



Instytut Gospodarki
Surowcami Mineralnymi
i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Polityki Surowcowej



II KONGRES SUROWCOWY

Zeszyt streszczeń

Krynica-Zdrój, 3–6 listopada 2025

Sponsorzy Strategiczni



KGHM
POLSKA MIEDŹ



Sponsorzy



Geminus
Sp. z o.o.



WASTES SERVICE
GROUP

Partner



II KONGRES SUROWCOWY

***XXXIV Konferencja
Aktualia i perspektywy
gospodarki surowcami mineralnymi***

***VI Konferencja
Złoża kopalin – aktualne problemy prac
poszukiwawczych, badawczych i dokumentacyjnych***

Zeszyt streszczeń

pod redakcją naukową dr inż. Ewy Lewickiej

Krynica-Zdrój, 3–6 listopada 2025

***Wydawnictwo IGSMiE PAN
Kraków 2025***

REDAKCJA NAUKOWA

dr inż. Ewa Lewicka – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

KOMITET NAUKOWY

prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos (Przewodniczący) – Instytut GSMiE PAN/MKiŚ
dr hab. Grzegorz Czapowski, prof. instytutu – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
dr inż. Wojciech Glapa – Politechnika Wrocławska
prof. dr hab. inż. Zbigniew Kasztelewicz – Akademia Górniczo-Hutnicza
dr inż. Alicja Kot-Niewiadomska – Instytut GSMiE PAN
dr hab. inż. Mariusz Krzak, prof. uczelni – Akademia Górniczo-Hutnicza
dr inż. Ewa Lewicka – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. Stanisław Mikulski – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Marek Nieć – Instytut GSMiE PAN
prof. Adam Piestrzyński – Akademia Górniczo-Hutnicza
dr hab. Miranda Ptak – PGE GIEK SA
dr hab. inż. Barbara Radwanek-Bąk – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. Krzysztof Szamalek – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
prof. Zbigniew Sawłowicz – Instytut Nauk Geologicznych UJ
dr inż. Jarosław Szlugaj – Instytut GSMiE PAN
prof. dr hab. Stanisław Wołkowicz – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB
prof. dr hab. inż. Piotr Wyszomirski, prof. emeritus – Akademia Górniczo-Hutnicza
dr hab. Karol Zglinicki, prof. instytutu – Państwowy Instytut Geologiczny – PIB

ADRES REDAKCJI

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk
ul. J. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków
tel.: +48 12 632 33 00; fax: +48 12 632 35 24

Redaktor wydawnictwa: Małgorzata Olszewska
Redaktor techniczny: Beata Stankiewicz
Projekt okładki: Beata Stankiewicz
Zdjęcie na okładce: Pracownia Polityki Surowcowej

© Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

Kraków 2025

Printed in Poland

ISBN 978-83-67606-66-0

eISBN 978-83-67606-67-7

Spis treści

Słowo wstępne	7
PETER BALÁŽ, TOMASZ ABRAMOWSKI, KAMILA MIANOWICZ	
Eksploracja dna głębokomorskiego – wyprawa na Ocean Spokojny IOM-2024	9
<i>Deep seabed exploration – Pacific expedition IOM-2024</i>	
JUSTYNA BURCHARD-PIEKUTOWSKA, KAROL KOPEĆ, TOMASZ BURCHARD	
Wyzwania obsługi zakładów górniczych wydobywających piaski i żwiry	12
<i>Challenges of operating mining sites extracting sand and gravel</i>	
JUSTYNA CADER-MARCINIAK, RENATA KONECZNA, DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ, PIOTR KUNECKI, MAGDALENA WADOWIN	
Gospodarka o obiegu zamkniętym jako narzędzie ograniczania zależności UE od importu metali ziem rzadkich w świetle Europejskiego aktu o surowcach krytycznych (CRMA)	16
<i>The circular economy as a tool for reducing the EU's dependence on imports of rare earth elements in the light of the Critical Raw Materials Act (CRMA)</i>	
KATARZYNA DERKOWSKA, SŁAWOMIR MAZUREK, KONRAD PYTEL, TOMASZ BIEŃKO	
Perspektywy ponownego zagospodarowania złóż rud metali w Polsce	20
<i>Prospects for the redevelopment of metal ore deposits in Poland</i>	
ANDRZEJ GAŁAŚ, ŁUKASZ WADOWCZYK, SŁÁVKA GAŁAŚ	
Eksploatacja kruszywa naturalnego z czaszy suchego polderu Racibórz Dolny w świetle przepisów ochrony środowiska oraz funkcji tego zbiornika	23
<i>Exploitation of natural aggregate from the Racibórz Dolny dry polder in the light of environmental protection regulations and its functions</i>	
SŁÁVKA GAŁAŚ, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA, ANDRZEJ GAŁAŚ, KATARZYNA GUZIK, WIKTORIA WÓJCIK	
Krajobrazy priorytetowe a zagospodarowanie złóż kopalin: analiza złożonych relacji między ochroną krajobrazu a polityką surowcową	26
<i>Priority landscapes and mineral resource management: an analysis of the complex relationship between landscape protection and resource policy</i>	
ARTUR HALBINA	
Ocena wpływu inwestycji w lokalne źródła energii elektrycznej na konkurencyjność kosztową przedsiębiorstw ...	29
<i>Assessment of the impact of investments in local electricity generation on cost competitiveness of companies</i>	
RENATA HUTKOWSKA-BAK	
Prawo do informacji geologicznej – od regulacji historycznych do współczesnych zmian	32
<i>The right to geological information – from historical regulations to contemporary changes</i>	
ANNA JANUSZEWSKA-KACPRZAK, SŁAWOMIR MAZUREK	
Polska strategia w zakresie rozpoznania i wykorzystania pogórnich odpadów antropogenicznych – obecne działania i perspektywy na przyszłość	34
<i>Polish strategy for the recognition and utilization of anthropogenic mining waste – current actions and future perspectives</i>	
BEATA KŁOJZY-KARCZMARCYK	
Wybrane aspekty gospodarki odpadami, stosowana terminologia a kierunek postępowania	36
<i>Selected aspects of waste management, terminology used and the course of action</i>	
ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA	
Energia geotermalna i jej potencjał w zakresie wydobycia metali krytycznych – przegląd wybranych lokalizacji na podstawie projektu CRM-geothermal	38
<i>Geothermal energy and its potential for critical metal extraction – a review of selected locations based on the CRM-geothermal project</i>	
EWELENA KRZYŻAK	
Zabezpieczenie stratotypowych rdzeni wiertniczych jako element wspierający bezpieczeństwo surowcowe kraju ..	41
<i>Safeguarding stratotype drill cores as a factor supporting national mineral resources security</i>	

WOJCIECH KUPKA	
Projekty strategiczne jako jeden z podstawowych elementów działań związanych z wdrażaniem rozporządzenia Critical Raw Materials Act	43
<i>Strategic projects as a key element of the Critical Raw Materials Act implementation</i>	
ARKADIUSZ KUSTRA, ANNA WIKTOR-SULKOWSKA, SYLWIA LORENC-SZOT	
Transformacja technologiczna i ekologiczna a luka kompetencyjna w sektorze surowców mineralnych	46
<i>Technological and ecological transformation and the competence gap in the raw materials sector</i>	
MONIKA KWIATKOWSKA, KACPER URBANIK	
Ocena perspektyw złożowych krajowych zasobów kamieni łamanych i blocznych (na przykładzie wybranych typów skał magmowych) na podstawie analizy z lat 1989–2023	50
<i>Assessment of the prospects for domestic crushed stone and dimension stone deposits (based on selected types of igneous rocks) based on an analysis covering the period from 1989 to 2023</i>	
ROBERT LESZCZYŃSKI	
Miedź polska, strategiczna i krytyczna. Miedziorysem po bilansie zasobów	53
<i>Polish copper, strategic and critical. An overview of the mineral resources balance</i>	
EWA LEWICKA, DANUTA RAJCAKOWSKA	
Polska jako producent surowców krytycznych – przypadek surowców skaleniowych	57
<i>Poland as a producer of critical raw materials – the case of feldspar raw materials</i>	
MICHAŁ ŁACH, ELWIRA RUSINEK, KACPER OLIWA, KINGA KORNIJEJENKO	
Synteza zeolitów z pyłów skalnych – potencjał odpadowej frakcji granitu i diatomitu w inżynierii materiałów adsorpcyjnych	61
<i>Synthesis of zeolites from rock dust – the potential of granite and diatomite waste fractions in adsorptive materials engineering</i>	
SŁAWOMIR MAZUREK, KATARZYNA SOBIEŃ, KONRAD PYTEL	
Perspektywy złożowe grafitu w Polsce	65
<i>Prospects for graphite deposits in Poland</i>	
STANISŁAW Z. MIKULSKI	
Główne formacje metalogeniczne w Polsce pod kątem występowania pierwiastków krytycznych	68
<i>The main metallogenic formations in Poland in terms of the occurrence of critical elements</i>	
RAFAŁ NASIŁOWSKI, STANISŁAW MIKULSKI, RAFAŁ MAŁEK, REMUS WEEKES	
Wstępne rezultaty poszukiwań REE w wybranych perspektywicznych utworach osadowych obrzeżenia Gór Świętokrzyskich	72
<i>REE prospecting in selected perspective sedimentary formations of the Świętokrzyskie Mountains margin – preliminary results</i>	
MICHAŁ NOWOSIELSKI	
Ustawa o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych – implementacja rozporządzenia Critical Raw Materials Act na gruncie polskim	75
<i>The act on ensuring the national economy's access to raw materials, including Critical Raw Materials – implementation of the Critical Raw Materials Act in Poland</i>	
JANUSZ ORLOF	
Badania geotechniczne czy roboty geologiczne – propozycja zmian przepisów	78
<i>Geotechnical surveys or geological works – a proposal to amend the regulations</i>	
MICHAŁ PILASZKIEWICZ	
Perspektywy pozyskiwania surowców do produkcji manganu w Polsce	80
<i>Prospects for sourcing raw materials for manganese production in Poland</i>	
ANNA POLAK, EWELINA ANNA KOSTKA	
Instrumenty prawne gospodarowania wnętrzem Ziemi	82
<i>Legal instruments for the governance of subsurface space</i>	
SEBASTIAN PREWENDOWSKI, WOJCIECH PANNA, MAGDALENA SZUMERA	
Charakterystyka krajowych odmian kredy jako składników węglanowych do modyfikacji surowców ilastych dla zastosowań środowiskowych	87

<i>Characterization of domestic chalk varieties as carbonate additives for modification of clay raw materials for environmental applications</i>	
AGNIESZKA PRZYBEK, MARIA HEBDOWSKA-KRUPA, MICHAŁ ŁACH	
Surowce mineralne w innowacyjnych materiałach budowlanych – pianki geopolimerowe z PCM na bazie diatomitu	90
<i>Mineral raw materials in innovative building materials – geopolymer foams with PCM based on diatomite</i>	
GRZEGORZ ROLKA	
Uboczne produkty spalania jako substytut surowców naturalnych – potencjał, bariery i kierunki rozwoju	95
<i>Combustion by-products as a substitute for natural resources – potential, barriers and directions for development</i>	
OLGA ROSOWIECKA	
Główne cele i wyniki projektu SEMACRET: „Sustainable exploration for orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: Charting the road of the green energy transition”	97
<i>Main goals and results of SEMACRET project: Sustainable exploration for orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: Charting the road of the green energy transition</i>	
JOANNA ROSZKOWSKA-REMIN, DAWID DŁUGOSZ, SŁAWOMIR MAZUREK	
Globalne kierunki na rynku surowców: strategiczne wybory 10 największych spółek wydobywczych	100
<i>Global trends in the commodity market: strategic choices of the 10 largest mining companies</i>	
KORDIAN RUDZIŃSKI	
Potencjał surowcowy zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego	103
<i>Raw material potential of waste electrical and electronic equipment</i>	
JAKUB RYZNAR	
Polska inwestycja w sercu Afryki: LuNa Smelter jako kompletny łańcuch wartości od górnictwa do metalu w Rwandzie	106
<i>A Polish investment in the heart of Africa: LuNa Smelter as a complete value chain from mining to metal in Rwanda</i>	
DANIEL SARAMAK, AGNIESZKA SARAMAK, DARIUSZ FOSZCZ	
Stan badań naukowych i perspektywy dotyczące surowców w świetle publikacji naukowych	110
<i>Current state of the art in research and prospects for raw materials in the light of scientific publications</i>	
RAFAŁ SIKORA	
Dorobek polskich geologów na terenie Mongolii – przegląd i perspektywy	114
<i>The achievements of Polish geologists in Mongolia – review and prospects</i>	
RAFAŁ SIKORA, RADOMIR PACHYTEL, PAWEŁ URBAŃSKI	
Poszukiwania surowców krytycznych w Azji: bieżąca aktywność PIG-PIB na terenie Mongolii	117
<i>Prospecting for critical raw materials in Asia: current activities of PGI-NRI in Mongolia</i>	
KATARZYNA SOBIENI, SŁAWOMIR MAZUREK, CEZARY SROGA	
Fluoryty – aktualny stan prac psg i perspektywy w Krajowym Programie Poszukiwań Surowców Krytycznych	120
<i>Fluorites – current status of the Polish Geological Survey's activities and future exploration plans within the National Critical Raw Materials Exploration Program</i>	
STANISŁAW SPECZIK, WŁADYSŁAW ZYGO, TOMASZ BIEŃKO, ALICJA NAPIERAŁSKA, KRZYSZTOF ZIELIŃSKI	
Zastosowanie geologicznego modelu 3D do dokumentowania stratoidalnych złóż rud miedzi i srebra na przykładzie złoża Nowa Sól	123
<i>Application of geological 3D modelling in documenting stratiform copper and silver ore deposits – exemplified by the Nowa Sól deposit</i>	
KATARZYNA STALA-SZLUGAJ, ZBIGNIEW GRUDZIŃSKI	
Rynek węgla energetycznego w 2025 roku	127
<i>Steam coal market in 2025</i>	

JAN A. STEFANOWICZ	
Poszukiwanie, rozpoznawanie i dokumentowanie złóż kopalin w dobie AI	130
<i>Mineral exploration, recognition, and documentation in the era of Artificial Intelligence</i>	
GRZEGORZ SUSZKA, JERZY HADRO	
Wykonanie i archiwizacja cyfrowych obrazów rdzenia wiertniczego dokumentującego budowę geologiczną złoży węgla kamiennego Pniówek.....	136
<i>Digital imaging and archiving of drill cores depicting the geological features of the Pniówek coal field</i>	
KRZYSZTOF SZAMAŁEK	
Klimat inwestycyjny w polskim sektorze mineralnym w świetle pilotażowych badań ankietowych	139
<i>The investment climate in Poland's mineral sector: Insights from pilot survey research</i>	
MAGDALENA SZUMERA, ANNA BEREZICKA, SEBASTIAN PREWENDOWSKI, WOJCIECH PANNA, KINGA KOWALSKA	
Potencjał nawozowy wybranych surowców mineralnych bogatych w krzem, potas, magnez i wapń	142
<i>Fertilizing potential of selected mineral raw materials rich in silicon, potassium, magnesium and calcium</i>	
MICHAŁ TOMCZAK, AGATA KOZŁOWSKA-ROMAN, ŁUKASZ SMAJDOR, WOJCIECH JEGLIŃSKI	
Od badań regionalnych do eksploracji perspektywicznej – zawansowanie programu badań siarczków masywnych na Grzbiecie Śród atlantyckim	146
<i>From regional-scale investigations to prospective exploration – advancing the seafloor massive sulphides research programme on the Mid-Atlantic Ridge</i>	
KACPER M. URBANIK	
Chiński kapitał w afrykańskim sektorze mineralnym w XXI wieku: skala, strategie i skutki	150
<i>Chinese capital in the African mineral sector in the XXI century: scale, strategies and effects</i>	
PAWEŁ URBĄŃSKI	
Atlas geologiczny wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce	153
<i>Geological atlas of selected lignite deposits in Poland</i>	
SVITLANA VASYLENKO, KAROL ZGLINICKI	
Analiza umowy surowcowej pomiędzy USA a Ukrainą i jej wpływ na europejski sektor surowcowy	156
<i>Analysis of the raw materials agreement between the USA and Ukraine and its impact on the European raw material sector</i>	
MAGDALENA WDOWIN, DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ, PIOTR KUNECKI, ŁUKASZ OSUCHOWSKI, TOMASZ GŁOWIENKO, STEFAN WOŁOSIAK, ŁUKASZ LELEK, JUSTYNA CADER-MARCINIAK, RENATA KONECZNA	
Od odpadów do zasobów: cyrkularne podejście do odzysku REE w projekcie REECovery – wstępne wyniki badań	159
<i>From waste to resources: a circular approach to REE recovery in the REECover Project – preliminary research results</i>	
WOJCIECH WĘŻIK	
Zagospodarowanie skał płonnych z górnictwa węglowego – od problemu do zasobu – przykłady rekultywacji, odzysku surowców i zastosowań w inżynierii lądowej	163
<i>Management of gangue from coal mining – from problem to resource – examples of reclamation, raw material recovery and applications in civil engineering</i>	
MAGDALENA WORSZA-KOZAK	
W kierunku innowacyjnej eksploracji złóż – projekt MINOTAUR	165
<i>Towards innovative exploration of deposits – the MINOTAUR project</i>	
RADOSŁAW WRÓBLEWSKI, RADOSŁAW IWANOW	
Metody rozpoznania i dokumentowania złóż kruszywa naturalnego na dnie Morza Bałtyckiego	168
<i>Methods for identifying and documenting natural aggregate deposits on the Baltic Sea seabed</i>	
PIOTR WYSZOMIRSKI, WŁODZIMIERZ ZAWRZYKRAJ	
Surowce ilaste i ich nietypowe zastosowanie	170
<i>Clayey raw materials and their unusual applications</i>	

Słowo wstępne

Pracownia Polityki Surowcowej Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN oraz Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy podjęli się wspólnej organizacji II Kongresu Surowcowego. To trwające łącznie cztery dni wydarzenie składa się z XXXIV Konferencji z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi” oraz VI Konferencji „Złoża kopalin – aktualne problemy prac poszukiwawczych, badawczych i dokumentacyjnych”. Tym samym podtrzymujemy kilkudziesięcioletnią już tradycję listopadowych dyskusji na temat zagadnień związanych z funkcjonowaniem przemysłu surowcowego, od źródeł zaopatrzenia w surowce mineralne (pierwotne i wtórne) po aspekty prawne, organizacyjne, środowiskowe, ekonomiczne i społeczne. Taka bowiem tematyka od dekad towarzyszy konferencji „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”.

