Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk

Streszczenia

XXXIX KONFERENCJA

z cyklu:

ZAGADNIENIA SUROWCÓW ENERGETYCZNYCH
I ENERGII W GOSPODARCE KRAJOWEJ

Transformacja energetyczna a bezpieczeństwo energetyczne



2026

Zakopane, 18–21 października 2026

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk

Streszczenia

XXXIX KONFERENCJA

Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej

pod tytułem

Transformacja energetyczna a bezpieczeństwo energetyczne

pod patronatem honorowym:

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

Ministerstwo Energii

Komitetu Problemów Energetyki PAN

Główni Partnerzy Konferencji

arp Agencja Rozwoju Przemysłu S.A.

Geminus Sp. z o.o.

18–21 października 2026 r., Zakopane

Redaktor wydania: dr hab. inż. Zbigniew GRUDZIŃSKI, prof. instytutu
dr hab. inż. Katarzyna STALA-SZLUGAJ, prof. instytutu

Komitet Naukowy Konferencji

Katarzyna STALA-SZLUGAJ – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (Przewodnicząca)
Zbigniew GRUDZIŃSKI – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (Wiceprzewodniczący)
Ireneusz BAIC – Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny
Beata BARSZCZOWSKA – Akademia Górnośląska im. W. Korfantego w Katowicach
Bartosz CERAN – Politechnika Poznańska
Tadeusz CHMIELNIAK – Politechnika Śląska, członek rzeczywisty PAN
Jakub DĄBROWSKI – Politechnika Poznańska
Waldemar DOŁĘGA – Politechnika Wrocławska
Krzysztof GALOS – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
Lidia GAWLIK – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
Janusz LEWANDOWSKI – Politechnika Warszawska
Czesława ROSIK-DULEWSKA – Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, członek rzeczywisty PAN
Leokadia RÓG – Główny Instytut Górnictwa
Mariusz RUSZEL – Politechnika Rzeszowska
Jakub SIEMEK – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, członek rzeczywisty PAN
Sławomir SOWA – Politechnika Poznańska
Andrzej STRUGAŁA – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Radosław SZCZERBOWSKI – Politechnika Poznańska
Krzysztof ZAMASZ – Instytut Transformacji Energetycznej, Akademia WSB

Komitet Organizacyjny Konferencji

Przewodniczący: dr hab. inż. Zbigniew GRUDZIŃSKI, prof. instytutu
Sekretarze: dr inż. Urszula OZGA-BLASCHKE
dr hab. inż. Katarzyna STALA-SZLUGAJ, prof. instytutu
Członkowie: dr hab. inż. Lidia GAWLIK, prof. instytutu
Renata GRUDZIŃSKA

Z ramienia Instytutu GSMiE PAN konferencję organizuje:
Pracownia Ekonomiki i Badań Rynku Paliwowo-Energetycznego

Łamanie: Barbara Sudoł
Opieka redakcyjna: Małgorzata Olszewska

Adres do korespondencji:
ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
e-mail: rynek@min-pan.krakow.pl; https://se.min-pan.krakow.pl/
tel.: 12 632-27-48

ISBN 978-83-67606-82-0
eISBN 978-83-67606-83-7

Spis treści

Klaudia BAŃCZYK, Piotr PASIOWIEC, Jerzy WAJS, Bogdan SKRUCH, Barbara TORA
Optymalizacja procesu odwadniania i klasyfikacji z wykorzystaniem sit i przesiewaczy wibracyjnych PROGRESS ECO 7

Beata BARSZCZOWSKA
Znaczenie pomocy publicznej w formie dopłaty do redukcji zdolności produkcyjnych w procesie transformacji sektora GWK 9

Krzysztof BRODA, Wiktor FILIPEK, Barbara TORA
Ciepło odpadowe w energetyce zawodowej – wykorzystanie silnika Stirlinga w instalacji EC Skawina 11

Andrzej CHMIELA, Beata BARSZCZOWSKA, Mateusz DRABEK
Środowiskowa emisja zmineralizowanych wód kopalnianych 13

Marianna CZAPLICKA, Marian NIESLER, Arkadiusz RYFA, Michał KOCOT
Innowacyjna dwustopniowa technologia oczyszczania gazu wielkopiecowego 16

Jakub DĄBROWSKI, Tomasz SURMA, Krzysztof ZAMASZ, Tomasz MIROWSKI, Piotr PLATA
Odporność zasilania infrastruktury krytycznej wobec zakłóceń. Dwuetapowe ramy oceny przesiewowej – studium przypadku szpitala publicznego 18

Waldemar DOŁĘGA
Eksploatacja krajowej sieci dystrybucyjnej nN w warunkach dużego nasycenia prosumenckich instalacji fotowoltaicznych – wybrane aspekty 20

Krzysztof DUDA
Miks paliwowy w erze transformacji energetycznej: emisyjność rzeczywista, emisyjność regulacyjna i konsekwencje 21

Artur DYCZKO, Jacek JAROSZ, Sylwester KACZMARZEWSKI, Piotr OLCZAK, Radosław MARLĘGA, Małgorzata DYDO, Slavko DRAGIĆ
Projekt DynGOSP. Architektura chmurowa Platformy Węglowej – informatycznego systemu do zarządzania gospodarką węgla kamiennego 25

Artur DYCZKO, Eugeniusz J. SOBCZYK, Michał KOPACZ, Jacek JAROSZ, Jerzy KICKI, Jarosław KULPA, Dominik GALICA, Sylwester KACZMARZEWSKI, Leszek MALINOWSKI
Zintegrowana platforma cyfrowa jako narzędzie strategicznego zarządzania sektorem węgla kamiennego w warunkach dekarbonizacji – koncepcja i implementacja systemu DynGOSP realizującego ideę dynamicznej bazy zasobowej 26

Wiktor FILIPEK, Krzysztof BRODA, Barbara TORA
Ciepło odpadowe z instalacji grzewczej w domu jednorodzinnym – odzysk i zagospodarowanie 29

Wiktor FILIPEK, Krzysztof BRODA, Barbara TORA, Stanisław PIETRZYK
Analiza możliwości pozyskiwania surowców krytycznych ze złóż podmorskich 33

Maciej GACKI, Konrad ŚWIRSKI
Hurtowy rynek energii elektrycznej w Polsce – niewykorzystany potencjał? 35

Tomasz GŁOWIENKO, Dorota CZARNA-JUSZKIEWICZ, Magdalena WDOWIN, Piotr KUNECKI, Marta MARCZAK-GRZESIK, Łukasz LELEK
Od odpadu do nanotechnologii: synteza wysoko zorganizowanych struktur porowatych na bazie krzemionki antropogenicznej jako fundament zielonej transformacji 37

Zbigniew GRUDZIŃSKI
Główne czynniki zmian cen surowców energetycznych 39

Zbigniew GRUDZIŃSKI, Katarzyna STALA-SZLUGAJ, Urszula OZGA-BLASCHKE
Ceny energii elektrycznej w Unii Europejskiej i Polsce 41

Olga JANIKOWSKA, Joanna KULCZYCKA, Chaitanya Sandeep PAWAR
Kaskadowy system blokad w transformacjach energetycznych regionów pogórniczych: zintegrowany model analityczny 42

Izabela JONEK-KOWALSKA, Aneta MICHALAK
Postawy społeczne i strategie adaptacyjne wobec transformacji energetycznej – studium porównawcze 19 polskich miast górniczych 44

Marcin KARPIŃSKI, Olga CELARY, Paweł JAMROZIK
Metan z likwidowanych kopalń węgla kamiennego jako zrównoważone paliwo w okresie transformacji górniczo-energetycznej. Ocena stabilności parametrów eksploatacji z wybranych złóż oraz wpływu na minimalizację zjawiska niekontrolowanej emisji w świetle nowych ryzyk regulacyjnych 46

Natalia KASIŃSKA, Bartosz CERAN, Radosław SZCZERBOWSKI, Robert WRÓBLEWSKI
Charakterystyki pracy elektrociepłowni jądrowych z reaktorami SMR – analiza porównawcza na przykładzie rozwiązań typu AP300 i BWRX-300 48

Beata KĘPIŃSKA
Początki badań i wykorzystywania geotermii na Podhalu 50

Anna KIELERZ
Efekty restrukturyzacji i wygaszania kopalń – zatrudnienie w sektorze górnictwa węgla kamiennego wczoraj i dziś 57

Anna KIELERZ, Monika PORZERZYŃSKA-ANTONIK
Bezpieczeństwo energetyczne Polski w dobie transformacji: jak budować odporny miks, zamiast ścigać się na megawaty 58

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK, Agnieszka DUDEK, Aleksander GŁĘBOCKI, Szymon PIONK
Odpady z sektora wydobywczo-energetycznego w świetle dokumentów planistycznych i sprawozdawczych w podziale administracyjnym Polski 60

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK, Gabriela WOŹNIAK, Anna HIBSZER, Adrianna BAŁA
Odpowiedź środowiska przyrodniczego na działania rekultywacyjne na obszarach pogórniczych 62

Justyna M. KOBYLARCZYK, Agnieszka NOWACZEK
Transformacja energetyczna jako pierwszy etap wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze MŚP 64

Alicja KOT-NIEWIADOMSKA
Czy transformacja energetyczna potrzebuje edukacji? 66

Alicja KOT-NIEWIADOMSKA, Jarosław KAMYK
Surowce mineralne z roztworów geotermalnych – podsumowanie projektu CRM-geothermal 68

Aleksander KOŹMIŃSKI
Rola biogazu rolniczego i energetyki rozproszonej w budowaniu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego na obszarach wiejskich 70

Joanna KULCZYCKA, Natalia GENEROWICZ-CABA, Maciej MAŃKA, Cansu Özcan KILCAN, Alan TKACZYK
Zrównoważone wykorzystanie surowców w produkcji cementu – analiza LCA w projekcie ValorWaste 72

Leszek LANKOF, Edyta ŁOKAS, Barbara TOMASZEWSKA, Kamil BRUDECKI, Marzena ZAJĄC, Grzegorz FIUTAK, Aleksandra KASZTELEWICZ
Kryteria i wymagania metodyczne monitoringu radiologicznego wokół elektrowni jądrowych w Polsce 74

Janusz LEWANDOWSKI
Bezemisyjne ciepłownictwo a bezpieczeństwo energetyczne 76

Dariusz MICHALAK, Jarosław TOKARCZYK, Piotr MATUSIAK, Daniel KOWOL, Jerzy JAGODA, Sławomir BARTOSZEK
Koncepcja zintegrowanego monitorowania hałd i zwałowisk węgla z wykorzystaniem systemów powietrznych i naziemnych w projekcie DynGOSP 77

Tomasz MIROWSKI, Tomasz WOJCIECHOWSKI
Od agrobiomasy do paliwa procesowego: BioDust MS jako krajowy komponent wsparcia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego 78

Kamil MISIUREK, Tadeusz OLKUSKI, Janusz ZYŚK
Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną w rozdzielczości 15-minutowej: modele ML kontra prognozy OSP 79

Patryk NALEPKA
Ocena wystarczalności mocy wytwórczych jako narzędzie krajowego i unijnego bezpieczeństwa energetycznego 81

Agnieszka NOWACZEK
Znaczenie gospodarki o obiegu zamkniętym dla bezpieczeństwa surowcowego i transformacji energetycznej 82

Piotr OLCZAK, Michał KOPACZ, Katarzyna STALA-SZLUGAJ, Jadwiga ZABAGŁO, Filip ELŻANOWSKI, Anna KUCIŃSKA, Zuzanna STACHURSKA, Krzysztof ZAMASZ, Tomasz SURMA
Rola biomasy w elektroenergetyce i ciepłownictwie 84

Tadeusz OLKUSKI, Wiktoria SOBCZYK, Kamil MISIUREK, Patrycja ZUBIEŃ
Wybrane zagadnienia polityki energetycznej Polski w XXI wieku 86

Urszula OZGA-BLASCHKE
Węgiel koksowy – perspektywy rynkowe 88

Wiktor PACURA, Piotr PLATA, Julia DOMAGAŁA, Tomasz MIROWSKI
Zmiana właściwości technicznych odpadów toryfikowanych z wykorzystaniem materiału ofiarnego – badania w LECO EATC Berlin. Poster 90

Monika PEPŁOWSKA
Od konsensusu ekologicznego do sporu politycznego: zarządzanie instytucjonalne a percepcja społeczna we wdrażaniu Strefy Czystego Transportu 91

Justyna PŁOTEK, Emil HANC
Ewolucja materiałów i technologii magazynowania energii w bateriach: od ogniw Li-ion po ogniwa hybrydowe 93

Krzysztof POLAŃSKI, Tomasz WŁODEK, Adam SZURLEJ
Rozwój bazy PMG w kontekście zwiększenia odporności krajowego sektora energetycznego 95

Cezary POLSKI, Tomasz POLSKI, Jacek ROMAN, Natalia KASIŃSKA, Agata MIELCAREK, Daria ZŁOTECKA, Robert WRÓBLEWSKI, Radosław SZCZERBOWSKI, Jarosław BARTOSZEWICZ, Bartosz CERAN
Analiza porównawcza wskaźników energetycznych układu gazowo-parowego i elektrowni parowej z nadbudowaną turbiną gazową 96

Mirosław SKIBSKI, Marta JARNO
Obraz sektora górnictwa węgla kamiennego po ośmiu miesiącach 2026 r. 97

Marzena SMOL
Od oczyszczania ścieków do odzysku zasobów i energii – modele biznesu gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) 98

Marzena SMOL, Edyta WALUŚ, Dominika SZOŁDROWSKA
Platforma CirCan: od wiedzy do współpracy na rzecz obiegu składników odżywczych 100

Eugeniusz J. SOBCZYK, Jarosław KULPA, Dominik GALICA, Michał KOPACZ
Projekt DynGOSP. System zarządzania gospodarką zasobami węgla kamiennego w oparciu o metodykę dynamicznej bazy zasobowej z wykorzystaniem wskaźnika ryzyka AHP oraz koncepcji ekonomicznej parceli eksploatacyjnej (EPE) 102

Wiktoria SOBCZYK, Cristiano FELTRI, Javier SORIANO, Ciro RIPPA, Elf van DIJK
Ocena wpływu elektrowni fotowoltaicznej na środowisko 103

Sławomir SOWA
Analiza rynku energii elektrycznej w perspektywie lat 2030–2040 105

Katarzyna STALA-SZLUGAJ
Stałe paliwa kopalne w kontekście europejskiego bezpieczeństwa energetycznego 106

Tomasz SURMA
Wykorzystanie potencjału łączenia rynków elektroenergetycznego i ciepłowniczego dla transformacji energetycznej – aspekty ekonomiczne kotłów elektrodowych 108

Radosław SZCZERBOWSKI
Węgiel w miksie energetycznym krajów europejskich 111

Jarosław SZLUGAJ, Katarzyna STALA-SZLUGAJ
Rozwój biogazowni w Polsce w aspekcie przyszłego zapotrzebowania na surowce mineralne 113

Krzysztof WALĘGA, Jadwiga ZABAGŁO
Wybrane wyzwania związane z integracją Morskiej Energetyki Wiatrowej z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym 115

Krzysztof WALĘGA, Jadwiga ZABAGŁO, Piotr OLCZAK
Morska turbina wiatrowa – doświadczenia z Morza Północnego 117

Krzysztof WITKOWSKI
Zarządzanie wartością portfela projektów w wielozakładowym przedsiębiorstwie wydobywczym 118

Marian ZMARZŁY
Bezpieczna transformacja energetyczna Polski – węgiel i gaz jako paliwa przejściowe do energetyki jądrowej 119

Patrycja ZUBIEŃ, Tadeusz OLKUSKI, Grzegorz GÓRAL
Klasyfikacja wskaźników stosowanych do oceny efektywności energetycznej w przedsiębiorstwach przemysłowych jako podstawa opracowania zintegrowanego modelu oceny 121

Optymalizacja procesu odwadniania i klasyfikacji z wykorzystaniem sit i przesiewaczy wibracyjnych PROGRESS ECO

Klaudia BAŃCZYK*, Piotr PASIOWIEC*, Jerzy WAJS*,
Bogdan SKRUCH*, Barbara TORA**

** Progress Eco Spółka Akcyjna*
*** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Efektywne odwadnianie i klasyfikacja drobnoziarnistych frakcji mineralnych stanowią istotne wyzwanie technologiczne w procesach przeróbki surowców mineralnych, w szczególności w odniesieniu do materiałów o wysokiej zawartości wody i zróżnicowanym składzie granulometrycznym. Ograniczenie wilgotności produktu, skuteczne wydzielenie pożądanej frakcji uziarnienia oraz zapewnienie jego właściwości transportowych i użytkowych mają bezpośredni wpływ na efektywność ekonomiczną i organizację procesu technologicznego.

W artykule przedstawiono możliwości intensyfikacji procesów odwadniania i klasyfikacji drobnoziarnistych frakcji węglowych z wykorzystaniem wysokoczęstotliwościowych przesiewaczy odwadniająco-klasyfikujących produkcji PROGRESS ECO, wyposażonych w poliuretanowe sita szczelinowe PRO-FLEX. Analizie poddano rozwiązania umożliwiające ograniczenie udziału tradycyjnych osadników ziemnych, odzysk wartościowej frakcji węglowej oraz zagospodarowanie pozostałych drobnoziarnistych materiałów powstających w procesach przeróbki i rekultywacji terenów pogórniczych.

Przedstawiono wyniki prób ruchowych przeprowadzonych w zakładach JSW SA KWK „Knurów-Szczygłowice" – Ruch Knurów i Ruch Szczygłowice – oraz w Zakładzie „ZOWER" w Czerwionce-Leszczynach. W Ruchu Knurów oceniano możliwość mechanicznego odwadniania i klasyfikacji zawiesiny kierowanej do osadników ziemnych, z uwzględnieniem uzyskania produktu o obniżonej wilgotności, odpowiednich właściwościach transportowych oraz potencjale do dalszego wykorzystania w procesie granulowania. Zastosowano przesiewacze wyposażone w sita PRO-FLEX o szerokości 1000 mm i długości pokładu sitowego 2800 mm. W Ruchu Szczygłowice analizowano możliwość maksymalnego odwodnienia i odzysku frakcji powyżej 200 µm, charakteryzującej się wysoką jakością i niską zawartością popiołu. W tym przypadku zastosowano

przesiewacze z pokładem sitowym o szerokości 1400 mm i długości 4000 mm. Próby w Zakładzie „ZOWER” przeprowadzono z wykorzystaniem przesiewacza bliźniaczego względem urządzenia pracującego w Ruchu Knurów, oceniając możliwość odzysku drobnoziarnistych frakcji węgla oraz kruszyw powstających podczas rekultywacji hałdy pokopalnianej.

W wyniku przeprowadzonych prób potwierdzono możliwość jednoczesnego wydzielania i odwadniania frakcji o uziarnieniu powyżej 71 μm. W zależności od warunków prowadzenia procesu uzyskano produkt o zawartości wilgoci poniżej 30%, charakteryzujący się właściwościami umożliwiającymi jego transport z wykorzystaniem ładowarek kołowych oraz dalsze zagospodarowanie technologiczne. Zastosowanie poliuretanowych sit szczelinowych PRO-FLEX, dzięki ich konstrukcji i wysokiemu współczynnikowi prześwitu, sprzyja intensyfikacji separacji fazy stałej i ciekłej, zwiększeniu skuteczności klasyfikacji oraz poprawie efektywności odwadniania. Przedstawione wyniki wskazują na możliwość wykorzystania tego typu rozwiązań w modernizacji układów technologicznych przeróbki drobnoziarnistych frakcji mineralnych i w ograniczaniu zależności od tradycyjnych metod sedymentacyjnego rozdziału materiału.



Zestaw z przesiewaczem PWP1-1,08 x 2,8

Znaczenie pomocy publicznej w formie dopłaty do redukcji zdolności produkcyjnych w procesie transformacji sektora GWK

Beata BARSZCZOWSKA*

** Agencja Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie, Oddział w Katowicach; Akademia Górnośląska im. W. Korfantego w Katowicach*

Transformacja sektora górnictwa węgla kamiennego w Unii Europejskiej od kilku dekad przebiega w warunkach narastającej presji regulacyjnej, klimatycznej oraz ekonomicznej, wynikającej zarówno z zaostrzających się zobowiązań redukcji emisji gazów cieplarnianych, jak i z rosnącej niekonkurencyjności krajowego wydobycia względem importu. W opracowaniu poddano analizie znaczenie pomocy publicznej, ze szczególnym uwzględnieniem dopłat do redukcji zdolności produkcyjnych, stanowiących kluczowy instrument umożliwiający kontrolowane wygaszanie działalności wydobywczej oraz zapewnienie stabilności społecznej, technicznej i instytucjonalnej w regionach górniczych.

Przedstawiono ewolucję unijnego reżimu pomocowego – od regulacji Europejskiej Wspólnoty Węgla i Stali, poprzez kolejne decyzje generalne oparte na art. 95 Traktatu EWWiS, aż po współczesne ramy prawne wynikające z rozporządzenia Rady (WE) nr 1407/2002 oraz decyzji Rady 2010/787/UE. Szczególną uwagę poświęcono dopłatom do redukcji zdolności produkcyjnych. Instrument ten pełni funkcję stabilizującą, umożliwiając stopniowe wygaszanie kopalń, minimalizację ryzyka gwałtownych wstrząsów społecznych oraz zapewnienie zgodności działań państw członkowskich z zasadami rynku wewnętrznego określonymi w art. 107–108 TFUE.

Analiza wskazuje, że po roku 2022 znaczenie czynników ekonomicznych uległo wyraźnemu wzmocnieniu. Wzrost cen uprawnień do emisji CO_2 w systemie EU ETS, rosnące koszty operacyjne oraz pogłębiająca się niekonkurencyjność krajowego wydobycia sprawiają, że dopłaty do redukcji zdolności produkcyjnych stają się nie tylko narzędziem polityki społecznej, lecz także istotnym mechanizmem wspierającym proces dekarbonizacji i transformacji energetycznej. W konsekwencji dopłaty te należy postrzegać nie jako prosty transfer finansowy, lecz jako strategiczny instrument polityki publicznej, umożliwiający bezpieczne, przewidywalne i zgodne z prawem unijnym przejście od gospodarki opartej na węglu do modelu niskoemisyjnego.

Słowa kluczowe: pomoc publiczna, redukcja zdolności produkcyjnych, transformacja energetyczna, górnictwo węgla kamiennego

The Role of State Aid in the Form of Production Capacity Reduction Subsidies in the Transformation of the Hard Coal Mining Sector

The transformation of the hard coal mining sector in the European Union has, for several decades, taken place under conditions of increasing regulatory, climate-related and economic pressure, arising both from tightening greenhouse gas reduction commitments and from the growing uncompetitiveness of domestic coal production relative to imports. This study examines the role of State aid, with particular emphasis on production capacity reduction subsidies, which constitute a key instrument enabling the controlled phase-out of noncompetitive mining operations and ensuring social, technical and institutional stability in coal regions.

The paper outlines the evolution of the EU State aid framework – from the regulatory system of the European Coal and Steel Community, through successive general decisions adopted under Article 95 of the ECSC Treaty, to the contemporary legal regime established by Council Regulation (EC) No 1407/2002 and Council Decision 2010/787/EU. Particular attention is devoted to production capacity reduction aid. This instrument performs a stabilising function, facilitating the gradual closure of mines, mitigating the risk of abrupt social shocks, and ensuring that Member State interventions remain compliant with the internal market rules laid down in Articles 107–108 TFEU.

The analysis demonstrates that, after 2022, economic factors have gained significantly in importance. Rising CO_2 allowance prices under the EU ETS, increasing operational costs and the deepening uncompetitiveness of domestic coal production mean that production capacity reduction aid has become not only a social policy tool, but also a crucial mechanism supporting decarbonisation and the broader energy transition. Consequently, such aid should be understood not as a simple financial transfer, but as a strategic public policy instrument enabling a safe, predictable and legally compliant transition from a coalbased economy to a lowemission model.

Keywords: state aid, production capacity reduction, energy transition, hard coal mining

Ciepło odpadowe w energetyce zawodowej – wykorzystanie silnika Stirlinga w instalacji EC Skawina

Krzysztof BRODA*, Wiktor FILIPEK*, Barbara TORA*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Perspektywiczną metodą pozyskania energii elektrycznej z ciepła odpadowego jest obieg Stirlinga. Silnik Stirlinga jest to silnik cieplny, który zamiast wewnętrznego spalania wykorzystuje ciepło zewnętrzne. Energia cieplna jest konwertowana w pracę mechaniczną, która następnie za pomocą generatora może być konwertowana w energię elektryczną.

Silnik Stirlinga ma długą i ciekawą historię oraz szerokie możliwości zastosowania do celów energetycznych. Został wynaleziony i opatentowany w roku 1816 przez Roberta Stirlinga. Pierwsze znane zastosowanie miało miejsce w Szkocji, w Ayrshire, w roku 1818, do napędzania pompy wodnej.

Straty energii w elektrowniach mogą być redukowane niekonwencjonalnymi metodami, takimi jak:

- organiczny cykl Rankine'a (OCR) – wykorzystanie cieczy organicznych o niskich temperaturach wrzenia (niższych niż woda). Pozwala na odzyskanie ciepła odpadowego ze źródeł niskotemperaturowych [2],
- cykl Kaliny – podobny do OCR, ale wykorzystujący mieszaninę dwu lub więcej płynów (dopasowanie składu mieszaniny do zakresu temperatur) [3],
- generatory termoelektryczne (TEG) – półprzewodnik wykorzystujący efekt Seebecka. Materiały termoelektryczne, które generują prąd elektryczny, gdy występuje między nimi różnica temperatur [4],
- CO_2 w stanie nadkrytycznym (cykl Braytona) – $scCO_2$ jako płyn roboczy w zamkniętym cyklu zasilania [5].

Można tu również zaliczyć wykorzystanie silnika Stirlinga [6].

Badania nad wykorzystaniem silnika Stirlinga rozpoczęły prace nad wykorzystaniem silnika Stirlinga do odzysku ciepła odpadowego, które przeprowadzono w Elektrociepłowni w Skawinie. Do badań wykorzystano silnik typu beta o mocy 50 kW, produkcji chińskiej Rayming. Silnik został zabudowany w układzie oczyszczania spalin.

Uzyskane wyniki pozwoliły na obliczenie ilości energii, którą można odzyskać za pomocą silnika Stirlinga. W artykule przedstawiono wskaźniki pracy bloku

dla warunków nominalnych (bez poboru ciepła do instalacji usuwania CO_2), które były podstawą do obliczenia bilansu. Cykl Stirlinga to wysoce zidealizowany cykl termodynamiczny, który składa się z dwóch procesów izotermicznych i dwóch procesów izochorycznych. Cykl jest odwracalny termodynamicznie.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza w AGH.

Środowiskowa emisja zmineralizowanych wód kopalnianych

Andrzej CHMIELA*, Beata BARSZCZOWSKA**, Mateusz DRABEK***

** Industrial Development Agency JSC, Katowice; Poland;*
e-mail: andrzej.chmiela@katowice.arp.pl; ORCID ID: 0000-0002-0833-0923
*** Industrial Development Agency JSC, Katowice; Katowice Business University, Katowice, Poland; e-mail: beata.barszczowska@akademiagornoslaska.pl; ORCID ID: 0000-0001-6697-8683*
**** Industrial Development Agency JSC, Katowice; Poland;*
e-mail: mateusz.drabek@katowice.arp.pl; ORCID ID: 0009-0003-1153-5481

W Polsce podziemne górnictwo węgla kamiennego pozostaje znaczącym źródłem emisji wód kopalnianych i rozpuszczonych w nich związków mineralnych. Odprowadzane do zlewisk głównych rzek Polski około 200 mln m^3 wody kopalnianej rocznie niesie ze sobą około 1,5 mln Mg soli mineralnych. Te emisje już wielokrotnie przyczyniały się do poważnych zakłóceń środowiskowych. Odprowadzanie wód kopalnianych do rzek odbywa się na terenach górniczych, ale wpływ ich zrzutu odczuwalny jest nawet w regionach znacznie oddalonych od miejsc emisji. Wpływ środowiskowy wód kopalnianych to nie tylko emisja zmineralizowanej wody. Złe zarządzanie wodami kopalnianymi może prowadzić do powstawania deformacji na powierzchni terenów górniczych. Planowane perspektywiczne zakończenie eksploatacji węgla kamiennego nie wyeliminuje jednak tych emisji, a jedynie może je ograniczyć.

Światowy niedobór wody pitnej wymusza poszukiwanie nowych źródeł zaopatrzenia w wodę. Aby zoptymalizować obieg wody i zapewnić odpowiedni wolumen wód do zasilania sieci wodociągowych, niezbędne jest podjęcie działań umożliwiających czerpanie wody z nietradycyjnych źródeł jej pozyskiwania. W Polsce i w Europie wody kopalniane są niedocenianym źródłem pozyskania wody pitnej. Konieczne jest planowanie, a następnie udoskonalenie istniejących strategii gospodarowania i zagospodarowania tych potencjalnych zasobów z perspektywy zrównoważonego rozwoju regionów górniczych.

