski, Ministerstwo Klimatu i Środowiska; Aleksandra Gołdys, Climate-KIC; Wojciech Kukuła, ClientEarth; Julia Patarska, Partnerka, Deloitte; Joanna Kiernicka-Allavena, Climate-KIC, Net Zero Cities; Krzysztof Kochanowski, Wiceprezes Zarządu PIME; Krzysztof Strukowicz – Prezes Zarządu My-Soft; Leszek Bitner – Director of Asset Management Stoen Operator; Piotr Czopek, Dyrektor w PSEW; Grzegorz Tchorek, Instytut Energetyki; Bogdan Pilch, IGEOS; Artur Zawisza, Prezes Unii Producentów i Pracodawców Przemysłu Biogazowego i Biometanowego; dr Maja Czarzasty-Zybert, Radca prawny, ZEPAK; Michał Mikuła, Dyrektor ds. Rynku Energii w Grupie Saint-Gobain, Marek Zdanowicz, Prezes zarządu Dalkia Polska Solutions; Grzegorz Bobek, Kierownik ds. Ochrony Środowiska i Zrównoważonego Rozwoju w grupie spółek DANONE (Danone sp. z o.o., Nutricia sp. z o.o., Żywiec Zdrój S.A.); Tuomas Asunmaa; Kaj Granholm, Baltic Sea Action Group; Anniina Urponen, Meriaura; Anna-Mari Satosalmi, Gasum; Igor Petryk, Wärtsilä Energy ; Jarkko Hämäläinen, Infrakit; Dariusz Wellenger, Gebwell; Mateusz Kowalik, Polska Zielona Sieć; Justyna Mazurkiewicz, Kierownik Zespołu Klimatu, Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego; Anna Banaszczyk, World Bank; Ewa Iwazuk, Ecologic; Robert Skowroński, Koordynator inwestycji „Konsolidacja siedziby Urzędu Marszałkowskiego Województwa Zachodniopomorskiego w Szczecinie”; Marcin Sadura, Zastępca Dyrektora Działu Inwestycji i Rozwoju MPO w Warszawie; Joanna Kiernicka-Allawena, Climate KIC; Rafał Zasuń, Redaktor Naczelny WysokieNapiecie.pl Grzegorz Butrym, Dyrektor ds. Rozwoju i Sprzedaży PPA, Polenergia Obrót; Remigiusz Piwowarski, Dyrektor ds. Rozwoju w EDP Energia Polska, wice-prezes/ członek zarządu w EDP by SOON; Jacek Misiejuk, Prezes Za-

rzędu ENEL X; Mikołaj Budzanowski, Prezes Zarządu Boryszew Green Energy; Andrzej Kaźmierski, Dyrektor Departamentu Gospodarki Niskoemisyjnej, Ministerstwo Rozwoju i Technologii; Szymon Gonera, Dyrektor ds. zakupów niebezpośrednich, Leroy Merlin Polska; dr Agata Stasik, Akademia Leona Koźmińskiego – badaczka społecznych aspektów transformacji, uczestniczka projektu GREEN HEAT; Sebastian Bykuć, Centrum KEZO ds. Naukowych, Instytut Maszyn Przepływowych PAN – ekspert od technologii, koordynator projektu GREEN HEAT.; Maciej Galoch, Inżynier Środowiska, Pełnomocnik Prezydenta Miasta Legionowo ds. jakości powietrza i gospodarki niskoemisyjnej; Karolina Zubel, CASE – innowacje modele finansowania inwestycji samorządowych; Marcin Galoch, Inżynier Środowiska, Pełnomocnik Prezydenta Miasta Legionowo ds. jakości powietrza i gospodarki niskoemisyjnej; Marek Pszonka, Mazowiecka Agencja Energetyczna ; dr inż. Paweł Grabowski, STAY-ON; dr inż. Weronika Radziszewska, KEZO Centrum Badawcze PAN, Instytut Maszyn Przepływowych PAN; dr Natalia Stradomska, Główna specjalistka do spraw regulacji Dalkia Polska; Barbara Adamska, Prezes Polskiego Stowarzyszenia Magazynowania Energii; Paweł Piotrowicz, Tuv-Sud; Anna Brussa, Climate- KIC; Magdalena Chawuła, ETC Mining Specialist Energy & Extractives, Bank Światowy; Anna Bogusz, Zastępca Dyrektora Departamentu Ochrony Środowiska, Urząd Marszałkowski Śląski; dr Krzysztof Fal, Dyrektor Rozwoju Programu, WiseEuropa; Janusz Kubicki, Prezydent Zielonej Góry; Katarzyna Iwińska, Collegium Civitas, Sieć Badawcza Łukasiewicz ITECH; dr hab. Ewelina Szczech-Pietkiewicz, prof. SGH; dr inż. Jarosław Smyła, Dyrektor Centrum Badawczego Technologii Innowacyjnych w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technik Innowacyjnych EMAG; Małgorzata Greszta, Partnerka Zarządzająca CSR Consulting.



Jak podkreślają uczestnicy, udział w wydarzeniu to przede wszystkim szansa na zdobycie nowej wiedzy i kontaktów. Agenda Polskiego Kongresu Klimatycznego to dwa dni debat na temat najbardziej aktualnych kwestii związanych z operacyjnym zarządzaniem zieloną transformacją, nową energetyką, finansowaniem inwestycji, ofertą nauki dla biznesu, rolą biznesu w dochodzeniu do celów klimatycznych, digitalizacji w przyspieszeniu transformacji klimatyczno-energetycznej i innych zagadnień związanych z ochroną klimatu i środowiska, z udziałem praktyków.

Polskiemu Kongresowi Klimatycznemu towarzyszyła uroczysta Gala Liderów Transformacji Energetycznej. Wydarzenie co roku gromadzi szefów największych firm energetycznych oraz najbardziej innowacyjne polskie przedsiębiorstwa, ubiegające się o tytuł Lidera Transformacji Energetycznej dla swoich projektów. Konkurs realizowany jest pod kapitułą ARP, NCBR i Wise Europa. Głównym partnerem wieczornej gali była firma Goldbeck

Solar. Tytuł Lidera Transformacji Energetycznej uzyskały firmy ML System, EDP, PEC Gliwice, Grupa Azoty, Polenergia, Goldbeck Solar, Nutricia Zakłady Produkcyjne, Instytut Maszyn Przepływowych, WiseEuropa, Polski Fundusz Rozwoju, Województwo Śląskie, DOEKO Group, MPGK-Krośnieński Holding Komunalny, PE w Siedlcach, SMA Magnetics, Elektrotim, Veolia term, Nomad Electric Services, Polska Grupa Biogazowa, Schneider Electric, Zakład Poligraficzny POL-MAK, Województwo Zachodniopomorskie, ALD Automotive, Green Cell i Urząd Miasta Zielona Góra.

Do udziału w wydarzeniu zarejestrowało się ponad 1200 osób, a według badania marketingowego coroczny zasięg Polskiego Kongresu Klimatycznego to 3 miliony osób w Polsce i za granicą. Polski Kongres Klimatyczny pełni zatem istotną rolę w procesie zielonej transformacji, będąc skuteczną platformą dystrybucji wiedzy i tworząc przestrzeń do interdyscyplinarnego dialogu. ■

Materiał otrzymany od Organizatora