Ostatnie lata obfitują w wiele działań i wydarzeń istotnie zmieniających obraz i zasady funkcjonowania gospodarki surowcami mineralnymi oraz geologii gospodarczej w Polsce, Unii Europejskiej i na świecie. Koncentrując się na wymiarze krajowym, w trakcie obrad II Kongresu Surowcowego skupimy się na problematyce Critical Raw Materials Act oraz związanym z tym projektem ustawy implementującej CRMA na grunt polski, a także planowanym kształtem i zakresem nowej Polityki Surowcowej Państwa. Ważne miejsce w dyskusji zajmie projekt gruntownej zmiany Prawa geologicznego i górniczego. Analizie poddana zostanie również obecna i perspektywiczna baza zasobowa Polski pod kątem pozyskiwania surowców mineralnych, w tym przede wszystkim krytycznych (zarówno ze źródeł pierwotnych – złóż kopalin, jak i odpadowych, w tym m.in. zwałowisk odpadów przemysłowych), wraz ze szczegółami Krajowego Programu Poszukiwań Surowców Krytycznych, będącego jednym ze skutków wdrożenia CRMA. Nie zabraknie również wątków międzynarodowych związanych z aktywnością polskich geologów.

Z przyjemnością zatem oddajemy w Państwa ręce zeszyt rozszerzonych streszczeń wystąpień, które zostaną zaprezentowane w czasie obrad, również w formie posterów. Mamy nadzieję, że materiały te będą służyć lepszemu zrozumieniu poruszanych zagadnień, jak również kształtowaniu poglądów i opinii dotyczących złożonej problematyki gospodarki surowcami mineralnymi. Materiały dostępne są również online na stronie: <https://konferencja-aktualia.min-pan.krakow.pl/materiały>. Uzupełnienie materiałów konferencyjnych stanowi specjalny numer „Przeglądu Geologicznego”.

Życząc wszystkim uczestnikom owocnych obrad, wyrażamy nadzieję, że tegoroczne spotkanie stanie się inspiracją do dyskusji i wymiany poglądów, a także okazją do

nawiązania żywych kontaktów. Liczymy, że wyjątkowa atmosfera tegorocznego Kongresu zachęci Państwa do przyjazdu na kolejne spotkanie, które będzie okazją do świętowania jubileuszowej XXXV Konferencji „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”.

Serdecznie zapraszamy!

Organizatorzy II Kongresu Surowcowego

Krynica-Zdrój, listopad 2025

Eksploracja dna głębokomorskiego – wyprawa na Ocean Spokojny IOM-2024

Wspólna Organizacja Interoceanmetal (IOM) to międzyrządowe konsorcjum powołane w celu prowadzenia poszukiwań, oceny i eksploatacji konkrecji polimetalicznych w Strefie Clarion-Clipperton (Clarion-Clipperton Zone – CCZ) na północno-wschodnim Pacyfiku. Wszystkie działania są realizowane zgodnie z umową (licencją poszukiwawczą) pomiędzy IOM a Międzynarodową Organizacją Dna Morskiego (International Seabed Authority – ISA), Konwencją Narodów Zjednoczonych o prawie morza z 1982 r. (United Nations Convention on the Law of the Sea – UNCLOS) oraz odpowiednimi przepisami ISA.

IOM organizuje rejsy badawcze na obszar objęty licencją IOM od początku swojej działalności. Obszar poszukiwań początkowo obejmował powierzchnię ponad 500 000 km². W 2001 r. IOM i ISA podpisały kontrakt na poszukiwanie konkrecji polimetalicznych, dotyczący obszaru poszukiwań o powierzchni 75 000 km². W ramach kontraktu zorganizowano siedem ekspedycji badawczych, z których ostatnia miała miejsce w okresie od grudnia 2024 r. do stycznia 2025 r.

Wyprawa rozpoczęła się 26 grudnia 2024 r. w porcie San Diego na zachodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych. Podróż odbyła się na pokładzie statku badawczego Anuanua Moana, specjalnie przebudowanego do eksploracji głębinowych, zaprojektowanego przez Moana Minerals Limited i Kiva Marine. Układ statku został skonfigurowany tak, aby zapewnić efektywne wykorzystanie dostępnej przestrzeni pokładowej i zoptymalizować działania podczas pobierania próbek i operacji eksploracyjnych.

Wykonane prace obejmowały: rejs w obszarze licencyjnym IOM w CCZ z pobraniem próbek za pomocą rdzeniarek skrzynkowych – boxcorer (21 udanych wdrożeń), rdzeniarek wielowiązkowych – multicorer (13 wdrożeń), pomiarami przewodnictwa, temperatury i głębokości – CTD (21 wdrożeń), pomiarami batymetrycznymi (zarejestrowano 1364 km danych pomiarowych, w tym dane z echosondy wielowiązkowej, dane o rozpraszaniu wstecznym i biomase bentonicznej); obserwacje morskie; obserwacje dna morskiego za pomocą zdalnie sterowanego pojazdu – ROV (13,2 km, 20 godzin nagrań) oraz zdalnej kamery podwodnej z przynętą – BRUV (6 godzin). Zarejestrowano około 93 godzin nagrań wideo słupa wody i dna morskiego.

Pracownicy IOM przetworzyli, oznaczyli, zapakowali i zmagazynowali wszystkie pobrane próbki w laboratoriach pokładowych. Zarejestrowano łącznie 658 próbek wszystkich rodzajów, w tym konkrecje polimetaliczne, osady dennie (część z nich to próbki geotechniczne do badań właściwości fizycznych), próbki wody i próbki biologiczne.

Głównym celem było uzupełnienie luk w wiedzy na temat Strefy Referencyjnej Ochrony – Preservation Reference Zone (PRZ) oraz stanowiska górniczego pierwszej generacji w bloku eksploracyjnym H22 obszaru eksploracyjnego IOM. PRZ to obszar wyznaczony przepisami ISA w celu ochrony siedlisk i środowiska morskiego podczas eksploatacji głębinowej. Blok eksploracyjny H22 stanowi najdokładniej zbadany teren w obszarze eksploracyjnym IOM. Wielokrotne udane wdrożenia rdzeniarki skrzynkowej, rdzeniarki wielordzeniowej, CTD i ROV, a także badania batymetryczne dostarczyły różnorodnych próbek i danych, które są obecnie przetwarzane i analizowane.

Prowadzone badania miały także na celu pogłębienie wiedzy na temat unikalnego środowiska Oceanu Spokojnego. Ponadto uzyskane dane dostarczą informacji do aktualizacji szacunków zasobów konkrecji polimetalicznych. Konkrecje polimetaliczne stanowią dostępne źródła metali krytycznych dla zrównoważonego rozwoju i wdrażania technologii niskoemisyjnych.

Zespół IOM zakończył swój rejs 27 stycznia 2025 r. w Papeete w Polinezji Francuskiej. Tutaj wyładowano wszystkie próbki i przygotowano je do dalszego transportu do Szczecina.

Deep seabed exploration – Pacific expedition IOM-2024

The Interoceanmetal Joint Organization (IOM) is an intergovernmental consortium established to conduct exploration, evaluation and exploitation of polymetallic nodules in the Clarion-Clipperton Zone (CCZ) in the northeast Pacific. All activities are performed in accordance with the Contract (exploration license) between IOM and the International Seabed Authority (ISA), the 1982 United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) and the relevant ISA regulations.

IOM organizes research cruises to the IOM license area since the beginning of its activities. The exploration area initially covered an area of more than 500,000 km². In 2001, IOM and the International Seabed Authority signed the Contract for exploration of polymetallic nodules referring to the exploration Area of 75,000 km². During the Contract, seven research expeditions were organized, the last one in the period December 2024–January 2025.

The expedition mobilized in the port of San Diego, United States West Coast, on 26 December, 2024. The voyage took place on the research vessel Anuanua Moana, a purpose converted deep-sea exploration ship designed by Moana Minerals Limited and Kiva Marine. The layout has been configured to ensure efficient use of the deck space available and optimize workflow during sampling and exploration operations.

The work performed included the voyage conducted in IOM's license area in the CCZ, with sampling conducted using box corers (21 successful deployments), multi corers (13 deployments), conductivity-temperature-depth survey – CTD (21 deployments),

bathymetric survey (1,364 km of survey data recorded, including multi beam echo sounder, backscatter and benthic biomass data), marine observations, seafloor observation using a Remotely Operated Vehicle (13.2 km, 20 hours recorded) and a Baited Remote Underwater Video (6 hours). Approximately 93 hours of video imagery of the water column and seabed has been recorded.

IOM staff processed, labelled, packed and stored all recovered samples in onboard laboratories. A total of 658 samples of all types were recorded, including polymetallic nodules, sea bottom sediments (part of them represent geotechnical samples for testing of physical properties), water and biological samples.

The main objective was to address gaps in knowledge about the Preservation Reference Zone (PRZ) and the first generation mining site in exploration block H22 of the IOM exploration area. The PRZ is the area designated by the ISA regulations to preserve habitats and the marine environment during deep seabed mining. Exploration block H22 represents the most studied area within the IOM exploration area. Multiple successful deployments of the box corer, multi corer, CTD and ROV, as well as bathymetric survey, have yielded a wide range of samples and data that are being processed and analyzed at present.

This research aims to advance our understanding of the unique environment in the Pacific Ocean. In addition, data obtained will provide information for update of polymetallic nodule resources estimation. Polymetallic nodules represent available sources of critical metals for sustainable development and the implementation of low-emission technologies.

The IOM team concluded their cruise on 27 January, 2025, in Papeete, French Polynesia. All the samples were unloaded here and prepared for further transport to Szczecin.

Wyzwania obsługi zakładów górniczych wydobywających piaski i żwiry

W Bilansie zasobów złóż kopalin w Polsce (stan na 31 XII 2024 r.) wskazano ponad 21 mld ton zasobów geologicznych piasków i żwirów (w tym 4,4 mld ton zasobów przemysłowych) udokumentowanych w 11 216 złożach. W 2024 r. eksploatację prowadzono na 2448 złożach. Liczba złóż, które nie były eksploatowane, wynosiła 8768.

Piasek i żwir stanowią drugi (po wodzie) surowiec pod względem skali zużycia na świecie, odpowiadając za około 85% całkowitej masy wydobywanych kopalin. W Polsce wydobywanie piasków i żwirów wynosi rocznie około 160–180 mln ton. Eksploatacja naturalnych kruszyw piaskowo-żwirowych w odkrywkowych zakładach górniczych, wydobywających kopalinę bez użycia środków strzałowych, prowadzona jest najczęściej przez mikroprzedsiębiorców. Kopalnie te nie dysponują specjalistycznymi działami, takimi jak: technologii górniczej, mechaniczny, energetyczny, czy stałą służbą mierniczą i geologiczną. Kierownictwo ruchu oraz obsługa geologiczno-miernicza realizowane są najczęściej w formie usług zewnętrznych. Prowadzą je osoby fizyczne posiadające odpowiednie kwalifikacje i uprawnienia.

Kompleksowa obsługa zakładów górniczych – od poszukiwania złoża, poprzez jego rozpoznanie i udokumentowanie, uzyskanie koncesji, eksploatację, aż po rekultywację terenów pogórniczych – wiąże się z licznymi wyzwaniami natury prawnej, organizacyjnej i środowiskowej.

Postępowanie koncesyjne dotyczące kruszyw naturalnych i złóż o powierzchni kilku lub kilkunastu hektarów jest równie skomplikowane jak dla kopalin objętych własnością górnictw. Podstawową trudnością na drodze do koncesji jest uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji przedsięwzięcia. Dla mikroprzedsiębiorców postępowania środowiskowe wymagające opracowania Raportu OOS istotnie wydłużają okres poprzedzający rozpoczęcie działalności, a przede wszystkim podnoszą znacząco koszty uruchomienia kopalni odkrywkowej. Czas trwania tego postępowania jest trudny do oszacowania.

Jednym z wielu problemów przy opracowywaniu dokumentów związanych z procedurą uzyskania decyzji środowiskowych na wydobywanie kopalin metodą odkrywkową oraz projektów zagospodarowania złóż jest stosowanie normy PN G-02100 „Górnictwo odkrywkowe. Pas zagrożenia i pas ochronny wyrobisk odkrywkowych. Użytkowanie i szerokość” przy ustalaniu szerokości pasa ochronnego dla nieobwałowanych cieków wodnych oraz wykorzystywania pasów ochronnych do tymczasowego składowania nadkładu i kopalin oraz prowadzenia transportu wewnątrzzakładowego.

Kontrowersje budzi żądanie przez RDOŚ i PGW Wody Polskie pasów o szerokości 50 m dla cieków naturalnych zaznaczonych na mapach, a nieistniejących w terenie lub prowadzących wody okresowo. Polskie Normy są powszechnie dostępnymi krajowymi normami technicznymi, wydawanymi na podstawie ustawy o normalizacji i zatwierdzanymi przez krajową jednostkę normalizacyjną, którą jest Polski Komitet Normalizacyjny. Art. 5 pkt 3 ustawy o normalizacji precyzuje, że „stosowanie Polskich Norm jest dobrowolne”.

Po uzyskaniu koncesji na terenach zagrożonych powodzią według obowiązujących przepisów konieczne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego na lokalizowanie na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią nowych przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (tzn. kopalni odkrywkowej). W przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego do wniosku należy dołączyć decyzję o warunkach zabudowy. Decyzję tę wydaje ten sam organ, który wcześniej ustalił środowiskowe uwarunkowania realizacji przedsięwzięcia uzgodnione z organem wydającym to pozwolenie. Dodatkowa procedura znów wydłuża czas do rozpoczęcia działalności górniczej.

Zatwierdzenie planu ruchu (dla złóż powyżej 2 ha przy wydobywaniu większym niż 20 tys. m³/rok) pozwala na uruchomienie kopalni. Należy zaznaczyć, że sporządzenie planu ruchu dla kilku- lub kilkunastohektarowego zakładu górniczego eksploatującego piasek jest równie skomplikowane jak dla większych odkrywkowych zakładów górniczych.

W najbliższym czasie przewiduje się problemy z zapewnieniem na każdej zmianie pracownika posiadającego kwalifikacje stwierdzone przez Dyrektora Okręgowego Urzędu Górniczego. Wyznaczone przez przedsiębiorców osoby dozoru ruchu w niedługim czasie stracą swój status. Powierzenie wykonywania czynności na podstawie art. 58 ust. 7 pkt 1 ustawy zmienianej w art. 1 w brzmieniu dotychczasowym zachowuje moc przez 5 lat od dnia wejścia w życie ustawy z 16 czerwca 2023 r., czyli od 28 października 2023 r.

Zakończenie eksploatacji wiąże się z przeprowadzeniem likwidacji zakładu górniczego i rekultywacją wyrobiska pogórniczego. Przed przystąpieniem do rekultywacji konieczne jest uzyskanie decyzji o jej kierunku. Do wniosku (do starosty) o wydanie decyzji określającej kierunek rekultywacji gruntów lub o uznanie rekultywacji za zakończoną wymagany jest oprócz innych dokumentów projekt techniczny rekultywacji, zamiast opisu planowanych lub wykonanych prac.

Challenges of operating mining sites extracting sand and gravel

The Mineral resources datafile in Poland (as of December 31, 2024) indicates over 21 billion tonnes of geological resources of sand and gravel (including 4.4 billion tonnes of industrial resources) documented in 11,216 deposits. In 2024, the extraction

was carried out in 2,448 deposits, while the number of non-exploited deposits amounted to 8,768.

Sand and gravel are the second most consumed raw materials in the world after water, accounting for about 85% of the total weight of extracted minerals. In Poland, the annual sand and gravel production amounts to approximately 160–180 million tonnes. The extraction of natural sand-and-gravel aggregates in open-pit mines, where mining is conducted without the use of explosives, is most often carried out by micro-enterprises. These mines lack specialized departments such as mining technology, mechanical engineering, energy, or permanent surveying and geological services. Mine management and geological-surveying services are usually outsourced to external professionals holding appropriate qualifications and licenses.

Comprehensive mining facilities' servicing – from deposit exploration, recognition, and documentation, through obtaining concessions, extraction, and finally post-mining land reclamation – involves numerous legal, organizational, and environmental challenges.

The concession procedure for natural aggregates and deposits covering several or over a dozen hectares is just as complex as for minerals under mining ownership. The primary obstacle in obtaining a concession is securing an environmental decision on project implementation. For micro-enterprises, environmental procedures requiring the preparation of an Environmental Impact Assessment (EIA) report significantly extend the pre-operational phase and, above all, considerably increase the costs of launching an open-pit mine. The duration of this procedure is difficult to estimate.

One of many problems encountered when preparing documentation for obtaining environmental decisions for open-pit mineral extraction and for deposit management projects is the application of the PN G-02100 standard regarding "Open-pit mining. Danger zone and protective zone of open-pit workings. Use and width". It applies when determining the protective zone width for unembanked watercourses, and in the use of protective zones for temporary storage of overburden and minerals as well as for internal mine transport.

Controversy has arisen over the demand by Regional Directorates for Environmental Protection (RDOŚ) and the Polish Waters Authority (PGW Wody Polskie) for 50 m protective zones to be established for natural watercourses marked on maps, even if they do not exist in the field or carry waters only seasonally. Polish Standards are widely available national technical standards, issued under the Standardization Act and approved by the national standardization body, the Polish Committee for Standardization. Article 5(3) of the Standardization Act specifies that "application of Polish Standards is voluntary."

After obtaining a concession, in flood-prone areas as defined by current regulations, it is necessary to secure a water permit for locating new projects with potentially significant environmental impacts (such as an open-pit mine) in areas of particular flood risk. In the absence of a local spatial development plan, the application must include a zoning decision. This decision is issued by the same authority that previously determined

the environmental conditions of a project implementation, in agreement with the authority issuing the water permit. This additional procedure again prolongs the start of mining operations.