W artykule przeanalizowano wybrane aspekty gospodarki wodami kopalnianymi i zawartymi w nich substancjami mineralnymi na przykładzie polskiego górnictwa węgla kamiennego. Omówiono kluczowe procesy oraz potencjalne przyczyny obserwowanego wzrostu obciążeń środowiskowych. Przedstawiona aktualna ocena statystyczna kierunków i skali zmian emisji dostarcza cen-

nych spostrzeżeń zarówno dla Polski, jak i dla innych regionów górniczych. Wykorzystanie potencjalnych zasobów wody i związków mineralnych z wód kopalnianych na cele własne lub zastosowanie ich w gospodarce o obiegu zamkniętym może zmniejszyć presję na środowisko, wspierać zrównoważony rozwój regionów pogórniczych oraz łagodzić krajowy i światowy niedobór wody pitnej.

Słowa kluczowe: dekarbonizacja gospodarki, wydobycie węgla kamiennego, wody kopalniane, wpływ środowiskowy, gospodarka obiegu zamkniętego

Environmental emissions of mineralized mine waters

In Poland, underground hard coal mining remains a significant source of mine water emissions and dissolved mineral compounds. Approximately 200 million cubic meters of mine water discharged annually into the watersheds of Poland's main rivers carries approximately 1.5 million tons of mineral salts. These emissions have repeatedly contributed to serious environmental disturbances. Mine water is discharged into rivers within mining areas, but the impact of its discharge is felt even in regions far from the emission sites. The environmental impact of mine water extends beyond the emission of mineralized water. Poor mine water management can lead to deformations on the surface of mining areas. However, the planned long-term cessation of hard coal mining will not eliminate these emissions, but only reduce them.

The global shortage of drinking water forces the search for new sources of water supply. To optimize water circulation and ensure adequate water supply to water supply networks, it is essential to take steps to draw water from non-traditional sources. In Poland and Europe, mine water is an underestimated source of drinking water. It is essential to plan and subsequently improve existing strategies for managing and utilizing these potential resources from the perspective of sustainable development in mining regions.

This article analyzes selected aspects of mine water management and the minerals it contains, using the example of the Polish hard coal mining industry as an example. Key processes and potential causes of the observed increase in environmental impacts are discussed. The presented current statistical assessment of the directions and scale of emission changes provides valuable insights for both Poland and other mining regions. Utilizing potential water and mineral resources from mine water for own purposes or in a circular economy

can reduce pressure on the environment, support the sustainable development of post-mining regions, and alleviate the national and global shortage of drinking water.

Keywords: decarbonisation of the economy, hard coal mining, mine waters, environmental impact, circular economy

Innowacyjna dwustopniowa technologia oczyszczania gazu wielkopiecowego

Marianna CZAPLICKA*, Marian NIESLER**, Arkadiusz RYFA***, Michał KOCOT****

** Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu*
*** Górnośląski Instytut Technologiczny*
**** Politechnika Śląska*
***** ArcelorMittal Poland*

W artykule przedstawiono opracowanie innowacyjnej dwustopniowej technologii oczyszczania gazu wielkopiecowego, której celem jest minimalizacja ilości odpadów powstających w postaci szlamów, zwiększenie stopnia recyrkulacji pyłów oraz umożliwienie dalszego energetycznego wykorzystania gazu wielkopiecowego, w szczególności wykorzystania możliwości zwiększenia generacji energii elektrycznej w turbinie rozprężnej poprzez dozowanie dostępnej nadmiarowej pary wodnej bezpośrednio do strumienia oczyszczonego gazu.

Technologia składa się z separatora cyklonowego oraz mokrego skrubera. Nowoczesny separator cyklonowy został zaprojektowany tak, aby wychwytywał jak największą ilość żelaza i węgla zawartych w pyle, przy jednoczesnym utrzymaniu niskiej zawartości cynku i ołowiu, dzięki czemu pył może zostać zawrócony do wielkiego pieca. Skuteczność separatora cyklonowego przekracza 90%. Regulacja frakcji wychwytywanych cząstek celem utrzymania możliwie wysokiej skuteczności odpylania przy zachowaniu niskiej zawartości cynku i ołowiu realizowana jest przy pomocy układu obejściowego.

Drugim elementem instalacji jest mokry skruber, umożliwiający bardzo efektywne oczyszczanie gazu przy zmniejszonym zużyciu wody oraz ograniczonej emisji hałasu. Oba urządzenia zostały zaprojektowane z wykorzystaniem modelowania numerycznego. Opracowane modele zostały zweryfikowane zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i przemysłowych.

System ten został po raz pierwszy zastosowany w polskich wielkich piecach, będąc innowacją na skalę krajową. Z kolei instalacja wykorzystania pary odpadowej w celu zwiększenia generacji energii elektrycznej na turbinie rozprężnej gazu (TRT) stanowi innowację na skalę światową.

Rezultatem projektu jest technologia demonstracyjna w postaci instalacji oczyszczania gazu wielkopiecowego, zbudowana przez ArcelorMittal Poland w oddziale w Dąbrowie Górniczej, która pozytywnie wpływa na środowisko poprzez bardziej ekologiczną produkcję surówki żelaza i jednoczesne odzyskiwanie energii z ciśnienia gazu wielkopiecowego. Uzyskane korzyści obejmują zmniejszenie ilości odpadów w postaci szlamów oraz poprawę efektywności energetycznej.

Słowa kluczowe: wielki piec, model numeryczny, CFD, redukcja odpadów, redukcja hałasu, odzysk energii, efektywność energetyczna

Odporność zasilania infrastruktury krytycznej wobec zakłóceń. Dwuetapowe ramy oceny przesiewowej – studium przypadku szpitala publicznego

Jakub DĄBROWSKI*, Tomasz SURMA*, Krzysztof ZAMASZ**,
Tomasz MIROWSKI***, Piotr PLATA***

** Veolia Energia Polska*
*** Akademia WSB; Instytut Transformacji Energetycznej*
**** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Rosnąca częstotliwość występowania zakłóceń o dużym wpływie i małym prawdopodobieństwie (HILP, high-impact, low-probability) wymaga zmiany paradygmatu w zakresie zasilania awaryjnego infrastruktury krytycznej (CI), polegającej na odejściu od tradycyjnych ocen zdominowanych przez kryteria kosztowe na rzecz oceny fizycznej odporności systemu. Istniejące wielokryterialne metody wspomagania decyzji dotyczące wyboru technologii mikrosieci zazwyczaj traktują zdolność systemu do przetrwania zakłócenia jako jedno z wielu kryteriów, podczas gdy parametry ekonomiczne zachowują równorzędne lub dominujące znaczenie.

Nasze badanie odpowiada na tę lukę poprzez odwrócenie tradycyjnej hierarchii kryteriów. Opracowano dwuetapowe ramy oceny przesiewowej ukierunkowane na odporność, umożliwiające wstępną kwalifikację technologii energetycznych, w tym układów CHP i CCHP, przeznaczonych dla obiektów infrastruktury krytycznej narażonych na długotrwałe przerwy w zasilaniu. Kwalifikacja odbywa się wyłącznie na podstawie kryteriów związanych ze zdolnością do utrzymania funkcji krytycznych, natomiast optymalizacja ekonomiczna zostaje przesunięta na późniejsze etapy projektowania.

W zaproponowanej metodologii priorytetowo traktowane są: gotowość do pracy wyspowej, zdolność do autonomicznego rozruchu (black start), autonomia paliwowa, wielowektorowe pokrycie zapotrzebowania energetycznego, możliwość praktycznego wdrożenia oraz bezpieczeństwo eksploatacyjne. Jako referencyjny obiekt infrastruktury krytycznej przyjęto szpital ze względu na jego rygorystyczne wymagania dotyczące jednoczesnego zapewnienia energii elektrycznej, ciepła, chłodu oraz energii dla procesów technologicznych.

Opracowane ramy obejmują w pierwszym etapie filtr graniczny typu Go/No-Go, a następnie w etapie drugim ważoną macierz ocen punktowych. Analizie pod-

dano szerokie spektrum technologii, obejmujące układy kogeneracyjne zasilane gazem, biogazem i biomasą, układy CCHP z chłodzeniem absorpcyjnym, hybrydowe systemy CHP/BESS, układy OZE + BESS oraz agregaty prądotwórcze z silnikami wysokoprężnymi.

Celem badania nie było przedstawienie ostatecznego rankingu techniczno-ekonomicznego, lecz opracowanie przejrzystego i powtarzalnego narzędzia inżynierskiego przeznaczonego do wykorzystania na wczesnym etapie projektowania, które może zostać uogólnione na inne klasy infrastruktury krytycznej. Uzyskane wyniki pozwalają określić warunki brzegowe dla wstępnej kwalifikacji wielowektorowej architektury energetycznej, tworząc podstawę dla przyszłego modelowania na etapie FEED (Front-End Engineering Design) oraz dynamicznych symulacji mikrosieci infrastruktury krytycznej.

Słowa kluczowe: odporność infrastruktury krytycznej, mikrosieci hybrydowe, autonomia energetyczna, zasilanie awaryjne, wielowektorowe systemy energetyczne

Eksploatacja krajowej sieci dystrybucyjnej nN w warunkach dużego nasycenia prosumenckich instalacji fotowoltaicznych – wybrane aspekty

Waldemar DOŁĘGA*

** Politechnika Wrocławska, e-mail: waldemar.dolega@pwr.edu.pl*

W artykule przedstawiono wybrane aspekty dotyczące eksploatacji krajowej sieci dystrybucyjnej nN w warunkach dużego nasycenia prosumenckich instalacji fotowoltaicznych. Przedstawiono charakterystykę instalacji prosumenckich i ich rozwój w kraju. Przeanalizowano zakłócenia w pracy sieci dystrybucyjnej spowodowane przez instalacje prosumenckie oraz przedstawiono rozwiązania, które pozwalają na minimalizację negatywnych skutków oddziaływania mikroinstalacji prosumenckich.

Słowa kluczowe: instalacje prosumenckie, fotowoltaika, sieć dystrybucyjna, eksploatacja

Operation of the national low-voltage distribution network in conditions of high density of prosumer photovoltaic installations – selected aspects

This article presents selected aspects of the operation of the national low-voltage distribution network in conditions of high density of prosumer photovoltaic installations. It outlines the characteristics of prosumer installations and their development in the country. It analyses disturbances in the distribution network caused by prosumer installations and presents solutions that minimise the negative effects of prosumer micro-installations.

Keywords: prosumer installations, photovoltaics, distribution network, operation

Miks paliwowy w erze transformacji energetycznej: emisyjność rzeczywista, emisyjność regulacyjna i konsekwencje

Krzysztof DUDA*

** ORLEN Termika Rozproszona Sp. z o.o.; e-mail: krz.duda@hotmail.com*

W referacie przedstawiono wyniki analizy porównawczej sposobu klasyfikowania paliw i nośników energii wykorzystywanych w energetyce i ciepłownictwie w ramach równolegle funkcjonujących systemów regulacyjnych Unii Europejskiej i prawa krajowego. Analizą objęto w szczególności węgiel kamienny i brunatny, gaz ziemny, paliwa ciekłe, LPG/LNG, biomasę, biogaz i biometan, odpady, wodór oraz energię elektryczną pochodzącą ze źródeł odnawialnych. Dla poszczególnych nośników zestawiono rzeczywistą emisyjność spalania z emisyjnością przyjmowaną do celów regulacyjnych oraz ich kwalifikację w EU ETS, regulacjach dotyczących efektywnych systemów ciepłowniczych, taksonomii UE i metodach oceny efektywności energetycznej. Analiza wskazuje, że temu samemu paliwu nie można przypisać jednej, uniwersalnej charakterystyki środowiskowej i regulacyjnej. Jego status zależy od celu konkretnego systemu prawnego, pochodzenia paliwa, technologii jego wytwarzania i wykorzystania oraz spełnienia dodatkowych kryteriów zrównoważonego rozwoju. Szczególnie widoczne jest to w przypadku biomasy, dla której fizyczna emisja CO_2 podczas spalania nie jest tożsama z emisją rozliczaną w EU ETS, jeżeli spełnione są wymagane kryteria, oraz gazu ziemnego, który pozostaje paliwem kopalnym, lecz w określonych warunkach może być traktowany w taksonomii UE jako rozwiązanie przejściowe. W przypadku wodoru i paliw odnawialnych pochodzenia niebiologicznego o kwalifikacji regulacyjnej decyduje natomiast w znacznym stopniu sposób wytworzenia oraz pochodzenie wykorzystanej energii elektrycznej. Wyniki wskazują, że wybór paliwa w przedsiębiorstwie energetyczno-ciepłowniczym nie powinien być dokonywany wyłącznie na podstawie ceny lub bezpośredniego wskaźnika emisji CO_2. Konieczne jest równoczesne uwzględnienie kosztów EU ETS, możliwości zachowania statusu efektywnego systemu ciepłowniczego, kwalifikowalności inwestycji w świetle taksonomii UE, wpływu na wskaźniki efektywności energetycznej oraz długookresowego ryzyka regulacyjnego. Oznacza to potrzebę stosowania wielokryterialnej macierzy regulacyjnej jako narzędzia

wspierającego wybór technologii i kształtowanie strategii transformacji przedsiębiorstwa.

Słowa kluczowe: paliwa, nośniki energii, emisyjność CO_2, EU ETS, efektywny system ciepłowniczy, taksonomia UE, biomasa, gaz ziemny, wodór, strategia energetyczna

Tabela 1. Skrótowe zestawienie zróżnicowania statusu wybranych paliw i nośników energii

Paliwo/ nośnik	Emisja bezpośrednia CO_2	EU ETS	EED/ efektywny system	Taksonomia UE	Znaczenie strategiczne
Węgiel kamienny i brunatny	wysoka	pełne rozliczenie emisji kopalnej	nie wspiera dekarbonizacji systemu	zasadniczo niekwalifikowany	paliwo schyłkowe
Gaz ziemny	niższa niż dla węgla, lecz kopalna	rozliczenie emisji kopalnej	ograniczona rola przejściowa	warunkowo działalność przejściowa	źródło przejściowe, szczytowe i rezerwowe
Biomasa	emisja fizyczna występuje	możliwość zastosowania współczynnika zero po spełnieniu kryteriów	może wspierać wymagany udział OZE	kwalifikacja warunkowa	ograniczona dostępnością i kryteriami zrównoważonego rozwoju
Biogaz/ biometan	zależna od pochodzenia i procesu	preferencyjne traktowanie zależne od spełnienia kryteriów	może zwiększać udział energii odnawialnej	kwalifikacja zależna od kryteriów technicznych	paliwo uzupełniające i substytut gazu ziemnego

Metoda badawcza: zastosowano analizę porównawczą aktów prawnych UE i prawa krajowego, przepisów wykonawczych oraz krajowych wskaźników emisyjności. Paliwa i nośniki energii uporządkowano według jednolitych kryteriów regulacyjnych, a następnie porównano ich emisyjność fizyczną i regulacyjną. Uzupełnieniem analizy była jakościowa ocena wpływu stwierdzonych różnic na decyzje inwestycyjne i strategiczne przedsiębiorstw energetyczno-ciepłowniczych. Ograniczeniem badania jest zmienność regulacji oraz zależność kwalifikacji części paliw od parametrów instalacji, pochodzenia paliwa i spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju.

Literatura (wybór; APA 7)

KOBiZE 2025 – Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO_2 (WE) w roku 2023 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2026. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, IOŚ-PIB. [Online:] https://www.kobize.pl/pl/article/komunikaty/id/3105/wartosci-opalowe-wo-i-wskazniki-emisji-co2-we-w-roku-2023-do-raportowania-w-ramach-systemu-handlu-uprawnieniami-do-emisji-za-rok-2026 [Dostęp: 14.08.2026].

Akty prawne

Komisja Europejska 2018 – Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2018/2066 z dnia 19 grudnia 2018 r. w sprawie monitorowania i raportowania w zakresie emisji gazów cieplarnianych na podstawie dyrektywy 2003/87/WE Parlamentu Europejskiego i Rady oraz zmieniające rozporządzenie Komisji (UE) nr 601/2012, Dz.U. UE L 334 z 31.12.2018, s. 1, z późn. zm. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32018R2066 [Dostęp: 15.08.2026].

Parlament Europejski i Rada UE 2023 – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona), Dz.U. UE L 231 z 20.09.2023, s. 1, z późn. zm. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32023L1791 [Dostęp: 17.08.2026].

Parlament Europejski i Rada UE 2020 – Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/852 z dnia 18 czerwca 2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje, zmieniające rozporządzenie (UE) 2019/2088, Dz.U. UE L 198 z 22.06.2020, s. 13, z późn. zm. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32020R0852 [Dostęp: 15.08.2026].

Komisja Europejska 2022 – Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2022/1214 z dnia 9 marca 2022 r. zmieniające rozporządzenie delegowane (UE) 2021/2139 w odniesieniu do działalności gospodarczej w niektórych sektorach energetycznych oraz rozporządzenie delegowane (UE) 2021/2178 w odniesieniu do publicznego ujawniania szczególnych informacji w odniesieniu do tych rodzajów działalności gospodarczej, Dz.U. UE L 188 z 15.07.2022, s. 1. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32022R1214 [Dostęp: 17.08.2026].

Komisja Europejska 2023a – Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2023/1184 z dnia 10 lutego 2023 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 przez ustanowienie unijnej metodyki określającej szczegółowe zasady produkcji odnawialnych ciekłych i gazowych paliw transportowych pochodzenia niebiologicznego, Dz.U. UE L 157 z 20.06.2023, s. 11. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32023R1184 [Dostęp: 15.08.2026].

Komisja Europejska 2023b – Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2023/1185 z dnia 10 lutego 2023 r. uzupełniające dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2001 poprzez ustanowienie minimalnego progu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w przypadku pochodzących z recyklingu paliw węglowych oraz poprzez określenie metodyki oceny ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, uzyskanego dzięki odnawialnym ciekłym i gazowym paliwom transportowym pochodzenia niebiologicznego oraz pochodzącym z recyklingu paliw węglowych, Dz.U. UE L 157 z 20.06.2023, s. 20. [Online:] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32023R1185 [Dostęp: 15.08.2026].

Ustawa 1997 – Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, t.j. Dz.U. z 2026 r. poz. 43, z późn. zm. [Online:] https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20260000043 [Dostęp: 15.08.2026].

Ustawa 2015a – Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, t.j. Dz.U. z 2026 r. poz. 68, z późn. zm. [Online:] https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20260000068 [Dostęp: 15.08.2026].

Ustawa 2015b – Ustawa z dnia 12 czerwca 2015 r. o systemie handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych, t.j. Dz.U. z 2025 r. poz. 1685, z późn. zm. [Online:] https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20250001685 [Dostęp: 16.08.2026].

Minister Energii 2017 – Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii, t.j. Dz.U. z 2023 r. poz. 1220. [Online:] https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20230001220 [Dostęp: 16.08.2026].

Projekt DynGOSP. Architektura chmurowa Platformy Węglowej – informatycznego systemu do zarządzania gospodarką węgla kamiennego

Artur DYCZKO*, Jacek JAROSZ*, Sylwester KACZMARZEWSKI*, Piotr OLCZAK*, Radosław MARLĘGA**, Małgorzata DYDO**, Slavko DRAGIĆ**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
*** Instytut Techniki Górniczej KOMAG*

Zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego państwa w okresie dekarbonizacji wymaga nowoczesnych narzędzi IT pozwalających na bieżący monitoring i bilansowanie rynku węgla kamiennego. W ramach projektu DynGOSP opracowano i zbudowano pilota zintegrowanej Platformy Węglowej – rozwiązania chmurowego przeznaczonego dla administracji rządowej (Ministerstwo Energii) oraz podmiotów sektora wydobywczego i dystrybucyjnego. System został zaprojektowany w architekturze mikroserwisowej i wytworzony w metodyce zwinnej Scrum Agile, z wykorzystaniem technologii Vue/Nuxt (frontend), Python (backend/API) oraz relacyjnej bazy danych PostgreSQL.

Architektura funkcjonalna platformy obejmuje 9 zintegrowanych modułów: Podmioty, Słowniki, Złoża, Wydobycie, Składowanie-kopalnia, Przeróbka/wzbogacanie, Transport, Składowanie/dystrybutorzy/klienci oraz Raporty i analityka. System jest tak zaprojektowany, aby umożliwiał gromadzenie danych transakcyjnych z zachowaniem twardych reguł walidacyjnych, w tym mechanizmu dwustronnego potwierdzania dostaw (Handshake) oraz kontroli bilansu masy na składach węgla i zwałowiskach, co będzie eliminować ryzyko rejestrowania nierealnych stanów magazynowych.

Platforma integruje dane podażowe (wydobycie kopalń, stany zwałów z teledetekcji BSP, import) z danymi popytowymi, pobieranymi m.in. z bazy CEEB oraz umów długoterminowych. Warstwa analityczna wspiera podejmowanie decyzji strategicznych poprzez symulacje scenariuszowe typu *what-if*, pozwalając na szybką identyfikację luki produkcyjnej i racjonalizację logistyki dystrybucji.

Zintegrowana platforma cyfrowa jako narzędzie strategicznego zarządzania sektorem węgla kamiennego w warunkach dekarbonizacji – koncepcja i implementacja systemu DynGOSP realizującego ideę dynamicznej bazy zasobowej

Artur DYCZKO*, Eugeniusz J. SOBCZYK*, Michał KOPACZ*,
Jacek JAROSZ*, Jerzy KICKI*, Jarosław KULPA*, Dominik GALICA*,
Sylwester KACZMARZEWSKI*, Leszek MALINOWSKI*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Transformacja energetyczna Polski, realizowana w warunkach dekarbonizacji gospodarki, rosnącej zmienności geopolitycznej oraz przebudowy krajowego miksu energetycznego, wymaga stworzenia nowoczesnych narzędzi wspierających zarządzanie sektorem węgla kamiennego. Szczególnego znaczenia nabiera zdolność do wiarygodnej oceny dostępności zasobów, monitorowania bieżącej i planowanej produkcji, prognozowania zapotrzebowania oraz koordynacji podaży krajowej i importowanej w sposób zapewniający bezpieczeństwo energetyczne państwa. Odpowiedzią na te potrzeby jest projekt DynGOSP – „Dynamiczne zarządzanie zapotrzebowaniem, produkcją, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji węgla kamiennego w gospodarce realizującej dekarbonizacyjny miks energetyczny".

Celem prezentacji jest podsumowanie ponad trzyletnich prac projektowych realizowanych w ramach projektu GOSPOSTRATEG IX pn. „Dynamiczne zarządzanie zapotrzebowaniem, produkcją, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji węgla kamiennego w gospodarce realizującej dekarbonizacyjny miks energetyczny". Przedmiotem referatu jest przedstawienie koncepcji oraz założeń implementacyjnych zintegrowanej platformy cyfrowej DynGOSP jako narzędzia strategicznego zarządzania sektorem węgla kamiennego w warunkach transformacji energetycznej i dekarbonizacji gospodarki. Platforma ta rozwija ideę dynamicznej bazy zasobowej, rozumianej nie jako statyczna ewidencja zasobów, lecz jako zintegrowany, aktualizowany system informacji o zasobach, możliwościach produkcyjnych, jakości węgla, ograniczeniach geologiczno-górniczych, logistyce dystrybucji oraz zapotrzebowaniu poszczególnych segmentów rynku.

W referacie omówione zostaną główne moduły systemu DynGOSP, obejmujące monitorowanie zasobów węgla kamiennego w kopalniach z wykorzysta-

niem nowoczesnych standardów klasyfikacji zasobów, w tym podejścia zgodnego z logiką standardów międzynarodowych, bieżące monitorowanie produkcji węgla surowego i handlowego, śledzenie procesów przeróbki mechanicznej węgla, analizę gospodarki odpadami przeróbczymi w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym, monitorowanie dystrybucji węgla od kopalni, przez punkty węzłowe i dystrybucyjne, do odbiorców końcowych, monitorowanie importu węgla z uwzględnieniem ilości, jakości i cen, a także prognozowanie zapotrzebowania na węgiel w energetyce, ciepłownictwie, gospodarstwach domowych i przemyśle.

Istotnym elementem wystąpienia będzie wykazanie, że skuteczne zarządzanie sektorem węgla kamiennego w okresie transformacji nie może opierać się wyłącznie na historycznych sprawozdaniach, rocznych operatach ewidencyjnych ani rozproszonych danych przedsiębiorstw. Konieczne jest przejście do modelu cyfrowego, w którym dane geologiczne, produkcyjne, jakościowe, handlowe, importowe, logistyczne i popytowe są integrowane w jednej architekturze informacyjnej. Tak rozumiana platforma umożliwia podejmowanie decyzji w horyzoncie operacyjnym, taktycznym i strategicznym, a jednocześnie tworzy podstawę do bardziej wiarygodnej oceny dostępności zasobów, zdolności produkcyjnych kopalń oraz ryzyk związanych z podażą i zapotrzebowaniem na węgiel kamienny.

W wystąpieniu przedstawione zostaną również bariery prawne i organizacyjne zidentyfikowane w toku realizacji projektu. Szczególne znaczenie mają: brak jednoznacznych podstaw prawnych nakładających na uczestników rynku obowiązek przekazywania danych do centralnego systemu, brak jednolitych standardów formatów danych, ograniczenia wynikające z ochrony tajemnicy przedsiębiorstwa oraz niewystarczająca integracja istniejących rejestrów i systemów informatycznych administracji publicznej. Z tego względu DynGOSP należy postrzegać nie tylko jako projekt informatyczny, lecz także jako koncepcję nowego modelu zarządzania informacją o strategicznym surowcu energetycznym państwa.

Omówione zostaną także możliwości wykorzystania platformy DynGOSP w procesie planowania transformacji sektora węgla kamiennego, w tym weryfikacji realnej dostępności zasobów, oceny zdolności produkcyjnych kopalń, prognozowania minimalnego poziomu krajowego wydobycia niezbędnego dla bezpieczeństwa energetycznego oraz koordynacji krajowej produkcji z importem. System może stanowić podstawę budowy narzędzi wspierających administrację publiczną w ocenie skutków dekarbonizacji, harmonogramowaniu wy-

gaszania zdolności wydobywczych oraz projektowaniu polityki bezpieczeństwa surowcowo-energetycznego.

Wnioskiem końcowym wystąpienia jest teza, że w warunkach transformacji energetycznej węgiel kamienny powinien być zarządzany nie wyłącznie jako paliwo schyłkowe, lecz jako strategiczny zasób przejściowy, którego wykorzystanie musi być oparte na wiarygodnych danych, modelach prognostycznych i transparentnych procedurach decyzyjnych. DynGOSP pokazuje, że cyfrowa integracja informacji o zasobach, produkcji, jakości, dystrybucji i zapotrzebowaniu może stać się kluczowym narzędziem racjonalnego, bezpiecznego i mierzalnego zarządzania sektorem węgla kamiennego w gospodarce realizującej dekarbonizacyjny miks energetyczny.

Słowa kluczowe: DynGOSP, platforma węglowa, dynamiczna baza zasobowa, węgiel kamienny, transformacja energetyczna, dekarbonizacja, bezpieczeństwo energetyczne, cyfryzacja górnictwa, zarządzanie zasobami, logistyka dystrybucji węgla, prognozowanie zapotrzebowania, gospodarka o obiegu zamkniętym

Ciepło odpadowe z instalacji grzewczej w domu jednorodzinnym – odzysk i zagospodarowanie

Wiktor FILIPEK*, Krzysztof BRODA*, Barbara TORA*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Celem pracy jest analiza możliwości identyfikacji, odzysku i zagospodarowania niewykorzystanej energii cieplnej pozyskiwanej przez instalację solarną w domu jednorodzinnym. Szczególną uwagę zwrócono na okresy, w których energia ta nie może być efektywnie przekazywana do zasobnika ciepłej wody użytkowej (CWU) ze względu na niedopasowanie poziomów temperatury lub osiągnięcie granicznej temperatury zasobnika. W użytkowanych sezonowo obiektach współpraca instalacji solarnej z instalacją centralnego ogrzewania (c.o.) umożliwia w sezonie grzewczym wykorzystanie energii solarnej do ograniczenia wychładzania budynku, natomiast poza sezonem grzewczym – przejęcie nadmiaru ciepła i ograniczenie ryzyka przegrzewania kolektorów.

Podstawę badań stanowią roczne dane eksploatacyjne z dwóch rzeczywistych instalacji solarnych wyposażonych w kolektory płaskie oraz zasobniki CWU współpracujące z instalacją c.o. Parametry pracy instalacji były pozyskiwane z regulatorów SolarComp 971SD1, które zapisywały te dane na serwerze w chmurze podczas normalnej eksploatacji, bez zastosowania dodatkowej aparatury pomiarowej. Rejestrowane wielkości obejmują m.in. temperaturę kolektora, temperaturę dolnej i górnej części zasobnika, temperaturę obiegu c.o. oraz chwilową moc kolektora wyznaczaną przez regulator. Dane z ostatnich sześciu miesięcy są dostępne z rozdzielczością czasową 3 min, natomiast starsze dane, obejmujące okres do jednego roku, są archiwizowane z rozdzielczością 15 min. Taki sposób rejestracji umożliwia analizę zarówno sezonowych zmian pracy instalacji, jak i krótkotrwałych stanów dynamicznych związanych z nagrzewaniem kolektora, załączaniem i wyłączaniem obiegu solarnego oraz zmianami temperatury zasobnika.

Na podstawie współrzędnych geograficznych instalacji, czasu pomiaru oraz przebiegów temperatury kolektora w stanach bez odbioru ciepła zostanie przeprowadzona rekonstrukcja teoretycznych warunków ekspozycji kolektorów na promieniowanie słoneczne. Na tej podstawie oszacowana zostanie również orientacja kolektorów, w szczególności ich kąt nachylenia. Dopasowanie modelu

do zarejestrowanych zmian temperatury kolektora ma umożliwić ocenę teoretycznego potencjału promieniowania słonecznego dostępnego na powierzchni absorberów w analizowanych przedziałach czasu. Porównanie oszacowanego potencjału z rzeczywistymi parametrami pracy instalacji ma umożliwić identyfikację i ocenę okresów, w których dostępna energia słoneczna pozostaje niewykorzystana.