Approval of an operational plan (required for deposits larger than 2 ha and with annual extraction exceeding 20,000 m³) enables the mine to begin operations. It should be emphasized that the operational plan for a several- or over a dozen-hectare sand mine must be prepared in the same manner as for large open-pit mines.

In the near future, problems are expected with ensuring that each work shift is supervised by a qualified employee confirmed by the Director of Regional Mining Office. Supervisory personnel appointed by entrepreneurs will soon lose their status. The delegation of duties under Article 58(7)(1) of the amended Act, as per Article 1 in its previous wording, remains valid for five years from the Act's entry into force, i.e., since October 28, 2023.

Decommissioning of the deposit requires the closure of the mining site and the reclamation of the post-mining excavation. Before starting the reclamation process, it is necessary to obtain a decision on its direction. The application (to the district governor) for a decision specifying the direction of land reclamation, or for recognition of its completion, must include, in addition to other documents, a technical reclamation project instead of a description of planned or completed works.

Gospodarka o obiegu zamkniętym jako narzędzie ograniczania zależności UE od importu metali ziem rzadkich w świetle Europejskiego aktu o surowcach krytycznych (CRMA)

Unia Europejska pozostaje w dużym stopniu zależna od importu pierwiastków ziem rzadkich (REE), kluczowych dla zielonych i cyfrowych technologii oraz przemysłu obronnego i kosmicznego. Chiny kontrolują około 70% światowych rezerw REE (Agrawal, Ragauskas 2025) i w 2024 r. odpowiadały za 46% unijnego importu. Razem z Rosją i Malezją dostarczały ponad 90% całego wolumenu, co potwierdza wysoką koncentrację rynku i naraża UE na ryzyko geopolityczne, wahania cen oraz zakłócenia podaży (EC 2024; Eurostat 2025). Europejski akt o surowcach krytycznych (CRMA) wprowadza ramy prawne wzmacniające bezpieczeństwo dostaw poprzez dywersyfikację źródeł, rozwój recyklingu i wdrożenie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). Do 2030 r. zakłada on m.in. pozyskiwanie 25% strategicznych surowców z recyklingu (EC 2024). Równocześnie prognozuje się, że unijne zapotrzebowanie na REE w technologiach strategicznych wzrośnie pięciokrotnie względem 2020 r., osiągając 6800 ton (Carrara i in. 2023). Celem niniejszej pracy jest analiza działań i strategii UE w obszarze GOZ, ze szczególnym uwzględnieniem ich potencjału w ograniczaniu zależności od importu REE, wzmacnianiu bezpieczeństwa surowcowego oraz rozwoju badań nad alternatywnymi źródłami ich pozyskiwania.

Najważniejszym kierunkiem rozwoju GOZ jest recykling odpadów elektrycznych i elektronicznych oraz innych zużytych komponentów technologicznych, stanowiących bogate źródło magnezów trwałych. Globalnie mniej niż 1% REE jest odzyskiwane, głównie z powodu barier technologicznych i słabej organizacji systemów zbiórki (Kaya 2024). Mimo to pionierskie projekty pokazują skalowalny potencjał: Heraeus Remloy w Niemczech przetwarza 600 ton magnezów rocznie, redukując emisję CO₂ o 80% w stosunku do produkcji pierwotnej, a projekt LIFE INSPIREE (Włochy) zakłada odzysk 700 ton/rok REE ze złomu HDD i silników, z możliwością wzrostu do 20 000 ton/rok do 2040 r. (EC 2025; Heraeus 2024). Dodatkowo w ramach projektu MagFactory (Francja) planuje się dalszą ekspansję recyklingu magnezów NdFeB, przy czym produkcja w 2029 r. miałaby pokrywać około 1,25% całkowitego przewidywanego zapotrzebowania UE oraz 5% ilości wyznaczonej do recyklingu. Takie inicjatywy pokazują, że rozwój infrastruktury recyklingowej staje się integralnym elementem polityki surowcowej UE.

Drugim kierunkiem są alternatywne źródła wtórne, które mogą uzupełnić bilans surowcowy UE. Popioły lotne z energetyki węglowej stanowią potencjalnie bardzo bogate źródło REE – przy średniej koncentracji REE wynoszącej 400 ppm i globalnej produkcji 780 milionów ton popiołów rocznie możliwe byłoby odzyskanie nawet około 312 000 ton REE rocznie, co znacznie przewyższa roczne zapotrzebowanie światowe (Agrawal, Ragauskas 2025). Czerwony szlam – odpad z produkcji tlenku glinu – wykazuje średnią zawartość od 0,23 do 0,38 wt.% REE, jednak jego przetwarzanie utrudniają silna zasadowość i obecność metali ciężkich. Wzrasta również zainteresowanie odzyskiem REE z wód kwaśnego drenażu górniczego (AMD), który pozwala równocześnie na redukcję zanieczyszczeń środowiskowych (Yang i in. 2023). Dodatkowo recykling odpadów elektrycznych i elektronicznych obejmuje nie tylko magnesy, lecz także luminofory i inne komponenty zawierające REE, co zwiększa potencjał odzysku. Inne alternatywne źródła obejmują odpady przemysłowe, pyły hutnicze, szlamy z oczyszczalni ścieków oraz odpady pokopalniane.

Wdrożenie GOZ w połączeniu z innowacyjnymi technologiami odzysku i wykorzystaniem nowych źródeł wtórnych pozwoli na ograniczenie zależności od importu, wzmocnienie odporności łańcuchów dostaw oraz redukcję wpływu środowiskowego wydobycia pierwotnego.

Badanie przeprowadzono w ramach projektu REECoverry finansowanego w programie M-ERANET3/Call2024.

The circular economy as a tool for reducing the EU's dependence on imports of rare earth elements in the light of the Critical Raw Materials Act (CRMA)

The European Union remains highly dependent on the import of rare earth elements (REEs), which are critical for green and digital technologies as well as for the defense and aerospace industries. China controls approximately 70% of global REE reserves (Agrawal, Ragauskas 2025) and accounted for 46% of EU imports in 2024. Together with Russia and Malaysia, these three main exporters supplied over 90% of the total volume, reflecting a highly concentrated market and exposing the EU to geopolitical risks, price fluctuations, and potential supply disruptions (EC 2024; Eurostat 2025). The European Critical Raw Materials Act (CRMA) establishes a legal framework to strengthen supply security through diversification of sources, development of recycling, and implementation of a circular economy (CE) approach. By 2030, it aims for at least 25% of strategic raw materials to come from recycling (EC 2024). At the same time, EU demand for REEs in strategic technologies is projected to increase fivefold compared to 2020 levels, reaching 6,800 tonnes (Carrara et al. 2023). The aim of this study is to analyze the EU actions and strategies in the field of circular economy, with

a particular focus on their potential to reduce dependence on REE imports, enhance raw material security, and foster research into alternative sources of these critical materials.

The main focus of CE development is the recycling of electrical and electronic waste, as well as other used technological components, which are rich sources of permanent magnets. Globally, less than 1% of REEs is currently recovered, mainly due to technological barriers and poorly organized collection systems (Kaya 2024). Nevertheless, pioneering initiatives demonstrate scalable potential: Heraeus Remloy in Germany processes 600 t of magnets per year, reducing CO₂ emissions by 80% compared to primary production, and the LIFE INSPIREE project (Italy) aims to recover 700 tons/year of REEs from HDD scrap and motors, with potential growth up to 20,000 tons/year by 2040 (EC 2025; Heraeus 2024). Additionally, the MagFactory project (France) plans to further expand NdFeB magnet recycling, with production in 2029 expected to cover approximately 1.25% of the total projected EU demand and 5% of the target amount for recycling. Such initiatives show that the development of recycling infrastructure is becoming an integral part of the EU raw material policy.

The second direction involves alternative secondary sources that can complement the EU's material balance. Coal fly ash represents a potentially very rich source of REEs – with an average concentration of 400 ppm and a global production of 780 million tons of ash per year, it would be possible to recover around 312,000 tons of REEs annually, far exceeding the global annual demand (Agrawal, Ragauskas 2025). Red mud – a by-product of aluminum production – shows an average content of 0.23 to 0.38 wt.% REEs; however, its processing is hindered by strong alkalinity and the presence of heavy metals. Interest is also growing in the recovery of REEs from acid mine drainage (AMD), which simultaneously allows for the reduction of environmental pollution (Yang et al. 2023). Moreover, recycling of electrical and electronic waste involves not only magnets but also phosphors and other REE-containing components, increasing the recovery potential. Other alternative sources include industrial waste, metallurgical dust, sewage sludge, and post-mining residues.

Implementing a CE approach in combination with innovative recovery technologies and the use of new secondary sources will help reduce import dependence, strengthen supply chain resilience, and decrease the environmental impact of primary extraction.

The study was conducted as part of the REECover project, funded under the M-ERANET3/Call2024 program.

Literatura/References

Agrawal R., Ragauskas A.J. 2025. Sustainable recovery of Rare Earth Elements (REEs) from coal and coal ash through urban mining: A Nature Based Solution (NBS) for circular economy. *J. Environ. Manage.* 384, 125411, DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125411.

- Carrara et al. 2023 – Carrara S., Bobba S., Blagoeva D., Alves D.P., Cavalli A., Georgitzikis K., Grohol M., Itul A., Kuzov T., Latunussa C., Lyons L., Malano G., Maury T., Prior A.A., Somers J., Telsnig T., Veeh C., Wittmer D., Black C., Pennington D., Christou M. 2023. Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study. Publications Office of the European Union, DOI: 10.2760/334074.
- EC 2025. Selected strategic projects. [Online:] https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/strategic-projects-under-crma/selected-projects_en [Accessed: 2025-10-09].
- EC 2024. Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/17. Off. J. Eur. Union 1252, 1–67.
- Eurostat 2025. International trade in critical raw materials. [Online:] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=International_trade_in_critical_raw_materials [Accessed: 2025-10-09].
- Heraeus 2024. Heraeus Remloy launches the largest recycling plant for rare earth magnets in Europe. [Online:] <https://www.heraeus-group.com/en/news-and-stories/2024-remloy-largest-recycling-plant/> [Accessed: 2025-10-09].
- Kaya M. 2024. An overview of NdFeB magnets recycling technologies. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 46, 1–10, DOI: 10.1016/j.cogsc.2024.100884.
- Yang et al. 2023 – Yang Y., Li B., Li T., Liu P., Zhang B., Che L. 2023. A review of treatment technologies for acid mine drainage and sustainability assessment. *J. Water Process Eng.* 55, DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104213.

Perspektywy ponownego zagospodarowania złóż rud metali w Polsce

Bezpieczeństwo surowcowe stało się w ostatnich latach jednym z kluczowych elementów polityki gospodarczej Polski i Unii Europejskiej. W konsekwencji wzrosło strategiczne znaczenie krajowych złóż metali krytycznych i strategicznych. Z tego powodu podjęto prace mające na celu zidentyfikowanie i weryfikację złóż udokumentowanych, lecz niezagospodarowanych, a także złóż, których eksploatację przerwano – współcześnie lub historycznie. Zasoby te, niegdyś oceniane jako ekonomicznie nieopłacalne czy technologicznie niedostępne, w świetle postępu technologicznego i rosnącego zapotrzebowania przemysłu na surowce krytyczne zyskały nowe znaczenie i mogą stanowić potencjalne źródło surowców.

W ramach zadania realizowanego w PIG-PIB w latach 2024–2025 przeprowadzono wieloetapową i wielokryterialną analizę, obejmującą złoża rud metali rozmieszczone w różnych regionach Polski, m.in. na Dolnym i Górnym Śląsku, w woj. świętokrzyskim, mazowieckim, łódzkim, a także rudy polimetaliczne koncentrujące się głównie w Sudetach. Do weryfikacji wybrano 33 złoża udokumentowane, lecz niezagospodarowane, a także 85 złóż i rejonów złożowych o zaniechanej eksploatacji. Dodatkowo przeanalizowano informacje o historycznym wydobywaniu prowadzonym na niewielką skalę, z uwzględnieniem możliwości dalszego wykorzystania niewyeksplorowanych wystąpień rud metali. Istotnym elementem była weryfikacja materiałów archiwalnych Wyższego Urzędu Górniczego i archiwów państwowych – w szczególności planów, szkiców i map kopalń oraz sztolni. W kolejnym etapie oceniono konfliktogenność przyrodniczą i środowiskową, przeanalizowano potencjał jakościowy i ilościowy pierwiastków towarzyszących oraz wykonano benchmark globalny dla projektów o porównywalnych parametrach geologiczno-górnich. Pozwoliło to na ocenę możliwości ewentualnego zagospodarowania wyselekcjonowanych złóż w najbliższej przyszłości lub ich dalszego rozpoznania. Na tej podstawie wskazano kilka obiektów o szczególnym znaczeniu gospodarczym, wyróżniających się korzystnymi parametrami oraz relatywnie niską konfliktogennością, co potwierdziło ich potencjalną przydatność jako krajowych źródeł surowców strategicznych i krytycznych.

W efekcie uzyskano listę lokalizacji do ponownego włączenia do krajowej bazy zasobowej, dla których zostaną przygotowane pakiety informacyjne dla przedsiębiorców (inwestorów). Rekomendacje opracowane na podstawie analiz mogą służyć jako wkład w politykę surowcową Polski i UE, przyczyniając się do zwiększenia odporności i nieza-

leżności surowcowej. W wystąpieniu omówiona zostanie metodologia przeprowadzonych prac, złoża, które zostały wzięte pod uwagę, oraz wyselekcjonowane złoża, które wykazały potencjał reeksploracji.

Prace sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (Projekt 22.6901.2401.00.1).

Prospects for the redevelopment of metal ore deposits in Poland

In recent years, resource security has become one of the key elements of the economic policy of both Poland and the European Union. Consequently, the strategic importance of domestic deposits of critical and strategic metals has increased. For this reason, work was undertaken to identify and verify documented but undeveloped deposits, as well as deposits, the exploitation of which was discontinued – either in recent decades or historically. These resources, once regarded as economically unviable or technologically inaccessible, have gained new significance in the light of technological progress and the growing demand for critical raw materials, and may represent a potential source of supply.

As part of the task carried out at PIG-PIB in 2024–2025, a multi-stage and multi-criteria analysis was undertaken, covering metal ore deposits located in different regions of Poland, including Lower and Upper Silesia, the Świętokrzyskie, Mazowieckie and Łódzkie Provinces, as well as polymetallic ores concentrated mainly in the Sudety Mountains. For verification, 33 documented but undeveloped deposits were selected, together with 85 deposits and deposit areas of abandoned exploitation. In addition, information on small-scale historical mining was reviewed, taking into account the possibility of further utilisation of non-exhausted metal ore occurrences. An important component of the work was the examination of archival materials from the Higher Mining Authority and state archives – in particular mine and adit plans, sketches and maps.

In the subsequent stage, environmental and land-use conflicts were assessed, the qualitative and quantitative potential of accompanying elements was analysed, and a global benchmark was carried out for projects with comparable geological and mining parameters. This made it possible to evaluate the potential for possible re-development of the selected deposits in the near future or for further exploration. On this basis, several sites of particular economic importance were identified, characterised by favourable parameters and relatively low conflict potential, which confirmed their possible usefulness as domestic sources of strategic and critical raw materials.

As a result, a list of locations for possible re-inclusion in the national resource base was obtained, for which information packages for entrepreneurs (investors) will be prepared. The recommendations developed on the basis of the analyses may serve as

a contribution to the raw materials policy of Poland and the EU, helping to increase resilience and reduce resource dependency. The presentation will discuss the applied methodology, the deposits that were taken into account, and the selected deposits that demonstrated potential for re-exploitation.

This work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management (Project 22.6901.2401.00.1).

Eksploracja kruszywa naturalnego z czaszy suchego polderu Racibórz Dolny w świetle przepisów ochrony środowiska oraz funkcji tego zbiornika

Zbiornik Racibórz Dolny jest polderem przeciwpowodziowym, tzn. zbiornikiem suchym z ograniczoną dostępnością terenów położonych w czaszy obiektu. W czaszy polderu zostały udokumentowane złoża piasków i żwirów, których eksploatacja przyczynia się do zwiększenia pojemności zbiornika. Powierzchnia maksymalna lustra wody w zbiorniku wynosi około 2630 ha. Nie wyklucza się, że oddany do użytku w 2020 r. zbiornik Racibórz Dolny stanie się w przyszłości zbiornikiem wodnym, co związane będzie również z budową Kanału Odra–Dunaj i powstaniem europejskiego szlaku żeglugi wodnej.

Złoża kruszywa naturalnego, które udokumentowano w czaszy zbiornika Racibórz Dolny, są zawodnione. Czwartorzędowy poziom wodonośny występuje na głębokości od 1 do 3,6 m. Serię złożową stanowią piaski i żwiry czwartorzędu, które tworzą dość regularny pokład. Ze względu na prostą budowę geologiczną złoża te zaliczono do I grupy zmienności. W nadkładzie oprócz gleby występują gliny pylaste, gliny oraz pyły. Miąższość nadkładu wynosi od 2,3 do 6 m, średnio 4,2 metra. Głębokość spagu złóż sięga 9,2–12 m, a średnia ich miąższość – 6,3 m.

Po wysiedleniu mieszkańców z miejscowości Nieboczowy (na terenie czaszy zbiornika), w okresie 2013–2015 miał miejsce stały wzrost wydobywania kruszywa naturalnego, głównie przez średniej wielkości i małe zakłady. W sumie na omawianym terenie działały 24 zakłady górnicze, niektóre z nich korzystały ze wspólnych linii przerobczych. Najwięcej kruszywa wyeksploatowano ze złoża Bieńkowice Wschód – łącznie 16 831 tys. ton. W 2015 r. eksploatacja z czaszy zbiornika Racibórz Dolny stanowiła 61% produkcji województwa śląskiego. Łącznie z czaszy zbiornika wydobyto 42 602 tys. ton kruszywa naturalnego. Wskutek eksploatacji w okresie 2007–2023 zwiększono pojemność przeciwpowodziową zbiornika Racibórz Dolny o 13%.

Po przekroczeniu stanów alarmowych na Odrze podczas opadów we wrześniu 2024 r. podjęto decyzję o opuszczeniu zapór polderu Racibórz Dolny i napełnieniu go w celu ochrony mieszkańców doliny Odry. W dniach 14–17 września zbiornik przyjął 147,9 mln m³ wody, co oznacza ok. 80% jego pojemności. Polder spełnił swoją przeciwpowodziową funkcję. Jednak pod wodą, w czaszy zbiornika, znalazły się zakłady eksploatujące kruszywa naturalne, wyrobiska, zwałowiska oraz zrekultywowane

obszary upraw, a nawet Las Tworkowski, który stanowi obszar Natura 2000. Ponowny rozruch zakładów trwał kilka miesięcy i oczywiście był związany ze stratami finansowymi. Mimo takich warunków pracy w czaszy zbiornika nie powstały przepisy, które upraszczałyby staranie się o koncesję na wydobywanie, a przecież jest to wpisane w zasady funkcjonowania zbiornika Racibórz Dolny. Zależy od tego jego główny parametr, czyli pojemność przeciwpowodziowa.

Exploitation of natural aggregate from the Racibórz Dolny dry polder in the light of environmental protection regulations and its functions

The Racibórz Dolny reservoir is a flood control polder, meaning it's a dry reservoir with limited access to the land within its basin. Deposits of sand and gravel have been documented within the polder basin, the exploitation of which contributes to increasing the reservoir's capacity. The reservoir's maximum water surface area is approximately 2,630 hectares. It is possible that the Racibórz Dolny reservoir, commissioned in 2020, will become a water reservoir in the future, which will also be related to the construction of the Odra-Danube Canal and the creation of a European waterway.

The natural aggregate deposits documented in the Racibórz Dolny reservoir basin are saturated with water. The Quaternary aquifer occurs at a depth of approximately 1–3.6 m. The deposit series consists of Quaternary sands and gravels, forming a relatively regular bed. Due to their simple geological structure, the deposits are classified as I group deposit variability. In addition to soil, the overburden contains silty clay, clays, and silt. The overburden thickness ranges from 2.3 to 6 m, averaging 4.2 m. The depth of the deposit floor is 9.2 to 12 m, and the average thickness of the deposits is 6.3 m.

Following the displacement of residents from the village of Nieboczowy (within the reservoir basin), the period 2013–2015 saw a steady increase in natural aggregate extraction, primarily by medium-sized and small-scale mines. A total of 24 mines operated in the area, some of which shared processing lines. The largest amount of extracted natural aggregates was from the Bieńkowice Wschód deposit, at 16.8 million tons. In 2015, extraction from the Racibórz Dolny reservoir basin accounted for 61% of the Śląskie Voivodship's production. A total of 42.6 million tons of natural aggregate was extracted from the reservoir basin. As a result of these operations from 2007 to 2023, the flood protection capacity of the Racibórz Dolny reservoir increased by 13%.

After the Odra River exceeded alarm levels during rainfall in September 2024, the decision was made to lower the Racibórz Dolny polder's dams and fill it to protect residents of the Odra Valley. Between September 14th and 17th, the reservoir absorbed 147.9 million m³ of water, approximately 80% of its capacity. The polder fulfilled its flood protection function. However, the reservoir basin contained plants extracting natural aggregates, excavations, dumps, reclaimed agricultural land, and even the Tworków

Forest – a Natura 2000 site. Restarting the plants took several months and, of course, entailed financial losses. Despite these operating conditions in the reservoir basin, there are no regulations that would simplify applying for a mining license, even though this is a requirement of the Racibórz Dolny reservoir's operation. This determines its main parameter: flood capacity.

Literatura/References

Gałaś S., Gałaś A. 2018. Construction of hydrotechnical structures in terms of rational management of mineral resources. [In:] Zelenakova M. (ed.) Water management and the environment: case studies. Springer, pp. 29–41.

SLÁVKA GAŁAŚ¹, ALICJA KOT-NIEWIADOMSKA², ANDRZEJ GAŁAŚ²,
KATARZYNA GUZIK², WIKTORIA WÓJCIK¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

² Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

Krajobrazy priorytetowe a zagospodarowanie złóż kopalin: analiza złożonych relacji między ochroną krajobrazu a polityką surowcową

Celem badań jest ocena wpływu wyznaczania krajobrazów priorytetowych w ramach audytów krajobrazowych na dostępność i możliwość zagospodarowania udokumentowanych złóż kopalin w województwie małopolskim. Analiza koncentruje się na identyfikacji konfliktów między ochroną wartości krajobrazowych a interesami gospodarczymi wynikającymi z polityki surowcowej oraz na wskazaniu konsekwencji tych decyzji dla systemu planowania przestrzennego. Przyjęto hipotezę, zgodnie z którą wyznaczanie krajobrazów priorytetowych, choć formalnie nie wiąże się z bezpośrednimi zakazami eksploatacji, w praktyce ogranicza możliwości gospodarowania złożami kopalin poprzez obowiązek uwzględniania rekomendacji audytu w aktach planowania przestrzennego wszystkich szczebli. Tym samym audyt krajobrazowy pełni funkcję istotnego narzędzia równoważenia interesów ochrony krajobrazu i polityki surowcowej, przy czym jego wpływ działa głównie w kierunku utrwalenia ochrony krajobrazu.

Metodyka badań obejmuje analizę treści projektu audytu krajobrazowego, w tym wyznaczonych obszarów, oraz wskazań odnoszących się do krajobrazów priorytetowych. Uwzględniono także porównanie rekomendacji audytu z zapisami aktów planowania przestrzennego, ocenę skutków środowiskowych i społecznych eksploatacji kopalin na obszarach cennych krajobrazowo oraz analizę prawną i instytucjonalną wskazującą na pośrednie, ale istotne znaczenie audytu w kształtowaniu decyzji przestrzennych i gospodarczych.

W dyskusji podkreślono, że konflikt pomiędzy ochroną krajobrazu a eksploatacją złóż kopalin ma charakter realny i udokumentowany. Wnioski o wyłączenie złóż z granic krajobrazów priorytetowych nie są akceptowane, ponieważ audyt opiera się na obiektywnych kryteriach wartości krajobrazowej, a nie na przesłankach gospodarczych. Choć rekomendacje audytu mają charakter postulatywny, ich obligatoryjne uwzględnienie w planach zagospodarowania przestrzennego województw i gmin nadaje im znaczną moc oddziaływania. Eksploatacja kopalin generuje przy tym trwałe i nieodwracalne zmiany w krajobrazie, co stoi w sprzeczności z głównym celem audytu, jakim jest ochrona i kształtowanie wartości przyrodniczych, kulturowych i estetycznych. Kluczowym zagadnieniem pozostaje równoważenie wartości społecznych i przyrodniczych z interesami gospodarczymi oraz ocena długoterminowych skutków planistycznych decyzji podejmowanych na podstawie audytu.

Oczekiwane wyniki badań obejmują identyfikację mechanizmów, poprzez które audyt krajobrazowy wpływa na dostępność złóż kopalin, określenie skali konfliktów i ich praktycznych konsekwencji dla branży wydobywczej, samorządów i społeczności lokalnych, a także ocenę skuteczności audytu jako instrumentu ochrony krajobrazu w warunkach presji gospodarczej. Analiza pozwoli również na sformułowanie rekomendacji dotyczących integracji polityki krajobrazowej i surowcowej, w tym propozycji rozwiązań kompromisowych, takich jak wyznaczanie stref warunkowej eksploatacji czy mechanizmy kompensacji krajobrazowej.

Podsumowując, badania mają na celu ukazanie złożonych relacji pomiędzy ochroną krajobrazu a polityką surowcową oraz praktycznych konsekwencji prawnych i przestrzennych wynikających z wdrażania audytów krajobrazowych. Wykazanie, że dokument o charakterze analityczno-diagnostycznym faktycznie wpływa na decyzje o strategicznym znaczeniu gospodarczym, pozwoli lepiej zrozumieć mechanizmy współkształtowania polityki przestrzennej i surowcowej. Dalsze badania powinny skupić się na analizie porównawczej kilku województw, w których wdrożono audyty krajobrazowe, aby ocenić różnice w sposobach ich implementacji oraz w praktycznych skutkach dla gospodarki surowcowej.

Przygotowanie tej pracy uzyskało wsparcie Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w ramach badań statutowych 16.16.140.315 oraz Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej.

Priority landscapes and mineral resource management: an analysis of the complex relationship between landscape protection and resource policy

The aim of this study is to assess the impact of designating priority landscapes within the framework of landscape audits on the safeguarding and potential exploitation of documented mineral deposits in the Małopolska region. The analysis focuses on identifying conflicts between the protection of landscape values and the economic interests arising from resource policy, as well as on highlighting the consequences of these decisions for the spatial planning system. The study is based on the hypothesis that the designation of priority landscapes, although not formally associated with direct prohibitions of mineral extraction, in practice restricts the possibilities of managing mineral deposits through the mandatory incorporation of audit recommendations into spatial planning documents at all levels. In this sense, the landscape audit functions as a significant instrument for balancing the interests of landscape protection and resource policy, with its influence operating predominantly in favor of reinforcing landscape protection.

The research methodology includes an analysis of the draft landscape audit, with particular attention to the areas designated as priority landscapes and the recommen-

dations associated with them. This is complemented by a comparison of audit recommendations with the provisions of spatial planning documents, an assessment of the environmental and social impacts of mineral exploitation in landscape-sensitive areas, and a legal and institutional analysis pointing to the indirect yet substantial significance of the audit in shaping spatial and economic decisions.

The discussion emphasizes that the conflict between landscape protection and mineral exploitation is both real and well documented. Requests to exclude mineral deposits from the boundaries of priority landscapes are not accepted, since the audit is based on objective criteria of landscape value rather than economic considerations. Although the recommendations of the audit are formally advisory, their mandatory inclusion in regional and local planning documents gives them considerable weight. Mineral exploitation, however, produces permanent and irreversible changes in the landscape, which stands in direct contradiction to the principal objective of the audit, namely the protection and shaping of natural, cultural, and aesthetic values. The central issue therefore remains the balancing of social and ecological values with economic interests, alongside the evaluation of the long-term planning consequences of decisions derived from the audit.

The expected results of the study include the identification of mechanisms, through which the landscape audit influences the accessibility of mineral deposits, the determination of the scale of conflicts and their practical implications for the extractive industry, local governments, and communities, and an evaluation of the audit's effectiveness as a landscape protection instrument under conditions of economic pressure. The analysis is also expected to provide a basis for recommendations on the integration of landscape and resource policy, including potential compromise solutions such as the designation of conditional extraction zones or the implementation of landscape compensation mechanisms.

In conclusion, the study seeks to demonstrate the complex interplay between landscape protection and resource policy, as well as the practical legal and spatial consequences arising from the implementation of landscape audits. By showing that a diagnostic and analytical document can in fact influence decisions of strategic economic importance, the research contributes to a deeper understanding of the mechanisms, by which spatial and resource policies are co-shaped. Future research should focus on comparative analyses of several regions where landscape audits have been implemented in order to assess differences in their application and their practical implications for resource management.

The preparation of this work was supported by the Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection of the AGH University of Krakow under statutory research 16.16.140.315 and by the Polish National Agency for Academic Exchange.

Ocena wpływu inwestycji w lokalne źródła energii elektrycznej na konkurencyjność kosztową przedsiębiorstw

Współczesne przedsiębiorstwa przemysłowe stoją wobec rosnącej zmienności cen energii elektrycznej oraz zaostrzających się wymogów związanych z polityką klimatyczną i ESG. Wzrost taryf sieciowych i dynamiczne wahania cen hurtowych zwiększają presję kosztową, zmuszając firmy do poszukiwania alternatywnych strategii energetycznych. Jednym z najbardziej obiecujących kierunków są inwestycje we własne źródła odnawialne, w szczególności instalacje fotowoltaiczne, które mogą pełnić funkcję zarówno narzędzia redukcji kosztów, jak i elementu długofalowej strategii energetycznej.

Celem niniejszego opracowania jest ocena wpływu inwestycji w lokalne źródła energii na konkurencyjność kosztową przedsiębiorstw. Analiza obejmuje zarówno aspekty ekonomiczne, jak i operacyjne – poziom autokonsumpcji wytwarzanej energii, strukturę taryf oraz wahania cen rynkowych. Podstawą rozważań jest studium przypadku przedsiębiorstwa produkcyjnego, które wdrożyło instalację fotowoltaiczną dostosowaną do własnego profilu zużycia. Dane eksploatacyjne umożliwiły określenie zależności pomiędzy stopniem autokonsumpcji, redukcją zakupu energii z sieci a jednostkowym kosztem wytwarzanych produktów.

W szerszym kontekście warto odnieść się do aktualnej sytuacji na rynku prosumenckim w Polsce. Na koniec sierpnia 2025 r. liczba mikroinstalacji prosumenckich przekroczyła 1,6 mln, a ich łączna moc osiągnęła 13,3 GW (średnio 8,32 kW na prosumenta) (Gramwzielone.pl). Jednocześnie od grudnia 2024 r. obowiązuje tzw. depozyt prosumencki, zwiększający wartość energii oddawanej do sieci o 23%, co poprawia ekonomikę inwestycji PV (Kobo-Energy.pl). Od września 2025 r. rozliczenia prosumentów oparte na RCE odbywają się w interwałach 15-minutowych, co skutkuje znacznymi wahaniami wartości energii – przykładowo w godzinach wieczornych ceny sięgały 1,83 zł/kWh (Gramwzielone.pl). Dane te podkreślają, jak duże znaczenie dla opłacalności inwestycji ma optymalizacja autokonsumpcji i integracja z magazynami energii.

Wyniki badań wskazują, że odpowiednio dobrana technologia PV, wsparta strategiami zarządzania zużyciem oraz elastycznymi modelami taryfowymi, pozwala znacząco obniżyć koszty jednostkowe produkcji. Tego rodzaju inwestycje zwiększają stabilność finansową firm, zmniejszają ich podatność na szoki cenowe i poprawiają pozycję konkurencyjną wobec podmiotów polegających wyłącznie na energii zakupionej z sieci. Szczególnie istotnym czynnikiem okazuje się poziom autokonsumpcji – im większa część wytworzonej energii zużywana jest na potrzeby własne, tym krótszy okres zwrotu i wyższe korzyści ekonomiczne.

Opracowanie podkreśla również rolę prosumeryzmu jako nowego elementu strategii energetycznej przedsiębiorstw. Inwestycje w lokalne źródła energii przestają być wyłącznie przejawem działań proekologicznych, a stają się świadomym narzędziem budowania przewagi kosztowej i odporności na zmienność rynku.

Podsumowując, artykuł wnosi wkład do dyskusji nad efektywnością energetyczną jako czynnikiem konkurencyjności przedsiębiorstw. Przedstawione wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych badań porównawczych, obejmujących różne sektory przemysłu, a także do rozwijania modeli oceny strategicznej wartości inwestycji w OZE w zmieniających się warunkach regulacyjnych i rynkowych.

Assessment of the impact of investments in local electricity generation on cost competitiveness of companies

In the era of escalating volatility in electricity markets and tightening sustainability agendas, industrial enterprises must strengthen their energy cost resilience. Rising grid tariffs and fluctuating wholesale prices intensify production cost pressures, prompting firms to explore alternative strategies. One promising avenue is investment in on-site renewable energy sources – particularly photovoltaic (PV) systems – which can serve as both cost mitigation tools and elements of corporate energy strategy.

The purpose of this paper is to assess how investments in distributed renewable electricity generation impact firms' cost competitiveness. The study investigates both economic and operational dimensions, including self-consumption rates, tariff structures, and wholesale price volatility. The analysis is grounded in a case study of a manufacturing firm that implemented a PV installation tailored to its consumption profile. Empirical data enabled estimation of interactions among consumption patterns, self-utilization of generated electricity, and avoided grid purchases.

To situate the analysis in the current Polish context: as of August 2025, the number of micro-installations (prosumer PV systems) in Poland exceeded 1.6 million, with a total installed capacity surpassing 13.3 GW (mean ~8.32 kW per prosumer) (Gramwzielone.pl). In parallel, from December 2024 a "prosumer deposit" mechanism was introduced, increasing the value of energy fed into the grid by 23% under certain schemes, thereby narrowing the gap between selling and purchasing prices (Kobo-Energy.pl). In addition, from September 30, 2025, the settlement periods for prosumers under net-billing (RCE pricing) shifted from hourly to 15-minute intervals, resulting in significant intra-day price swings (e.g. evening RCE values rising to 1.83 PLN/kWh in a 15-minute slot) (Gramwzielone.pl). These regulatory and market changes increase the importance of both self-consumption and energy storage in enhancing economic outcomes.

Results of the case study indicate that a properly sized and managed PV system, together with strategies to optimize consumption timing (and potentially integrate

storage), can significantly reduce the unit cost of manufactured goods. Such an approach strengthens a firm's financial stability, diminishes exposure to energy price shocks, and enhances competitive positioning compared to companies fully reliant on grid-supplied electricity. Crucially, the share of self-consumption emerges as a key determinant: the greater the portion of locally consumed energy, the shorter the payback period and the larger the cost advantage. Use of flexible tariff schemes and demand-side optimization further amplifies this effect.

The paper also underscores the role of prosumerism in corporate energy strategy. Investments in on-site generation are increasingly viewed not as symbolic environmental gestures but as integral to cost strategy. In this light, prosumerism can contribute to competitive advantage by enhancing cost resilience and aligning firms with broader ESG trends.

In summary, the work contributes to the discourse on energy efficiency as a determinant of cost competitiveness in industrial enterprises. The findings support further comparative research across industry sectors and inform models assessing the long-term strategic value of investments in renewables under evolving regulatory and market conditions.