Drugim elementem analizy jest opracowanie uproszczonego, empirycznego bilansu energetycznego zasobnika CWU o nominalnej pojemności 400 l. Ze względu na stratyfikację cieplną zasobnik rozpatrywany jest jako układ dwóch efektywnych stref temperaturowych, odpowiadających pomiarom temperatury w jego dolnej i górnej części. Zmiana energii zakumulowanej w zasobniku będzie określana z wykorzystaniem empirycznie wyznaczonych efektywnych pojemności cieplnych obu stref, identyfikowanych na podstawie danych eksploatacyjnych. Tak wyznaczona charakterystyka ma umożliwić ocenę zmian stanu energetycznego zasobnika oraz pośrednie oszacowanie energii odprowadzanej z niego w okresach, w których nie jest dostępny bezpośredni pomiar poboru CWU.

Zaproponowane podejście ma umożliwić ocenę niewykorzystanego potencjału energetycznego instalacji oraz możliwości jego zagospodarowania na podstawie archiwalnych danych eksploatacyjnych, bez konieczności stosowania rozbudowanego systemu pomiarowego.

Słowa kluczowe: ciepło odpadowe, instalacja solarna, odzysk ciepła, zasobnik CWU, bilans energetyczny, niewykorzystany potencjał energetyczny

Waste Heat from the Heating System of a Single-Family House – Recovery and Utilization

The aim of this study is to analyze the possibilities of identifying, recovering, and utilizing unused thermal energy captured by a solar thermal system in a single-family house. Particular attention is given to periods during which this energy cannot be effectively transferred to the domestic hot water (DHW) storage tank because of a mismatch between temperature levels or because the tank has reached its limiting temperature. In seasonally occupied buildings, the integration of the solar thermal system with the central heating (CH) system enables solar energy to be used during the heating season to limit excessive cooling of the building, while outside the heating season the CH system can absorb excess heat and thereby reduce the risk of collector overheating.

The study is based on one year of operational data from two actual solar thermal systems equipped with flat-plate collectors and domestic hot water (DHW) storage tanks integrated with central heating (CH) systems. Operating parameters were acquired from SolarComp 971SD1 controllers, which stored the data on a cloud server during normal system operation, without the use of additional measuring equipment. The recorded variables include, among others, collector temperature, temperatures in the lower and upper parts of the storage tank, CH circuit temperature, and instantaneous collector power calculated by the controller. Data from the most recent six months are available at a temporal resolution of 3 min, whereas older data, covering a period of up to one year, are archived at a resolution of 15 min. This data acquisition scheme enables the analysis of both seasonal variations in system operation and short-term dynamic states associated with collector heating, switching the solar circuit on and off, and changes in storage tank temperature.

Based on the geographical coordinates of the installations, measurement time, and collector temperature profiles under conditions without heat removal, the theoretical solar exposure conditions of the collectors will be reconstructed. On this basis, the collector orientation, particularly the tilt angle, will also be estimated. Fitting the model to the recorded changes in collector temperature is intended to enable an assessment of the theoretical solar radiation potential available at the absorber surface during the analyzed time intervals. Comparison of the estimated potential with the actual operating parameters of the systems is intended to identify and assess periods during which available solar energy remains unused.

The second element of the analysis is the development of a simplified empirical energy balance for the DHW storage tank, with a nominal capacity of 400 L. Due to thermal stratification, the tank is treated as a system consisting of two effective temperature zones corresponding to temperature measurements in its lower and upper sections. Changes in the energy stored in the tank will be determined using the effective heat capacities of both zones, identified empirically from operational data. The resulting characteristic is intended to enable the assessment of changes in the thermal energy state of the storage tank and the indirect estimation of energy withdrawn from the tank during periods when no direct measurement of DHW consumption is available.

The proposed approach is intended to enable the assessment of the unused energy potential of the system and the possibilities for its utilization based on archived operational data, without the need for an extensive measurement system.

Keywords: waste heat, solar thermal system, heat recovery, DHW storage tank, energy balance, unused energy potential

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" na AGH.

Analiza możliwości pozyskiwania surowców krytycznych ze złóż podmorskich

Wiktor FILIPEK*, Krzysztof BRODA*, Barbara TORA*, Stanisław PIETRZYK*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Wydarzenia ostatnich lat, takie jak epidemia covid, wojna na Ukrainie i w Zatoce Perskiej, spowodowały olbrzymie napięcia geopolityczne związane przede wszystkim z ciągłością dostaw surowców i gotowych podzespołów. Dodatkowo wyzwania związane z ograniczeniem emisji CO_2, wymagające olbrzymiej ilości pierwiastków krytycznych, ponownie zwróciły uwagę na złoża zalegające na dnie mórz i oceanów. Zmonopolizowanie rynku surowców krytycznych w zasadzie przez dwa państwa – Chiny i Kongo – zmobilizowało kraje potrzebujące tych surowców do rozwoju nowych technologii i gospodarki do ich poszukiwania i opracowywania metod wydobycia i przeróbki z innych źródeł, w tym z wykorzystaniem górnictwa morskiego. Nie jest to jednak proste. Wydobycie tych kopalin wiąże się z koniecznością prowadzenia badań, w zasadzie pionierskich, i wykształcenia kadr mających umiejętność prognozowania i organizacji prac górniczych w tym zupełnie nowym i bardzo wymagającym oraz specyficznym środowisku. Ze względu na specyfikę środowiska morskiego oraz naturę złóż podmorskich (struktura, skład chemiczny, cechy fizyko-mechaniczne itp.) badania i eksploatacja złóż morskich oraz stosowane metody znacznie różnią się od tych odnoszących się do złóż lądowych. Organem nadzorującym działalność górniczą na dnie morskim w oparciu o Konwencję Prawa Morza (UNCLOS) jest powołana z ramienia ONZ Organizacja Dna Morskiego (ISA – International Seabed Authority). Obecnie górnictwo morskie najbardziej interesuje się trzema podstawowymi rodzajami złóż:

- masywnymi siarczkami polimetalicznymi – Seafloor Massive Sulphides (SMS),
- naskorupieniami kobaltonośnymi,
- konkrecjami polimetalicznymi.

Badania związane z eksploatacją złóż podmorskich są prowadzone na Wydziale Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami Akademii Górniczo-Hutniczej od wielu lat. Efektem jest sześć patentów, a także kilkanaście artykułów i wystąpień konferencyjnych. Dr Krzysztof Broda prowadzi wykłady z *Eksploatacji pod-*

morskiej dla studentów AGH. Prowadził także zajęcia na Politechnice Szczecińskiej oraz w ramach programów ERASMUS+ i SPINAKER na Uniwersytecie Politechnicznym w Tiranie, VSB w Ostrawie, Uniwersytecie Politechnicznym w Porto, Hanoi University of Mining and Geology w Wietnamie, Uniwersytecie w Almerii oraz na uniwersytecie UTECO w Cotui w Dominikanie.

Hurtowy rynek energii elektrycznej w Polsce – niewykorzystany potencjał?

Maciej GACKI*, Konrad ŚWIRSKI*

** Politechnika Warszawska, Warszawa;*
e-mail: maciej.gacki.dokt@pw.edu.pl; konrad.swirski@pw.edu.pl

Celem analizy jest ocena stopnia rozwoju oraz płynności polskiego hurtowego rynku energii elektrycznej na tle wybranych państw europejskich. Kalkulacje koncentrują się na rynku dnia następnego (RDN) oraz rynku dnia bieżącego (RDB), które odgrywają szczególną rolę w krótkoterminowej wycenie energii, bilansowaniu pozycji handlowych uczestników rynku i integracji rosnącego udziału zmiennych źródeł odnawialnych. Polska należy do największych systemów elektroenergetycznych Unii Europejskiej, jednak sama skala krajowego zapotrzebowania i generacji nie przesądza o poziomie wykorzystania mechanizmów rynku hurtowego. Zasadne jest więc pytanie, czy intensywność handlu oraz struktura uczestnictwa w Polsce odpowiadają poziomowi obserwowanemu w bardziej rozwiniętych rynkach europejskich.

Badanie oparto na danych raportowanych do Agencji Unii Europejskiej ds. Współpracy Organów Regulacji Energetyki (ACER), danych giełd energii oraz informacjach dotyczących podmiotów odpowiedzialnych za bilansowanie. Porównano wolumeny obrotu, liczbę transakcji i liczbę uczestników na RDN oraz RDB w 2025 r. Analizę zestawiono z wielkością systemów elektroenergetycznych poszczególnych państw, co pozwoliło ocenić aktywność handlową w relacji do skali krajowego rynku energii.

Wyniki wskazują, że najwyższe wolumeny obrotu na analizowanych rynkach występują w Niemczech, Wielkiej Brytanii i we Francji. Jednocześnie te państwa charakteryzują się większym zapotrzebowaniem na energię elektryczną niż Polska. Wiele krajów o znacznie mniejszej skali systemu elektroenergetycznego osiąga jednak wyższą liczbę transakcji i większą intensywność aktywności handlowej. Dotyczy to między innymi Danii, Belgii oraz w przypadku niektórych produktów Bułgarii, Rumunii i Węgier. W grupie państw Europy Środkowo-Wschodniej szczególnie Węgry wyróżniają się lepszym wykorzystaniem mechanizmów rynku hurtowego niż Polska.

Analiza liczby podmiotów odpowiedzialnych za bilansowanie nie potwierdza natomiast tezy, że ograniczeniem rozwoju rynku jest przede wszystkim niewystarczająca liczba podmiotów. Polska ma porównywalną z Belgią lub Austrią liczbę takich uczestników, a relacja liczby podmiotów odpowiedzialnych za bilansowanie do wielkości systemu nie odbiega istotnie od części krajów europejskich. Sugeruje to, że kluczowym wyzwaniem jest raczej niska częstotliwość oraz ograniczona intensywność transakcji, zwłaszcza na rynku dnia bieżącego, a nie sama dostępność uczestników zdolnych do prowadzenia działalności handlowej.

Słowa kluczowe: hurtowy rynek energii elektrycznej, rynek dnia następnego, rynek dnia bieżącego, płynność rynku, handel algorytmiczny, bilansowanie systemu, transformacja energetyczna

Od odpadu do nanotechnologii: synteza wysoko zorganizowanych struktur porowatych na bazie krzemionki antropogenicznej jako fundament zielonej transformacji

Tomasz GŁOWIENKO*, Dorota CZARNA-JUSZKIEWICZ**, Magdalena WDOWIN**, Piotr KUNECKI**, Marta MARCZAK-GRZESIK**, Łukasz LELEK**

** Geminus Sp. z o.o.,Warszawa; e-mail: t.glowienko@geminus.com.pl*
*** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: dczarna@min-pan.krakow.pl; wdowin@min-pan.krakow.pl; pkunecki@min-pan.krakow.pl; mmg@min-pan.krakow.pl; lelek@min-pan.krakow.pl*

Dynamiczny rozwój fotowoltaiki, będącej jednym z filarów transformacji energetycznej, prowadzi jednocześnie do narastania strumienia odpadów pochodzących z wycofywanych z eksploatacji modułów PV. Szacuje się, że do 2050 r. ilość odpadów fotowoltaicznych może osiągnąć 60–70 mln Mg (Wecken i in. 2016), co wskazuje na konieczność opracowania efektywnych metod odzysku i ponownego wykorzystania zawartych w nich surowców. Szczególny potencjał wykazuje frakcja szklana, stanowiąca bogate źródło krzemionki antropogenicznej, która może zostać wykorzystana jako substrat do syntezy materiałów o uporządkowanej strukturze porowatej.

Celem pracy było określenie możliwości wykorzystania frakcji wydzielonej z termolitycznie przetworzonych paneli fotowoltaicznych jako źródła krzemu do otrzymywania materiałów zeolitowych metodą syntezy hydrotermicznej oraz wskazanie parametrów procesu determinujących powstawanie poszczególnych faz krystalicznych. Materiał odpadowy poddano charakterystyce chemicznej, mineralogicznej i morfologicznej oraz analizie rozkładu wielkości cząstek. Wykazano, że dominującym składnikiem frakcji szklanej był SiO_2, którego udział wynosił 72,64% mas., przy istotnym udziale CaO i Na_2O. Analiza XRD potwierdziła amorficzny charakter materiału wyjściowego, typowy dla szkła sodowo-wapniowego.

W kolejnych etapach frakcję krzemionkową wykorzystano w hydrotermicznej syntezie zeolitów, stosując wodorotlenek sodu jako czynnik alkalizujący oraz folię aluminiową jako dodatkowe źródło glinu. Badania wykazały, że kluczowym parametrem wpływającym na kierunek krystalizacji była temperatura procesu.

Prowadzenie syntezy w temperaturze 60°C sprzyjało powstawaniu zeolitu typu A, natomiast wzrost temperatury do 90°C prowadził do dominacji fazy Na-P1. Czas syntezy oraz stopień rozdrobnienia materiału wyjściowego miały mniejszy wpływ na kształtowanie się głównej fazy krystalicznej. Otrzymany zeolit A charakteryzował się obecnością kryształów o wymiarach około 3–8 μm oraz mezoporowatą strukturą. Jego powierzchnia właściwa BET wynosiła 17,10 m^2/g, średnia średnica porów 17,49 nm, a objętość porów 0,07 cm^3/g.

Istotnym elementem badań była również ocena możliwości ponownego wykorzystania przesączu poreakcyjnego jako środowiska alkalicznego w kolejnej syntezie. Zastosowanie przesączu umożliwiło ponowne otrzymanie materiału z dominującą fazą zeolitu A, przy oszacowanym udziale tej fazy na poziomie około 86,3% względem próbki referencyjnej otrzymanej z użyciem świeżego NaOH. Wyniki potwierdzają możliwość prowadzenia procesu w kierunku ograniczenia zużycia odczynników oraz ilości generowanych strumieni odpadowych.

Uzyskane rezultaty wskazują, że krzemionka antropogeniczna pochodząca ze zużytych paneli fotowoltaicznych może stanowić wartościowy surowiec do syntezy uporządkowanych materiałów porowatych. Zaproponowane podejście wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym, umożliwiając przekształcenie odpadu z sektora OZE w materiał funkcjonalny o potencjalnym zastosowaniu w technologiach adsorpcyjnych i środowiskowych, a jednocześnie stwarzając możliwość ograniczenia zużycia surowców pierwotnych i reagentów chemicznych.

Słowa kluczowe: panele fotowoltaiczne, krzemionka antropogeniczna, zeolit A, Na-P1, synteza hydrotermiczna, materiały porowate, gospodarka o obiegu zamkniętym, recykling

Literatura

Weckend i in. 2016 – Weckend S., Wade A., Heath G. 2016. End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels, https://doi.org/10.2172/1561525.

Główne czynniki zmian cen surowców energetycznych

Zbigniew GRUDZIŃSKI*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: zg@min-pan.krakow.pl

W referacie omówiono główne czynniki wpływające na zmiany ceny surowców energetycznych ze szczególnym uwzględnieniem cen węgla kamiennego. Przede wszystkim skoncentrowano się na zmianach cen w latach 2020–2026. W tym okresie ceny takich surowców, jak: ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel energetyczny, podlegały zarówno dużym spadkom, jak i rekordowym wzrostom. Główne czynniki wywołujące te zmiany to: pandemia COVID-19, napięcia geopolityczne, polityka klimatyczna – klimat, koszty transformacji energetycznej. Dodatkowe czynniki w przypadku węgla kamiennego to polityka eksportowa Indonezji i polityka importowa Chin – największego eksportera i importera węgla.

Pandemia w 2020 r. spowodowała bardzo duże spadki cen surowców w wyniku gwałtownego spadku popytu i dużego obniżenia się PKB wielu największych gospodarek.

W 2021 r. w wyniku odbicia gospodarek po lockdownie w 2020 r. wystąpił duży wzrost popytu na surowce energetyczne. Wydobycie i łańcuchy dostaw nie nadążały za tym rosnącym zapotrzebowaniem, co skutkowało wzrostem cen w drugiej połowie roku. Pod koniec roku bardzo wysokie były zwłaszcza ceny gazu, które osiągnęły poziom 36 USD/GJ na rynku UE.

W kolejnym 2022 r. agresja Rosji na Ukrainę i nałożony pakiet sankcji na rosyjskie surowce mocno zdestabilizowały utrwalone zasady panujące na globalnym rynku surowcowym, w wyniku czego ceny surowców jeszcze bardziej wzrosły. Zerwane łańcuchy dostaw wymusiły konieczność poszukiwania surowców z innych kierunków. Ceny gazu na rynku UE osiągnęły poziom 67 USD/GJ, ropy naftowej Brent – 18 USD/GJ, a węgla w portach ARA – 16 USD/GJ. Kraje europejskie musiały masowo przerzucić się na LNG oraz węgiel z alternatywnych kierunków. Rynki surowców stały się zakładnikiem sytuacji geopolitycznej na świecie. W latach 2023–2025 rynki surowców ustabilizowały się na dużo niższych poziomach, ale wyższych niż przed agresją rosyjską.

W 2026 r. nastąpił kolejny znaczny wzrost cen. Ceny surowców wzrosły głównie w wyniku wybuchu konfliktu Iran–USA + Izrael, który objął wszystkie

kraje Zatoki Perskiej. Wzrosły ceny wszystkich surowców energetycznych, a ceny węgla energetycznego, mimo wzrostów, zachowały się najbardziej stabilnie. Po 8 ośmiu miesiącach 2026 r. ceny węgla (w stosunku do cen z końca 2025 r.) w ARA wzrosły średnio o 28%, ceny ropy Brent – o 45%, a gazu ziemnego w UE – o 123%.

W ostatnich latach to czynniki geopolityczne są największym impulsem do gwałtownych zmian cen surowców energetycznych.

Słowa kluczowe: ceny surowców energetycznych,
czynniki zmian cen surowców energetycznych, indeksy cen, relacje cen

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

Ceny energii elektrycznej w Unii Europejskiej i Polsce

Zbigniew GRUDZIŃSKI*, Katarzyna STALA-SZLUGAJ*,
Urszula OZGA-BLASCHKE*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: zg@min-pan.krakow.pl; kszlugaj@min-pan.krakow.pl; ulobla@min-pan.krakow.pl

Sprzedaż i zakup energii elektrycznej na rynku energii w Polsce odbywa się przede wszystkim na giełdzie energii prowadzonej przez TGE S.A., a najważniejszymi rynkami są RDN oraz RTT. W 2025 r. wolumen obrotów na TGE wyniósł 119 TWh (spadek o 9% r/r). Obroty na RDN obniżyły się o 5% (r/r), a obroty na RTT były niższe o 13% i wyniosły 71 TWh. Największe wolumeny obrotów występują na rynku terminowym (obejmują 60% rynku). Handel na tym parkiecie pozwala spółkom obrotu zabezpieczyć sprzedaż energii w przyszłości. Handel energią w Polsce w dużej części odbywa się za pośrednictwem giełdy, na której główne kontrakty to RTT i RDN. Średnioważona cena BASE na RDN w 2025 r. wyniosła 446 zł/MWh (wzrost o 6% r/r), a na RTT średnioważona cena kontraktu rocznego z dostawą w 2026 r. wyniosła 431 zł/MWh (spadek o 4% r/r). Na cenę energii elektrycznej wpływa wiele czynników, wśród których istotną rolę odgrywają m.in. cena paliwa zużytego do jej wytworzenia, a także cena uprawnień do emisji CO_2. W przekroju całego 2025 r. uprawnienia EUA wzrosły o 14%. W 2025 r. średnia ważona cena uprawnień EUA wyniosła ok. 74 EUR, a średnie miesięczne ceny uprawnień do emisji CO_2 (EUA) wahały się w granicach 64–84 EUR. W referacie przedstawiono także porównanie średnich cen energii elektrycznej dla wybranych grup odbiorców w krajach Unii Europejskiej. Na tle Unii Europejskiej ceny energii elektrycznej w Polsce do 2022 r. (włącznie) można zaliczyć do jednych z najniższych. Od 2023 r., choć ceny energii elektrycznej dla gospodarstw domowych są nadal niższe w stosunku do średniej unijnej, to jednak z roku na rok ulegają wzrostowi i zbliżają się do średniej UE. Najwyższe ceny energii elektrycznej dla gospodarstw domowych notowane były między innymi w Niemczech, Belgii, Danii oraz Czechach. W drugiej połowie 2025 r. ceny energii elektrycznej (r/r) wzrosły w 17 krajach UE, a zmalały w 10 państwach. Największego wzrostu doznały ceny w Rumunii (o 57%), a największego spadku – na Cyprze (o 15%).

Słowa kluczowe: cena energii elektrycznej, podaż, popyt, Polska, UE

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

Kaskadowy system blokad w transformacjach energetycznych regionów pogórniczych: zintegrowany model analityczny

Olga JANIKOWSKA*, Joanna KULCZYCKA*, Chaitanya Sandeep PAWAR**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
e-mail: olgajan@min-pan.krakow.pl; kulczycka@meeri.pl
*** University of Padova,Vicenza, Italy*

Transformacja energetyczna regionów pogórniczych nie może być rozpatrywana wyłącznie jako proces zastępowania technologii opartych na paliwach kopalnych rozwiązaniami nisko- i zeroemisyjnymi. Wieloletnia specjalizacja górniczo-energetyczna ukształtowała bowiem nie tylko strukturę technologiczną tych regionów, lecz także infrastrukturę, rynki pracy, systemy kompetencji, układy instytucjonalne, kierunki rozwoju przestrzennego oraz społeczne i ekonomiczne zależności od dotychczasowego modelu gospodarczego. W rezultacie tempo i kierunek transformacji są determinowane przez wzajemnie powiązane mechanizmy zależności od ścieżki rozwoju, które mogą prowadzić do powstawania i utrwalania wielowymiarowych blokad transformacyjnych.

Celem rozważań jest przedstawienie zintegrowanego modelu analitycznego kaskadowego systemu blokad występujących w transformacji energetycznej regionów pogórniczych. Podstawę metodologiczną stanowi krytyczny przegląd literatury oraz synteza koncepcyjna badań dotyczących zależności od ścieżki rozwoju, carbon lock-in, transformacji społeczno-technicznych, sprawiedliwej transformacji oraz zarządzania rozwojem regionalnym. Analizie poddano mechanizmy samowzmacniające odpowiedzialne za utrzymywanie istniejących trajektorii rozwoju, a następnie określono sposoby ich przenoszenia pomiędzy poszczególnymi obszarami systemu regionalnego.

W zaproponowanym modelu wyróżniono cztery podstawowe, wzajemnie powiązane kategorie blokad: infrastrukturalne, technologiczne, instytucjonalne oraz społeczne. Blokady infrastrukturalne wynikają między innymi z długiego okresu użytkowania aktywów, wysokich kosztów utopionych, technicznej współzależności systemów i konieczności dostosowania nowych inwestycji do istniejących sieci oraz instalacji. Blokady technologiczne związane są z utrwalonymi standardami technicznymi, kompetencjami, łańcuchami dostaw, praktykami eksploatacyjnymi oraz modelami biznesowymi. Blokady instytucjonalne

obejmują trwałość istniejących struktur organizacyjnych, procedur, zasad finansowania, podziału odpowiedzialności i procesów decyzyjnych. Z kolei blokady społeczne odnoszą się do zależności zatrudnieniowej, niepewności ekonomicznej, tożsamości regionalnej, oczekiwań społecznych, poziomu zaufania oraz legitymizacji procesu transformacji.

Kluczowym elementem modelu jest odejście od traktowania tych barier jako niezależnych lub jedynie współwystępujących ograniczeń. Zaproponowano pojęcie kaskadowości**,** rozumianej jako kierunkowy i zależny od kontekstu proces, w którym mechanizm działający w jednym obszarze zmienia możliwości, bodźce, decyzje lub oczekiwania w innym obszarze, prowadząc do powstania kolejnego ograniczenia albo wzmocnienia już istniejącej blokady. Każdy mechanizm kaskadowy może być analizowany poprzez identyfikację mechanizmu źródłowego, ścieżki transmisji, efektu wzmacniającego oraz – w określonych przypadkach – sprzężenia zwrotnego. Pozwala to wyjaśnić, dlaczego interwencje ograniczone wyłącznie do jednego wymiaru, na przykład modernizacji technologicznej lub infrastrukturalnej, mogą nie prowadzić do trwałej zmiany trajektorii rozwojowej regionu.

Model wskazuje jednocześnie, że nie istnieje jedna uniwersalna sekwencja powstawania blokad. Proces kaskadowy może rozpoczynać się zarówno od ograniczeń infrastrukturalnych i technologicznych, jak również od uwarunkowań instytucjonalnych, ekonomicznych lub społecznych. Kierunek oraz siła zależności są uwarunkowane specyfiką danego regionu, w tym jego strukturą gospodarczą, stanem infrastruktury, dostępem do kapitału, poziomem kompetencji, zdolnością instytucjonalną oraz stopniem społecznej akceptacji zmian.

Przedstawione podejście przesuwa punkt ciężkości z identyfikowania pojedynczych barier transformacji na analizę mechanizmów ich wzajemnego przenoszenia i wzmacniania. Ma to znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Przerwanie kaskadowego systemu blokad wymaga bowiem skoordynowanych działań obejmujących modernizację infrastruktury, dywersyfikację technologiczną i gospodarczą, rozwój nowych kompetencji, reformę mechanizmów instytucjonalnych oraz rzeczywiste uczestnictwo społeczności lokalnych w procesach decyzyjnych. Model może stanowić podstawę do dalszych badań empirycznych oraz do projektowania zintegrowanych instrumentów wspierających transformację energetyczną regionów pogórniczych.

Słowa kluczowe: regiony pogórnicze, transformacja energetyczna, kaskadowe blokady, zależność od ścieżki rozwoju, blokada technologiczna, zarządzanie transformacją

Postawy społeczne i strategie adaptacyjne wobec transformacji energetycznej – studium porównawcze 19 polskich miast górniczych

Izabela JONEK-KOWALSKA*, Aneta MICHALAK*

** Politechnika Śląska, Zabrze;*
e-mail: izabela.jonek-kowalska@polsl.pl; aneta.michalak@polsl.pl

Transformacja energetyczna jest procesem, który istotnie oddziałuje na lokalne i regionalne społeczności. Jej wpływ jest szczególnie dotkliwy dla mieszkańców regionów górniczych, w których wydobycie węgla kamiennego często stanowi kluczowe ogniwo gospodarcze. Negatywne skutki likwidacji przemysłu wydobywczego obejmują najczęściej: utratę miejsc pracy i wzrost bezrobocia, rozpad więzi zawodowych i społecznych budujących tożsamość górniczych miast, degradację gospodarczą regionu, pauperyzację i depopulację miast oraz narastanie napięć i problemów społecznych. Z tej też przyczyny właściwe rozpoznanie i mitygowanie negatywnych postaw społecznych w czasie transformacji energetycznej jest jednym z kluczowych czynników warunkujących jej skuteczność. Równie istotne są działania władz miejskich, w tym społeczno-gospodarcze przygotowanie do nieuchronnych skutków transformacji energetycznej i likwidacji przedsiębiorstw górniczych.

Mając na uwadze powyższe okoliczności, głównym celem badań było zidentyfikowanie nastawienia mieszkańców śląskich miast do transformacji energetycznej, w tym pomysłu rezygnacji z wykorzystania węgla w polskiej energetyce oraz konieczności likwidacji polskich kopalń węgla kamiennego. Poza tak zdefiniowanymi postawami społecznymi w toku badań ocenie z perspektywy mieszkańców poddano także przygotowanie miasta do skutków likwidacji górnictwa węgla kamiennego w regionie oraz możliwości zatrudnienia mieszkańców w sektorach innych niż górnictwo węgla kamiennego. Badania przeprowadzono w 2025 r. na reprezentatywnej próbie 1863 mieszkańców 19 śląskich miast na prawach powiatu. W analizie wykorzystano statystyki opisowe oraz typologię dwucechową. Uzyskane wyniki pozwoliły na kategoryzację miast w dwuwymiarowej macierzy uwzględniającej postawy mieszkańców i poziom adaptacji do transformacji energetycznej. Mogą one zostać wykorzystane w zindywidualizowanym miejscowo dialogu i edukacji społecznej mieszkańców miast górniczych oraz modelowaniu lokalnych postaw społecznych i strategii adaptacyjnych w procesie transformacji energetycznej.

Słowa kluczowe: transformacja energetyczna, miasta górnicze, postawy społeczne, strategie adaptacyjne miast

Social attitudes and adaptation strategies toward energy transition: a comparative study of 19 Polish mining cities

The energy transition is a process that significantly affects local and regional communities. Its impact is particularly acute for the residents of mining regions, where hard coal extraction often constitutes a key economic pillar. The negative consequences of dismantling the extractive industry most commonly include the loss of jobs and rising unemployment, the breakdown of the occupational and social ties that shape the identity of mining towns, the economic degradation of the region, the pauperisation and depopulation of towns, and the escalation of social tensions and problems. For this reason, the proper identification and mitigation of negative social attitudes during the energy transition is one of the key factors determining its effectiveness. Equally important are the actions of municipal authorities, including socio-economic preparation for the inevitable consequences of the energy transition and the closure of mining enterprises.