Literatura/References

- Gramwzielone.pl. 2025. W Polsce mamy już ponad 1,6 mln prosumentów, ale inwestycje spadły. [Online:] <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20335355/w-polsce-mamy-juz-ponad-16-mln-prosumentow-ale-inwestycje-spadly> [Accessed: 2025-10-07].
- Kobo-Energy.pl. 2024. Czy fotowoltaika się opłaca? Opłacalność fotowoltaiki. [Online:] <https://kobo-energy.pl/czy-fotowoltaika-sie-oplaca-oplaczalnosc-fotowoltaiki> [Accessed: 2025-10-07].
- Gramwzielone.pl. 2025. Ceny energii od prosumentów zaczęły zmieniać się co kwadrans. Jakie są wahania wartości RCE? [Online:] <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20335133/ceny-energii-od-prosumentow-zaczely-zmieniac-sie-co-kwadrans-jakie-sa-wahania-wartosci-rce> [Accessed: 2025-10-07].

Prawo do informacji geologicznej – od regulacji historycznych do współczesnych zmian

Przepisy prawa geologicznego i górniczego na przestrzeni lat ulegały licznym zmianom, także w zakresie prawa do informacji geologicznej. Obecnie informację geologiczną stanowią dane i próbki geologiczne wraz z wynikami ich przetworzenia i interpretacji, w szczególności przedstawione w dokumentacjach geologicznych oraz zapisane na nośnikach danych.

W zakresie uregulowań dotyczących informacji geologicznej wyróżniamy trzy ustawy:

- ➔ Ustawa Prawo geologiczne i górniczne z dnia 16 listopada 1960 r.
- ➔ Ustawa Prawo geologiczne i górniczne z dnia 4 lutego 1994 r.
- ➔ Ustawa Prawo geologiczne i górniczne z dnia 9 czerwca 2011 r.

Wpływ na możliwość nabywania prawa do informacji geologicznej miały też przepisy przejściowe, a także inne ustawy (Kodeks cywilny, ustawa o samorządzie gminnym).

Prawo do informacji geologicznej jest ściśle powiązane z czasem jej wytworzenia. Przysługuje ono Skarbowi Państwa albo podmiotowi, który sfinansował prace i doprowadził do powstania informacji geologicznej. W kolejnych nowelizacjach prawa geologicznego i górniczego stopniowo doprecyzowano, kto jest właścicielem informacji geologicznej i jakie są zasady jej ochrony.

W latach obowiązywania pierwszej z wymienionych ustaw państwo finansowało i gromadziło dane na swoje potrzeby. Dominowała pełna kontrola państwa nad informacją geologiczną. W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku większe znaczenie uzyskało prawo do informacji geologicznej inwestora. Zaczęto chronić interesy przedsiębiorców finansujących badania.

Szczególnie istotne zmiany wprowadzono w 2011 r., kiedy to zaczął funkcjonować model mieszany, w którym jednoznacznie wskazano, że informacja geologiczna stanowi własność Skarbu Państwa, ale ochronie podlegają interesy podmiotów, które finansowały prowadzenie prac geologicznych. Regulacje prawne umożliwiły inwestorowi czasowe pierwszeństwo wykorzystania wytworzonej przez niego informacji geologicznej. Obecnie obowiązujące przepisy prawa geologicznego i górniczego pozwalają na balans między interesem państwa a interesem przedsiębiorców ponoszących nakłady finansowe na prace geologiczne.

The right to geological information – from historical regulations to contemporary changes

Geological and mining law regulations have undergone numerous amendments over the years, particularly in the area of the right to geological information. Currently, geological information includes both geological data and samples along with the results of their processing and interpretation, especially when presented in geological documentation and stored on data carriers.

With regard to the legal framework regulating geological information, we distinguish three acts:

- ➔ Geological and Mining Law of November 16, 1960.
- ➔ Geological and Mining Law of February 4, 1994.
- ➔ Geological and Mining Law of June 9, 2011.

Transitional provisions, as well as other laws (Civil Code, Local Government Act), also influenced the ability to acquire the right to geological information.

The right to geological information is closely linked to the time of its creation. It is generally vested either in the State Treasury or in the entity that financed the geological work resulting in the creation of such information. In subsequent amendments to the geological and mining law, the ownership of geological information and the principles of its protection were gradually clarified.

During the period of the first act (1960), the state financed and collected data for its own needs. State control over geological information predominated. In the 1990s, the investor's right to geological information gained more importance. The interests of businesses funding research began to be protected. Major changes were introduced in 2011, when a mixed model began to function, which clearly indicated that geological information is the property of the State Treasury, but the interests of entities that financed geological work are protected. Legal regulations allowed the investor to have temporary priority in the use of geological information produced by them.

The currently applicable regulations of geological and mining law allow for a balance between the interests of the state and the interests of entrepreneurs who incur financial expenditures for geological work.

Polska strategia w zakresie rozpoznania i wykorzystania pogórnich odpadów antropogenicznych – obecne działania i perspektywy na przyszłość

Ustawa Unii Europejskiej European Critical Raw Materials Act (CRMA) podkreśla znaczenie odzysku surowców krytycznych (CRM) ze źródeł wtórnych, w tym odpadów górniczych, jako elementu wzmacniania bezpieczeństwa surowcowego i wdrażania gospodarki o obiegu zamkniętym. W 2025 r. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB rozpoczął realizację ogólnokrajowego programu „Oszacowanie potencjału odzysku surowców krytycznych z odpadów wydobywczych, w tym wg regulacji Critical Raw Materials Act”, którego celem jest ocena potencjału składowisk odpadów pogórnich oraz obiektów unieszkodliwiania odpadów wydobywczych (OUOW).

Na podstawie danych zgromadzonych w geobazie HAŁDY wytypowano 380 lokalizacji, które mogą być perspektywiczne pod kątem występowania surowców krytycznych. Obejmują one obiekty związane z eksploatacją m.in.: barytu, fluorytu, niklu, miedzi, rud polimetalicznych i żelaza, a także odpady węglowe. Zgromadzona wiedza stanowi fundament dla dalszych prac badawczych i otwiera możliwość ponownego wykorzystania tych obiektów w świetle założeń CRMA.

Równolegle prowadzone są prace w ramach tematu „Bilans zasobów antropogenicznych Polski – etap I”, obejmujące opracowanie metodyki badań obiektów pogórnich. W ramach tego zadania przeprowadzono kampanie wiertnicze i badania geofizyczne na czterech obiektach reprezentujących różne typy hałd (węglowe, hutnicze, cynkowo-ołowiowe oraz energetyczne). Uzyskane próbki poddano analizom geochemicznym i fizykochemicznym w celu wskazania potencjalnych kierunków zagospodarowania odpadów.

Hałdy oraz inne obiekty pogórnice stanowią ważny element europejskiej polityki surowcowej. Ich wykorzystanie przyczynia się do zmniejszenia zależności od importu, ograniczenia presji środowiskowej oraz realizacji celów zrównoważonego rozwoju zgodnie z założeniami European Critical Raw Materials Act.

Polish strategy for the recognition and utilization of anthropogenic mining waste – current actions and future perspectives

The European Union's Critical Raw Materials Act (CRMA) emphasizes the importance of recovering critical raw materials (CRMs) from secondary sources, including mining waste, as a means of strengthening resource security and advancing the circular economy. In 2025, the Polish Geological Institute – NRI (PGI-NRI) launched a nationwide program entitled “Estimation of the potential for recovering critical raw materials from mining waste in line with the Critical Raw Materials Act”. The objective of this initiative is to assess the potential of mining waste heaps and extractive waste facilities (EWFs).

Based on data compiled in the HEAPS (HAŁDY) geodatabase, 380 locations were identified as potentially prospective for CRMs. These include sites related to the exploitation of barite, fluorite, nickel, copper, polymetallic ores, iron ores, as well as coal waste. This knowledge provides a foundation for further research and opens opportunities for the re-use of these sites in line with the CRMA.

Moreover, activities are being carried out under the project “Balance of anthropogenic resources in Poland”, focused on developing methodologies for investigating post-mining sites. As part of this task, drilling campaigns and geophysical surveys were conducted on four sites representing different types of heaps (coal, metallurgical, zinc-lead, and energy-related). The collected samples underwent geochemical and physico-chemical analyses to identify potential directions for waste utilization.

Mining heaps and other post-mining structures constitute an important element of the European resource policy. Their re-use contributes to reducing import dependency, lowering environmental pressures, and advancing the principles of sustainable development in line with the European Critical Raw Materials Act.

Wybrane aspekty gospodarki odpadami, stosowana terminologia a kierunek postępowania

Gospodarka odpadami obejmuje szeroki zakres zagadnień, które koncentrują się na wytwarzaniu poszczególnych grup i rodzajów odpadów oraz gospodarowaniu nimi. Istotnymi aspektami dla szacowania wielkości wytwarzania odpadów oraz prognozowania zmian są zastosowana terminologia, a także stosowana metodyka badawcza i interpretacja wyników. Analiza stanu aktualnego gospodarki odpadami, wykazanie skali zjawisk oraz prognozowanie zmian są możliwe przy zastosowaniu odpowiednich wskaźników. Brak jest jednak jednoznacznej i powszechnie stosowanej definicji wskaźnika. Termin ten używany jest w różnym znaczeniu i może na różny sposób odnosić się do zagadnień związanych z gospodarką odpadami. Ponadto wskaźniki odgrywają zasadniczą rolę w konstruowaniu odpowiednich dokumentów planistycznych. Zawartość całkowita poszczególnych pierwiastków, ich forma wymywalna oraz potencjalna wielkość wymywania zanieczyszczeń z odpadów mogą mieć różne znaczenie dla określenia zagrożenia dla środowiska. Także rodzaj materiału poddanego badaniom i analizie może przyjmować odmienne nazwy, sugerując odmienny materiał i sposób postępowania, a jednocześnie wykazując taką samą charakterystykę jakościową. Szczególnego znaczenia nabierają terminy „odpady” oraz „produkty uboczne”. Postępowanie z odpadami musi być zgodne z ustawą o odpadach (tj. Dz.U. z 2023 r. poz. 1587), a ich zagospodarowanie często wymaga przeprowadzenia procedury utraty statusu odpadów. Produkty uboczne wyłączone są natomiast z procedur stosowanych dla odpadów, jednak uznanie materiałów czy surowców za produkt uboczny wymaga spełnienia przez nie odpowiednich wymagań. W praktyce obserwowany jest brak spójności w stosowanym systemie pojęć, co generuje niejednoznaczność wysuwanych wniosków. Szczególnie istotne jest to w przypadku odpadów z sektora wydobywczego (grupa odpadów 01) oraz odpadów z sektora rolno-spożywczego (grupa odpadów 02). W różnych sektorach gospodarki stosowane są często łącznie materiały uznawane za odpady i/lub za produkty uboczne. W literaturze, aktach prawnych czy szeroko pojętej wiedzy z zakresu ochrony środowiska może być stosowane odmienne nazewnictwo w zależności od celu badań, a odpowiednia interpretacja jest konieczna na etapie planowania, w analizie porównawczej uzyskanych wyników, a także podczas wysuwania wniosków.

Selected aspects of waste management, terminology used and the course of action

Waste management is a wide range of issues that focus on generation and management of specific groups and types of waste. The terminology used, as well as the research methodology and interpretation of results, are crucial for estimating waste generation and forecasting changes. Analyzing the current state of waste management, demonstrating the scale of phenomena, and forecasting changes are possible using appropriate indicators. However, there is no clear and universally accepted definition of an indicator. This term is used in various ways and can refer to issues related to waste management. Furthermore, indicators play a fundamental role in the construction of appropriate planning documents. The total content of individual elements, their leachable form, and the potential leaching of pollutants from waste can have varying significance for determining environmental contaminations. The type of material subjected to testing and analysis may also have different names, suggesting different materials and procedures while demonstrating the same qualitative characteristics. The terms „waste” and „by-products” are particularly important. The waste management must comply with the Waste Act (consolidated text: Journal of Laws of 2023, item 1587), and their management often requires the completion of a waste status deregistration procedure. The by-products are excluded from waste procedures, but recognizing materials or raw materials as by-products requires them to meet appropriate requirements. In practice, a lack of consistency in the system of terms used is observed, generating ambiguity in the conclusions drawn. This is particularly significant in the case of waste from the extractive sector (waste group 01) and waste from the agri-food sector (waste group 02). In various economic sectors, materials considered waste and/or by-products are often used together. Literature, legal acts, and broadly understood environmental protection knowledge may use different terminology depending on the research objective, and their appropriate interpretation is necessary during the planning stage, in the comparative analysis of obtained results, and also when drawing conclusions.

Energia geotermalna i jej potencjał w zakresie wydobycia metali krytycznych – przegląd wybranych lokalizacji na podstawie projektu CRM-geothermal

Roztwory geotermalne często zawierają znaczne ilości składników, które UE określa jako surowce krytyczne (CRM). Wstępne obliczenia pokazują, że już pojedynczy odwiert ma potencjał, aby zaspokoić nawet kilkuprocentowe zapotrzebowanie UE. Szczególnie wartościowe mogą okazać się koncentracje litu, na który popyt rośnie wraz ze wzrostem produkcji akumulatorów litowo-jonowych stosowanych w pojazdach elektrycznych lub hybrydowych oraz w przenośnym sprzęcie elektronicznym.

Połączone wydobycie ciepła i surowców mineralnych maksymalizuje zwrot z inwestycji, minimalizuje wpływ na środowisko, nie wymaga dodatkowego użytkowania gruntów, charakteryzuje się niemal zerowym śladem węglowym i umożliwia zwiększenie wewnętrznych dostaw CRM. Projekt CRM-geothermal ma na celu zidentyfikowanie potencjalnie znaczących, ale niewykorzystanych zasobów i wdrożenie rozwiązań, które pomogą Europie osiągnąć strategiczne cele Europejskiego Zielonego Ładu i Agendy na rzecz Zrównoważonego Rozwoju. Aby ocenić ogólny potencjał podaży, projekt rozszerzył istniejący katalog lokalizacji wód geotermalnych poprzez zebranie nowych danych i pobranie próbek z odwiertów w celu określenia zawartości CRM. Ważne jest jednak, aby wykorzystać istniejące już informacje jako podstawę do aktualizacji zestawu danych i budowy nowych modeli. Jako potencjalne obszary badań w projekcie uwzględniono kilka lokalizacji w Europie i Afryce Wschodniej.

Pierwsze dwie lokalizacje to wulkaniczne obszary geotermalne o wysokiej entalpii. Pierwszym z nich jest aktywny system geotermalny Reykjanes na Islandii (południowo-zachodni kraniec Półwyspu Reykjanes), w którym dominują złoża bazaltu i woda morska. Na tym polu znajduje się elektrownia geotermalna o mocy 100 MW, oddana do użytku w 2006 r. W systemie geotermalnym wywiercono 39 otworów wiertniczych o głębokości 1036–4500 m. Średnia temperatura zbiornika wynosi około 300°C, a roztwory hydrotermalne są wzbogacone w chlorki i zawierają znaczne stężenia metali, takich jak Cu, Zn, Pb, a także Ag i Au. Drugim miejscem jest pole geotermalne Tuzla, które jest jednym z najważniejszych pól geotermalnych pod względem temperatury w Turcji. W wykonanych odwiertach temperatura wydobywanej wody na głowicy odwiertu sięgała 165°C. Rosnące zainteresowanie energią odnawialną doprowadziło do znacznych inwestycji przemysłowych w południowo-zachodniej Anglii. Wykonano głębokie odwierty geotermalne (do około 5 km) w granitowych skałach radiogenicznych: w Carnmenellis (United Downs; przeznaczony do produkcji energii elektrycznej i mniejszej ilo-

ści ciepła) oraz w Saint Austell (Eden Project; przeznaczony do produkcji ciepła i potencjalnie mniejszej ilości energii w przyszłości). W obu przypadkach temperatura na dnie odwiertu przekraczała 180°C. Czwarty obszar znajduje się w Groß Schönebeck w północnych Niemczech i jest częścią Basenu Północnoniemieckiego. Różne formacje w tym basenie są eksploatowane do celów geotermalnych, a metody ekstrakcji litu są już testowane w kilku lokalizacjach w Dolinie Górnego Renu (kontynentalny basen sedimentacyjny w dolinie ryftowej). Najbardziej na południe wysuniętym obiektem badań jest Olkaria w Kenii – to miejsce jest częścią Wschodnioafrykańskiego Systemu Ryftowego (EARS). Obecnie w tym rejonie istnieje ponad dwieście studni o głębokości do 3 km, z których wydobywa się wodę o temperaturze około 240°C. Wiele z nich ma zasadowe pH i zazwyczaj są to wody typu Na-HCO₃ lub Na-Cl o wysokiej zawartości fluoru. Niewiele uwagi poświęcono potencjalnemu wzbogaceniu wód geotermalnych w metale krytyczne, w tym pierwiastki ziem rzadkich (REE), dlatego też obszar ten wymaga bardziej szczegółowych badań. Ostatnia lokalizacja znajduje się w Seferihisar w Turcji. Jest to ponownie obszar o wysokiej entalpii, ale ze zbiornikiem geotermalnym położonym w strefie fliszu Bornova. Ponad 40 odwiertów zbadało pole geotermalne, przy czym temperatura większości obecnie eksploatowanych wód – w pobliżu strefy uskoku Tuzla – waha się w granicach 90–150°C. W głębokich (do 2,1 km) odwiertach przeznaczonych do produkcji energii elektrycznej odnotowano temperatury denne przekraczające 205°C. Wody termalne są zdominowane przez Na/K-Cl i stosunkowo słone.

Szczegółowe informacje o projekcie oraz jego rezultatach znaleźć można na stronie <https://crm-geothermal.eu>.

Geothermal energy and its potential for critical metal extraction – a review of selected locations based on the CRM-geothermal project

Geothermal fluids often carry high amounts of elements that the EU considers as critical raw materials (CRM). Preliminary calculations show that even a single borehole has the potential to produce single digit percentages of the EU needs. Combined extraction of heat and minerals maximizes returns on investment, minimizes environmental impact, requires no additional land use, leaves no mining legacies, has near-zero carbon footprint, and enables domestic supplies of CRM. The CRM-geothermal project aims to open up a potentially huge untapped resource and deploy solutions to help Europe fulfill the strategic objectives of the EU Green Deal and the Agenda for Sustainable Development.