In light of the above circumstances, the principal aim of the research was to identify the attitudes of the residents of Silesian towns towards the energy transition, including the proposal to abandon the use of coal in Poland's energy sector and the necessity of closing Polish hard coal mines. Beyond the social attitudes defined in this way, the study also assessed – from the residents' perspective – the town's preparedness for the consequences of the closure of hard coal mining in the region, as well as the employment opportunities available to residents in sectors other than hard coal mining. The research was conducted in 2025 on a representative sample of 1,863 residents of 19 Silesian towns with county rights ("miasta na prawach powiatu"). The analysis employed descriptive statistics and a two-attribute typology. The results obtained enabled the categorisation of the towns within a two-dimensional matrix accounting for residents' attitudes and their level of adaptation to the energy transition. These findings may be applied in locally tailored dialogue and public education for the residents of mining towns, as well as in modelling local social attitudes and adaptation strategies within the energy transition process.

Keywords: energy transition, mining cities, social attitudes, urban adaptation strategies

Metan z likwidowanych kopalń węgla kamiennego jako zrównoważone paliwo w okresie transformacji górniczo-energetycznej. Ocena stabilności parametrów eksploatacji z wybranych złóż oraz wpływu na minimalizację zjawiska niekontrolowanej emisji w świetle nowych ryzyk regulacyjnych

Marcin KARPIŃSKI*, Olga CELARY**, Paweł JAMROZIK***

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; ORLEN Termika Silesia SA; e-mail: mkarpinski@agh.edu.pl*
*** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; e-mail: ocelary@agh.edu.pl*
**** Akademia Leona Koźmińskiego; ORLEN Termika SA; e-mail: pjamrozik@kozminski.edu.pl*

Ze względu na rosnące wymagania polityki energetyczno-klimatycznej prognozuje się, że do 2050 r. większość kopalń energetycznego węgla kamiennego w Polsce zostanie zamknięta. Może się to wiązać ze wzmożoną, niekontrolowaną emisją metanu z obszarów likwidowanych kopalń. Proces wydzielania się metanu z pokładów węgla jest zjawiskiem naturalnym, mogącym występować przez okres wielu lat po zakończeniu eksploatacji, a jego ograniczenie możliwe jest poprzez racjonalizację podejścia do metanu pogórniczego, polegającą na jego ujęciu i zagospodarowaniu do celów energetycznych. Emisja metanu jako gazu cieplarnianego została zidentyfikowana jako istotny problem klimatyczny przez europejskiego prawodawcę, co znalazło swój wyraz w zdefiniowaniu problematyki w Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ograniczania emisji metanu w sektorze energetycznym. Jednocześnie obowiązujące otoczenie legislacyjnie w sektorze energetycznym, będące wynikową inicjatyw regulacyjnych Unii Europejskiej, wymusza osiągnięcie pełnej neutralności klimatycznej do roku 2050. Tak wyznaczone normy prawne nakazują odstąpić od wykorzystywania w procesie produkcji energii jakichkolwiek naturalnych węglowodorów, w tym metanu pochodzącego z odmetanowania kopalń.

Dotychczasowe doświadczenia w eksploatacji metanu z nieczynnych kopalń wskazują, że może on być stabilnym paliwem dla układów kogeneracyjnych. Taki kierunek zagospodarowania przyczynia się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Jak wynika z dotychczasowej wiedzy naukowej

oraz co potwierdza analiza wyników obserwacji prowadzonych w ramach próbnej eksploatacji z wybranego złoża węgla kamiennego zlokalizowanego w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, zakończenie eksploatacji złoża węglowego nie kończy równolegle dalszego dopływu metanu. Przeprowadzona analiza wskazuje na utrzymywanie się parametrów eksploatacyjnych na stabilnych poziomach, co wskazuje na zachodzący proces zasilania złoża w metan pochodzący z zasobów dynamicznych.

Słowa kluczowe: transformacja energetyczna, dekarbonizacja, metan z kopalń węgla

Projekt badawczy finansowany/częściowo finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości - Uczelnia Badawcza" w AGH.

Charakterystyki pracy elektrociepłowni jądrowych z reaktorami SMR – analiza porównawcza na przykładzie rozwiązań typu AP300 i BWRX-300

Natalia KASIŃSKA, Bartosz CERAN, Radosław SZCZERBOWSKI, Robert WRÓBLEWSKI

** Politechnika Poznańska, Poznań*

Rozwój małych reaktorów modułowych (SMR) stwarza możliwość wykorzystania energetyki jądrowej nie tylko do produkcji energii elektrycznej, lecz również do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Celem pracy jest porównanie charakterystyk energetycznych układów kogeneracyjnych wykorzystujących dwa rozwiązania SMR – AP300, reprezentujący reaktory wodne ciśnieniowe (PWR), oraz BWRX-300, należący do grupy reaktorów wodnych wrzących (BWR).

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem modeli numerycznych opracowanych w środowisku EBSILON®*Professional*, przy zachowaniu jednakowych warunków odbioru ciepła dla obu technologii. Badania wykonano dla zakresu generowanej mocy cieplnej od 50 do 500 MW_t. Na ich podstawie wyznaczono wartości parametrów termodynamicznych, opracowano charakterystyki energetyczne oraz wyznaczono wartości podstawowych wskaźników energetycznych. Przeanalizowano wpływ wzrostu obciążenia cieplnego na m.in. produkcję energii elektrycznej brutto i netto, potrzeby własne, zapotrzebowanie na wodę chłodzącą skraplacz oraz sprawność wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, a także całkowitą sprawność układu.

Do ilościowego porównania charakterystyk zastosowano symetryczną różnicę procentową (*PD*). Na podstawie otrzymanych wyników wskazano, że w obu analizowanych układach zwiększenie produkcji ciepła prowadzi do proporcjonalnego zmniejszenia produkcji energii elektrycznej, wynikającego ze zmiany rozpływu pary w turbinie. Jednocześnie rośnie całkowita sprawność układu, ponieważ część energii, która w trybie pracy kondensacyjnej zostałaby odprowadzona do otoczenia, zostaje wykorzystana jako ciepło użytkowe. Wzrasta również stopień wykorzystania energii jądrowej paliwa.

W analizowanym zakresie BWRX-300 charakteryzuje się niższymi potrzebami własnymi niż technologia AP300. Przy minimalnym obciążeniu cieplnym

wynoszą one odpowiednio około 2,75% i 3,7%, natomiast przy maksymalnym – około 5,4% i 6,0%. BWRX-300 wykazuje również nieco mniejsze zapotrzebowanie na wodę chłodzącą skraplacz. Z kolei AP300 charakteryzuje się korzystniejszym jednostkowym zużyciem pary przez turbinę, które w całym analizowanym zakresie pozostaje niższe niż dla rozwiązania BWRX-300. W przypadku sprawności całkowitej różnice pomiędzy technologiami są stosunkowo niewielkie – symetryczna różnica procentowa mieści się w zakresie 0,76–6,90%, przy wartości średniej 4,51%. Na podstawie otrzymanych wyników daje się zauważyć, że ocena przydatności technologii SMR do pracy kogeneracyjnej powinna uwzględniać charakterystykę całego układu energetycznego, a nie wyłącznie parametry samego reaktora.

Słowa kluczowe: małe reaktory modułowe (SMR), AP300; BWRX-300, energetyka jądrowa, kogeneracja, elektrociepłownia jądrowa, modelowanie komputerowe

Początki badań i wykorzystywania geotermii na Podhalu

Beata KĘPIŃSKA*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
e-mail: kepinska@min-pan.krakow.pl

Ponad 30 lat temu na Podhalu zainicjowano zagospodarowywanie wód i energii geotermalnej w ciepłownictwie, a nieco później także w rekreacji. Dało to początek rozwojowi podobnych zastosowań również w innych rejonach Polski.

Początki „geotermii" na Podhalu są natomiast znacznie starsze, gdyż sięgają połowy XIX w. To wtedy Ludwik Zejszner (1844) opisał naukowo cieplicę w Jaszczurówce, a Adolf Aleksandrowicz (1861) wykonał pierwszą analizę chemiczną wody z tego źródła. Przez lata zajmowali się nim też inni badacze. W 1959 r. Józef Gołąb podał szczegółowy schemat krążenia zasilających je wód. Cieplicy w Jaszczurówce poświęcił piękny opis Stanisław Witkiewicz w powieści „Na przełęczy. Wrażenia i obrazy z Tatr", której pierwsze wydanie ukazało się w 1891 r.

Pierwszy basen kąpielowy w Jaszczurówce został wybudowany przez hrabiego Adama Uznańskiego (właściciela dóbr szaflarskich i Jaszczurówki) w latach 1861–1862. Korzystał z niego m.in. Henryk Sienkiewicz. W 1891 r. były już dwa baseny.

W 1887 r. z inicjatywy Komisji Balneologicznej przy Towarzystwie Naukowym Krakowskim (m.in. prof. Józefa Dietla) powołano Zakład Zdrojowo-Kąpielowy w Jaszczurówce. Kąpiele w wodzie cieplicowej były zaczątkiem balneoterapii i wodolecznictwa – ważnych elementów lecznictwa uzdrowiskowego w Zakopanem i okolicy (leczenia gruźlicy i chorób układu oddechowego). Zainicjowane w 2. poł. XIX w., należały do głównych impulsów rozwoju gospodarczego, architektonicznego, przestrzennego, społecznego i kulturalnego tej miejscowości, powodem licznych przyjazdów i pobytów. Ta funkcja Zakopanego przeżywała największy rozwój na przełomie XIX i XX w., następnie w okresie międzywojennym, a także bezpośrednio po II wojnie światowej. W 1886 r. Zakopane uznano za uzdrowisko i stację klimatyczną, do czego przyczynił się dr Tytus Chałubiński – „odkrywca" Zakopanego i Tatr dla szerokich rzesz społeczeństwa polskiego. Pierwsze zakłady wodolecznicze i sanatoria powstały pod koniec XIX w. i na początku XX w. Podstawą kuracji były zabiegi wodolecznicze, dopeł-

nione przez życie towarzyskie, kulturalne, artystyczne. Rozwój był tak znaczący, że w latach międzywojennych Zakopane stało się największym ośrodkiem sanatoryjnym w Polsce.

Jednakże – naturalnie ciepła woda była tylko w Jaszczurówce. Chociaż niektórzy badacze przypuszczali, że podziemne ciepłe wody (geotermalne) mogą występować także w innych rejonach Zakopanego i na północ od Tatr, to na potwierdzenie tego faktu trzeba było czekać aż do lat 1961–1963, kiedy wykonano otwór Zakopane IG-1.

Cieplica była też kolebką sportów wodnych na Podhalu – w latach 30. XX w. na basenach w Jaszczurówce odbywały się Pływackie Mistrzostwa Podhala i mecze piłki wodnej (Baraniak 2018). Po II wojnie światowej Jaszczurówka nie wróciła do dawnej świetności, chociaż baseny istniały do lat 50.–60. XX w. W 1957 r. w sąsiedztwie cieplicy w Jaszczurówce wykonano otwór o głębokości 150,3 m i przy głębokości 20 m uzyskano wodę o temperaturze 22,7°C, jednak podczas dalszego wiercenia obniżyła się ona do 12°C z powodu dopływu zimnej wody (Sobol 1959), a cieplica zanikła. Obecnie (2026 r.) w miejscu basenów znajduje się Ośrodek Czynnej Ochrony Płazów i Gadów „Jaszczurówka" Tatrzańskiego Parku Narodowego.

Na możliwość obecności podziemnych wód geotermalnych w rejonie Zakopanego i na północ od Tatr wskazywali po II wojnie światowej m.in. profesorowie Józef Gołąb i Stanisław Sokołowski. Pod koniec lat 50. XX w. profesor Stanisław Sokołowski – Zakopiańczyk, pracownik Instytutu Geologicznego (IG – obecnie PIG-PIB) opracował wraz z zespołem projekt otworu badawczego Zakopane IG-1 na Antałówce. Z tego otworu, wykonanego w latach 1961–1963, uzyskano po raz pierwszy wodę geotermalną o temperaturze na wypływie 37°C, zasobach eksploatacyjnych 50 m^3/h i mineralizacji 0,3 g/dm^3 (Sokołowski 1973). Wypływ artezyjski nastąpił z utworów jurajskich, miał on miejsce także z utworów wapiennych eocenu numulitowego. W 1975 r. wykonano otwór Zakopane-2 (1113 m), stwierdzając również w nim wody geotermalne w poziomie eocenu numulitowego, o zasobach eksploatacyjnych 90 m^3/h, temperaturze na wypływie 27°C i mineralizacji 0,3 g/dm^3 (wypływ artezyjski). Profesor S. Sokołowski jest uznawany za odkrywcę wód geotermalnych na Podhalu, co upamiętnia tablica na fasadzie „Term Zakopiańskich".

Od lat 70. XX w. do 2001 r. funkcjonowało na Antałówce otwarte kąpielisko z wodą geotermalną. W 2006 r. oddano do użytku „Aqua Park", który w styczniu 2023 r. został przemianowany na „Termy Zakopiańskie". Polskie Tatry SA – zarządzająca nimi spółka miejska – czerpie z historii i tradycji początków lecz-

nictwa uzdrowiskowego, kontynuując w nowoczesny sposób jedną z najstarszych funkcji Zakopanego oraz dbając o zachowanie pamięci i dorobku wielu wybitnych postaci zasłużonych dla rozwoju lecznictwa uzdrowiskowego i tego miasta.

W drugiej połowie lat 70. XX w. doc. Wacław Sikora (ówczesny dyrektor Oddziału Karpackiego IG) opracował wraz z zespołem projekt głębokiego otworu badawczego Bańska IG-1 – na północ od Tatr, w centralnej części niecki podhalańskiej. Otwór wykonano do głębokości 5261 m w latach 1979–1981. Uzyskano z niego wodę o temperaturze na wypływie 82°C, wydajności 120 m^3/h, mineralizacji 2,5 g/dm^3 (zatwierdzone zasoby) i wysokim artezyjskim ciśnieniu. Dokumentację otworu opracowali w 1981 r. wraz z zespołem doc. Danuta Poprawa i prof. Julian Sokołowski (będący w tamtym czasie dyrektorem Oddziału Karpackiego IG). Wyniki otworu stanowiły podstawę działań dla wykorzystania wód geotermalnych w ciepłownictwie na Podhalu. Na przełomie lat 80. i 90. XX w. zapoczątkował je Doświadczalny Zakład Geotermalny PAN Bańska–Biały Dunajec (obecnie Laboratorium Geotermalne IGSMiE PAN), a rozwinęło PEC Geotermia Podhalańska SA.

Geotermia na Podhalu dzisiaj (2026 r.) to m.in:

– jedna z największych w Europie geotermalnych sieci c.o. (zarządzana przez PEC Geotermia Podhalańska SA);
– badania, prace B+R, edukacja (prowadzone przez Laboratorium Geotermalne IGSMiE PAN);
– siedem dużych geotermalnych ośrodków rekreacyjnych (term), przy czym w budowie są kolejne termy w Zakopanem (w miejsce istniejącego kąpieliska geotermalnego na Polanie Szymoszkowa);
– ponad dwadzieścia odwiertów geotermalnych (wiercenia dwóch z nich zakończono w 2025 i 2026 r.), jeden odwiert jest w trakcie wiercenia:
– inwestycje, prace w trakcie realizacji i planowania – m.in. podłączanie kolejnych odbiorców do geotermalnej sieci c.o. PEC Geotermia Podhalańska SA, budowa magistrali i podłączeń dla odbiorców w nowej części geotermalnej sieci c.o. w kierunku Szaflar i Nowego Targu.

A na początku rozwoju geotermii na Podhalu była cieplica w Jaszczurówce …

Słowa kluczowe: energia geotermalna, historia, badania, wykorzystanie, Podhale

The beginnings of geothermal research and applications in Podhale

Over 30 years ago, the application of geothermal water and energy for heating was initiated in Podhale, and shortly thereafter, their broader use in recreation. This gave rise to the development of similar geothermal uses in other regions of Poland.

The geothermal origins in Podhale, however, are much older, dating back to the mid-19th century. It was then that Ludwik Zejszner (1844) scientifically described the Jaszczurówka thermal spring, and Adolf Aleksandrowicz (1861) performed the first chemical analysis of the water from that spring. Other researchers also studied the topic. In 1959, Józef Gołąb provided a detailed diagram of the circulation of the waters supplying it. Stanisław Witkiewicz devoted a beautiful description of the Jaszczurówka Cieplica in his novel „On the Pass. Impressions and Images from the Tatra Mountains," the first edition of which was published in 1891.

The first swimming pool in Jaszczurówka was built by count Adam Uznański (owner of the Szaflary estate and Jaszczurówka) in 1861–1862. Henryk Sienkiewicz, among others, enjoyed baths there. By 1891, there were already two pools.

In 1887, at the initiative of the Balneological Commission of the Kraków Scientific Society (including Professor Józef Dietl), the Jaszczurówka Spa and Bathing Institute was established. Bathing in the warm spring water was the beginning of balneotherapy and hydrotherapy – an important element of health treatment in Zakopane and the surrounding area (treatment of tuberculosis and respiratory diseases). Initiated in the second half of the 19th century, it was a major driver of the town's economic, architectural, spatial, social, and cultural development, a reason for numerous visits and stays. That function of Zakopane experienced its greatest development at the turn of the 19th and 20th centuries, then in the interwar period, and immediately after World War II. In 1886, Zakopane was recognized as a health resort and climatic center, largely thanks to Dr. Tytus Chałubiński – the „discoverer" of Zakopane and the Tatra Mountains for the broad masses of Polish society. The first hydrotherapy facilities and sanatoriums were established in the late 19th and early 20th centuries. The basis of treatment was hydrotherapy, complemented by social, cultural, and artistic life. That development was so significant that in the interwar years, Zakopane was the largest health resort in Poland.

However, only Jaszczurówka had naturally warm water. Although some researchers speculated that warm waters might also occur in other areas of

Zakopane and north of the Tatra Mountains, confirmation of that fact had to wait until 1961–1963, when the Zakopane IG-1 well was drilled.

Warm spring in Jaszczurówka was also the cradle of water sports in Podhale – in the 1930s, the Podhale Swimming Championships, and water polo matches were held at the pools there (Baraniak 2018). After World War II, Jaszczurówka did not return to its former glory, although the pools existed until the 1950s and 1960s.

In 1957, a 150.3 m deep borehole was drilled near the Jaszczurówka thermal spring. At a depth of 20 m, water with a temperature of 22.7°C was found. However, during further drilling, the temperature dropped to 12°C due to the cold water inflow (Sobol 1959), and the warm spring disappeared. Currently (2026), the Jaszczurówka Active Protection Center for Amphibians and Reptiles of the Tatra National Park is located in that place.

After World War II, the possibility of geothermal waters' occurrence in the Zakopane area and north of the Tatra Mountains was pointed out by professors Józef Gołąb and Stanisław Sokołowski, among others. In the late 1950s, Professor Stanisław Sokołowski – a native of Zakopane, an employee of the Geological Institute (now Polish Geological Institute–National Research Institute, PGI-NRI), and his team developed the project of drilling the Zakopane IG-1 research borehole in Antałówka hill. From that well, drilled in 1961–1963, geothermal water was obtained at an outlet temperature of 37°C, reserves of 50 m^3/h, and mineralization of 0.3 g/dm^3 (Sokołowski 1973). The artesian flow originated both from Jurassic formations, and from Eocene Numulitic carbonates. In 1975, the Zakopane-2 well (1113 m) was drilled. Geothermal waters were also found in the Eocene Numulitic layer, with reserves of 90 m^3/h, an outlet temperature of 27°C, and a mineralization of 0.3 g/dm^3 (artesian flow). Professor S. Sokołowski is recognized as the discoverer of geothermal waters in Podhale. This is commemorated by, among other things, a plaque on the facade of the „Termy Zakopiańskie" (Zakopane Thermal Baths).

From the 1970s to 2001, a small geothermal swimming pool operated in Antałówka. In 2006, the "Aqua Park" was opened. In January 2023, it was renamed as "Termy Zakopiańskie". Polskie Tatry SA – the municipal company managing them – draws on the history and tradition of the beginnings of therapeutic treatment.

In the second half of the 1970s, Wacław Sikora, then director of the Carpathian Branch of the Geological Institute (now PGI-NRI), and his team developed a drilling project for the deep Bańska IG-1 research well, in the central part of the Podhale Basin. The well (total depth 5,261 m) was drilled between 1979

and 1981. The water recovered had an outlet temperature of 82°C, a flow rate of 120 m^3/h, a mineralization of 2.5 g/dm^3, and high artesian pressure. The well documentation was elaborated (1981) by Associate Professor Danuta Poprawa and Professor Julian Sokołowski (then director of the Carpathian Branch of the Geological Institute) and his team. The results of this well formed the basis for efforts to implement the geothermal water for heating in the Podhale region, which have been ongoing since the mid-1980s. Those efforts were initiated at the turn of the 1980s and 1990s by the Experimental Geothermal Plant Bańska–Biały Dunajec PAS (currently the Geothermal Laboratory MEERI PAS), and subsequently developed to a large scale by PEC Geotermia Podhalańska SA.

Geothermal activities in Podhale today (2026) include:

- one of the largest geothermal heating grid in Europe (operated by PEC Geotermia Podhalańska);
- research, R&D, education (conducted by the Geothermal Laboratory MEERI PAS);
- seven large geothermal recreation centers, with next center under construction in Zakopane (replacing the existing geothermal swimming pool at Szymoszkowa Glade);
- over twenty geothermal wells (drilling two of them was completed in 2025 and 2026), with one well being drilled in 2026;
- investments, work in progress, and planning – e.g., connecting next customers to the geothermal network of PEC Geotermia Podhalańska SA, construction of main pipeline etc. to connect the customers in new part of geothermal heating network towards Szaflary and Nowy Targ.

And at the beginning of the geothermal development in Podhale, there was the thermal spring in Jaszczurówka …

Keywords: geothermal water, energy, history, research, application, Podhale

Literatura

Aleksandrowicz A. 1861. Rozbiór chemiczny wody jaszczurowej, cieplicy w Tatrach. Praca przedstawiona na posiedzeniu Komisji Balneologicznej przy Towarzystwie Naukowym Krakowskim. Wydawca: Druk. c.k. Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Baraniak M. 2018. Cieplica w Jaszczurówce przyczynkiem do rozwoju kąpielisk termalnych i sportów wodnych na Podhalu. Z najnowszych dziejów kultury fizycznej i turystyki w Polsce i w Europie, http://dx.doi.org/10.16926/zndkftpe2018.01.

Poprawa D., Sokołowski J. 1981. Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Bańska IG-1 i zasobów wód stwierdzonych w tym otworze. CAG PIG, nr inw. 13902, Warszawa.

Sobol H. 1959. Badanie stosunków wodnych i zjawisk krasowych na terenie cieplicy w Jaszczurówce. Speleologia 1(1/2), Warszawa.

Sokołowski S. 1973. Geologia paleogenu i mezozoicznego podłoża południowego skrzydła niecki podhalańskiej w profilu głębokiego wiercenia w Zakopanem. Biul. IG 265, Warszawa.

Witkiewicz S. 1891. Na przełęczy. Wrażenia i obrazy z Tatr.

Zejszner L. 1844. O temperaturze źródeł Tatrowych i pasm przyległych. Bibl. Warsz., t. 2.

Sokołowski J. 1992. Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Bańska IG-1. Geosynoptyka i Geotermia. Wyd. IGSMiE PAN. Kraków.

Materiały archiwalne i portale: Polskie Tatry S.A., Muzeum Tatrzańskie, NAC, IGSMiE PAN, archiwa prywatne.

Efekty restrukturyzacji i wygaszania kopalń – zatrudnienie w sektorze górnictwa węgla kamiennego wczoraj i dziś

Anna KIELERZ*

** Agencja Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie, Oddział w Katowicach*

Polskie górnictwo węgla kamiennego przechodzi od 1990 r. jedną z najgłębszych transformacji rynku pracy w historii europejskiego przemysłu. Sektor, który u progu zmian ustrojowych zatrudniał ponad 400 tysięcy osób i stanowił jeden z filarów gospodarki oraz tożsamości przemysłowej Górnego Śląska, dziś zatrudnia mniej niż 70 tysięcy pracowników, tj. mniej osób, niż liczy mieszkańców niejedno średniej wielkości polskie miasto.

Punktem wyjścia jest teza, że dynamika redukcji zatrudnienia w sektorze wynika z nakładania się trzech niezależnych, lecz wzajemnie wzmacniających się procesów: wyczerpywania ekonomicznie dostępnych złóż i pogarszającej się rentowności wydobycia, unijnej polityki klimatycznej (Europejski Zielony Ład, pakiet Fit for 55, reforma systemu ETS) oraz krajowych regulacji wdrażających Umowę Społeczną z 2021 r. W artykule omawiam mechanizmy tej transformacji: od pierwszych instrumentów osłonowych wdrażanych od 1994 r., przez świadczenia osłonowe funkcjonujące w latach 2015–2025, po nowy, kompleksowy system wsparcia wprowadzony nowelizacją ustawy o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego, obowiązującą od 1 stycznia 2026 r. Przeanalizowałam również miejsce górnictwa węgla kamiennego na tle całej struktury zatrudnienia w Polsce, ramy prawno-instytucjonalne procesu – w tym umowę społeczną z 2021 r. i harmonogram wygaszania kopalń do 2049 r. – oraz społeczno-ekonomiczne skutki restrukturyzacji dla regionów górniczych.

Odrębna część poświęcona została potencjałowi zatrudnienia w sektorach zastępujących węgiel w polskim miksie energetycznym – odnawialnym źródłom energii oraz energetyce jądrowej – wraz z oceną, w jakim stopniu mogą one wchłonąć pracowników odchodzących z górnictwa. Artykuł kończy się wskazaniem najważniejszych wyzwań o charakterze strukturalnym, kompetencyjnym, geograficznym i społecznym, które towarzyszą procesowi sprawiedliwej transformacji zatrudnienia w regionach górniczych.

Słowa kluczowe: górnictwo węgla kamiennego, restrukturyzacja zatrudnienia, transformacja energetyczna, umowa społeczna, świadczenia osłonowe, sprawiedliwa transformacja

Bezpieczeństwo energetyczne Polski w dobie transformacji: jak budować odporny miks, zamiast ścigać się na megawaty

Anna KIELERZ*, Monika PORZERZYŃSKA-ANTONIK*

** Agencja Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie, Oddział w Katowicach*

Transformacja energetyczna należy obecnie do najważniejszych wyzwań stojących przed polskim sektorem energii. Debata publiczna i branżowa koncentruje się często na tempie rozwoju poszczególnych technologii oraz wielkości nowych mocy zainstalowanych w odnawialnych źródłach energii. Takie podejście, choć istotne z punktu widzenia polityki klimatycznej, nie pozwala na pełną ocenę zdolności systemu energetycznego do zapewnienia ciągłości dostaw energii i odporności na zakłócenia.

Ocena skuteczności transformacji nie powinna opierać się wyłącznie na porównywaniu mocy zainstalowanych pomiędzy państwami Unii Europejskiej. Rozwój krajowego sektora energii powinien opierać się na komplementarnym wykorzystaniu OZE, energetyki jądrowej, magazynów energii, elastycznych źródeł gazowych oraz modernizacji sieci elektroenergetycznych.

Znacznie większe znaczenie mają takie czynniki, jak dywersyfikacja źródeł energii, elastyczność systemu elektroenergetycznego, rozwój infrastruktury sieciowej, magazynowanie energii oraz odporność na ryzyka geopolityczne i surowcowe. Szczególną uwagę poświęcono specyfice polskiego systemu elektroenergetycznego, wynikającej z dużego udziału energetyki konwencjonalnej, znaczenia przemysłu energochłonnego oraz dynamicznego wzrostu generacji ze źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych.

Istotnym elementem analizowanego procesu pozostaje również rola krajowej bazy surowcowej, w szczególności górnictwa węgla kamiennego. Pomimo postępującej transformacji energetycznej i wzrostu znaczenia odnawialnych źródeł energii, krajowe zasoby węgla nadal wpływają na poziom bezpieczeństwa energetycznego Polski. Węgiel kamienny pozostaje istotnym paliwem wykorzystywanym do stabilizacji pracy krajowego systemu elektroenergetycznego oraz ograniczania ryzyka związanego z zależnością od importu surowców energetycznych, np. gazu. W perspektywie najbliższej dekady sektor górniczy będzie odgrywał malejącą, lecz nadal ważną rolę w zapewnianiu ciągłości dostaw energii, szczególnie w okresie rozwoju energetyki jądrowej, magazynów energii

i nowoczesnej infrastruktury sieciowej. W związku z tym proces transformacji powinien uwzględniać zarówno cele klimatyczne, jak i konieczność zachowania odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa surowcowego państwa.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, miks energetyczny, transformacja energetyczna, węgiel, World Energy Trilemma Index

Odpady z sektora wydobywczo-energetycznego w świetle dokumentów planistycznych i sprawozdawczych w podziale administracyjnym Polski

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK*, Agnieszka DUDEK**,
Aleksander GŁĘBOCKI**, Szymon PIONK**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: beatakk@min-pan.krakow.pl
*** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Odpady wydobywcze/górnicze grupy 01 (*Odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud i innych kopalin*) oraz odpady energetyczne grupy 10 (*Odpady z procesów termicznych*) to odpady mineralne, które stanowią główny strumień wszystkich odpadów przemysłowych wytwarzanych w Polsce. Monitorowanie ich wytwarzania i gospodarowanie nimi regulowane jest poprzez zintegrowany system planowania i sprawozdawczości na poziomie krajowym i wojewódzkim. Wykazują one wysoki potencjał recyklingu – w szczególności przy produkcji kruszyw, jako surowiec mineralny dla budownictwa (w tym do wytwarzania cementu) oraz w drogownictwie.