To assess overall supply potential, the CRM-geothermal project enlarged an existing geothermal fluid atlas by collecting new data and sampling boreholes for their CRM content in Europe and East Africa. It is important, however, to utilize also existing

information as a foundation for updated datasets and new models, which for some sites could be extensive. Hence, the project gathered together sources of information, in order that more detailed investigations in the project can more efficiently access the data they need. This article identifies sources of pre-existing data that underpin datasets and models for the sites being investigated in the CRM-geothermal project. Several potential areas for research were considered in the project.

The first two sites are high enthalpy volcanic geothermal areas. The first of these sites is the Reykjanes geothermal system, Iceland. This site is a basalt-hosted, seawater dominated active geothermal system located on the southwestern tip of the Reykjanes Peninsula. The geothermal field hosts a 100 MW geothermal power plant that was commissioned in 2006. Thirty nine boreholes have been drilled into the geothermal system reaching depths of 1036–4500 m. The average reservoir temperature is around 300°C. The hydrothermal fluids are enriched in chloride and carry notable concentrations of metals such as Cu, Zn, Pb, and also some Ag and Au. The second high enthalpy geothermal site, the Tuzla geothermal field is one of the most important geothermal fields in terms of temperature in Türkiye. Geothermal boreholes have been drilled by both the government and private companies, and produced waters up to 165°C at the wellhead. Increased interest in renewable energy has led to significant industry investment in south-west England. Deep geothermal boreholes have been drilled (to about 5 km) in radiogenic granites: in Carnmenellis at United Downs (aimed at power production and a smaller amount of heat) and Saint Austell at the Eden Project (aimed at heat extraction and potentially a smaller amount of power in the future). Both reached bottom-hole temperatures of over 180°C. The fourth area is at Groß Schönebeck, northern Germany, which is part of the North German Basin. Various formations within the basin are exploited for geothermal purposes. Extraction of raw materials from geothermal fluids is already considered and tested for brines from the Upper Rhine Valley (a continental sedimentary basin in a rift valley). The most southerly of the sites is Olkaria, Kenya – this site is part of the East African Rift System (EARS). Currently there are over two hundred deep wells down to 3 km, producing water of temperature up to about 240°C. Many of the hot springs have alkaline pH and are typically Na-HCO₃ or Na-Cl type waters with high fluoride content. Little emphasis has been placed upon the potential enrichment of critical metals in the geothermal waters in the EARS, including those of the rare earth elements (REE), and hence this is an area in need of more detailed investigation. The final site is at Seferihisar, Türkiye. It is a high enthalpy area again, but with the geothermal reservoir located within the Bornova Flysch Zone. Over 40 boreholes have explored the geothermal field, with most present-day produced waters in the vicinity of the Tuzla Fault Zone have temperature varying between 90 and 150°C. However, in deep (to 2.1 km) boreholes intended for power production, bottom-hole temperatures of over 205°C have been recorded. The meteoric-derived waters are Na/K-Cl dominated, and are relatively saline.

Detailed information about the project and its results can be found at <https://crm-geothermal.eu>.

Zabezpieczenie stratotypowych rdzeni wiertniczych jako element wspierający bezpieczeństwo surowcowe kraju

Stratotypowe rdzenie wiertnicze stanowią unikatowy materiał badawczy, zawierający informacje o budowie geologicznej, historii tektonicznej i sedymentacyjnej oraz potencjale surowcowym obszarów geologicznych. Ich wartość naukowa, aplikacyjna i gospodarcza sprawia, że należy je traktować jako strategiczny zasób, którego właściwe zabezpieczenie ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa surowcowego państwa. Utrata lub degradacja rdzeni prowadzi do nieodwracalnej utraty danych, których ponowne pozyskanie jest kosztowne, a w wielu przypadkach niemożliwe.

Celem opracowania jest przedstawienie działań związanych z rozpoznaniem, opracowaniem, udokumentowaniem, skatalogowaniem i fizycznym zabezpieczeniem szczególnie cennych profili rdzeni wiertniczych w archiwum rdzeni w Leszczach. Do tej kategorii zaliczają się między innymi odcinki stratotypowe, profile złożowe, sedymentologiczne oraz rdzenie dokumentujące istotne zdarzenia geologiczne o wyjątkowych walorach poznawczych i naukowych. Rdzenie takie są sukcesywnie chronione w ramach ciągłego przedsięwzięcia realizowanego etapami przez Państwową Służbę Geologiczną. Działania te obejmują następujące etapy: (1) weryfikację stanu zachowania rdzeni w archiwach, (2) fizyczne zabezpieczenie rdzeni już zweryfikowanych, (3) prowadzenie podstawowych badań naukowych na zabezpieczanych próbach oraz (4) wprowadzanie danych i wyników badań do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG).

W kontekście bezpieczeństwa surowcowego należy podkreślić, że rdzenie pełnią funkcję materialnego archiwum geologicznego, które może być wielokrotnie poddawane analizom przy użyciu nowych metod badawczych, dostarczając danych o rosnącej wartości poznawczej i aplikacyjnej.

Wnioski wskazują, że skuteczna ochrona rdzeni wymaga działań systemowych obejmujących: modernizację i rozbudowę krajowej infrastruktury magazynowej oraz rozwój nowoczesnych systemów informatycznych wspierających katalogowanie i udostępnianie zbiorów. Warto podkreślić, że inwestycje w zabezpieczenie rdzeni wiertniczych są stosunkowo niewielkie w porównaniu z kosztami prac poszukiwawczych, a jednocześnie przynoszą długofalowe korzyści w postaci zwiększenia bezpieczeństwa surowcowego, poprawy konkurencyjności gospodarki i ochrony dziedzictwa geologicznego. W konsekwencji archiwizacja i ochrona stratotypowych rdzeni wiertniczych powinna być traktowana jako istotny element polityki surowcowej państwa.

Safeguarding stratotype drill cores as a factor supporting national mineral resources security

Stratotype drill cores represent unique research material containing information on the geological structure, tectonic and sedimentary history, as well as the mineral resource potential of geological areas. Their scientific, practical, and economic value makes them a strategic resource, the proper safeguarding of which is of great importance for the state's mineral resources security. The loss or degradation of such cores results in the irreversible loss of data, the recovery of which is costly and, in many cases, impossible.

The aim of this study is to present activities related to the recognition, documentation, cataloguing, and physical safeguarding of particularly valuable drill core profiles stored in the Leszcze Core Repository. This category includes, among others, stratotype sections, ore-bearing and sedimentological profiles, as well as cores documenting significant geological events, all of which possess exceptional scientific and cognitive value. Such cores are systematically protected as part of a continuous project carried out in stages by the Polish Geological Survey. At successive stages, the activities include: (1) verification of the preservation status of cores in archives, (2) physical safeguarding of verified cores, (3) conducting basic scientific research on safeguarded samples, and (4) introducing data and research results into the Central Geological Database (CBDG).

In the context of resource security, it is emphasized that drill cores serve as a material geological archive that can be repeatedly analyzed using new research methods, thus providing data of increasing scientific and practical value.

The conclusions indicate that effective safeguarding of cores requires systemic actions, including the modernization and expansion of the national storage infrastructure, as well as the development of modern IT systems supporting cataloguing and data sharing.

It is underlined that investments in drill core protection are relatively small compared to the costs of exploration works, yet they bring long-term benefits by increasing resource security, improving economic competitiveness, and protecting geological heritage. Consequently, the archiving and safeguarding of stratotype drill cores should be regarded as an essential element of the national mineral resources policy.

Projekty strategiczne jako jeden z podstawowych elementów działań związanych z wdrażaniem rozporządzenia Critical Raw Materials Act

W obliczu rosnącego znaczenia surowców krytycznych dla transformacji energetycznej, przemysłu elektromobilności, technologii cyfrowych i obronności Unia Europejska podjęła nowe inicjatywy legislacyjne i inwestycyjne mające na celu zabezpieczenie, dywersyfikację i zwiększenie samowystarczalności w dostawach surowców krytycznych i strategicznych. Głównym elementem tej strategii jest wprowadzenie aktu w sprawie surowców krytycznych (Critical Raw Materials Act, CRMA), który wszedł w życie w maju 2024 r.

Kluczowym instrumentem CRMA jest procedura wyłaniania projektów strategicznych. Rozpoczyna się ona od ogłoszenia przez Komisję Europejską naboru wniosków, do którego mogą przystąpić przedsiębiorstwa, konsorcja i instytucje naukowe. Zgłoszone projekty podlegają ocenie ekspertów Komisji pod kątem znaczenia dla bezpieczeństwa dostaw surowców w UE, wykonalności technicznej i finansowej, zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz potencjalnej skali produkcji. Następnie opinie o projektach przedstawiają państwa członkowskie, na których terytorium mają być realizowane inwestycje. Na tej podstawie Komisja podejmuje decyzję o nadaniu statusu „Strategic Project”, który wiąże się z licznymi korzyściami: uproszczonymi i przyspieszonymi procedurami administracyjnymi (27 miesięcy dla projektów wydobywczych, 15 miesięcy dla recyklingu i przeróbki), pierwszeństwem w dostępie do finansowania oraz większą rozpoznawalnością na rynku europejskim. Lista projektów jest aktualizowana cyklicznie w kolejnych naborach.

W projekcie ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych, została zaplanowana ścieżka opiniowania projektów strategicznych. Należy przy tym podkreślić, że etap ten nie dotyczy wydawania decyzji administracyjnych, lecz służy wyłącznie ukształtowaniu woli politycznej państwa w zakresie oceny zasadności i znaczenia danego projektu strategicznego dla bezpieczeństwa surowcowego i gospodarczego kraju, podczas gdy indywidualne decyzje administracyjne pozostają w kompetencji organów wskazanych w odrębnych przepisach i będą wydawane w późniejszym trybie.

Wyniki I tury naborów Komisja Europejska opublikowała w marcu 2025 r. Pierwszy wykaz liczy 47 projektów strategicznych w UE, które obejmują procesy wydobycia, przetwarzania, recyklingu i substytucji surowców. Wśród nich znalazły się dwa projekty z Polski: rozwój Zakładu Rafinacji Pierwiastków Ziemi Rzadkich w Puławach oraz zakład recyklingu baterii Polvolt w Zawierciu. Projekty Polvolt i Puławy RESP są

częścią szerszej inicjatywy mającej na celu zwiększenie zdolności Unii Europejskiej do pozyskiwania, przetwarzania i odzyskiwania surowców krytycznych. W ramach CRMA kluczowym celem jest osiągnięcie przez Unię do 2030 r. zdolności co najmniej do: wydobycia 10% zużywanych surowców strategicznych, odzyskiwania 25% tych surowców oraz przetwarzania 40% w stosunku do zapotrzebowania.

W czerwcu 2025 r. KE uzupełniła tę listę, wybierając 13 projektów strategicznych spoza UE, zlokalizowanych m.in. w Kanadzie, Norwegii, Kazachstanie, Serbii czy Zambii. Inicjatywy te mają na celu dywersyfikację zewnętrznych źródeł dostaw surowców przy jednoczesnym wspieraniu lokalnej wartości w krajach partnerskich. Z perspektywy UE strategiczne projekty realizowane poza Europą odgrywają rolę w dywersyfikacji dostaw i redukcji nadmiernej zależności od jednego partnera handlowego. Z kolei projekty wewnątrz Unii – takie jak te polskie – odpowiadają na potrzebę budowy odpornego, zintegrowanego systemu przemysłowego.

Druga tura naborów ogłoszona przez Komisję Europejską 30 września 2025 r. potrwa do 15 stycznia 2026 r. Stanowi ona ważną szansę dla polskich podmiotów gospodarczych i naukowych na poszerzenie udziału w strategicznych segmentach europejskiego łańcucha wartości.

Obecny nabór jest wyjątkową szansą dla polskich przedsiębiorstw z sektora geologiczno-górniczego, przetwórczego oraz recyklingu. Projekty strategiczne zidentyfikowane na terytorium Polski mają możliwość uzyskania wsparcia, które przełamie dotychczasowe bariery inwestycyjne. Sukces w tym naborze może nie tylko przyspieszyć realizację konkretnych inwestycji, lecz także trwale wzmocnić pozycję Polski jako kluczowego ogniwa w budowie europejskiej suwerenności surowcowej.

Strategic projects as a key element of the Critical Raw Materials Act implementation

Given the growing importance of critical raw materials for the energy transition, electromobility, digital technologies, and defense, the European Union has launched new legislative and investment initiatives aimed at securing, diversifying, and increasing self-sufficiency in the supply of critical and strategic raw materials. A key element of this strategy is the introduction of the Critical Raw Materials Act (CRMA), which entered into force in May 2024.

A key instrument of the CRMA is the strategic project selection procedure, which begins with the European Commission announcing a call for proposals open to companies, consortia, and research institutions. Submitted projects are assessed by Commission experts based on their significance for the security of raw materials supply in the EU, technical and financial feasibility, compliance with the principles of sustainable development, and potential production scale. Member States in whose territories the

investments will be implemented then submit their opinions on the projects. Based on this, the Commission decides to grant „Strategic Project” status, which offers numerous benefits: simplified and accelerated administrative procedures (27 months for mining projects, 15 months for recycling and processing), priority access to financing, and greater visibility on the European market. The list of projects is updated periodically in subsequent calls.

The draft act on ensuring the national economy’s access to raw materials, including Critical Raw Materials, provides for a review process for strategic projects. It should be emphasized that this stage does not involve issuing administrative decisions, but serves solely to shape the state’s political will in assessing the validity and importance of a given strategic project for the country’s raw material and economic security. Individual administrative decisions remain within the competence of bodies designated in separate regulations and will be issued at a later date. The European Commission published the results of the first round of calls in March 2025. The first list includes 47 strategic projects in the EU, covering raw material extraction, processing, recycling, and substitution processes. These included two projects from Poland: the development of the Rare Earth refining plant in Puławy and the Polvolt battery recycling plant in Zawiercie. The Polvolt and Puławy RESP projects are part of a broader initiative aimed at increasing the European Union’s capacity to acquire, process, and recover critical raw materials. Under the CRMA, a key goal is for the EU to achieve the capacity to extract at least 10% of its consumption of strategic raw materials, recover 25% of these raw materials, and process 40% of its demand by 2030.

In June 2025, the European Commission supplemented this list by selecting 13 strategic projects from outside the EU, located in locations such as Canada, Norway, Kazakhstan, Serbia, and Zambia. These initiatives aim to diversify external sources of raw material supply while supporting local value in partner countries. From the EU’s perspective, strategic projects implemented outside Europe play a role in diversifying supply and reducing excessive dependence on a single trading partner. In turn, projects within the EU – such as those in Poland – address the need to build a resilient, integrated industrial system.

The second round of applications, announced by the European Commission on September 30, 2025, will run until January 15, 2026. It represents a significant opportunity for Polish businesses and research entities to expand their participation in strategic segments of the European value chain.

The current application period represents a unique opportunity for Polish companies in the geological, mining, processing, and recycling sectors. Strategic projects identified in Poland have the opportunity to receive support that will overcome existing investment barriers. Success in this application could not only accelerate the implementation of specific investments but also permanently strengthen Poland’s position as a key link in building European resource sovereignty.

Transformacja technologiczna i ekologiczna a luka kompetencyjna w sektorze surowców mineralnych

Współczesna transformacja gospodarcza zachodzi równocześnie w dwóch wymiarach – ekologicznym i technologicznym. Z jednej strony obserwuje się dynamiczny rozwój zielonych rozwiązań, mających na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i negatywnego wpływu człowieka na środowisko. Z drugiej strony – transformacja ta jest silnie związana z postępem technologicznym, obejmującym rozwój sztucznej inteligencji (AI), kryptowalut, automatyzacji czy internetu rzeczy (IoT). Wraz z tym rozwojem rośnie zapotrzebowanie na nowe urządzenia, komponenty elektroniczne i infrastrukturę cyfrową. Społeczeństwo coraz częściej dąży do posiadania „nowsze­go i lepszego” sprzętu, nie zwracając uwagi na to, że dotychczasowe urządzenia mogłyby służyć jeszcze przez wiele lat. Taki model zachowania wpisuje się w konsumpcyjny charakter współczesnych społeczeństw, w których postęp technologiczny staje się często celem samym w sobie.

Choć większość społeczności dąży do ograniczania negatywnego wpływu na środowisko, w praktyce działania te często przynoszą odwrotny efekt. Wymieniając jeszcze sprawne samochody spalinowe na nowe – elektryczne, zapominamy, że proces produkcji każdego nowego pojazdu wymaga ogromnych nakładów energii i zasobów naturalnych. Produkcja baterii do samochodów elektrycznych wiąże się z koniecznością wydobycia litu, kobaltu czy niklu, co generuje nie tylko emisję CO₂, lecz także zanieczyszczenia powietrza – tlenki azotu (NO_x), dwutlenek siarki (SO₂), pyły zawieszone oraz odpady metaliczne i chemiczne. W efekcie tzw. „zielone technologie” nie są wolne od kosztów środowiskowych – przenoszą jedynie ciężar tych kosztów w inne miejsca i etapy cyklu życia produktu.

Nowe pokolenia w coraz mniejszym stopniu zdają sobie sprawę z podstawowych zależności gospodarczych i środowiskowych. Dla wielu młodych ludzi energia elektryczna wydaje się „czysta”, bo płynie „z gniazdka”. Zanika świadomość, że za produktami i usługami stoją konkretne procesy: produkcja surowców mineralnych, przetwarzanie, transport, a także emisje i odpady. Tymczasem, aby wytworzyć dowolny produkt – od telefonu komórkowego po samochód elektryczny – konieczne jest pozyskanie surowców z ziemi. Górnictwo i przemysł wydobywczy, choć często postrzegane jako brudne i archaiczne, pozostają fundamentem każdej nowoczesnej gospodarki.

Branża górnicza w Polsce i Europie przechodzi obecnie trudny okres. Zmniejsza się liczba specjalistów, a zainteresowanie studiami górniczymi systematycznie spada. Liczba

absolwentów kierunku Górnictwo i geologia w AGH w ciągu ostatnich dwudziestu lat spadła z ponad 100 osób do zaledwie kilkunastu w roku 2025. Równocześnie według portalu netTG.pl zatrudnienie w górnictwie węgla kamiennego w lipcu 2025 r. wynosiło około 72 010 osób, co oznacza spadek o ponad 3000 w stosunku do roku poprzedniego (NetTG.pl 2025).