Przeprowadzono analizę dokumentów planistycznych i sprawozdawczych w zakresie gospodarki odpadami dla wszystkich 16 województw Polski, począwszy od 2011 r. Okresy, dla których sporządzane są plany gospodarki odpadami oraz sprawozdania z ich realizacji, nie są w pełni spójne między regionami. Dominuje trzyletni cykl sprawozdawczości (lata 2011–2013, 2014–2016, 2017–2019, 2020–2022), jednak nie wszystkie województwa publikują sprawozdania za każdy z tych przedziałów czasu, a część danych odnosi się do pojedynczych, niepokrywających się lat. Dodatkowo poziom szczegółowości danych różni się istotnie między województwami, co wynika bezpośrednio ze sposobu ich prezentacji w dokumentach źródłowych – a nie z metodyki zastosowanej przy wyodrębnianiu informacji.

Obserwacje i szczegółowa analiza dokumentów sprawozdawczych wykazały, że wytwarzanie odpadów z grupy 01 jest silnie skoncentrowane w obrębie trzech województw. Regiony: śląski, dolnośląski i lubelski odpowiadają za ok. 90% krajowej masy wytwarzanych odpadów tej grupy, a ich źródłem jest zawsze fizyczna i chemiczna przeróbka konkretnej kopaliny. Z kolei wytwarza-

nie odpadów z grupy 10 jest wyraźnie mniej skoncentrowane. W 2022 r. trzy województwa: łódzkie, śląskie i dolnośląskie, odpowiadały za ok. 75% wytwarzanych odpadów z procesów termicznych, co ma bezpośredni związek z lokalizacją wielkich elektrowni oraz zakładów hutniczych. Zebrane dane, choć pochodzą wyłącznie z oficjalnych dokumentów urzędowych, nie tworzą jednorodnego, gotowego do bezpośredniego porównania zbioru. Analiza materiałów źródłowych wskazuje na potrzebę ujednolicenia formatu i sposobu prezentacji tych dokumentów, co znacząco ułatwi zagregowane zestawianie danych i analizy porównawcze oraz monitorowanie gospodarki odpadami w skali kraju.

Słowa kluczowe: odpady przemysłowe, grupa 01, grupa 10,
plany gospodarki odpadami, sprawozdania z realizacji planów, podział wojewódzki

Literatura

Wojewódzkie Plany Gospodarki Odpadami dla poszczególnych województw Polski.
Sprawozdania z realizacji Wojewódzkich Planów Gospodarki Odpadami dla poszczególnych województw za lata: 2011–2013, 2014–2016, 2017–2019, 2020–2022.
Dane GUS. [Online:] https://stat.gov.pl.

Odpowiedź środowiska przyrodniczego na działania rekultywacyjne na obszarach pogórniczych

Beata KLOJZY-KARCZMARCZYK*, Gabriela WOŹNIAK**,
Anna HIBSZER***, Adrianna BAŁA****

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: beatakk@min-pan.krakow.pl*
*** Uniwersytet Śląski w Katowicach; e-mail: gabriela.wozniak@us.edu.pl*
**** Uniwersytet Śląski w Katowicach; Zespół Szkół nr 3 w Katowicach*
***** Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie*

Ocena biotycznych i abiotycznych elementów środowiska w odpowiedzi na zabiegi rekultywacyjne stanowi kluczowy element weryfikacji efektywności przyrodniczych procesów naprawczych, realizowanych na terenach zaburzonych przez przemysł wydobywczy. Rekultywacja definiowana jest jako systemowe przywracanie wartości użytkowych lub tzw. przyrodniczych obszarom przekształconym w wyniku oddziaływania człowieka, ze szczególnym uwzględnieniem składowisk oraz obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych. Przez długi czas proces ten przebiega dwuetapowo i integruje rekultywację techniczną oraz biologiczną.

Ramy formalnych działań wyznacza spójny system wzajemnie uzupełniających się przepisów prawnych. *Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych* definiuje składowisko lub hałdę jako obiekty zdegradowane i powodujące degradację i jednocześnie nakłada obowiązek działań naprawczych. *Ustawa o odpadach* oraz *ustawa o odpadach wydobywczych* reguluje procedurę zamykania obiektu oraz odpowiedzialność po zakończeniu jego eksploatacji. Istotne znaczenie ma *rozporządzenie w sprawie składowisk odpadów*, które wprost nakazuje prowadzenie prac zabezpieczających wody podziemne i powierzchniowe oraz powietrze, a także prac chroniących przed erozją skarp oraz zapewniających integrację obszaru rekultywowanego z otaczającym środowiskiem. Z kolei ustawa *Prawo ochrony środowiska* ustanawia nadzór nad działaniami i kwestię odpowiedzialności za cały ten proces. Na żadnym z opisanych powyżej etapów nie jest dokonywana ocena przedmiotowego obiektu jako potencjału przyrodniczego.

Obecnie szczególnego znaczenia nabiera *Nature Restoration Law* (NRL) – unijne rozporządzenie w sprawie odbudowy zasobów przyrodniczych. Do-

kument ten kładzie nacisk na umożliwienie przebiegu procesów naturalnych bez ingerencji człowieka i przesuwa punkt ciężkości rekultywacji z podejścia techniczno-użytkowego w kierunku przebiegu spontanicznych procesów biologicznych i przyrodniczych (renaturalizacji). Podejście oparte na działaniach bliskich naturze sięga lat dwutysięcznych [1, 2]. Obecnie jest ono coraz szerzej omawiane w literaturze przedmiotu, która jednoznacznie wskazuje na jego fundamentalne korzyści przyrodnicze [3, 4]. Istotne jest, że mineralne siedliska poeksploatacyjne powinno się postrzegać jako centra bioróżnorodności, a nie jedynie jako zdegradowane elementy krajobrazu. Należy mieć na uwadze, że dla podmiotów zarządzających obiektem renaturalizacja stanowi wyzwanie logistyczne. Wdrożenie nowych zasad może bowiem istotnie wydłużyć procedury administracyjne oraz same procesy odbioru technicznego i biologicznego.

Słowa kluczowe: obszary pogórnicze, komponenty biotyczne i abiotyczne, rekultywacja, renaturalizacja, Nature Restoration Law

Literatura

[1] Rostański A. 2000. Rekultywacja i zagospodarowanie nieużytków miejsko-przemysłowych – rozwiązania alternatywne. Inżynieria Ekologiczna 1.
[2] Woźniak G., Kompała-Bąba A. 2000. Rola procesów naturalnych w rekultywacji nieużytków poprzemysłowych. Inżynieria Ekologiczna 1.
[3] Naworyta W. 2024. O rekultywacji i renaturyzacji: trendy, motywacje, nadzieje. Kierunek Surowce.
[4] Hutniczak A., Błońska A., Sotek Z., Chmura D., Bacler-Żbikowska B., Woźniak G. 2026. Mineral Post-Mining Habitats as Unrecognized Biodiversity Hotspots: An Overlooked Dimension of Enhancing Natural Potential in Environmental Management. Sustainability 18(18), https://doi.org/10.3390/su18189333.

Transformacja energetyczna jako pierwszy etap wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze MŚP

Justyna M. KOBYLARCZYK*, Agnieszka NOWACZEK*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
e-mail: justynak@min-pan.krakow.pl; anowaczek@min-pan.krakow.pl

Transformacja w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) obejmuje działania materiałowe i odpadowe, ale także poprawę efektywności energetycznej oraz rozwój odnawialnych źródeł energii. W przypadku mikro, małych i średnich przedsiębiorstw szczególne znaczenie mają rozwiązania możliwe do stosunkowo szybkiego wdrożenia, przynoszące mierzalne oszczędności i ograniczające podatność firm na wzrost cen energii. Celem badania było określenie, czy działania energetyczne stanowią podstawowy punkt wejścia MŚP do transformacji cyrkularnej oraz czy wybór priorytetów GOZ jest związany z wielkością przedsiębiorstwa i sektorem działalności.

Analizę przeprowadzono na podstawie 64 projektów mikro, małych i średnich przedsiębiorstw ubiegających się o wsparcie w ramach działania „Gospodarka o obiegu zamkniętym w MŚP – Etap I" programu Fundusze Europejskie dla Polski Wschodniej 2021–2027. Próba obejmowała 16 mikroprzedsiębiorstw, 32 małe przedsiębiorstwa i 16 przedsiębiorstw średnich, reprezentujących branże produkcyjne, budowlane i usługowe. Zastosowano analizę częstości oraz test niezależności chi-kwadrat Pearsona.

Najczęściej deklarowanym działaniem była redukcja zużycia energii pierwotnej elektrycznej lub cieplnej, wskazana w 44 projektach, czyli w 68,8% próby. Zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii oraz redukcję ilości wytwarzanych odpadów wskazano po 41 razy, co odpowiadało 64,1% analizowanych projektów. Rozwiązania dotyczące surowców wtórnych, ponownego użycia, naprawy, trwałości produktów i ekoprojektowania występowały wyraźnie rzadziej.

Nie stwierdzono statystycznie istotnej zależności pomiędzy wielkością przedsiębiorstwa a strukturą priorytetów GOZ ani pomiędzy sektorem działalności a rodzajem deklarowanych działań. Oznacza to, że dominacja efektywności energetycznej, OZE i ograniczania odpadów miała charakter przekrojowy i nie była ograniczona do jednej grupy MŚP. Wyniki sugerują, że przedsiębiorstwa rozpoczynają transformację cyrkularną przede wszystkim od działań pozwa-

lających ograniczyć koszty operacyjne, zużycie energii i ryzyko związane ze zmianami jej cen.

Transformacja energetyczna może zatem stanowić praktyczny punkt wejścia do GOZ oraz wzmacniać bezpieczeństwo energetyczne przedsiębiorstw. Nie oznacza jednak pełnego zamknięcia obiegów materiałowych. Działania energetyczne powinny prowadzić do dalszych zmian obejmujących wykorzystanie surowców wtórnych, odpadów i produktów ubocznych, rozwój naprawy i ponownego użycia oraz wdrażanie bardziej zaawansowanych rozwiązań produktowych i organizacyjnych.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, MŚP,
transformacja energetyczna, bezpieczeństwo energetyczne,
efektywność energetyczna, odnawialne źródła energii

Czy transformacja energetyczna potrzebuje edukacji?

Alicja KOT-NIEWIADOMSKA*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: a.kn@min-pan.krakow.pl

Transformacja energetyczna jest najczęściej rozpatrywana przez pryzmat zmian w strukturze wytwarzania energii, rozwoju odnawialnych źródeł energii, ograniczania wykorzystania paliw kopalnych czy zwiększania efektywności energetycznej. Proces ten zachodzi jednak równolegle z postępującą elektryfikacją kolejnych obszarów życia i gospodarki oraz pojawianiem się nowych potrzeb energetycznych. Według danych GUS średnie zużycie energii elektrycznej w gospodarstwach domowych w Polsce w 2024 r. było o 23,6% wyższe niż w 2002 r. Elektryfikacja obejmuje również transport – tylko w 2025 r. liczba osobowych i użytkowych samochodów całkowicie elektrycznych (BEV) w Polsce zwiększyła się o ponad 52,7 tys. Jednocześnie zmieniające się warunki klimatyczne generują kolejne potrzeby energetyczne: według IEA od 2015 r. globalne zużycie energii elektrycznej na chłodzenie pomieszczeń wzrosło o 50%. Dane te ilustrują trzy równoległe procesy – wzrost znaczenia energii elektrycznej w codziennym życiu, elektryfikację transportu oraz wzrost zapotrzebowania na energię związany z adaptacją do zmieniających się warunków klimatycznych. Każdy z nich oznacza nie tylko zapotrzebowanie na energię elektryczną, ale także na urządzenia, infrastrukturę oraz surowce mineralne niezbędne do ich wytworzenia i funkcjonowania.

Rosnąca elektryfikacja życia prowadzi zatem do pytania nie tylko o to, skąd będzie pochodzić potrzebna energia, ale również o materialne podstawy technologii umożliwiających transformację. Turbiny wiatrowe, instalacje fotowoltaiczne, magazyny energii, samochody elektryczne czy infrastruktura sieciowa wymagają wykorzystania szerokiego spektrum surowców mineralnych. Społeczna świadomość transformacji energetycznej często kończy się jednak na gotowej technologii – turbinie wiatrowej, panelu fotowoltaicznym, magazynie energii czy samochodzie elektrycznym – pomijając wcześniejsze ogniwa łańcucha wartości: pozyskanie kopalin, produkcję i przetwórstwo surowców oraz wytwarzanie materiałów i komponentów. Tymczasem właśnie na tych etapach ujawniają się istotne zależności surowcowe, gospodarcze i geopolityczne, wy-

nikające m.in. z geograficznej koncentracji wydobycia i przetwórstwa wielu surowców oraz produkcji technologii energetycznych.

Materialny wymiar transformacji ma również konsekwencje przestrzenne i społeczne. Realizacja jej celów wymaga nie tylko dostępu do surowców, lecz także budowy nowych mocy wytwórczych, sieci elektroenergetycznych, magazynów energii oraz infrastruktury przemysłowej, a w niektórych przypadkach również uruchamiania nowych źródeł pozyskania kopalin. Jednym z wyzwań transformacji energetycznej staje się zatem rozbieżność między społecznym poparciem dla jej celów a akceptacją jej materialnych konsekwencji. Korzyści transformacji są przedstawiane jako globalne i społeczne, natomiast jej infrastruktura oraz związane z nią oddziaływania zawsze mają konkretną lokalizację. Sprzeciw społeczny, tradycyjnie kojarzony m.in. z projektami wydobywczymi, coraz częściej dotyczy również inwestycji związanych z odnawialnymi źródłami energii czy rozbudową infrastruktury energetycznej.

W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera edukacja. Jej rolą nie powinno być przekonywanie społeczeństwa do określonego modelu transformacji ani budowanie bezwarunkowej akceptacji dla konkretnych inwestycji, lecz dostarczanie wiedzy pozwalającej rozumieć zależności pomiędzy konsumpcją energii, rozwojem technologii, zapotrzebowaniem na surowce mineralne, globalnymi łańcuchami wartości oraz lokalnymi konsekwencjami realizowanych inwestycji. Łańcuch zależności: rosnąca elektryfikacja życia → technologie transformacji → surowce i globalne łańcuchy wartości → lokalne inwestycje i społeczna akceptacja wskazuje, że transformacja energetyczna jest nie tylko procesem technologicznym i gospodarczym, ale również wyzwaniem edukacyjnym. Świadome uczestnictwo społeczeństwa w tym procesie wymaga bowiem dostrzegania nie tylko jego oczekiwanych efektów, lecz także zasobów, infrastruktury, kosztów i kompromisów niezbędnych do ich osiągnięcia.

Słowa kluczowe: transformacja energetyczna, edukacja, edukacja surowcowa, surowce mineralne, elektryfikacja, społeczna akceptacja, łańcuchy wartości

Surowce mineralne z roztworów geotermalnych – podsumowanie projektu CRM-geothermal

Alicja KOT-NIEWIADOMSKA*, Jarosław KAMYK**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
Polskie Stowarzyszenie Wyceny Złóż Kopalin;
e-mail: a.kn@min-pan.krakow.pl, biuro@polval.org.pl
*** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: kamyk@min-pan.krakow.pl

Rosnące zapotrzebowanie na surowce mineralne, niezbędne dla transformacji energetycznej, zwiększa znaczenie poszukiwania alternatywnych, europejskich źródeł ich pozyskiwania. Potrzeba ta nabiera szczególnego znaczenia w kontekście wdrażania Critical Raw Materials Act (CRMA), którego jednym z kluczowych założeń jest zwiększenie zdolności Unii Europejskiej w zakresie pozyskiwania, przetwarzania i recyklingu surowców strategicznych oraz ograniczanie nadmiernej zależności od pojedynczych państw trzecich. Jednym z potencjalnych, dotychczas w niewielkim stopniu wykorzystywanych, źródeł surowców mineralnych mogą być roztwory geotermalne. W określonych warunkach geologicznych mogę one zawierać podwyższone koncentracje pierwiastków o znaczeniu gospodarczym. Możliwość skojarzonego pozyskiwania energii i surowców stwarza perspektywę bardziej kompleksowego wykorzystania zasobów geotermalnych, wymaga jednak rozpoznania ich potencjału surowcowego, określenia procesów odpowiedzialnych za mobilizację i koncentrację pierwiastków oraz opracowania efektywnych i selektywnych technologii ich odzysku.

Projekt CRM-geothermal „Raw materials from geothermal fluids: occurrence, enrichment, extraction" (https://crm-geothermal.eu/), realizowany w ramach programu Horizon Europe, objął kompleksowe badania możliwości pozyskiwania surowców krytycznych i innych surowców mineralnych z roztworów geotermalnych. Badania prowadzone w zróżnicowanych systemach geotermalnych Europy i Afryki Wschodniej pozwoliły na ocenę geologicznych i geochemicznych uwarunkowań występowania oraz koncentracji pierwiastków o znaczeniu surowcowym. Analizowano również procesy zachodzące podczas eksploatacji systemów geotermalnych, w tym interakcje roztwór–skała, odgazowanie i wytrącanie faz mineralnych, istotne z punktu widzenia trwałości pozyskiwania surowców oraz funkcjonowania instalacji. Wyniki badań oraz zgromadzone dane

wykorzystano do opracowania bazy danych i internetowego atlasu roztworów geotermalnych, a także narzędzi wspomagających ocenę ich potencjału surowcowego, w tym rozwiązania wykorzystującego metody sztucznej inteligencji do szacowania zawartości litu.

Równolegle rozwijano technologie selektywnego odzysku składników z roztworów geotermalnych. Szczególną uwagę poświęcono litowi, dla którego badano m.in. materiały sorpcyjne na bazie tlenków manganu, w tym sita jonowe umożliwiające selektywną ekstrakcję Li ze złożonych roztworów geotermalnych. Badania technologiczne objęły również metody odzysku innych składników, w tym strontu oraz gazów. Opracowane rozwiązania dla odzysku litu i helu zostały następnie zweryfikowane w warunkach terenowych podczas demonstracji technologii z wykorzystaniem rzeczywistego roztworu geotermalnego w Kornwalii. Uzyskane wyniki potwierdziły możliwość integracji procesów odzysku wybranych surowców z eksploatacją systemów geotermalnych.

Wyniki projektu wskazują jednocześnie, że ocena roztworów geotermalnych jako potencjalnego źródła surowców nie może opierać się wyłącznie na koncentracji poszczególnych pierwiastków. Istotne znaczenie mają warunki geologiczne i geochemiczne systemu, wielkość i trwałość strumienia roztworu, zachowanie pierwiastków podczas eksploatacji, a także selektywność i efektywność technologii odzysku. Analizy możliwości współpozyskiwania ciepła geotermalnego i surowców pokazują potencjał zintegrowanego wykorzystania systemów geotermalnych jako źródła zarówno energii, jak i wybranych surowców mineralnych. Takie podejście może zwiększać stopień wykorzystania zasobów geotermalnych, tworzyć dodatkową wartość w istniejących i projektowanych instalacjach oraz wspierać dywersyfikację źródeł zaopatrzenia Europy w wybrane surowce krytyczne.

Słowa kluczowe: geotermia, roztwory geotermalne, surowce krytyczne, lit, hel, odzysk surowców, technologie separacji, skojarzone pozyskiwanie energii i surowców

Niniejsza publikacja została sfinansowana w ramach programu Unii Europejskiej w zakresie badań naukowych i innowacji „Horyzont 2020" na podstawie umowy nr 101058163.

Rola biogazu rolniczego i energetyki rozproszonej w budowaniu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego na obszarach wiejskich

Aleksander KOŹMIŃSKI*

** Pomorska Szkoła Wyższa, Starogard Gdański; e-mail: Aleksander.kozminski@twojestudia.pl*

Transformacja energetyczna wymaga rozwoju źródeł odnawialnych, ale na obszarach wiejskich powinna być jednocześnie rozpatrywana jako proces wzmacniania odporności lokalnych układów społeczno-gospodarczych. Lokalne bezpieczeństwo energetyczne nie sprowadza się bowiem do zwiększania mocy zainstalowanej w odnawialnych źródłach energii. Obejmuje również dostępność lokalnych zasobów, ciągłość i przewidywalność dostaw energii, odporność na zakłócenia sieciowe i wzrost kosztów nośników energii, zdolność do zasilania obiektów ważnych dla funkcjonowania społeczności, a także możliwość wykorzystania energii i produktów ubocznych w miejscu ich wytworzenia.

Celem wystąpienia jest przedstawienie funkcji biogazu rolniczego w budowaniu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego na obszarach wiejskich oraz wskazanie roli biogazowni rolniczej w zintegrowanym układzie energetyki rozproszonej. Analiza ma charakter systemowy i funkcjonalny. Uwzględnia powiązania pomiędzy bazą substratową gospodarstw rolnych, produkcją biogazu, kogeneracją energii elektrycznej i ciepła, zagospodarowaniem pofermentu, lokalnym zapotrzebowaniem na energię oraz infrastrukturą elektroenergetyczną i cieplną.

Biogaz rolniczy wyróżnia się wśród odnawialnych źródeł energii możliwością bardziej stabilnego i planowego wytwarzania energii. W przeciwieństwie do źródeł zależnych bezpośrednio od warunków pogodowych instalacja biogazowa może pracować w sposób dyspozycyjny, wykorzystując lokalnie dostępne substraty, takie jak gnojowica, obornik, pomiot ptasi, kiszonki, pozostałości poprodukcyjne i wybrane bioodpady. Wysokosprawna kogeneracja pozwala równocześnie wytwarzać energię elektryczną i ciepło, przy czym efektywność całego przedsięwzięcia zależy od możliwości lokalnego odbioru energii cieplnej. Szczególne znaczenie może mieć współpraca biogazowni z gospodarstwami rolnymi, przetwórstwem rolno-spożywczym, suszarniami, chłodniami, szklarniami, budynkami użyteczności publicznej oraz systemami zaopatrzenia w wodę i odbioru ścieków.

W referacie biogazownia rolnicza została przedstawiona jako potencjalny element lokalnej infrastruktury odpornościowej. W połączeniu z instalacjami fotowoltaicznymi, magazynami energii, inteligentnym zarządzaniem zużyciem oraz rozwiązaniami organizacyjnymi, w tym spółdzielniami energetycznymi, może ona tworzyć podstawę lokalnego układu energetycznego. Taki układ nie oznacza pełnej autarkii energetycznej ani zastąpienia krajowego systemu elektroenergetycznego. Jego funkcją jest ograniczanie podatności lokalnej społeczności i gospodarki na przerwy w dostawach energii, ograniczenia sieciowe, wahania cen energii i paliw oraz zakłócenia w dostępności nawozów mineralnych.

Istotnym elementem oceny biogazowni jest także jej powiązanie z gospodarką nawozową. Poferment stanowi produkt wymagający odpowiedniego zarządzania, jednak może być wykorzystywany jako źródło składników pokarmowych w rolnictwie. Przetwarzanie substratów organicznych pozwala łączyć funkcje energetyczne z gospodarowaniem nawozami naturalnymi i produktami ubocznymi rolnictwa. Może to wzmacniać ekonomiczną odporność gospodarstw, zwłaszcza w warunkach zmienności cen energii, gazu ziemnego i nawozów mineralnych.

Warunkiem powodzenia lokalnych projektów biogazowych jest dopasowanie ich skali do stabilnej bazy substratowej, lokalnego zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepło, możliwości przyłączenia do sieci, warunków transportu, zasad zagospodarowania pofermentu oraz akceptacji społecznej. Wnioski wskazują, że rozwój biogazu rolniczego powinien być traktowany nie jako odrębna inwestycja technologiczna, lecz jako element zintegrowanego modelu rozwoju obszarów wiejskich, łączącego cele bezpieczeństwa energetycznego, ekonomiki gospodarstw, gospodarki o obiegu zamkniętym i ochrony środowiska.

Słowa kluczowe: biogaz rolniczy, bezpieczeństwo energetyczne, energetyka rozproszona, obszary wiejskie, kogeneracja, odporność lokalna, poferment, spółdzielnie energetyczne

Zrównoważone wykorzystanie surowców w produkcji cementu – analiza LCA w projekcie ValorWaste

Joanna KULCZYCKA*, Natalia GENEROWICZ-CABA*, Maciej MAŃKA*, Cansu Özcan KILCAN**, Alan TKACZYK**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: kulczycka@meeri.pl, ngenerowicz@min-pan.krakow.pl, mmanka@min-pan.krakow.pl
*** Institute of Technology, University of Tartu, Nooruse 1, 50411 Tartu, Estonia*

Transformacja energetyczna sektora cementowego obejmuje nie tylko zmianę struktury wykorzystywanych paliw i źródeł energii, lecz także poszukiwanie rozwiązań pozwalających na ograniczenie wykorzystania surowców pierwotnych oraz materiałów o wysokim śladzie środowiskowym. Jednym z kierunków wpisujących się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym jest wykorzystanie materiałów odpadowych jako składników cementu.

Celem pracy, realizowanej w ramach projektu ValorWaste, jest przeprowadzenie oceny środowiskowej metodą oceny cyklu życia – Life Cycle Assessment (LCA) – dla cementu CEM II/A zawierającego 15% masowych osadów wapiennych i marmurowych. Analiza obejmuje porównanie wariantu wykorzystującego osady z cementem referencyjnym produkowanym w warunkach przemysłowych. W badanym rozwiązaniu osady stanowią częściowy zamiennik składników stosowanych w produkcji cementu, w tym klinkieru i gipsu.

Zakres modelu LCA obejmuje pozyskanie i transport surowców, przygotowanie osadów do wykorzystania w procesie produkcyjnym, w tym ich suszenie, produkcję klinkieru, wykorzystanie paliw konwencjonalnych i alternatywnych, zużycie energii elektrycznej oraz proces przemiału cementu. W analizie uwzględnione zostaną również parametry mogące istotnie wpływać na profil środowiskowy badanego rozwiązania, takie jak wilgotność osadów, energochłonność ich przygotowania, odległości i środki transportu oraz struktura wykorzystywanych paliw.

Zastosowanie metody LCA pozwoli na kompleksową ocenę środowiskowych aspektów wykorzystania osadów wapiennych i marmurowych jako surowców wtórnych w przemyśle cementowym oraz na identyfikację etapów cyklu życia wymagających szczególnej uwagi. Analiza stanowi element szerszej oceny możliwości wdrażania rozwiązań gospodarki o obiegu zamkniętym w sektorze

cementowym w kontekście transformacji energetycznej, efektywnego gospodarowania zasobami oraz bezpieczeństwa surowcowego.

Słowa kluczowe: LCA, cement, ValorWaste, surowce wtórne, gospodarka o obiegu zamkniętym, transformacja energetyczna

Kryteria i wymagania metodyczne monitoringu radiologicznego wokół elektrowni jądrowych w Polsce

Leszek LANKOF*, Edyta ŁOKAS**, Barbara TOMASZEWSKA*, Kamil BRUDECKI**, Marzena ZAJĄC***, Grzegorz FIUTAK***, Aleksandra KASZTELEWICZ*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
*** Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków*
**** Uniwersytet Rolniczy, Kraków*

Budowa i bezpieczna eksploatacja pierwszej polskiej elektrowni jądrowej wymaga prowadzenia ciągłego, szczegółowego monitoringu radiacyjnego środowiska. Aby zapewnić pełną kontrolę nad stanem otoczenia obiektu, konieczne jest usystematyzowanie minimalnych wymagań technicznych, metrologicznych oraz organizacyjnych zarówno dla sieci pomiarowych, jak i dla prowadzenia specjalistycznych badań laboratoryjnych. Podstawę legislacyjną wypracowanych wytycznych stanowi Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 sierpnia 2022 r. w sprawie zakresu programu monitoringu radiacyjnego środowiska (Dz.U. z 2022 r. poz. 2058). Opracowane, w ramach przeprowadzonej analizy, standardy integrują wymogi prawa krajowego z zaleceniami międzynarodowych organizacji, w tym Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA), Komisji Europejskiej (KE), ICRP, ICRU oraz norm ISO/IEC.

Przeprowadzona analiza definiuje szczegółowe kryteria operacyjne dla sieci pomiarowej oraz procedur poboru prób i badań analitycznych w trzech głównych stanach pracy obiektu: sytuacji normalnej (rutynowa eksploatacja), sytuacji zdarzenia radiacyjnego (faza awaryjna) oraz sytuacji istniejącego narażenia powstałego w wyniku zdarzenia radiacyjnego. Zakres monitoringu obejmuje kompleksową kontrolę wszystkich potencjalnych dróg migracji radionuklidów w środowisku, tzn.:

Promieniowanie zewnętrzne i atmosferę poprzez ciągły pomiar mocy przestrzennego równoważnika dawki, dozymetrię dawki skumulowanej, dozymetrię neutronową, a także pobór aerozoli i gazów atmosferycznych pod kątem obecności izotopów radioaktywnych (m.in. Cs-137, Cs-134, I-131, Sr-90, Pu-238, Pu-239+240, trytu HTO, C-14 oraz szlachetne gazy promieniotwórcze).

Środowisko lądowe i łańcuch żywnościowy poprzez monitoring gleby, opadu atmosferycznego (suchego i mokrego), płodów rolnych (warzywa liściaste i korzeniowe, owoce, zboża), produktów pochodzenia zwierzęcego (mleko, mięso, drób, jaja, dziczyzna), pasz świeżych oraz bioindykatorów lądowych (np. grzyby, mchy).

Środowisko wodne i gospodarkę ściekową w wyniku ciągłego i okresowego monitoringu wód powierzchniowych (morskich i śródlądowych), podziemnych, drenażowych, pitnych i opadowych, a także osadów dennych, osadów kanalizacyjnych oraz organizmów wodnych (ryby, skorupiaki, mięczaki, flora wodna).

W ramach wykonanych badań sformułowano rygorystyczne wymagania dotyczące metrologii i kontroli jakości (QA/QC) dla laboratoriów analitycznych prowadzących pomiary technikami spektrometrii gamma (detektory HPGe), ciekłoscyntylacyjnymi (LSC), spektrometrii alfa oraz spektrometrii mas (ICP-MS). Wytyczne określają progi minimalnej aktywności wykrywalnej (MDA) dla poszczególnych radionuklidów, wymagania kalibracyjne przy użyciu certyfikowanych materiałów odniesienia (CRM), procedury archiwizacji danych pomiarowych, a także udział laboratoriów w badaniach biegłości (PT) i porównaniach międzylaboratoryjnych (ILC).

Wdrożenie zaprezentowanych wyników analiz gwarantuje uzyskanie spójnych, wiarygodnych i porównywalnych danych radiometrycznych, co jest kluczowe dla zapewnienia ochrony radiologicznej ludności oraz oceny wpływu elektrowni jądrowej na środowisko naturalne na każdym etapie jej funkcjonowania.

Słowa kluczowe: elektrownia jądrowa, monitoring radiacyjny środowiska, ochrona radiologiczna, sieć pomiarowa, radionuklidy, metody analityczne, kontrole jakości (QA/QC)

Bezemisyjne ciepłownictwo a bezpieczeństwo energetyczne

Janusz LEWANDOWSKI*

** Politechnika Warszawska, Warszawa; e-mail: janusz.lewandowski@pw.edu.pl*

Bezpieczeństwo energetyczne jest pojęciem związanym z zaspokojeniem potrzeb ludności i gospodarki w zakresie dostępu do energii elektrycznej, ciepła i paliwa dla środków transportu. W krajach o umiarkowanym klimacie, takich jak Polska, zapotrzebowanie, przy przyjęciu, że miarą jest ilość energii końcowej (finalnej), proporcje między wyróżnionymi potrzebami wynoszą: transport 35%, ciepłownictwo 25–28% oraz energia elektryczna 12–15%. Udział ciepłownictwa jest zatem znaczący. Nie jest wobec tego zrozumiałe, dlaczego, zarówno w opinii publicznej, jak i wśród decydentów politycznych, fakt ten jest na ogół niezauważalny, a pojęcie bezpieczeństwa ogranicza się do zaopatrzenia w energię elektryczną. W obowiązującej, choć już nieaktualnej, „Polityce Energetycznej Polski do 2040 r.", ponad 100-stronicowym dokumencie, ciepłownictwu i kogeneracji poświęcono 5 stron. „Strategia dla ciepłownictwa do 2030 r. z perspektywą do 2040 r." do dziś nie została przyjęta przez rząd. W „Krajowym Planie na Rzecz Energii i Klimatu" (316 stron) ciepłownictwu indywidualnemu i systemowemu poświęcono 7 stron. Opisany stan jest o tyle zaskakujący, że Komisja Europejska nadaje problematyce dekarbonizacji ciepłownictwa bardzo duże znaczenie. Docelowo w roku 2050 sieci ciepłownicze mają być neutralne klimatycznie i efektywne.

W referacie przedstawiono problemy, przed jakimi stoi polskie ciepłownictwo, szczególnie systemowe, na drodze do neutralności klimatycznej, przy założeniu, że działania te nie mogą doprowadzić do pogorszenia lub wręcz utraty bezpieczeństwa energetycznego kraju. Szczególną uwagę zwrócono na rolę w tym zakresie administracji rządowej i właściwie kierowanych finansowych programów pomocowych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, ciepłownictwo, neutralność klimatyczna

Koncepcja zintegrowanego monitorowania hałd i zwałowisk węgla z wykorzystaniem systemów powietrznych i naziemnych w projekcie DynGOSP

Dariusz MICHALAK*, Jarosław TOKARCZYK*, Piotr MATUSIAK*,
Daniel KOWOL*, Jerzy JAGODA*, Sławomir BARTOSZEK*

** Instytut Techniki Górniczej KOMAG*

Postępująca transformacja sektora energetycznego oraz konieczność racjonalnego zarządzania zasobami węgla kamiennego wymagają dostępu do aktualnych, wiarygodnych i porównywalnych danych dotyczących stanu hałd górniczych oraz zwałowisk węgla. Istotne znaczenie ma zarówno określanie ilości składowanego materiału, jak i rozpoznawanie zagrożeń związanych z procesami termicznymi, emisją pyłów i gazów, oddziaływaniem na wody powierzchniowe, niestabilnością skarp oraz przebiegiem rekultywacji. W projekcie DynGOSP opracowywana jest koncepcja wieloparametrycznego systemu monitorowania, integrującego dane pozyskiwane przez bezzałogowe statki powietrzne, naziemne urządzenia pomiarowe oraz specjalistyczne narzędzia informatyczne. Rozwiązanie stanowi element systemu zarządzania zapotrzebowaniem, produkcją, składowaniem, gospodarką zasobami i logistyką dystrybucji węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: DynGOSP, hałdy górnicze, zwałowiska węgla,
monitoring środowiskowy, bezzałogowe statki powietrzne, systemy naziemne,
fotogrametria, termowizja, analiza multispektralna, inwentaryzacja zasobów

Od agrobiomasy do paliwa procesowego: BioDust MS jako krajowy komponent wsparcia dekarbonizacji przemysłu energochłonnego

Tomasz MIROWSKI*, Tomasz WOJCIECHOWSKI**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
*** Mal-Sped Sp. z o.o.*

Przemysł energochłonny pozostaje jednym z najtrudniejszych obszarów transformacji energetycznej. W wielu procesach technologicznych, takich jak produkcja materiałów budowlanych, wapna, cementu, asfaltu czy wybranych produktów chemicznych, szybka elektryfikacja lub zastąpienie paliw kopalnych wodorem nie zawsze jest możliwe technicznie, ekonomicznie lub organizacyjnie. Jednocześnie rosnące koszty emisji CO_2, presja regulacyjna oraz potrzeba wzmacniania bezpieczeństwa surowcowego tworzą przestrzeń dla krajowych paliw biogenicznych o stabilnych parametrach użytkowych.

Referat przedstawia koncepcję i potencjał zastosowania BioDust MS – nowego biopaliwa pyłowego wytwarzanego z toryfikowanej biomasy agro. Produkt został zaprojektowany jako przemysłowy zamiennik pyłu węgla brunatnego, możliwy do wykorzystania w istniejących instalacjach z palnikami dużej mocy, w tym w sektorach wymagających stabilnego ciepła procesowego.

W referacie omówione zostaną właściwości użytkowe paliwa BioDust MS, logika jego zastosowania w przemyśle energochłonnym, potencjalne efekty redukcji emisji CO_2, wpływ na koszty wynikające z systemu handlu uprawnieniami do emisji oraz znaczenie budowy krajowego łańcucha dostaw opartego na agrobiomasie. Szczególna uwaga zostanie poświęcona roli miskanta olbrzymiego jako surowca energetycznego możliwego do uprawy w Polsce, w tym na gruntach słabszych lub marginalnych.

Referat pokazuje BioDust MS nie tylko jako paliwo alternatywne, lecz jako element szerszego modelu transformacji, łączącego rolnictwo, przemysł, logistykę biomasy, bezpieczeństwo surowcowe oraz dekarbonizację sektorów trudnych do elektryfikacji. Przedstawiona zostanie również perspektywa wdrożeniowa tego paliwa, wynikająca z doświadczenia firmy w dystrybucji paliw pyłowych oraz relacji z odbiorcami przemysłowymi.

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną w rozdzielczości 15-minutowej: modele ML kontra prognozy OSP

Kamil MISIUREK*, Tadeusz OLKUSKI*, Janusz ZYŚK*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną w krótkim horyzoncie ma kluczowe znaczenie dla bezpiecznej i ekonomicznej pracy systemu elektroenergetycznego. Rosnący udział odnawialnych źródeł energii oraz 15-minutowe interwały rynku energii zwiększają znaczenie prognoz o wysokiej rozdzielczości. Celem pracy było porównanie dokładności modeli Seasonal Naïve, Prophet, LightGBM i LSTM z oficjalną prognozą Operatora Systemu Przesyłowego (OSP), przyjętą jako benchmark operacyjny.

Badanie przeprowadzono na podstawie publicznych danych Polskich Sieci Elektroenergetycznych, obejmujących rzeczywiste obciążenie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i prognozy OSP. Zbiór obejmował okres od 14 czerwca 2024 r. do 25 stycznia 2026 r., a ocenę poza próbą wykonano dla okresu od 1 grudnia 2025 r. do 25 stycznia 2026 r. Dane miały rozdzielczość 15-minutową, czyli 96 obserwacji na dobę. Przyjęto horyzont 24 godzin oraz procedurę rolling-window z codziennym ponownym uczeniem modeli. Wykorzystano cechy kalendarzowe, cykliczne cechy pory dnia, opóźnienia obciążenia o 24 godziny i 7 dni oraz statystyki kroczące. Dokładność oceniono za pomocą MAE, RMSE, MAPE i współczynnika R^2.

Najwyższą dokładność uzyskała oficjalna prognoza OSP/PSE: MAE wyniosło 424 MW, RMSE 535 MW, MAPE 2,13%, a R^2 = 0,976. Wśród modeli niezależnych najlepszy był LightGBM, osiągając MAE 776 MW, RMSE 904 MW, MAPE 3,88% i R^2 = 0,875. Model LSTM uzyskał zbliżone R^2 = 0,874, lecz wyższy RMSE, równy 1238 MW, co wskazuje na większą podatność na duże odchylenia. Dla modelu Prophet MAPE wyniosło 6,03%, a dla Seasonal Naïve – 7,64%. LightGBM obniżył MAE względem Seasonal Naïve o około 49,8%, potwierdzając skuteczność wykorzystania cech kalendarzowych i opóźnionych wartości obciążenia.

Oficjalna prognoza OSP pozostaje trudnym do pobicia punktem odniesienia, między innymi dzięki dostępowi do danych niepublicznych, dotyczących topologii sieci, rynku i pogody. LightGBM stanowi jednak korzystny kompro-

mis między dokładnością i szybkością uczenia. LSTM nie zapewnił wyraźnej przewagi, a Prophet gorzej reagował na nagłe zmiany profilu zapotrzebowania. Największe błędy występowały w okresach świątecznych i przy nietypowych profilach popytu. Dalsza poprawa wymaga uwzględnienia danych pogodowych i anomalii kalendarzowych. Modele otwarte mogą służyć uczestnikom rynku jako niezależne narzędzia kontrolne, lecz nie zastępują infrastruktury prognostycznej OSP.

Słowa kluczowe: prognozowanie zapotrzebowania na energię elektryczną, rozdzielczość 15-minutowa, LightGBM, LSTM, Prophet, OSP, rolling-window

Badania zostały sfinansowane w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" (IDUB) oraz dotacji na działalność naukową Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (WEiP AGH; nr IDUB UB-696000-00001-Z01 oraz 501.00-210000-10000).

Ocena wystarczalności mocy wytwórczych jako narzędzie krajowego i unijnego bezpieczeństwa energetycznego

Patryk NALEPKA*

** TAURON Wytwarzanie; e-mail: Patryk.Nalepka@tauron-wytwarzanie.pl*

Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza znaczenia dokumentu oceny wystarczalności zasobów wytwórczych w ujęciu krajowym i unijnym dla bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Punktem wyjścia analizy są: szczegółowe określenie składowych bezpieczeństwa elektroenergetycznego, opis ram prawnych określających sposób przeprowadzenia oceny wystarczalności oraz różnice metodologiczne sporządzania ocen w ujęciu krajowym i unijnym. W dalszej części przeprowadzona została dyskusja dotycząca znaczenia poszczególnych założeń przyjmowanych w obu ocenach, w tym kluczowych z punktu widzenia ich rozróżnienia wymiany transgranicznej i ekonomicznej opłacalności krajowych jednostek wytwórczych. Następnie omówiona została kwestia możliwości pogodzenia krajowej i unijnej oceny wystarczalności w celu umożliwienia realizacji przez organy krajowe prawnego obowiązku zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej przy równoczesnym utrzymaniu zasady integracji rynku i współzależności systemów elektroenergetycznych w Unii Europejskiej. Wnioski z analizy zostały rozszerzone o ocenę wpływu oceny wystarczalności na akceptację przez Komisję Europejską interwencji publicznych w postaci dedykowanej pomocy publicznej, np. w formie mechanizmów mocowych. Mechanizmy te stają się bowiem, w świetle ostatniej unijnej reformy rynku energii elektrycznej, trwałym narzędziem zapewnienia niezbędnego poziomu adekwatności zasobów wytwórczych i redukcji zapotrzebowania.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej, krajowa ocena wystarczalności (NRAA), europejska ocena wystarczalności (ERAA), wymiana transgraniczna, mechanizmy mocowe

Znaczenie gospodarki o obiegu zamkniętym dla bezpieczeństwa surowcowego i transformacji energetycznej

Agnieszka NOWACZEK*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
e-mail: anowaczek@min-pan.krakow.pl

Transformacja energetyczna, rozwój odnawialnych źródeł energii i dekarbonizacja przemysłu prowadzą do wzrostu zapotrzebowania na surowce mineralne wykorzystywane m.in. w fotowoltaice, energetyce wiatrowej, magazynach energii i sieciach elektroenergetycznych. W tych warunkach gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) nabiera znaczenia nie tylko jako model ograniczania odpadów, lecz także jako instrument wzmacniający bezpieczeństwo surowcowe i odporność gospodarki. Celem opracowania było określenie roli GOZ w ograniczaniu presji materiałowej oraz wskazanie jej powiązań z transformacją energetyczną i sprawiedliwą transformacją.

Analizę przeprowadzono na podstawie przeglądu literatury i dokumentów strategicznych oraz porównania wybranych wskaźników dotyczących cyrkularności, zużycia materiałów i rozwoju OZE w Polsce na tle Unii Europejskiej. Uwzględniono przede wszystkim wskaźnik wykorzystania materiałów wtórnych, zużycie materiałów wewnętrznych na osobę (DMC), udział OZE w systemie elektroenergetycznym oraz rozwój mocy fotowoltaicznych i wiatrowych. Takie ujęcie pozwoliło równocześnie ocenić presję surowcową gospodarki i tempo zmian w sektorze energetycznym.

Wyniki wskazują, że Polska nadal wykazuje wyraźną lukę względem średniej UE w zakresie cyrkularności. Wskaźnik wykorzystania materiałów wtórnych wynosi 7,7% wobec 12,2% w UE, a zużycie materiałów wewnętrznych na osobę pozostaje wyższe niż średnia unijna (18,2 wobec 13,7 t/osobę). Jednocześnie dynamicznie rozwija się sektor OZE: w 2025 r. źródła odnawialne odpowiadały za 50,04% mocy zainstalowanej i 31,41% produkcji energii elektrycznej, a moc fotowoltaiki i energetyki wiatrowej osiągnęła odpowiednio 24,8 GW i 10,6 GW. Zestawienie tych tendencji pokazuje, że postęp dekarbonizacji nie eliminuje problemu wysokiej presji materiałowej.

GOZ może ograniczać zależność od surowców pierwotnych i importowanych poprzez rozwój recyklingu, odzysku i ponownego wykorzystania materiałów, wydłużanie cyklu życia produktów oraz tworzenie lokalnych łańcuchów wartości.

Surowce wtórne mogą częściowo zasilać rozwijające się sektory OZE, magazynowania energii i infrastruktury sieciowej, a poprawa efektywności zasobowej sprzyja jednocześnie zmniejszeniu energochłonności procesów produkcyjnych. Wymiar materiałowy powinien być przy tym integrowany z wymiarem społecznym transformacji, obejmującym rozwój nowych kompetencji, tworzenie miejsc pracy i budowanie akceptacji społecznej dla zmian.

Uzyskane wyniki wskazują, że GOZ powinna być traktowana jako jeden z filarów polityki surowcowej i energetycznej, a nie wyłącznie jako element polityki odpadowej. Większe wykorzystanie surowców wtórnych może zwiększać odporność gospodarki na zakłócenia dostaw, natomiast skuteczna transformacja wymaga równoczesnego łączenia innowacji technologicznych, inwestycji, efektywności materiałowej i energetycznej oraz działań społecznych. Integracja tych obszarów pozwala ograniczać ryzyko zastępowania zależności od paliw kopalnych nowymi zależnościami surowcowymi.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, bezpieczeństwo surowcowe, transformacja energetyczna, surowce wtórne, efektywność zasobowa, odnawialne źródła energii, sprawiedliwa transformacja

Rola biomasy w elektroenergetyce i ciepłownictwie

Piotr OLCZAK*, Michał KOPACZ*, Katarzyna STALA-SZLUGAJ*,
Jadwiga ZABAGŁO*, Filip ELŻANOWSKI**, Anna KUCIŃSKA**,
Zuzanna STACHURSKA**, Krzysztof ZAMASZ***, Tomasz SURMA****

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*
*** Elżanowski & Partnerzy Kancelaria Prawna sp.k.*
**** Akademia WSB*
***** Veolia Energia Polska*

Celem pracy jest ocena obecnej i przyszłej roli biomasy w polskim sektorze elektroenergetycznym i ciepłowniczym w warunkach postępującej transformacji energetycznej, rosnącego udziału niesterowalnych odnawialnych źródeł energii oraz zmian regulacyjnych wynikających z krajowej i unijnej polityki klimatyczno-energetycznej. Analiza obejmuje ocenę znaczenia biomasy z perspektywy bezpieczeństwa energetycznego, bilansowania systemu oraz kosztów zaopatrzenia odbiorców w energię.

W odniesieniu do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego przeprowadzono wielowariantową analizę scenariuszową. Uwzględniono scenariusz bazowy, odzwierciedlający stan systemu na koniec 2024 r., wariant całkowitego wycofania biomasy z KSE oraz scenariusze wzrostu i ograniczenia jej wykorzystania, opracowane na podstawie założeń scenariuszy WEM i WAM aktualizacji KPEiK. Analizie poddano wpływ poszczególnych wariantów na strukturę wytwarzania energii elektrycznej, pokrycie zapotrzebowania na moc i energię, możliwości bilansowania systemu oraz funkcjonowanie jednostek wytwórczych zasilanych biomasą przy rosnącym udziale energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej.

Uzupełnieniem analiz elektroenergetycznych jest ocena roli biomasy w sektorze ciepłowniczym, w którym stanowi ona podstawowe źródło OZE. W tym obszarze przeanalizowano jej znaczenie dla zmian struktury paliwowej, kosztów wytwarzania ciepła, kształtowania potencjalnych cen ciepła dla odbiorców oraz wskazano potencjalne ryzyka. Na potrzeby oszacowania skutków ewentualnego zastąpienia krajowej biomasy opracowano trzy hipotetyczne scenariusze (portfelowy, elektryfikacji i importowy), obejmujące perspektywę najbliższych 10 lat.

Uzyskane wyniki pozwoliły na sformułowanie odpowiedzi na pytanie, w jakim zakresie biomasa może pełnić funkcję stabilnego i sterowalnego źródła energii, uzupełniającego rozwój niesterowalnych OZE, a także jakie skutki systemowe i ekonomiczne mogą wiązać się ze zmianą jej udziału w krajowym miksie energetycznym i paliwowym (zarówno dla energii elektrycznej, jak i ciepła systemowego).

Słowa kluczowe: biomasa, elektroenergetyka, ciepłownictwo, ekonomia

Wybrane zagadnienia polityki energetycznej Polski w XXI wieku

Tadeusz OLKUSKI*, Wiktoria SOBCZYK**,
Kamil MISIUREK***, Patrycja ZUBIEŃ****

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;*
e-mail: olkuski@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0002-6256-9628
*** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;*
e-mail: sobczyk@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0003-2082-9644
**** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;*
e-mail: kmisiurek@agh.edu.pl; ORCID: 0009-0005-3757-9268
***** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;*
e-mail: pzubien@agh.edu.pl; ORCID: 0009-0008-0358-6701

Polityka energetyczna Polski, tak jak polityka energetyczna każdego kraju, przez lata ulegała modyfikacjom spowodowanym zmieniającymi się warunkami funkcjonowania państwa, zmieniającymi się potrzebami w zakresie paliw i energii, jak również zmieniającym się otoczeniem międzynarodowym. Pierwszym dokumentem określającym kierunki rozwoju sektora energetycznego w Polsce były „Założenia polityki energetycznej Polski do 2020 roku", opublikowane przez Radę Ministrów 22 lutego 2000 r. W dokumencie przedstawiono długoterminową prognozę energetyczną opartą na scenariuszach makroekonomicznego rozwoju kraju do 2020 r., uwzględniając w niej zmieniające się otoczenie gospodarcze Polski oraz globalizację rynków energii. Stwierdzono, że głównym celem państwa jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju. Przedstawiono też trzy scenariusze: *Przetrwania, Odniesienia i Postępu Plus*, określające między innymi poziom krajowego wzrostu PKB, a także tempo procesu integracji z Unią Europejską.

1 lipca 2005 r. opublikowano dokument „Polityka energetyczna Polski do 2025 roku". Potwierdzono w nim zasadność kontynuowania polityki energetycznej, której celem było zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju, wzrost konkurencyjności gospodarki i jej efektywności energetycznej oraz ochrona środowiska przed negatywnymi skutkami działalności energetycznej, związanej z wytwarzaniem, przesyłaniem i dystrybucją energii i paliw. Zdefiniowano także pojęcia bezpieczeństwa energetycznego, bezpieczeństwa ekologicznego, dywersyfikacji źródeł dostaw paliw i energii oraz samowystarczalności energetycznej kraju.

Dnia 10 listopada 2009 r. Rada Ministrów przyjęła dokument „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku". Określono w nim podstawowe kierunki polityki energetycznej kraju, którymi są: poprawa efektywności energetycznej, wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii, dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej, rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw, rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii, ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.

Po wielu latach oczekiwania, 2 lutego 2021 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska opublikowało „Politykę energetyczną Polski do 2040 roku". W przeciwieństwie do poprzednich dokumentów zamiast scenariuszy w dokumencie wprowadzono filary:

- I filar. Sprawiedliwa transformacja,
- II filar. Zeroemisyjny system energetyczny,
- III filar. Dobra jakość powietrza.

Przyjęto też wskaźniki będące miarą realizacji celu PEP2040. Są one następujące:

- nie więcej niż 56% węgla w wytwarzaniu energii elektrycznej w 2030 r.,
- co najmniej 23% OZE w końcowym zużyciu energii brutto w 2030 r.,
- wdrożenie energetyki jądrowej w 2033 r.,
- ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 30% do 2030 r., w stosunku do 1990 r.,
- zmniejszenie zużycia energii pierwotnej o 23% do 2030 r., w stosunku do prognoz zużycia z 2007 r.

W marcu 2022 r., wskutek wybuchu wojny na Ukrainie, dokonano aktualizacji PEP2040. Do trzech istniejących filarów dołożono czwarty: *Suwerenność energetyczna*.

Słowa kluczowe: polityka energetyczna, założenia polityki energetycznej, scenariusze rozwoju

Badania te zostały sfinansowane w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości – Uniwersytet Badawczy" (IDUB) oraz z dotacji na badania naukowe przyznanej przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie; WEiP AGH, nr IDUB UB-696000-00001-Z01 oraz 501.00-210000-10000.

Węgiel koksowy – perspektywy rynkowe

Urszula OZGA-BLASCHKE*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Globalny rynek został zdominownany przez region Azji i Pacyfiku, napędzany rosnącą populacją, inwestycjami w projekty infrastrukturalne na dużą skalę oraz urbanizacją, szczególnie w gospodarkach wschodzących, takich jak Chiny i Indie, które generują znaczny popyt na stal i węgiel metalurgiczny. Indie i Azja Południowo-Wschodnia znacząco inwestują w rozwój technologii wielkopiecowej (BOF), co stanowi główne wsparcie dla globalnego popytu na węgiel koksowy. Nowe inwestycje w moce produkcyjne w Indonezji, Wietnamie i Bangladeszu dodatkowo zwiększają bazę popytową.

Daleko idący wpływ na sytuację rynkową mają Chiny ze względu na ich politykę gospodarczą, poziom produkcji i eksportu stali, udział w rynku spot i ruchy na krajowym rynku kontraktów terminowych. Stabilizacja lub wzrost ich zapotrzebowania na węgiel koksowy rzutuje na globalne ceny spot w handlu na rynku międzynarodowym.

Zmienność cen stanowi stałe ryzyko rynkowe. W ciągu jednej dekady ceny spot węgla koksowego historycznie wahały się od poniżej 100 USD do ponad 600 USD za tonę, co stwarza znaczną niepewność co do zysków zarówno dla sektora wydobywczego, jak i producentów stali korzystających z tego surowca. Mimo długoterminowego konsensusu, zakładającego stopniowy spadek cen do 2030 r., krótkoterminowo analitycy szacują obecnie wyceny na poziomie 250–264 USD/tonę, wspierane przez zakłócenia w dostawach (utrzymujące się ograniczenia podaży w Australii) i presję na koszty transportu w Mongolii (wysokie koszty oleju napędowego i transportu lądowego).

Długoterminowe ryzyko strukturalne dla popytu na węgiel koksowy stwarza ekologiczna transformacja w kierunku zielonej stali, obejmująca przede wszystkim produkcję stali w piecach łukowych z wykorzystaniem wodoru i bezpośredniej redukcji żelaza. Jest jednak mało prawdopodobne, aby spowodowała znaczący spadek globalnego zużycia węgla metalurgicznego przed połową lat 30. XXI w.

Analitycy przewidują, że do 2034 r. stal oparta na wodorze będzie stanowić jedynie około 5–10% globalnej produkcji stali, co oznacza, że ponad 90% obecnej produkcji wielkopiecowej będzie nadal wymagało węgla koksowego.

Stopniowy spadek popytu w Europie i Japonii po 2030 r. będzie częściowo zniwelowany przez rosnący popyt w Indiach, Azji Południowo-Wschodniej i Afryce, gdzie technologia BOF pozostanie dominującą przez co najmniej dwie dekady.

Słowa kluczowe: węgiel koksowy, rynek międzynarodowy, ceny

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

Zmiana właściwości technicznych odpadów toryfikowanych z wykorzystaniem materiału ofiarnego – badania w LECO EATC Berlin
Poster

Wiktor PACURA*, Piotr PLATA*, Julia DOMAGAŁA*, Tomasz MIROWSKI*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: wiktor.pacura@min-pan.krakow.pl

Toryfikacja jest procesem termochemicznego przetwarzania materiałów w warunkach ograniczonego dostępu tlenu, prowadzącym do usunięcia wilgoci i części lotnych związków organicznych oraz do stabilizacji biologicznej materiału.

Celem badań była ocena możliwości uzyskania toryfikatów o powtarzalnym składzie fizykochemicznym z odpadów tekstylnych – bawełny i akrylu – z zastosowaniem pestek oliwek jako materiału ofiarnego. Materiał ofiarny miał ograniczać oddziaływanie resztkowego tlenu obecnego w tyglu poprzez jego reakcję z wydzielającymi się substancjami lotnymi, a jednocześnie wspomagać wytworzenie lokalnej atmosfery o ograniczonej zawartości tlenu.

Próbki tekstyliów umieszczano w aluminiowych gilzach w celu ograniczenia kontaktu z kondensującymi produktami ciekłymi, w tym frakcją olejową powstającą podczas termicznego rozkładu pestek oliwek. Proces prowadzono w zakresie temperatur 200–400°C. Otrzymane toryfikaty scharakteryzowano na podstawie składu elementarnego oraz analizy technicznej, a odchylenie standardowe wyników zastosowano jako miarę jednorodności i powtarzalności otrzymywanych materiałów.

Badania wykonano w LECO European Application and Training Center w Berlinie, z wykorzystaniem aparatury analitycznej o wysokiej czułości i powtarzalności, umożliwiającej precyzyjne oznaczenie właściwości fizykochemicznych produktów. Uzyskane wyniki pozwoliły ocenić przydatność materiału ofiarnego w procesach wsadowych, w których ograniczanie dostępu tlenu może stanowić alternatywę dla stosowania gazu obojętnego.