Symbolicznym przejawem zmiany postrzegania sektora surowcowego jest odchodzenie od tradycyjnego nazewnictwa. Najstarszy w Polsce wydział górniczy – powstały w 1919 roku w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie – w ostatnich latach zmienił nazwę z Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii na Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami (WILiGZ). Choć zmiana ta ma na celu podkreślenie interdyscyplinarnego charakteru współczesnego kształcenia, to równocześnie pokazuje, że słowo „górnictwo” staje się coraz mniej atrakcyjne.

Warto jednak zaznaczyć, że uczelnia podejmuje działania, by dostosować ofertę dydaktyczną do realiów nowoczesnej gospodarki. W 2022 r. na WILiGZ uruchomiono nowy międzynarodowy kierunek Raw Materials Value Chain, realizowany we współpracy z niemieckim uniwersytetem TU Bergakademie Freiberg (TUBAF). Program ten, prowadzony w języku angielskim, kształci studentów z całego świata w zakresie pozyskiwania, przetwarzania i gospodarki surowcami w zrównoważonym łańcuchu wartości. Obecnie opracowywany jest również kurs Raw Materials in the Transformation of Processes and Regions, którego celem jest budowanie świadomości, że nawet w procesie transformacji energetycznej i technologicznej nie można zrezygnować z surowców mineralnych. Ponadto WILiGZ rozwija studia podyplomowe, takie jak Zarządzanie wartością przedsiębiorstwa górniczego, skierowane do kadry menedżerskiej w sektorze górnictwem.

Transformacja technologiczna i ekologiczna wymaga głębokiej zmiany nie tylko w sposobie produkcji energii i dóbr, lecz także w podejściu społeczeństwa do surowców naturalnych. Bez zasobów mineralnych nie da się zbudować nowoczesnej gospodarki cyfrowej ani przeprowadzić zielonej transformacji. Spadek zainteresowania edukacją górnictwem oraz malejąca liczba specjalistów w tej dziedzinie stanowią realne zagrożenie dla przyszłości europejskiego sektora surowcowego. Dlatego niezbędne jest odwrócenie obecnego trendu. Potrzebna jest aktywna promocja kierunków związanych z górnictwem, geologią i gospodarką zasobami, modernizacja programów studiów oraz włączenie w nie elementów nowoczesnych technologii, zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym. Kluczowe jest również utrzymanie współpracy między uczelniami, przemysłem i administracją państwową, aby kształcenie odpowiadało realnym potrzebom rynku.

Górnictwo – choć coraz rzadziej tak nazywane – nadal pozostaje niezbędne. Bez specjalistów znających się na pozyskiwaniu i przetwarzaniu surowców nie będzie możliwy rozwój żadnej nowoczesnej technologii, od sztucznej inteligencji po samochody elektryczne. Świadomość tego faktu powinna stanowić fundament dalszej edukacji i strategii gospodarczej państwa.

Technological and ecological transformation and the competence gap in the raw materials sector

Contemporary economic transformation is taking place simultaneously in two dimensions – ecological and technological. On one hand, there is a dynamic development of green solutions aimed at reducing greenhouse gas emissions and minimizing the negative impact of human activity on the environment. On the other hand, this transformation is strongly linked to technological progress, including the development of artificial intelligence (AI), cryptocurrencies, automation, and the Internet of Things (IoT). Along with this progress, the demand for new devices, electronic components, and digital infrastructure is steadily increasing. Society is increasingly striving to possess “newer and better” equipment, without realizing that existing devices could serve perfectly well for many years. This behavioral model reflects the consumerist nature of modern societies, where technological advancement often becomes an end in itself.

Although most communities seek to reduce their negative environmental impact, in practice these efforts often produce the opposite effect. By replacing still-functional combustion vehicles with new electric ones, we forget that the production process of every new car requires enormous amounts of energy and natural resources. The production of batteries for electric vehicles involves the extraction of lithium, cobalt, and nickel, which generates not only CO₂ emissions but also air pollution – nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), particulate matter, as well as metallic and chemical waste. As a result, so-called “green technologies” are not free from environmental costs – they merely shift the burden of these costs to other places and stages of the product life cycle.

New generations are becoming increasingly unaware of the fundamental economic and environmental interdependencies. For many young people, electricity appears “clean” simply because it flows “from the socket.” The awareness is fading that behind these products and services lie concrete processes: extraction of raw materials, processing, transportation, as well as emissions and waste. Meanwhile, to manufacture any product – from a mobile phone to an electric car – it is necessary to obtain resources from the earth. Mining and the extractive industry, although often perceived as “dirty” and archaic, remain the foundation of every modern economy.

However, the mining industry in Poland and Europe is currently going through a difficult period. The number of specialists is decreasing, and interest in mining studies is systematically declining. The number of graduates in the Mining and Geology program at AGH University of Krakow has fallen over the past twenty years from over 100 students to only a dozen in 2025. At the same time, according to the portal netTG.pl, employment in hard coal mining in July 2025 amounted to approximately 72,010 people, representing a decrease of more than 3,000 compared to the previous year.

A symbolic manifestation of the changing perception of the raw materials sector is the abandonment of traditional terminology. The oldest mining faculty in Poland –

established in 1919 at the AGH University of Science and Technology in Krakow – has in recent years changed its name from the Faculty of Mining and Geoengineering to the Faculty of Civil Engineering and Resource Management (WILiGZ). Although this change aims to highlight the interdisciplinary nature of modern education, it also demonstrates that the term “mining” has become increasingly unattractive.

It is worth noting, however, that the university is taking steps to adapt its educational offer to the realities of the modern economy. In 2022, WILiGZ launched a new international program, Raw Materials Value Chain, conducted in cooperation with the German university TU Bergakademie Freiberg (TUBAF). This master’s program, taught in English, educates students from around the world in the extraction, processing, and management of raw materials within a sustainable value chain. Currently, another course – Raw Materials in the Transformation of Processes and Regions – is being developed, aiming to raise awareness that even in the process of energy and technological transformation, mineral resources remain indispensable. In addition, WILiGZ offers postgraduate studies such as Enterprise Value Management in the Mining Industry, targeted at managerial staff in the mining sector.

Technological and ecological transformation requires a profound change not only in the way energy and goods are produced but also in society’s approach to natural resources. Without mineral resources, it is impossible to build a modern digital economy or carry out a genuine green transformation. The declining interest in mining education and the decreasing number of specialists in this field pose a real threat to the future of the European raw materials sector. Therefore, it is essential to reverse this trend. Active promotion of study programs related to mining, geology, and resource management is needed, along with the modernization of curricula and the inclusion of elements of advanced technology, sustainable development, and circular economy principles. Equally crucial is maintaining cooperation between universities, industry, and public administration to ensure that education aligns with actual labor market needs.

Mining – although increasingly rarely referred to by that name – remains indispensable. Without specialists knowledgeable in the extraction and processing of raw materials, the development of any modern technology, from artificial intelligence to electric vehicles, will not be possible. Awareness of this fact should form the foundation for future education and national economic strategy.

Ocena perspektyw złożowych krajowych zasobów kamieni łamanych i blocznych (na przykładzie wybranych typów skał magmowych) na podstawie analizy z lat 1989–2023

Kształtowanie się zapotrzebowania na kruszywa naturalne zależy głównie od stanu i dynamiki rozwoju budownictwa i drogownictwa. W większości przypadków kruszywa łamane, otrzymywane z kopaliny złóż kamieni łamanych i blocznych, mają charakter surowców o znaczeniu regionalnym. Znaczenie ponadregionalne dotyczy najwyższych klas jakościowych, czyli m.in. grysów produkowanych ze skał magmowych. Regionalne zróżnicowanie zarówno popytu na kruszywa, jak i rozmieszczenia ich złóż skutkuje istotnymi dysproporcjami w intensywności eksploatacji kamieni łamanych i blocznych oraz w podaży kruszyw naturalnych łamanych na terytorium Polski. Zasoby skał wykorzystywanych do produkcji kruszyw łamanych są nierównomiernie rozmieszczone w Polsce, co wynika z różnic w budowie geologicznej poszczególnych regionów. Złoża kamieni łamanych i blocznych występują głównie w południowej części Polski, z wyraźną dominacją województwa dolnośląskiego.

Analizie poddano wybrane typy skał magmowych zaliczanych do grupy złóż kamieni łamanych i blocznych. Wśród nich szczególne znaczenie gospodarcze mają skały wylewne, takie jak bazalty, melafiry i porfiry, oraz skały z grupy granitoidów, w tym granity i granodioryty. Dodatkowo oceniono również złoża diabazów i gabra.

W latach 1989–2023 obserwowane były istotne zmiany w poziomie wydobycia kamieni łamanych i blocznych, a tym samym w produkcji kruszyw łamanych. Dynamika ta wynikała m.in. z kondycji krajowego budownictwa drogowego i kolejowego, poziomu inwestycji infrastrukturalnych i przemysłowych, rosnącej konkurencji ze strony kruszyw pochodzących z recyklingu, a także zmian udziału kruszyw importowanych do Polski.

Dane dotyczące omawianych typów skał, należących dawniej do kategorii tzw. kamieni drogowych i budowlanych, zostały zweryfikowane i przeanalizowane na podstawie m.in. Bilansów zasobów złóż kopalin w Polsce za lata 1989–2023, Bilansów perspektywicznych zasobów kopalin Polski oraz Mapy geośrodowiskowej Polski, z uwzględnieniem obszarów prognostycznych i perspektywicznych występowania wskazanych surowców skalnych.

Głównym celem przeprowadzonej analizy jest określenie potencjału eksploatacyjnego omawianych złóż w kontekście przyszłych potrzeb gospodarki narodowej. Pozwoli to ocenić, w jakim stopniu dostępne zasoby mogą zaspokoić zapotrzebowanie na

wybrane typy skał z grupy kamieni łamanych i blocznych, jaka jest wystarczalność statyczna zasobów złóż niezbędnych do produkcji kruszywa łamanego, czy konieczne jest prowadzenie nowych prac dokumentacyjnych złóż tego typu w obszarach prognostycznych i perspektywicznych oraz czy istnieje potrzeba przygotowania się na wyzwania związane z możliwym wyczerpywaniem materiałów lub ograniczeniami wynikającymi z uwarunkowań środowiskowych. Aktualizacja i pogłębiona analiza informacji o wytypowanych surowcach skalnych stanowią istotny wkład w kształtowanie długofalowej polityki surowcowej państwa.

Assessment of the prospects for domestic crushed stone and dimension stone deposits (based on selected types of igneous rocks) based on an analysis covering the period from 1989 to 2023

The demand for natural aggregates is primarily influenced by the state and dynamics of development in the construction and road-building sectors. In most cases, crushed aggregates obtained from crushed and dimension stone deposits are considered raw materials of regional importance. Aggregates of supra-regional significance are limited to the highest quality classes, such as grits from igneous rocks. The regional variation in both demand for aggregates and the distribution of their resources results in significant disparities in the intensity of crushed and dimension stone extraction, as well as in the production of natural crushed aggregates across the territory of Poland. Resources of rocks used for producing crushed aggregates are unevenly distributed across the country due to geological differences between various regions. Deposits of crushed and dimension stone are found primarily in the southern part of Poland, with a clear dominance of the Dolnośląskie Voivodship.

The analysis focused on selected types of igneous rocks categorized as crushed and dimension stone deposits. Of particular economic importance are volcanic rocks such as basalts, melaphires, and porphyry, as well as rocks from the granitoid group, including granites and granodiorites. Additionally, deposits of diabase and gabbro were also assessed.

Between 1989 and 2023, significant changes were observed in the level of crushed and dimension stone extraction, and consequently in the production of crushed aggregates. Their dynamics resulted from factors such as the condition of the national road and rail construction sectors, the level of infrastructure and industrial investments, growing competition from recycled aggregates, and changes in the share of imported aggregates on the domestic market.

Data on the analyzed types of rocks, formerly classified as road and building stone, were verified and analyzed based on, among others, The balance of mineral deposit resources in Poland for the years 1989–2023, The balance of prospective

mineral resources of Poland, and the Geoenvironmental map of Poland, taking into account prospective and forecasted areas for the occurrence of the indicated rock raw materials.

The main aim of the analysis is to determine the extraction potential of the discussed deposits in the context of future national economic needs. This will make it possible to assess to what extent available resources can meet the demand for selected types of rocks from the crushed and dimension stone group, the static sufficiency of resources of the deposits necessary for the production of crushed aggregates, whether new deposit documentation work is needed in forecasted and prospective areas, and whether it is necessary to prepare for challenges related to possible resource depletion or environmental constraints. The updating and in-depth analysis of information on selected rock raw materials represents a significant contribution to the formation of the country's long-term raw material policy.

Miedź polska, strategiczna i krytyczna. Miedziorysem po bilansie zasobów

Zagadnienie mocniejszego zauważenia roli surowców mineralnych w Unii Europejskiej było jedną z kluczowych polskich inicjatyw od samego początku obecności w strukturach europejskich. Jednym z ważniejszych efektów Inicjatywy na rzecz surowców, która od 2008 roku pojawiła się w pracach organów europejskich, była m.in. definicja surowców krytycznych dla europejskiej gospodarki. Pierwsze zestawienia takich surowców pojawiły się w latach 2010–2011, kolejne były publikowane w latach 2014, 2017 i 2020, ale dopiero w 2023 roku, przy okazji Rozporządzenia UE w sprawie surowców krytycznych (tzw. CRMA), na tej liście zagościła miedź, jako niezbędna do realizacji większości priorytetowych celów gospodarczych w UE.

Od 2023 roku polska miedź, w tym oczywiście Polska Miedź i jej zasoby w Polsce, stały się prawdziwą międzynarodową gwiazdą na gospodarczym niebie. Znacząco także poszerzyła się lista stron zainteresowanych informacją na ich temat. Należy też zauważyć, że amerykańska lista minerałów krytycznych także powiększy się wkrótce o Cu.

Z powyższych powodów zainteresowanie miedzią, w kontekście zarówno dostępnych i udokumentowanych zasobów geologicznych, jak i miedzi wydobywanej i na bieżąco zasilającej gospodarkę, znacznie wzrosło. Jeżeli chodzi o podaż miedzi w Polsce, to Polska Miedź jest od połowy lat 50. jedynym podmiotem zaopatrującym rynek, nie tylko krajowy, z własnych zasobów. Jeżeli chodzi zaś o stan dokumentowanych zasobów, to z bezpośrednim lub pośrednim udziałem Polskiej Miedzi (wcześniej KGHM) przez ponad 50 lat rozstrzygały się wszystkie kwestie rozwojowe krajowej bazy zasobowej rud miedzi. Mimo że w ostatnich latach pojawiło się sporo całkiem ciekawych nowych faktów w tym zakresie, to metodyki i doświadczenie wypracowane w KGHM są kluczowe dla całościowej oceny polskiego potencjału zasobowego złóż rud miedzi.

Krajowy bilans zasobów rud miedzi (i srebra) jest dostępny na stronie Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB w postaci usystematyzowanych tabel i opisów obejmujących okres od roku 2011. Ponadto publikowane tam wykresy pokazują stan od roku 1989, czyli od czasu przełomu ustrojowego, od kiedy z nakazowej gospodarki PRL zaczęliśmy dążyć do urynkwienia większości dziedzin. Inne dostępne publikacje dotyczące bilansu zasobów mineralnych także dotyczą okresu po roku 1989, bowiem wcześniej tego typu dane były niejawne i są obecnie zdeponowane w państwowych archiwach. Dlatego wykazanie holistycznego kontekstu rozwoju polskiego sektora miedziowego nie jest zadaniem łatwym. Wiedza zachowana w KGHM pozwala te oficjalne dane znacznie uczynić i uzupełnić.

W pracy oparto się na prezentacji danych podobnych do tych istniejących w państwowych rejestrach, ale z perspektywy wytwórcy większości danych, a nie głównego odbiorcy. Przy okazji wskazano szereg definicji funkcjonujących w praktyce dokumentowania geologicznego, wykazując pewne zagrożenia właściwego zrozumienia tych definicji wśród wzrastającej liczby interesariuszy obiegu informacji o zasobach złóż i ich wydobywaniu. Dyskusja nad nimi wpłynie na poprawę jakości komunikacji na linii: przedsiębiorca – polskie organy i urzędy – organa administracji UE.

Polish copper, strategic and critical. An overview of the mineral resources balance

The need to enhance recognition of the role of mineral resources within the European Union has been one of Poland's key initiatives since the country's accession to European structures. One of the most significant outcomes of the Raw Materials Initiative, introduced into EU policy work in 2008, was the definition of critical raw materials for the European economy. Initial lists of such raw materials appeared in 2010–2011, followed by updates in 2014, 2017, and 2020. However, it was only with the introduction of the EU Critical Raw Materials Act (CRMA) in 2023 that copper was included, reflecting its essentiality for achieving most of the EU's priority economic objectives.

Since 2023, Polish copper – including the mineral resources of Polska Miedź – has become a prominent international player in the economic landscape. Interest from different parties has expanded significantly, and recent information indicates that copper (Cu) will soon be added to the U.S. critical raw materials list as well.

For the above reasons, this heightened attention to copper concerns both the documented and available geological resources, as well as copper extracted and continuously supplied to the economy. In Poland, Polska Miedź has been the sole supplier from its own resources since the mid-1950s, serving not only the domestic market but also international demand. For more than five decades, issues related to the development of the national copper ore resource base have been resolved with the direct or indirect involvement of Polska Miedź (formerly KGHM). Although many new and noteworthy circumstances have emerged in recent years, the methodologies and expertise developed at KGHM remain essential for a comprehensive assessment of Poland's copper ore resource potential.