Slowa kluczowe: toryfikacja, tekstylia, waloryzacja odpadów, materiał ofiarny, analiza odpadów

Od konsensusu ekologicznego do sporu politycznego: zarządzanie instytucjonalne a percepcja społeczna we wdrażaniu Strefy Czystego Transportu

Monika PEPŁOWSKA*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
ORCID iD: 0000-0001-9150-7525; e-mail: monika@min-pan.krakow.pl

Artykuł przedstawia studium przypadku Strefy Czystego Transportu w Krakowie, analizowanej w ramach projektu CO-SUSTAIN[1,2], którego celem jest badanie demokratycznej transformacji energetycznej i nowych form partycypacji obywatelskiej. W ramach prowadzonych badań przeanalizowano wdrażanie Strefy Czystego Transportu (SCT) w Krakowie jako przykład ewolucji partycypacji politycznej wokół inicjatywy „drugiej generacji" w miejskiej polityce jakości powietrza, wyrosłej z wcześniejszego sukcesu Krakowskiego Alarmu Smogowego (KAS) i wprowadzonego w 2019 r. zakazu spalania paliw stałych w gospodarstwach domowych. Opierając się na wielopoziomowej perspektywie (MLP) oraz typologii rozróżniającej pośrednie formy zaangażowania (na przykład wsparcie eksperckie i organizacyjne) od bezpośrednich form nacisku na władzę (na przykład udział w konsultacjach, protesty), artykuł pokazuje, jak reforma prawa krajowego z 2018 r. umożliwiła powstanie pilotażowej strefy w dzielnicy Kazimierz w Krakowie oraz jak inicjatywa ta przechodziła kolejno przez formalną partycypację polityczną, zaangażowanie obywatelskie wspierających ją organizacji eksperckich, ponowną formalizację w drodze uchwały Rady Miasta, aż po jawny aktywizm sprzeciwu w latach 2023–2024. Analiza łączy perspektywę instytucjonalną urzędników odpowiedzialnych za wdrożenie SCT z analizą dokumentów legislacyjnych, konsultacyjnych i medialnych, mapowaniem sieci interesariuszy oraz niezależnymi danymi ankietowymi dotyczącymi postaw mieszkańców wobec jakości powietrza w Krakowie w ciągu

[1] CO-SUSTAIN (Pathways for CO-creation between local authorities and collective actions for a SUSTAINable transition); Call: HORIZON-CL2-2023-DEMOCRACY-01; Temat: HORIZON-CL2-2023-DEMOCRACY-01-05; Rodzaj działania: Działania w zakresie badań i innowacji HORIZON.

[2] Projekt CO-SUSTAIN jest finansowany przez Unię Europejską. Wyrażone poglądy i opinie są jednak poglądami i opiniami wyłącznie autora/autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej ani Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Badań Naukowych. Ani Unia Europejska, ani instytucja przyznająca grant nie ponoszą za nie odpowiedzialności.

ostatniej dekady. Kluczowym ustaleniem jest rozbieżność między systematycznie poprawiającymi się postawami mieszkańców wobec jakości powietrza a narastającym sporem politycznym wokół samej SCT, który nasilił się od momentu, gdy zasięg strefy objął całe miasto, a do debaty weszli nowi aktorzy polityczni, niezwiązani wcześniej z tematyką transportową ani środowiskową. Artykuł dyskutuje tę rozbieżność, wskazując, że upolitycznienie SCT wynikało w większym stopniu z bezpośrednich kosztów materialnych ponoszonych przez szeroką i zróżnicowaną grupę mieszkańców i przedsiębiorców niż z niezaspokojonego zapotrzebowania na czystsze powietrze. Wskazuje też czynniki różnicujące ten przypadek od wcześniejszej, znacznie mniej spornej kampanii KAS, z implikacjami dla projektowania i wdrażania kolejnych polityk niskoemisyjnych „drugiej generacji" w miastach Europy Środkowo-Wschodniej, gdzie sukces wcześniejszych interwencji środowiskowych nie gwarantuje analogicznie łatwego przyjęcia kolejnych.

Słowa kluczowe: Strefa Czystego Transportu, strefa niskoemisyjna, formy partycypacji politycznej, wielopoziomowa perspektywa, sprawiedliwa transformacja, analiza interesariuszy, zarządzanie miejskie, Kraków, jakość powietrza, percepcja społeczna

Finansowanie Projekt CO-SUSTAIN (Pathways for CO-creation between local authorities and collective actions for a SUSTAINable transition); Call: HORIZON-CL2-2023-DEMOCRACY-01; Temat: HORIZON-CL2-2023-DEMOCRACY-01-05; Rodzaj działania: Działania w zakresie badań i innowacji HORIZON. Projekt CO-SUSTAIN jest finansowane przez Unię Europejską. Wyrażone poglądy i opinie są jednak poglądami i opiniami wyłącznie autora/autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej ani Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Badań Naukowych. Ani Unia Europejska, ani instytucja przyznająca grant nie ponoszą za nie odpowiedzialności.

Ewolucja materiałów i technologii magazynowania energii w bateriach: od ogniw Li-ion po ogniwa hybrydowe

Justyna PŁOTEK*, Emil HANC*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: justynap@min-pan.krakow.pl, emilhanc@min-pan.krakow.pl*

Dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii, postępująca elektryfikacja transportu i przemysłu oraz transformacja energetyczna sprawiają, że efektywne magazynowanie energii staje się jednym z kluczowych wyzwań współczesnej energetyki. W wystąpieniu podjęta zostanie tematyka znaczenia magazynów energii dla stabilizacji systemu elektroenergetycznego, integracji odnawialnych źródeł energii oraz zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego. Przedstawione zostaną również uwarunkowania i perspektywy rozwoju magazynowania energii w Polsce.

Głównym tematem wystąpienia jest rozwój technologii elektrochemicznego magazynowania energii – od dominujących na rynku ogniw litowo-jonowych (Li-ion) po technologie nowej generacji, będące przedmiotem intensywnych badań, określane mianem post-lithium. Wśród nich szczególną uwagę poświęcono ogniwom sodowo-jonowym (Na-ion), ogniwom ze stałym elektrolitem oraz ogniwom hybrydowym (Li/Na) wraz z prezentacją wyników badań własnych.

Zaprezentowane zostaną budowa i zasada działania ogniw Li-ion, ze szczególnym uwzględnieniem roli materiałów elektrodowych i elektrolitu oraz ograniczeń związanych z dostępnością surowców, kosztami, bezpieczeństwem, a także możliwością dalszego zwiększania parametrów użytkowych. Następnie omówiona zostanie technologia ogniw Na-ion, stanowiąca interesującą alternatywę dla części zastosowań ogniw Li-ion. Przedstawiona zostanie również koncepcja ogniw hybrydowych Li/Na, łącząca zalety obu układów i otwierająca nowe możliwości w zakresie projektowania materiałów oraz mechanizmów magazynowania energii. Ostatnim poruszanym zagadnieniem będzie postęp elektrolitów – od ciekłych układów organicznych do elektrolitów stałych. Porównane zostaną ich właściwości, zalety i ograniczenia, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa, trwałości, gęstości energii oraz perspektyw komercjalizacji.

Wystąpienie będzie zatem próbą odpowiedzi na pytanie, w jakim kierunku zmierza rozwój współczesnych baterii oraz które z nowych materiałów i architektur ogniw mogą odegrać kluczową rolę w systemie magazynowania energii.

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach XII konkursu na wspólne projekty bilateralne w ramach współpracy polsko-tajwańskiej (numer umowy: POLTAJ12/2024/58/HYBATY/2025).

Słowa kluczowe: magazynowanie energii, ogniwa Li-ion, ogniwa Na-ion, baterie

Rozwój bazy PMG w kontekście zwiększenia odporności krajowego sektora energetycznego

Krzysztof POLAŃSKI*, Tomasz WŁODEK*, Adam SZURLEJ*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Rozbudowa krajowych podziemnych magazynów gazu (PMG) staje się jednym z kluczowych aspektów dotyczących wzmacniania odporności polskiego sektora energetycznego na rosnącą zmienność rynku paliw, a także dynamicznie zwiększającego się udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w krajowym miksie energetycznym. Podziemne magazyny gazu pełnią funkcję strategiczną, umożliwiając stabilizację systemu poprzez zwiększenie elastyczności bilansowania, zapewnienie bezpieczeństwa dostaw gazu oraz ograniczenie ryzyka związanego z zakłóceniami infrastrukturalnymi, geopolitycznymi czy sezonowym popytem. Porównano tempo zapełnienia krajowych PMG z PMG wybranych krajów UE przed zbliżającym się sezonem grzewczym na tle doświadczeń z lat ubiegłych.

Analizie poddano kierunki rozwoju bazy PMG w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów technicznych, operacyjnych i regulacyjnych, które determinują ich przyszłą rolę w krajowej transformacji energetycznej w obszarze magazynowania energii. Zwrócono uwagę na perspektywy rozwoju krajowego rynku gazu, związane przede wszystkim ze wzrostem zapotrzebowania na gaz ze strony sektora energetycznego.

Wskazano również na potencjał integracji PMG z magazynowaniem gazów nisko- i zeroemisyjnych, takich jak biometan czy wodór, co w perspektywie najbliższych dekad może stać się jednym z kluczowych filarów budowy elastycznego i odpornego systemu energetycznego. Rozbudowa infrastruktury magazynowej w oparciu o rozpoznane struktury geologiczne jest działaniem o znaczeniu fundamentalnym dla zwiększenia odporności zarówno krajowego systemu gazowego, jak i elektroenergetycznego, szczególnie w kontekście rosnącej roli OZE oraz konieczności zapewnienia stabilnych i bezpiecznych dostaw energii.

Słowa kluczowe: podziemne magazyny gazu, system gazowy,
system elektroenergetyczny, magazynowanie energii

Analiza porównawcza wskaźników energetycznych układu gazowo-parowego i elektrowni parowej z nadbudowaną turbiną gazową

Cezary POLSKI*, Tomasz POLSKI*, Jacek ROMAN**,
Natalia KASIŃSKA**, Agata MIELCAREK**, Daria ZŁOTECKA**,
Robert WRÓBLEWSKI**, Radosław SZCZERBOWSKI**,
Jarosław BARTOSZEWICZ**, Bartosz CERAN**

** ENERGOTHERM Sp. z o.o., Przeźmierowo*
*** Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, Poznań;*
e-mail: bartosz.ceran@put.poznan.pl

W artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej wskaźników energetycznych układu gazowo-parowego oraz układu elektrowni parowej z nadbudowaną turbiną gazową. Określono wpływ zastosowania turbiny gazowej na charakterystyki pracy oraz efektywność energetyczną układu parowego. Opracowano modele obu analizowanych konfiguracji w środowisku EBSILON®Professional.

Na ich podstawie wyznaczono wartości parametrów termodynamicznych, opracowano charakterystyki energetyczne oraz wyznaczono wartości podstawowych wskaźników energetycznych, takich jak jednostkowe zużycie paliwa oraz sprawność energetyczna. Szczególną uwagę zwrócono na zachowanie układów przy częściowych obciążeniach, które mają istotne znaczenie dla oceny ich rzeczywistej efektywności eksploatacyjnej.

Celem porównania jest ocena wpływu zastosowania nadbudowy bloku parowego turbiną gazową na efektywność energetyczną układu elektrowni parowej oraz określenie różnic w charakterystykach i wskaźnikach energetycznych w odniesieniu do klasycznego układu gazowo-parowego.

Przeprowadzona analiza porównawcza umożliwia ocenę efektywności energetycznej obu konfiguracji oraz wskazanie zakresów obciążenia, w których zastosowanie nadbudowy układu parowego turbiną gazową może przynosić największe korzyści. Opracowane modele mogą stanowić podstawę do dalszych analiz techniczno-ekonomicznych, w tym oceny kosztów eksploatacji, zużycia paliwa oraz wpływu analizowanych konfiguracji na emisję zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: układ gazowo-parowy, układ dwupaliwowy, analiza porównawcza

Obraz sektora górnictwa węgla kamiennego po ośmiu miesiącach 2026 r.

Mirosław SKIBSKI*, Marta JARNO**

** Agencja Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie, Oddział w Katowicach; ORCID 0009-0000-9286-5797*

*** Agencja Rozwoju Przemysłu SA w Warszawie, Oddział w Katowicach*

Katowicki Oddział Agencji Rozwoju Przemysłu SA od ponad dwudziestu lat prowadzi monitoring sektora górnictwa węgla kamiennego. Prowadzony jest on na podstawie art. 25 ustawy z dnia 7 września 2007 r. o funkcjonowaniu górnictwa węgla kamiennego, w oparciu o zawierane rokrocznie umowy z ministrem odpowiedzialnym za ten sektor. Równolegle Oddział prowadzi badania statystyczne górnictwa węgla kamiennego i brunatnego, których wynik prezentowany jest na portalu polskirynekwegla.pl.

W materiale zostaną zaprezentowane podstawowe wielkości charakteryzujące sektor górnictwa węgla kamiennego w latach 2011–2025 oraz za osiem miesięcy 2026 r. W szczególności przedstawione zostaną: wydobycie węgla kamiennego, jego sprzedaż w podziale na rynki zbytu, zgromadzone zapasy, ceny zbytu węgla, stan i struktura zatrudnienia, podstawowe wielkości ekonomiczno-finansowe branży węgla kamiennego, wpłaty z tytułu bieżących należnych płatności publicznoprawnych, nakłady na inwestycje zarówno w budownictwo, jak i zakupy gotowych dóbr, oraz bilans handlowy węgla kamiennego uwzględniający import tego surowca.

Słowa kluczowe: wyniki operacyjne i finansowe górnictwa, monitoring górnictwa, węgiel kamienny

Od oczyszczania ścieków do odzysku zasobów i energii – modele biznesu gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ)

Marzena SMOL*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: smol@meeri.pl*

Transformacja sektora oczyszczania ścieków zgodnie z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) prowadzi do stopniowej zmiany sposobu postrzegania oczyszczalni ścieków – z obiektów służących przede wszystkim usuwaniu zanieczyszczeń w instalacje umożliwiające odzysk zasobów, takich jak woda, surowce (w tym składniki pokarmowe, materia organiczna) oraz energia. W tym ujęciu szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia energetyczne, które wpływają zarówno na efektywność środowiskową i ekonomiczną stosowanych technologii, jak i na możliwość tworzenia trwałych modeli biznesu wspierających wdrażanie rozwiązań GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej.

Celem pracy jest przedstawienie znaczenia aspektów energetycznych w kształtowaniu modeli biznesu GOZ dla oczyszczalni ścieków. Energia stanowi istotny element kosztów eksploatacyjnych obiektów, a jednocześnie ścieki i powstające w procesie ich oczyszczania osady mogą być traktowane jako źródło energii i surowców. Szczególne znaczenie ma wykorzystanie potencjału energetycznego materii organicznej, m.in. poprzez fermentację beztlenową i produkcję biogazu, jego wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej i ciepła, a także możliwość dalszego przetwarzania do biometanu. Uzupełnieniem tych działań może być poprawa efektywności energetycznej procesów technologicznych oraz integracja oczyszczalni z odnawialnymi źródłami energii.

Z perspektywy modeli biznesu istotne jest jednak nie tylko zwiększenie produkcji energii, ale przede wszystkim kompleksowe bilansowanie przepływów energii i materiałów. Technologie umożliwiające odzysk wody, fosforu, azotu lub innych surowców mogą wymagać dodatkowych nakładów energetycznych, dlatego ich zasadność powinna być analizowana z uwzględnieniem kosztów energii, możliwości jej lokalnego wytwarzania oraz wartości ekonomicznej odzyskiwanych produktów. Powiązanie odzysku surowców z produkcją i efektywnym wykorzystaniem energii może prowadzić do ograniczenia kosztów operacyjnych, zwiększenia poziomu samowystarczalności energetycznej oczyszczalni oraz dywersyfikacji źródeł przychodów i oszczędności. Energia staje się

tym samym nie tylko czynnikiem kosztowym, lecz także jednym z elementów tworzenia wartości w modelach biznesowych GOZ.

Rozwój modeli biznesu GOZ wymaga jednoczesnego uwzględnienia uwarunkowań technologicznych, ekonomicznych, środowiskowych i regulacyjnych. Istotną rolę odgrywają m.in. skala oczyszczalni, dostępność substratów do produkcji biogazu, lokalne zapotrzebowanie na energię i odzyskiwane produkty, ceny energii, możliwości współpracy z innymi podmiotami oraz uwarunkowania prawne dotyczące wprowadzania odzyskanych zasobów na rynek. W praktyce oznacza to potrzebę odejścia od oceny pojedynczych technologii na rzecz zintegrowanego podejścia uwzględniającego cały łańcuch tworzenia wartości.

Uwzględnienie zagadnień energetycznych w modelach biznesu GOZ może zatem stanowić jeden z kluczowych czynników transformacji oczyszczalni ścieków w kierunku lokalnych centrów odzysku zasobów i energii. Synergia pomiędzy efektywnością energetyczną, produkcją energii oraz odzyskiem surowców może zwiększać odporność ekonomiczną oczyszczalni na zmiany cen energii i zasobów, ograniczać ich oddziaływanie na środowisko oraz tworzyć nowe możliwości współpracy z sektorem energetycznym, rolnictwem i lokalnym przemysłem. Takie podejście wskazuje, że skuteczne wdrażanie GOZ w sektorze gospodarki wodno-ściekowej wymaga traktowania energii nie jako odrębnego zagadnienia technicznego, lecz jako integralnego elementu modelu biznesu, decydującego o ekonomicznej i środowiskowej trwałości rozwiązań opartych na odzysku zasobów, w myśl założeń zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: gospodarka o obiegu zamkniętym, GOZ, oczyszczalnia ścieków, modele biznesu, energia, efektywność energetyczna, biogaz, odzysk zasobów

Niniejsza praca została przygotowana w ramach projektu „Zrównoważona wydajność przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w procesie transformacji w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym”, finansowanego z Narodowego Centrum Nauki, numer umowy UMO-2025/57/B/HS4/03180 do projektu badawczego nr 2025/57/B/HS4/03180.

NARODOWE CENTRUM NAUKI

Platforma CirCan: od wiedzy do współpracy na rzecz obiegu składników odżywczych

Marzena SMOL*, Edyta WALUŚ*, Dominika SZOŁDROWSKA*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: smol@meeri.pl*

Odzysk i recykling składników pokarmowych mają kluczowe znaczenie dla ograniczania ich strat, poprawy efektywności wykorzystania zasobów oraz przywracania dobrego stanu ekologicznego Morza Bałtyckiego. Pomimo rosnącego zasobu wiedzy oraz wspólnych ram politycznych wyznaczonych przez Regionalną Strategię Recyklingu Składników Pokarmowych dla Morza Bałtyckiego wdrażanie dostępnych rozwiązań nadal stanowi wyzwanie. Wyniki badań, wiedza i dobre praktyki są często rozproszone pomiędzy różnymi projektami i sektorami, natomiast ograniczone zasoby i zdolności instytucjonalne utrudniają ich skuteczne wykorzystanie w kształtowaniu polityk na poziomie krajowym i regionalnym. W odpowiedzi na te wyzwania w ramach międzynarodowego projektu „Capacities for Nutrient Circularity in the Baltic Sea Region" utworzono platformę CirCan, której celem jest zmniejszenie luki pomiędzy dostępną wiedzą a jej praktycznym wykorzystaniem. Platforma ma służyć gromadzeniu, integrowaniu i upowszechnianiu rezultatów projektów i inicjatyw dotyczących gospodarki o obiegu zamkniętym oraz odzysku i recyklingu składników pokarmowych.

Niniejsza praca przedstawia założenia i planowane kierunki działania platformy CirCan. Będzie ona integrować wiedzę dotyczącą m.in. rynków składników pokarmowych pochodzących z recyklingu, instrumentów politycznych i ekonomicznych wspierających ich wykorzystanie, a także środowiskowych i społecznych korzyści oraz potencjalnych kompromisów związanych z wdrażaniem obiegu zamkniętego składników pokarmowych. Istotnym elementem platformy będzie również wspieranie wymiany wiedzy i współpracy pomiędzy podmiotami zaangażowanymi w kształtowanie i wdrażanie rozwiązań w tym obszarze. Oczekuje się, że CirCan przyczyni się do wzmocnienia potencjału instytucjonalnego oraz skuteczniejszego wykorzystania istniejącej wiedzy w regionie Morza Bałtyckiego. Poprzez łączenie wiedzy, doświadczeń i interesariuszy platforma ma wspierać przechodzenie od rozproszonych rezultatów pojedynczych inicjatyw do skoordynowanych i opartych na dowodach działań. Istotnym obszarem podejmowanym w ramach CirCan będą również zagadnienia energetyczne,

w szczególności powiązania pomiędzy odzyskiem i recyklingiem składników pokarmowych, efektywnością energetyczną oraz wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Uwzględnienie tych zależności pozwoli na bardziej kompleksowe podejście do gospodarki o obiegu zamkniętym, łączące efektywne gospodarowanie zasobami z transformacją energetyczną. W dłuższej perspektywie działania platformy mogą przyczynić się do skuteczniejszego domykania obiegów składników pokarmowych, ograniczenia ich strat do środowiska, poprawy stanu ekologicznego Morza Bałtyckiego oraz rozwoju bardziej zasobo- i energetycznie efektywnych, zrównoważonych i odpornych systemów rolniczych. CirCan ma tym samym stanowić przestrzeń, w której dostępna wiedza przekłada się na współpracę i konkretne działania na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym w regionie Morza Bałtyckiego.

Slowa klucze: gospodarka o obiegu zamkniętym, składniki odżywcze, woda, region Morza Bałtyckiego

Niniejsza praca została przygotowana w ramach projektu „Capacities for Nutrient Circularity in the Baltic Sea Region" (CirCan), finansowanego z programu Interreg Baltic Sea Region ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR), nr projektu #P012 (2026–2028).



Projekt DynGOSP. System zarządzania gospodarką zasobami węgla kamiennego w oparciu o metodykę dynamicznej bazy zasobowej z wykorzystaniem wskaźnika ryzyka AHP oraz koncepcji ekonomicznej parceli eksploatacyjnej (EPE)

Eugeniusz J. SOBCZYK*, Jarosław KULPA*, Dominik GALICA*, Michał KOPACZ*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Postępująca dekarbonizacja oraz zmiana uwarunkowań rynkowych wymuszają wdrożenie nowoczesnych narzędzi oceny potencjału surowcowego węgla kamiennego w Polsce. W ramach projektu DynGOSP (Program GOSPOSTRATEG IX) opracowano innowacyjny system zarządzania gospodarką zasobami, oparty na koncepcji dynamicznej bazy zasobowej (DBZ), stanowiący odejście od dotychczasowej, statycznej ewidencji złóż. Fundamentem metodyki jest dostosowanie raportowania do międzynarodowego standardu JORC Code z wykorzystaniem trójwymiarowych modeli geologicznych złóż (oprogramowanie MineScape i Deswik) oraz cyfrowego harmonogramowania produkcji.

Głównym kryterium kwalifikacji zasobów geologicznych (Resources) do kategorii zasobów wydobywalnych (Reserves) jest koncepcja ekonomicznej parceli eksploatacyjnej (EPE). Parcela EPE definiuje zbiór ścian wydobywczych gwarantujących rentowność eksploatacji przy zachowaniu twardego warunku brzegowego NPV ≥ 0. W rachunku opłacalności finansowej (DCF/FCFF) bezpośrednio uwzględnia się stopień uciążliwości warunków geologiczno-górniczych. Zastosowanie wielokryterialnego modelu AHP/FAHP pozwoliło na kwantyfikację 11 kluczowych czynników ryzyka (m.in. zagrożenia metanowe, tąpaniami, wodne, głębokość zalegania pokładu oraz wskaźnik zuskokowania) i wyznaczenie zagregowanego wskaźnika ryzyka, który bezpośrednio koryguje wysokość stopy dyskontowej.

Metodyka przetestowana dla kopalń Południowego Koncernu Węglowego SA (Janina, Sobieski, Brzeszcze) umożliwia szacowanie bazy zasobów wydobywalnych w czasie rzeczywistym, w zależności od zmian cen węgla i kosztów operacyjnych, i stanowi obiektywne narzędzie wspierające decyzje rządu oraz spółek wydobywczych.

Ocena wpływu elektrowni fotowoltaicznej na środowisko

Wiktoria SOBCZYK*, Cristiano FELTRI**, Javier SORIANO***,
Ciro RIPPA****, Elf van DIJK*****

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Polska*
*** Politecnico di Milano, Włochy,*
**** Universidad Politécnica de Madrid, Hiszpania*
***** Università degli studi di Napoli, Włochy*
****** Hogeschool Utrecht, Niderlandy*

W artykule przedstawiono ocenę ryzyka środowiskowego związanego z funkcjonowaniem farmy fotowoltaicznej Strzelino, koncentrując się na jej potencjalnym wpływie na lokalne ekosystemy. Energia słoneczna uznawana jest za jedną z najczystszych, jednak jej rozwój może w dalszym ciągu wpływać na środowisko [1]. Elektrownie fotowoltaiczne wykorzystują światło słoneczne do wytwarzania energii elektrycznej poprzez efekt fotowoltaiczny. Jest to bardzo ważne źródło energii, ponieważ odznacza się bardzo niskimi kosztami eksploatacji i zmniejsza zależność od paliw kopalnych.

Farma fotowoltaiczna Strzelino zlokalizowana jest we wsi Strzelino, położonej w gminie Słupsk i powiecie słupskim, w województwie pomorskim (Polska).

W celu oceny wpływu elektrowni fotowoltaicznej na środowisko wykorzystano dwie metody: Analityczny Proces Hierarchiczny (AHP) oraz macierz Leopolda. Uzyskane w analizie wyniki wskazują, że najwyższa uzyskana waga dotyczy estetyki krajobrazu, ponieważ wielkopolowe instalacje paneli słonecznych znacząco zmieniają krajobraz wiejski, co jest najbardziej widocznym efektem. Elektrownia modyfikuje użytkowanie gruntów i może mieć wpływ na społeczności ludzi mieszkających w pobliżu lub na ich działalność rolniczą. Jednocześnie oferuje pewne korzyści społeczne i ekonomiczne, takie jak zapewnienie lokalnego zatrudnienia i produkcja energii odnawialnej. Podczas procesu budowy elektrowni nastąpiły jedynie tymczasowe zmiany roślinności i dzikiej przyrody oraz procesy związane z zagęszczeniem gleby i wyrównywaniem terenu, które mogą być odwracalne poprzez odpowiednią rekultywację. Dzięki generacji fotowoltaicznej nie notuje się zmian w atmosferze.

Ocena pracy elektrowni fotowoltaicznej pokazuje, że estetyka krajobrazu jest najbardziej czułym elementem środowiska, głównie ze względu na wpływ wizualny dużych pól paneli [2]. Umiarkowane zmiany zaobserwowano w litosfe-

rze i biosferze, były one spowodowane zajęciem terenu i usunięciem roślinności podczas budowy. Wpływ na hydrosferę, atmosferę i antroposferę pozostaje bardzo niewielki, ponieważ eksploatacja elektrowni nie powoduje emisji zanieczyszczeń, hałasu ani zanieczyszczenia wody.

Ogólnie rzecz biorąc, wpływ elektrowni fotowoltaicznej w Strzelinie na środowisko jest niewielki. Wyniki potwierdzają, że produkcja energii z fotowoltaiki jest opcją o niskiej presji środowiskowej w porównaniu z konwencjonalnymi elektrowniami.

Publikacja sfinansowana z dotacji udzielonej AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, nr 501.00-210000-10000.

Literatura

[1] United Nations Envorinment Programme – 2024. Renewable energy. [Online:] https://www.unep.org/topics/energy/renewable-energy.
[2] What is a solar farm, how does it work and what are its advantages? [Online:] https://www.repsol.com/en/energy-move-forward/energy/solar-farm/index.cshtml.

Analiza rynku energii elektrycznej w perspektywie lat 2030–2040

Sławomir SOWA*

** Politechnika Poznańska; e-mail: slawomir.sowa@put.poznan.pl*

Artykuł ma na celu ocenę kierunku i skali zmian polskiego rynku energii elektrycznej w perspektywie lat 2030–2040. Autor identyfikuje także czynniki, które w największym stopniu mogą kształtować poziom cen hurtowych, koszt energii po stronie odbiorców oraz wartość rynkową energii z instalacji fotowoltaicznych. Zastosowano hybrydowy model fundamentalno-scenariuszowy, łączący jednostkowe koszty wytwarzania energii w poszczególnych technologiach, ceny paliw i uprawnień do emisji w systemie UE ETS (EUA), zapotrzebowanie, rozwój OZE, magazynów i sieci, wymianę transgraniczną oraz wprowadzenie energetyki jądrowej do KSE. Model skalibrowano na danych TGE, PSE, URE i źródłach europejskich, a jego wyniki oceniono metodą backcastingu i analizy wrażliwości. W scenariuszu referencyjnym realna cena BASE w cenach stałych 2026 r. obniża się z 485,8 PLN/MWh w 2026 r. do 365,6 PLN/MWh w 2030 r., 347,0 PLN/MWh w 2035 r. i 340,0 PLN/MWh w 2040 r., podczas gdy wartości nominalne wynoszą odpowiednio 403,1; 432,9 i 479,9 PLN/MWh. Spadek realnej ceny hurtowej nie prowadzi jednak do analogicznego spadku kosztu końcowego odbiorcy, ponieważ rośnie znaczenie składników sieciowych i regulowanych. Jednocześnie zwiększający się udział generacji PV obniża capture rate z 58,2% w 2026 r. do 50,0% w 2030 r., 46,0% w 2035 r. i 42,0% w 2040 r. Analiza wrażliwości wskazuje, że do 2030 r. największe znaczenie zachowują EUA i gaz, natomiast w 2040 r. rośnie rola sieci, magazynów, reakcja strony pobytowej (DSR), energetyki wiatrowej i profilu zapotrzebowania. Wyniki potwierdzają, że długoterminowa ocena rynku powinna równocześnie uwzględniać cenę hurtową, koszt dostawy oraz technologię i profil wytwarzania.

Słowa kluczowe: rynek energii elektrycznej, prognozowanie cen energii, transformacja energetyczna, fotowoltaika, analiza wrażliwości

Stałe paliwa kopalne w kontekście europejskiego bezpieczeństwa energetycznego

Katarzyna STALA-SZLUGAJ*

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;*
e-mail: kszlugaj@min-pan.krakow.pl, ORCID: 0000-0003-3689-7895

Kryzys energetyczny z 2021 r., wzmocniony wybuchem wojny na Ukrainie w lutym 2022 r., mocno zachwiał bezpieczeństwem energetycznym wielu państw i po raz pierwszy od wielu lat wymagał natychmiastowej interwencji. W kontekście tych wydarzeń pojawiły się zaktualizowane definicje bezpieczeństwa energetycznego. Według Międzynarodowej Agencji Energetyki (IEA WEO 2022) bezpieczeństwo energetyczne definiowane jest nie tylko jako nieprzerwany dostęp do energii, ale również zapewnienie dostaw energii po przystępnej cenie. Analitycy IEA zwracają uwagę na ostrożne zarządzanie wycofywaniem i ponownym wykorzystywaniem istniejącej infrastruktury wytwórczej, ponieważ część z niej będzie niezbędna do bezpiecznej drogi do zerowej emisji netto. Zgodnie z definicją ustawodawstwa polskiego (Ustawa 2026) bezpieczeństwo energetyczne rozumiane jest jako stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska. W ujęciu praktycznym aktualizacja Krajowego Planu w Dziedzinie Energii i Klimatu z czerwca 2026 r. (aKPEiK 2026) z perspektywy łańcucha dostaw definiuje bezpieczeństwo energetyczne jako pewność:

- pokrycia zapotrzebowania na surowce energetyczne (pochodzące z produkcji krajowej lub z importu) dla gospodarki;
- transportu i dystrybucji tych surowców oraz paliw;
- produkcji energii elektrycznej i ciepła oraz ich przesyłu i dystrybucji do odbiorców końcowych.

W referacie omówiono produkcję surowców mineralnych w Europie w podziale na główne grupy surowcowe. Zaprezentowano ceny głównych nośników energii wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej i ciepła (węgla, gazu i ropy). Omawiając bilans popytu i podaży węgla, zwrócono także uwagę na jego głównych producentów oraz główne grupy odbiorców. Na koniec referatu

przedstawiono prognozę produkcji i zużycia węgla w Europie według publikacji Międzynarodowej Agencji Energetyki.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, Europa, stałe paliwa kopalne

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

Literatura

IEA WEO 2022 – IEA (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris. [Online:] https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A)

Ustawa 2026 – Ustawa – Prawo energetyczne, art. 3 pkt 16 (Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348, t.j.: Dz.U. z 2026 r. poz. 43)

aKPEiK 2026 – Krajowy Plan w Dziedzinie Energii i Klimatu do 2030 r. z perspektywą 2040 r. (aktualizacja Krajowego planu na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030 z 2019 r.). Przyjęty przez Radę Ministrów w dn. 8 czerwca 2026 r., Ministerstwo Energii, Warszawa. [Online:] https://www.gov.pl/web/energia/krajowy-plan-w-dziedzinie-energii-i-klimatu-do-2030-r-z-perspektywa-do-2040-r---przyjety-przez-rade-ministrow

Wykorzystanie potencjału łączenia rynków elektroenergetycznego i ciepłowniczego dla transformacji energetycznej – aspekty ekonomiczne kotłów elektrodowych

Tomasz SURMA*

** Veolia*

Z każdą dekadą Unia Europejska, jako wspólnota krajów, nakłada na państwa członkowskie cele w zakresie ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, wytwarzania energii z odnawialnych zasobów energii oraz poprawy efektywności energetycznej. Wdrożenie dedykowanych dyrektyw na poziomie krajów członkowskich doprowadziło w ostatnich latach do dynamicznego rozwoju źródeł wytwórczych wykorzystujących odnawialne zasoby energii, w tym w szczególności elektrowni wiatrowych oraz źródeł fotowoltaicznych (PV). Promowany rozwój tych źródeł wypiera z produkcji tzw. konwencjonalne jednostki wytwórcze, wykorzystujące paliwa kopalne, ale jednocześnie charakteryzujące się stabilną, przewidywalną produkcją energii elektrycznej. Operatorzy systemów elektroenergetycznych borykają się z wyzwaniami związanymi z bezpieczeństwem i stabilnością dostaw energii i mocy do odbiorców.

W Polsce w systemie elektroenergetycznym zainstalowano do tej pory około 79 GW mocy wytwórczej, z czego 40 GW stanowią odnawialne źródła energii, w tym PV – 27 GW, a elektrownie wiatrowe – 11 GW. Zapotrzebowanie na moc szczytową wynosi 27 GW. Występuje zatem w systemie elektroenergetycznym zjawisko nadprodukcji energii elektrycznej, a jednocześnie spodziewamy się niedoborów mocy dyspozycyjnej, jeżeli źródła konwencjonalne będą w dalszym ciągu wypychane z rynku energii. Już dzisiaj operator systemu przesyłowego, w trosce o bezpieczeństwo dostaw energii i dla równoważenia zapotrzebowania na energię oraz moc, realizuje swoje obowiązki w tym zakresie przez ograniczenia lub wyłączenia z produkcji tak źródeł odnawialnych, jak i konwencjonalnych. Potencjał energii elektrycznej do wytworzenia energii w tych źródłach jest w takich uwarunkowaniach tracony bezpowrotnie.

Jednocześnie Polska posiada jedne z najlepiej rozwiniętych na świecie systemów ciepłowniczych. Ciepło z tych systemów dostarczane jest do ponad 15 mln odbiorców – około 50% populacji. Znaczna część tego ciepła wytwarzana jest w jednostkach kogeneracyjnych – wytwarzających w jednym procesie

energię elektryczną oraz ciepło. Jednocześnie systemy ciepłownicze to zasób infrastruktury z gorącą wodą, który może zostać wykorzystany jako magazyn energii. Taki magazyn energii może kumulować energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii, szczególnie tę, która jest bezpowrotnie tracona, przy redukowaniu pracy źródeł odnawialnych, dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego. Systemy ciepłownicze także przechodzą obecnie transformację energetyczną w kierunku szerszego wykorzystania odnawialnych zasobów energii oraz wykorzystania ciepła odpadowego, tak aby stać się efektywnymi systemami ciepłowniczymi. Energia elektryczna wytwarzana w systemie elektroenergetycznym może wspierać transformację systemów ciepłowniczych.

W artykule zostanie przeprowadzona analiza wyzwań sektora elektroenergetycznego i ciepłowniczego w Polsce. Zostaną zdefiniowane obszary współpracy sektorów. Zostanie przeprowadzona analiza ekonomiczna zastosowania kotła elektrodowego dla wykorzystania potencjału łączenia rynków.

Słowa kluczowe: współpraca na rynku energii, łączenie rynków, odnawialne źródła energii, ciepłownictwo, rynek energii, energia elektryczna, ciepło, modele biznesowe, sector coupling, polityka energetyczno-klimatyczna, magazynowanie energii, ekonomia sektora energetycznego

Potential of integrating the electricity and district heating markets for the energy transition – economic aspects of electrode boilers

With each passing decade, the European Union, as a community of nations, imposes objectives upon its Member States concerning the reduction of greenhouse gas emissions, the generation of energy from renewable resources, and the improvement of energy efficiency. The implementation of dedicated directives at the level of Member States has, in recent years, led to the dynamic development of generation sources utilizing renewable energy resources, in particular wind power plants and photovoltaic (PV) sources. The promoted development of these sources is displacing so-called conventional generation units, which utilize fossil fuels but are characterized by stable and predictable electricity production. Operators of power systems are facing challenges related to the security and stability of energy and capacity supply to consumers.

To date, approximately 79 GW of generation capacity has been installed in the Polish power system, of which 40 GW consist of renewable energy sources,

including 27 GW from photovoltaic installations and 11 GW from wind power plants. The peak power demand amounts to 27 GW. Consequently, the power system exhibits a phenomenon of electricity overproduction, while at the same time shortages of dispatchable capacity are anticipated should conventional sources continue to be displaced from the energy market. Already today, the transmission system operator, in the interest of security of energy supply and to balance energy and power demand, fulfills its obligations in this regard by imposing limitations or suspending production from both renewable and conventional sources. The potential for electricity generation from these sources is, under such conditions, irretrievably lost.

Simultaneously, Poland possesses one of the most advanced district heating systems in the world. Heat from these systems is supplied to over 15 million customers – approximately 50% of the population. A significant portion of this heat is produced in cogeneration units, which generate both electricity and heat in a single process. Furthermore, district heating systems represent an infrastructure resource of hot water that may be utilized as an energy storage facility. Such an energy storage can accumulate electricity from renewable energy sources, particularly that which is otherwise irretrievably lost when the operation of renewable sources is curtailed to ensure the safe operation of the power system. District heating systems are also currently undergoing an energy transition towards wider utilization of renewable energy resources and waste heat, in order to become efficient heating systems. Electricity generated in the power system may support the transformation of district heating systems.

The article will present an analysis of the challenges facing the electric power and district heating sectors in Poland. Areas of cooperation between these sectors will be defined. An economic analysis of the application of an electrode boiler for harnessing the potential of market integration will be conducted.

Keywords: cooperation in the energy market, renewable energy sources, district heating, energy market, electricity, heat, business models, sector coupling, energy and climate policy, energy storage, economics of the energy sector

Węgiel w miksie energetycznym krajów europejskich

Radosław SZCZERBOWSKI*

** Politechnika Poznańska; e-mail: radoslaw.szczerbowski@put.poznan.pl*

Udział węgla w miksach energetycznych krajów europejskich drastycznie spada, osiągając w 2025 r. historyczne minimum na poziomie niewiele ponad 9% całkowitej produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej. Choć jeszcze w 1990 r. energetyka węglowa odpowiadała za ponad jedną trzecią produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej. Unijna polityka klimatyczna, rozwój odnawialnych źródeł energii oraz rosnące ceny uprawnień do emisji CO_2 coraz bardziej marginalizują ten surowiec na kontynencie. Wiele państw europejskich (m.in. Belgia, Austria, Francja, Dania, Szwecja czy Portugalia) całkowicie wyłączyło elektrownie węglowe lub ograniczyło ich udział do nieznacznych wartości. Państwa takie jak Niemcy czy Czechy wciąż posiadają elektrownie węglowe w miksie, ale coraz bardziej stawiają na odnawialne źródła energii czy energetykę jądrową, planując całkowite odejście od omawianego surowca w kolejnych latach. Polska nadal korzysta w energetyce z węgla, a jego udział w krajowej produkcji energii elektrycznej jest o wiele wyższy niż średnia unijna. Europejski System Handlu Uprawnieniami do Emisji (EU ETS) sprawia, że produkcja energii z najbardziej emisyjnego węgla brunatnego i kamiennego staje się ekonomicznie nieopłacalna. Energetyka wiatrowa i słoneczna generują obecnie znacznie tańszą i czystszą energię, systematycznie wypierając paliwa kopalne z rynku. Państwa bez silnego OZE stabilizują swoje systemy energetyką jądrową (np. Francja) lub przejściowo gazem ziemnym (np. Włochy). W Unii Europejskiej jedynym krajem wydobywającym węgiel kamienny jest Polska, gdzie aktywnych pozostaje około 18 kopalń tego surowca. Do niedawna drugim producentem w UE były Czechy, jednak w styczniu 2026 r. zamknięto ostatnią czeską kopalnię węgla kamiennego, co ostatecznie uczyniło Polskę jedynym producentem węgla kamiennego we Wspólnocie. W przypadku węgla brunatnego Niemcy są niekwestionowanym liderem w Europie. Działa tam obecnie 9 aktywnych kopalń odkrywkowych zlokalizowanych w trzech zagłębiach. Na kolejnej pozycji jest Polska z 4 czynnymi kopalniami węgla brunatnego: w Bełchatowie, Turowie, Koninie (w końcowej fazie likwidacji/wygaszania) oraz mniejszą kopalnią Sieniawa. W referacie przedstawiona zostanie obecna

sytuacja transformacji energetycznej wybranych krajów europejskich i dalsze perspektywy wykorzystania węgla w systemach energetycznych w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego.

Słowa kluczowe: system energetyczny, węgiel kamienny i brunatny, bezpieczeństwo energetyczne, transformacja energetyczna

Rozwój biogazowni w Polsce w aspekcie przyszłego zapotrzebowania na surowce mineralne

Jarosław SZLUGAJ*, Katarzyna STALA-SZLUGAJ**

** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: szlugaj@min-pan.krakow.pl; ORCID: 0000-0002-4537-209X*

*** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: kszlugaj@min-pan.krakow.pl, ORCID: 0000-0003-3689-7895*

Instalacje biogazowe mogą stać się ważnym źródłem energii, w którym jest ona produkowana z biogazu powstającego z fermentacji substratu. Ze względu na zużywany substrat biogazownie dzielą się na: rolnicze, komunalne oraz przy oczyszczalniach ścieków. Najpowszechniej występującym rodzajem biogazowni w Polsce są biogazownie rolnicze, a biogaz powstaje w wyniku fermentacji metanowej:

- produktów rolnych oraz pozostałości z rolnictwa i branż pokrewnych;
- produktów z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego i produktów ubocznych, odpadów, pozostałości;
- produktów spożywczych przeterminowanych lub nieprzydatnych do spożycia;
- tłuszczów i mieszanin olejów z separacji olej/woda (oleje jadalne i tłuszcze);
- biomasy roślinnej pochodzącej z utrzymania terenów zielonych;
- odchodów zwierzęcych pozyskanych z działalności innej niż rolnicza.

Budowę biogazowni rolniczych oraz ich funkcjonowanie reguluje tzw. specustawa biogazowa (Dz.U. 2023 poz. 1597). W przypadku zasad oraz warunków wykonywania działalności w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i biogazu rolniczego stosowane są przepisy zgodne z Ustawą o OZE (Dz.U. 2026 poz. 68 t.j. z późń.zm.). Według KOWR na koniec 2025 r. w rejestrze wytwórców biogazu rolniczego ujętych było 200 instalacji. Aktualizacja KPEiK z czerwca 2026 r. podkreśla rolę biogazowni przy tworzeniu lokalnych obszarów bilansowania, a także zapewnieniu ciepła lokalnej społeczności. W związku z przewidywanym rozwojem instalacji biogazowych w referacie skupiono się na określeniu zapotrzebowania na surowce mineralne potrzebne do zbudowania instalacji biogazowni. Wzięto pod uwagę zapotrzebowanie na surowce mineralne potrzebne do zbudowania płyt fundamentowych oraz funda-

mentów głównych elementów biogazowni, takich jak: komory fermentacyjne, zbiornik magazynowy nawozu pofermentacyjnego, zbiornik substratów stałych, stacja przygotowania biogazu, silos magazynowy substratu, sterownia.

Słowa kluczowe: biogazownie, Polska, rozwój, surowce mineralne

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN.

Wybrane wyzwania związane z integracją Morskiej Energetyki Wiatrowej z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym

Krzysztof WALĘGA*, Jadwiga ZABAGŁO**

** Siemens Energy*
*** Niezależny badacz*

Rozwój morskiej energetyki wiatrowej (MEW) w Europie sprawia, że zagadnienie jej integracji z systemem elektroenergetycznym nabiera znaczenia nie tylko w skali pojedynczej farmy, lecz także w skali krajowych i regionalnych systemów przesyłowych. Dla Polski, rozwijającej projekty na Morzu Bałtyckim, istotne jest przejście od oceny planowanej mocy zainstalowanej i rocznej produkcji do analizy czasowego profilu generacji, możliwości przesłania energii oraz warunków bezpiecznej pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Celem pracy jest syntetyczne przedstawienie wybranych problemów integracji MEW z KSE, skupione na dwóch wzajemnie zależnych wyzwaniach:

– bilansowaniu zmiennej generacji,
– stabilności globalnej i technicznych warunkach współpracy farm morskich z KSE.

Punktem odniesienia są doświadczenia europejskie, zwłaszcza niemieckie, w tym opisane w literaturze odnoszącej się do Morza Północnego i Bałtyckiego.

Produkcja MEW zależy od warunków meteorologicznych, a jej wartość operacyjna wynika z tego, kiedy i gdzie energia jest dostępna względem zapotrzebowania, generacji z innych źródeł odnawialnych oraz ograniczeń systemowych. Współczynnik wykorzystania mocy opisuje przede wszystkim roczny uzysk energii, przez co nie odpowiada na pytania o jakość integracji z KSE, zdolność do bilansowania ani przyszłe ryzyko ograniczania generacji. W analizach KSE należy zatem badać zapotrzebowanie rezydualne, okresy nadwyżki energii, potrzeby rezerw i elastyczności oraz zasady redysponowania.

Stabilność oraz techniczna zdolność do przyłączenia i wyprowadzenia mocy wiąże się z wieloma aspektami, w tym z bezpieczną pracą w punkcie przyłączenia, kompensacją mocy biernej, sterowaniem przekształtników, jakością energii, usługami systemowymi oraz zgodnością z kodeksami sieciowymi. Na wynik wpływają również: wybór technologii przesyłu HVAC lub HVDC, długość i parametry kabli oraz sposób regulacji napięcia. Stabilność globalna stanowi

o możliwości wielkoskalowej integracji MEW z KSE w ogóle, ale też o późniejszej odporności KSE na kołysania czy inne, zwłaszcza nagłe, stany nieustalone, które w konsekwencji mogą powodować dezintegrację systemu.

Słowa kluczowe: morska energetyka wiatrowa, Morze Bałtyckie,
Krajowy System Elektroenergetyczny, KSE, bilansowanie, stabilność systemu

Morska turbina wiatrowa – doświadczenia z Morza Północnego

Krzysztof WALĘGA*, Jadwiga ZABAGŁO**, Piotr OLCZAK***

** Siemens Energy*
*** Niezależny badacz*
**** Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków*

Rosnący udział morskiej energetyki wiatrowej zwiększa znaczenie poprawnego odwzorowania krótkookresowej zmienności generacji. Dane reanalizy meteorologicznej, w tym ERA5, są powszechnie wykorzystywane do charakterystyki warunków wiatrowych, jednak ich godzinowa rozdzielczość czasowa może być niewystarczająca w analizach bilansowania systemu elektroenergetycznego prowadzonych w interwałach 15-minutowych. Celem pracy jest opracowanie metody umożliwiającej transfer informacji o zmienności subgodzinowej z lokalizacji (Morze Północne) posiadającej pomiary wysokiej częstotliwości do lokalizacji offshore, dla której dostępne są dane modelowe (z reanaliz, w tym ERA5).

Metoda wykorzystuje równolegle dane pomiarowe prędkości wiatru o wysokiej rozdzielczości czasowej (1-minutowe dane) oraz godzinowe dane modelowe dla lokalizacji referencyjnej, a także godzinowe dane modelowe dla analizowanego obszaru Morza Bałtyckiego. W pierwszym etapie oceniana jest zgodność długookresowych warunków wiatrowych odwzorowanych przez model z pomiarami lokalnymi. Następnie dane pomiarowe agregowane są do rozdzielczości 15-minutowej i wykorzystywane do określenia rzeczywistego zakresu oraz struktury zmienności wewnątrzgodzinnej.

W kolejnym etapie informacja o zmienności jest przenoszona do potencjalnej lokalizacji offshore. Wartości godzinowe stanowią punkty kotwiczące, natomiast przebieg pomiędzy nimi odtwarzany jest na podstawie historycznych 15-minutowych profili obserwowanych przy zbliżonych warunkach wietrzności i odpowiednio skalowanych do prognozowanego poziomu zmienności. Pozwala to wygenerować potencjalny szereg 15-minutowych danych.

Opracowana metoda może znaleźć zastosowanie w analizach produkcji morskich farm wiatrowych, krótkookresowych zmian mocy oraz wpływu offshore wind na bilansowanie i potrzebę redysponowania źródeł w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym.

Słowa kluczowe: ERA5, KSE, wind offshore, prędkość wiatru

Zarządzanie wartością portfela projektów w wielozakładowym przedsiębiorstwie wydobywczym

Krzysztof WITKOWSKI*

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie;*
e-mail: kwitkowski@agh.edu.pl

W literaturze oraz światowych standardach zarządzania projektami coraz silniej akcentowane jest nowe podejście do oceny sukcesu projektu. Tradycyjne kryteria tzw. złotego trójkąta, obejmujące zakres, czas i koszt, ustępują miejsca podejściu opartemu na wartości dostarczanej przez projekt organizacji oraz jej interesariuszom.

Podejście to ma szczególne znaczenie w wielozakładowych przedsiębiorstwach wydobywczych, funkcjonujących w warunkach ograniczonej dostępności zasobów kapitałowych, ludzkich i sprzętowych. W takich organizacjach realizacja wszystkich zgłaszanych inicjatyw nie jest możliwa, dlatego kluczowego znaczenia nabierają właściwa ocena projektów, ich priorytetyzacja oraz wybór przedsięwzięć zapewniających największy wkład w realizację celów strategicznych przedsiębiorstwa.

W 2021 roku w Jastrzębskiej Spółce Węglowej zakończono projekt operacjonalizacji strategii z wykorzystaniem koncepcji Balanced Scorecard. Treścią artykułu będzie przedstawienie zastosowanego podejścia do zarządzania wartością projektów, ze szczególnym uwzględnieniem powiązania inicjatyw projektowych z celami strategicznymi, oceny wartości dostarczanej przez poszczególne projekty oraz zasad priorytetyzacji portfela projektów w warunkach ograniczonych zasobów. W artykule zostaną również omówione doświadczenia wynikające z wdrożenia tego podejścia oraz jego znaczenie dla skutecznego zarządzania rozwojem wielozakładowego przedsiębiorstwa wydobywczego.

Słowa kluczowe: zarządzanie projektami, zarządzanie portfelami, zarządzanie strategiczne, balanced score card, value management, JSW

Bezpieczna transformacja energetyczna Polski – węgiel i gaz jako paliwa przejściowe do energetyki jądrowej

Marian ZMARZŁY*

** Ministerstwo Energii, Warszawa, Podsekretarz Stanu*

Bezpieczna transformacja energetyczna Polski wymaga skoordynowania zmian w strukturze wytwarzania energii z rzeczywistymi możliwościami inwestycyjnymi, dostępnością paliw oraz potrzebami gospodarki i społeczeństwa. Celem wystąpienia jest przedstawienie podejścia, w którym węgiel i gaz ziemny pełnią funkcję paliw przejściowych, zabezpieczających ciągłość dostaw energii w okresie budowy energetyki jądrowej i rozwoju odnawialnych źródeł energii. Podstawową przesłanką tego podejścia jest powiązanie tempa wycofywania istniejących mocy z faktycznym uruchamianiem nowych źródeł oraz zapewnieniem odpowiedniej infrastruktury sieciowej, zdolności bilansowania i rezerw systemowych.

W wystąpieniu omówione zostaną odmienne, lecz uzupełniające się role węgla i gazu w okresie przejściowym. Krajowe zasoby węgla oraz istniejąca infrastruktura wydobywcza i wytwórcza stanowią zaplecze bezpieczeństwa, którego wykorzystanie wymaga racjonalnego planowania produkcji, inwestycji podtrzymujących i harmonogramów wygaszania działalności. Gaz ziemny może wspierać elastyczność systemu elektroenergetycznego i bilansowanie zmiennej generacji odnawialnej. Skala jego wykorzystania powinna jednak uwzględniać bezpieczeństwo dostaw, dostępność infrastruktury przesyłowej i magazynowej, ryzyko cenowe oraz konsekwencje zwiększania zależności importowej. Oba paliwa wymagają oceny pod względem kosztów, emisji i przydatności systemowej, tak aby decyzje podejmowane na okres przejściowy nie tworzyły długotrwałych obciążeń dla gospodarki.

Szczególna uwaga zostanie poświęcona relacji między transformacją górnictwa a harmonogramem rozwoju energetyki jądrowej. Ograniczanie krajowych zdolności wydobywczych powinno wynikać z bilansu zapotrzebowania na paliwa i energię, uwzględniającego także scenariusze opóźnień inwestycyjnych, okresy ograniczonej produkcji ze źródeł odnawialnych oraz zakłócenia dostaw surowców. Istotne jest przy tym rozróżnienie zasobów geologicznych od zdolności do dostarczenia węgla o wymaganej jakości, w odpowiedniej ilości

i terminie. Bezpieczeństwo energetyczne zależy bowiem od całego łańcucha: od rozpoznania złoża i przygotowania wydobycia, przez transport i zapasy, po dostępność jednostek wytwórczych.

Przedstawiona zostanie potrzeba wzmocnienia państwowej koordynacji transformacji oraz jednoznacznego przypisania odpowiedzialności za jej przebieg. W tym kontekście omówiona zostanie koncepcja pełnomocnika rządu dysponującego mandatem do uzgadniania działań między sektorami i instytucjami. Tak rozumianej koordynacji powinno towarzyszyć zaplecze analityczne pozwalające porównywać warianty transformacji oraz oceniać ich skutki energetyczne, gospodarcze, społeczne i środowiskowe.

Transformacja zostanie również przedstawiona jako proces odpowiedzialności za pracowników i regiony górnicze. Obejmuje ona tworzenie nowych funkcji przemysłowych, wykorzystanie kompetencji technicznych i infrastruktury, a także zabezpieczenie środowiskowych następstw likwidacji kopalń, w tym zagrożeń wodnych i deformacji powierzchni. Konkluzją wystąpienia będzie postulat prowadzenia transformacji w sposób etapowy, oparty na danych i podporządkowany bezpieczeństwu państwa. Węgiel i gaz powinny zabezpieczać przejście do docelowego systemu z istotnym udziałem energetyki jądrowej i źródeł odnawialnych, przy zachowaniu ciągłości dostaw, akceptowalnych kosztów energii oraz przewidywalnych warunków rozwoju gospodarki.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo energetyczne, transformacja energetyczna, węgiel, gaz ziemny, energetyka jądrowa, koordynacja transformacji, optymalizacja strategii transformacji

Klasyfikacja wskaźników stosowanych do oceny efektywności energetycznej w przedsiębiorstwach przemysłowych jako podstawa opracowania zintegrowanego modelu oceny

Patrycja ZUBIEŃ*, Tadeusz OLKUSKI**, Grzegorz GÓRAL***

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; e-mail: pzubien@agh.edu.pl; ORCID: 0009-0008-0358-6701*
*** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; e-mail: olkuski@agh.edu.pl; ORCID: 0000-0002-6256-9628*
**** MultiProjekt Automatyka Sp. z o.o. e-mail: ggoral@multiprojekt.pl*

Rosnące koszty energii, nasilająca się presja na ograniczenie oddziaływania działalności przemysłowej na środowisko oraz potrzeba poprawy konkurencyjności powodują, że ocena efektywności energetycznej staje się istotnym elementem zarządzania przedsiębiorstwami. W praktyce i literaturze naukowej wykorzystywany jest zróżnicowany zbiór wskaźników energetycznych, które różnią się zakresem, sposobem obliczania, poziomem agregacji danych oraz przeznaczeniem. Ten szeroki zakres stosowanych wskaźników utrudnia ich porównywanie, odpowiedni dobór do potrzeb podmiotów oraz wykorzystanie w kompleksowej ocenie ich funkcjonowania w aspekcie energetycznym.

Celem niniejszej pracy jest identyfikacja oraz uporządkowanie wskaźników stosowanych do oceny efektywności energetycznej w przedsiębiorstwach przemysłowych oraz opracowanie ich klasyfikacji stanowiącej podstawę do dalszych prac nad zintegrowanym modelem oceny efektywności energetycznej i operacyjnej.

Badanie przeprowadzono z wykorzystaniem metody systematycznego przeglądu literatury naukowej. Wyszukiwanie publikacji przeprowadzono z pomocą wybranych baz naukowych, z zastosowaniem kryteriów odnoszących się do efektywności energetycznej i operacyjnej, wskaźników i modeli oceny oraz działalności przemysłowej. W analizie uwzględniono w szczególności rodzaj stosowanych wskaźników, sposób ich definiowania oraz obliczania, zakres i obszar zastosowania i wykorzystywane dane wejściowe.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zaproponowano klasyfikację wskaźników energetycznych, uwzględniającą wybrane kryteria ich charakterystyki i zastosowania. Przeprowadzona klasyfikacja umożliwia uporządkowanie

stosowanych wskaźników, ocenę zakresu ich wykorzystywania oraz identyfikację obszarów wymagających dalszego rozwoju metod oceny efektywności przedsiębiorstw przemysłowych.

Uzyskane wyniki stanowią podstawę do doboru zestawu wskaźników, określenia zasad ich normalizacji i agregacji oraz opracowania syntetycznych wskaźników energetyczno-operacyjnych, które w dalszym etapie badań zostaną wykorzystane w zintegrowanym modelu kompleksowej oceny przedsiębiorstwa przemysłowego, a następnie zweryfikowane z wykorzystaniem rzeczywistych danych.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, energia,
wskaźniki efektywności energetycznej, przedsiębiorstwo przemysłowe,
klasyfikacja wskaźników, zintegrowany model oceny

This research was funded by the Excellence Initiative – Research University (IDUB) programme and a scientific research subsidy of AGH University of Krakow; WEiP AGH, nr IDUB UB-696000-00001-Z01 and 501.00-210000-10000.

WYDAWNICTWO IGSMiE PAN, KRAKÓW
Nakład 220 egz.; Ark. wyd. 10,5; Ark. druk. 15,5 (×8)
Druk i oprawa: TRADIVERS Magdalena Orska
ul. Wł. Reymonta 86, 32-065 Krzeszowice

Następna XL Konferencja
17–20 października 2027, Zakopane



https://se.min-pan.krakow.pl/
tel.: 12 632-27-48

ISBN 978-83-67606-82-0