The national balance of copper (and silver) ores is publicly available on the website of the Polish Geological Institute in the form of systematic tables and descriptions covering the period since 2011. Additionally, published graphs trace the situation back to 1989, marking the political and economic transition from the centrally planned economy of the Polish People's Republic (PRL) to a market-oriented system in most areas of the economy. Other available publications on mineral resources balance also cover only

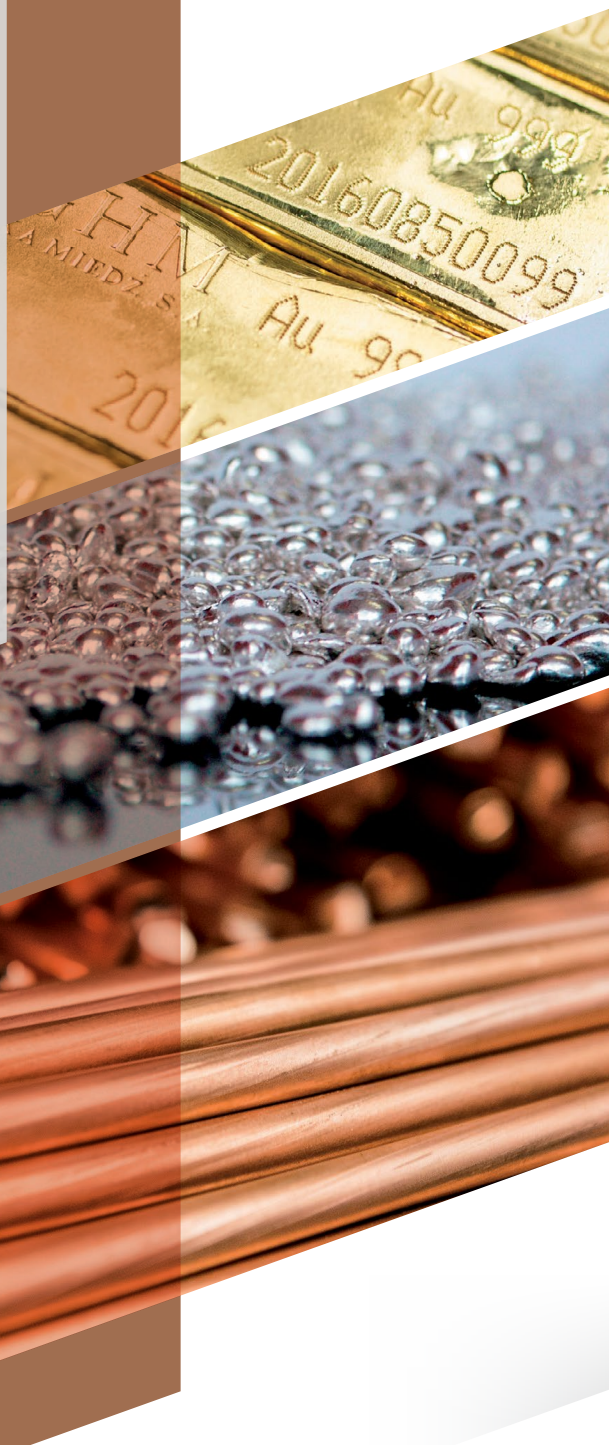
the post-1989 period, as earlier data were classified and are currently stored in state archives. Consequently, providing a holistic context for the development of Poland's copper sector is challenging. Knowledge preserved within KGHM makes it possible to clarify and complement official data.

In this paper, data analogous to those in state registers are presented, but from the perspective of the primary data producer rather than the main recipient. Furthermore, the paper highlights several definitions applied in geological documentation practice, identifying potential risks of misinterpretation among the growing number of interested parties engaged in the circulation of information about mineral resources and extraction. Addressing these issues may improve communication between enterprises, Polish authorities, and the EU administrative bodies.

PRZYSZŁOŚĆ JEST **Z MIEDZI**

Globalny lider w produkcji miedzi i srebra. Gigant, wizjoner odkrywca w branży wydobywczej i produkcyjnej. Od ponad 60 lat wydobywamy i przetwarzamy cenne zasoby ziemi, skutecznie budując pozycję lidera branży. Dzięki wiedzy i doświadczeniu naszych pracowników tworzymy produkty, które umożliwiają zrównoważony rozwój świata.

www.kghm.com



KGHM
POLSKA MIEDŹ

Polska jako producent surowców krytycznych – przypadek surowców skaleniowych

Za surowce krytyczne dla Unii Europejskiej uznaje się surowce nieenergetyczne i nierolnicze, które mają istotne znaczenie dla całej unijnej gospodarki, a ich dostawy obciążone są wysokim ryzykiem. Są to surowce o kluczowym znaczeniu dla rozwoju wielu strategicznych sektorów, zwłaszcza energetyki ze źródeł odnawialnych, przemysłu cyfrowego, sektora kosmicznego i obronnego.

Na obowiązującej obecnie, piątej już liście surowców krytycznych dla Unii Europejskiej (przyjętej w 2023 r.) znalazły się 34 surowce (wyłoniłone z 87 analizowanych), spośród których cztery pozyskiwane są ze źródeł pierwotnych w Polsce. Są to: hel, węgiel koksowy oraz – po raz pierwszy – miedź i surowce skaleniowe. Te ostatnie będą przedmiotem wystąpienia na tegorocznej konferencji.

Surowce skaleniowe zostały uznane za krytyczne dla UE ze względu na znaczny wzrost ryzyka zakłóceń dostaw poprzez większą zależność od importu z Turcji, który obecnie zaspokaja 70% potrzeb Wspólnoty. Surowce te odgrywają kluczową rolę zwłaszcza w produkcji płytek ceramicznych i wyrobów ze szkła, które z kolei są wykorzystywane w tak ważnych dla gospodarki sektorach, jak budownictwo i przemysł motoryzacyjny.

Największym i najstarszym krajowym producentem surowców skaleniowych (ostatnio 310–530 tys. ton/r., tj. 80–90% produkcji krajowej) są Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych (SKSM) sp. z o.o. z Sobótki na Dolnym Śląsku (SW Polska). Ze względu na litologię eksploatowanych złóż w Polsce pozyskuje się wyłącznie surowce skaleniowo-kwarcowe o charakterze sodowo-potasowym. Główny asortyment stanowią grysy skaleniowo-kwarcowe o uziarnieniu 0–8, 0–5 i 5–8 mm. W mniejszych ilościach produkowane są mączki ceramiczne skaleniowo-kwarcowe w klasach ziarnowych <0,2, 0,063 i <0,071 mm oraz mączki szklarskie <0,1 i 0,1–0,5 mm. Surowce te są pozyskiwane z kopaliny złóż granitoidów zlokalizowanych w masywie Strzegom-Sobótka na Dolnym Śląsku: Pagórki Wschodnie (od 1956 r.), Pagórki Zachodnie (od 1963 r.), Strzeblów I (od 2007 r.) i Stary Łom (od 2011 r.). Zdecydowana większość oferty SKSM trafia do przemysłu płytek ceramicznych (80–90%), a mniejsze ilości – do przemysłu ceramiki sanitarnej, ceramiki szlachetnej i użytkowej, szklarskiego, a także wyrobów izolacyjnych i materiałów ogniotrwałych.

Aby sprostać rosnącym wymaganiom klientów, Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych przeprowadziły w ostatnich latach, przy wsparciu funduszy unijnych,

liczne inwestycje w park technologiczny. Zbudowano linię homogenizacji, która pozwala zapewnić stabilny i powtarzalny skład chemiczny surowców skaleniowych. W 2019 roku oddano do użytku nowoczesną linię do produkcji wysoko rozdrobnionych surowców ceramicznych i szklarskich, a także zrealizowano budowę nowego laboratorium kontrolno-pomiarowego, wyposażonego w spektrometry WDXRF i EDXRF oraz analizator laserowy do pomiaru wielkości cząstek. Dzięki tym inwestycjom przedsiębiorstwo znacząco wzmocniło swoje możliwości w zakresie jakości i powtarzalności produkcji, w pełni wykorzystując potencjał posiadanych złóż.

Sposób prowadzenia działalności przez SKSM wpływa na: bezpieczeństwo dostaw surowców kluczowych, mniejszą zależność od importu i wahań rynków światowych, możliwość długofalowego planowania rozwoju branż opartych na surowcach krajowych, utrzymanie miejsc pracy i lokalny rozwój gospodarczy.

Wysoki poziom krajowej konsumpcji surowców skaleniowych w produkcji płytek ceramicznych wiąże się z upowszechnieniem technologii szybkiego wypalania oraz rozwojem produkcji płytek gresowych. Płytki te charakteryzują się doskonałymi parametrami fizyko mechanicznymi, co uzyskuje się przez silne spieczenie masy ceramicznej, w której składzie kluczowe znacznie ma podwyższony do 40–50% udział surowców skaleniowych. Zmiany technologiczne i rozbudowa zdolności produkcyjnych (do około 130 mln m²/r.) awansowały nasz kraj do czołówki wytwórców tych wyrobów w Unii Europejskiej (trzecie miejsce po Włoszech i Hiszpanii). Gwałtowna wyżka cen nośników energii, w szczególności gazu, wywołana polityką Rosji oraz jej zbrojną napaścią na Ukrainę w 2022 r., doprowadziła do kryzysu w sektorze płytek ceramicznych. Równocześnie polityka klimatyczna UE oraz napływ dużo tańszych wyrobów z Indii i Turcji przyczyniły się do obniżenia rentowności krajowego przemysłu płytek ceramicznych. Spowodowało to znaczny spadek zapotrzebowania na surowce skaleniowe.

Polska nie należy do krajów zasobnych w surowce skaleniowe. Według stanu na koniec 2024 r. zasoby bilansowe złóż udokumentowanych wynosiły około 139 mln ton. Największe perspektywy powiększenia istniejącej bazy zasobowej wiążą się z wystąpieniami leukogranitoidów w obrębie bloku karkonosko-izerskiego. Ich zasoby prognozytyczne szacowane są na ok. 61 mln ton, a perspektywiczne na ok. 37 mln ton. Mimo to szanse na udostępnienie nowych złóż oceniane są bardzo nisko ze względu na istniejący opór społeczny przeciwko działalności wydobywczej oraz względy środowiskowe.

Poland as a producer of critical raw materials – the case of feldspar raw materials

Critical raw materials for the European Union are defined as non-energy and non-agricultural raw materials that are essential to the entire EU economy and whose supply is subject to high risk. These are raw materials that are crucial for the development

of many strategic sectors, in particular renewable energy, the digital industry, the space sector and defence.

The current fifth list of critical raw materials for the European Union (adopted in 2023) includes 34 raw materials (selected from 87 analysed), four of which are sourced from primary sources in Poland. These are: helium, coking coal and, for the first time, copper and feldspar raw materials. The latter will be the subject of a presentation at this year's conference.

Feldspar raw materials have been identified as critical for the EU due to the significant increase in the risk of supply disruptions through greater dependence on imports from Türkiye, which currently meets almost 70% of the Community's needs. These raw materials play a key role, particularly in the production of ceramic tiles and glass products, which in turn are used in sectors as important to the economy as construction and the automotive industry.

The largest and oldest domestic producer of feldspathic raw materials (recently 310–530 thousand tonnes/year, i.e. 80–90% of domestic production) is Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych (SKSM) Ltd. from Sobótka in the Lower Silesia (SW Poland). Due to the lithology of the deposits exploited in Poland, only sodium-potassium felspar-quartz raw materials can be obtained. The main assortment consists of felspar-quartz grit with a grain size of 0–8, 0–5 and 5–8 mm. Smaller quantities of feldspar-quartz ceramic powders in grain sizes <0.2, 0.063 and <0.071 mm and glass powders <0.1 and 0.1–0.5 mm are also produced. These raw materials are obtained from granitoid deposits located in the Strzegom-Sobótka massif in Lower Silesia: Pagórki Wschodnie (since 1956), Pagórki Zachodnie (since 1963), Strzeblów I (since 2007) and Stary Łom (since 2011). The vast majority of SKSM's products are used in the ceramic tile industry (80–90%), with smaller quantities going to the sanitary ceramics, ceramics, glass, insulation and refractory materials industries.

In order to meet the growing demands of customers, Strzeblowskie Kopalnie Surowców Mineralnych has carried out a number of investments in its technology park in recent years, with the support of the EU's funds. A homogenisation line has been built, which ensures a stable and repeatable chemical composition of feldspar raw materials. In 2019, a modern line for the production of highly comminuted ceramic and glass raw materials was put into operation, and a new control and measurement laboratory was built, equipped with WDXRF and EDXRF spectrometers and a laser analyser for measuring particle size. Thanks to these investments, the company has significantly strengthened its capabilities in terms of production quality and repeatability, fully exploiting the potential of its deposits.

The way SKSM operates has influenced: the security of supply of key raw materials, reduced dependence on imports and global market fluctuations, the possibility of long-term planning for the development of industries based on domestic raw materials, job retention and local economic development.

The high level of domestic consumption of feldspar raw materials in the production of ceramic tiles is associated with the widespread use of fast firing technology and

the development of porcelain tile (gres) production. These tiles are characterised by excellent physical and mechanical parameters, which are achieved by strong sintering of the ceramic mass, in which the increased share of feldspar raw materials (up to 40–50%) plays a key role. Technological changes and the expansion of production capacity (to approximately 130 million m²/year) have propelled Poland to the forefront of manufacturers of these products in the European Union (third place after Italy and Spain). The sharp rise in energy prices, particularly natural gas, caused by Russia's policy and its armed invasion of Ukraine in 2022, led to a crisis in the ceramic tile sector. At the same time, the EU's climate policy and the influx of much cheaper products from India and Türkiye contributed to a decline in the profitability of the domestic ceramic tile industry. This resulted in a significant drop in demand for feldspar raw materials.

Poland is not among the countries rich in feldspar resources. As at the end of 2024, the resources in place of documented deposits amounted to approximately 139 million tonnes. The greatest prospects for expanding the existing resource base are associated with the occurrence of leucogranitoids within the Karkonosze-Izera block. Their inferred resources are estimated at approximately 61 million tonnes, while indicated resources – at approximately 37 million tonnes. Nevertheless, the chances of commencement of new deposits exploitation are considered very low due to existing public resistance to mining activities and environmental concerns.

Synteza zeolitów z pyłów skalnych – potencjał odpadowej frakcji granitu i diatomitu w inżynierii materiałów adsorpcyjnych

Rosnąca presja środowiskowa i potrzeba racjonalnego gospodarowania zasobami naturalnymi sprawiają, że w ostatnich latach intensywnie poszukuje się nowych zastosowań dla odpadów przemysłowych i pyłów poprodukcyjnych. Jednym z najbardziej obiecujących kierunków jest ich wykorzystanie jako surowców do syntezy materiałów funkcjonalnych, w tym zeolitów – krystalicznych, mikroporowatych materiałów wykazujących właściwości jonowymienne i sorpcyjne.

W opracowaniu przedstawiono koncepcję syntezy zeolitów z odpadowych frakcji pyłów granitowych i diatomitowych, powstających podczas cięcia, szlifowania i obróbki skał naturalnych oraz wydobywania i przetwórstwa ziem krzemkowych. Surowce te wykazują wysoką zawartość krzemionki i glinu, a tym samym stanowią doskonałą bazę do alkalicznej aktywacji i przekształcenia w zeolity o właściwościach sorpcyjnych.

Praca została zrealizowana w ramach projektu CleanLake, którego głównym celem jest opracowanie kompleksowego systemu rekultywacji i ochrony wód jeziornych poprzez zastosowanie materiałów sorpcyjnych o kontrolowanej selektywności względem związków biogennych – przede wszystkim form azotu i fosforu odpowiedzialnych za eutrofizację. W ramach projektu opracowywana jest technologia produkcji zeolitów na bazie odpadowych surowców mineralnych (w tym pyłów skalnych i popiołów z procesów termicznych), a następnie testowane są możliwości ich aplikacji w rozwiązaniach inżynierskich dedykowanych ochronie środowiska wodnego.

Opracowane kompozyty z udziałem syntetyzowanych zeolitów będą wykorzystane do stworzenia trzech głównych typów produktów demonstracyjnych:

- ➔ ścieżek czyszczących – zlokalizowanych w strefie brzegowej jezior, stanowiących pas filtracyjny dla spływających zanieczyszczeń powierzchniowych;
- ➔ platform nawodnych – pełniących jednocześnie funkcję filtracyjną oraz siedliskową dla ptactwa wodnego;
- ➔ platform podwodnych – strukturalnych rozwiązań filtrujących wodę w toni jeziora, mogących równocześnie pełnić funkcję siedlisk dla ryb oraz małych zwierząt wodnych lub służyć celom dydaktycznym i szkoleniowym.

Po zakończeniu cyklu filtracyjnego (ok. jednego sezonu) produkty te będą podlegały recyklingowi materiałowemu i zostaną przekształcone w nawozy mineralno-organiczne, przeznaczone dla upraw energetycznych. Dzięki zawartości wychwyconych

wcześniej związków N i P możliwe będzie uzyskanie nawozu o kontrolowanym uwalnianiu składników odżywczych.

Synteza zeolitów przeprowadzana jest w warunkach hydrotermalnych (alkalicznych), z wykorzystaniem m.in. 3M roztworu NaOH oraz łagodnych temperatur ($< 100^{\circ}\text{C}$), co wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju i niskiego śladu węglowego. Dla pyłów granitowych i diatomitowych zidentyfikowano korzystny stosunek Si/Al oraz obecność faz amorficznych, co sprzyja tworzeniu struktur, takich jak zeolit X, P czy analcym. Uzyskane produkty charakteryzują się powierzchnią właściwą powyżej $100\text{ m}^2/\text{g}$, co zostało potwierdzone metodą BET oraz analizą porów za pomocą porozymetru rtęciowego.

Przeprowadzone badania wskazują na duży potencjał aplikacyjny badanych materiałów w zakresie ochrony środowiska wodnego, szczególnie w kontekście strategii przeciwdziałania eutrofizacji i wdrażania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ).

Podsumowując, zaprezentowane podejście nie tylko umożliwia zagospodarowanie trudnych w utylizacji pyłów odpadowych, lecz także wpisuje się w kierunki rozwoju technologii środowiskowych i inżynierii materiałowej. Przekształcenie frakcji odpadowych w produkty wysokowartościowe, wspomagające ochronę wód i umożliwiające ich późniejszy recykling w postaci nawozu, stanowi przykład efektywnego wdrażania zasad GOZ zgodnie z wytycznymi Europejskiego Zielonego Ładu.



Opisane badania zostały sfinansowane w ramach projektu pt. „Opracowanie systemów uzdatniania wody przeciwdziałających procesowi eutrofizacji jezior na bazie zeolitów otrzymywanych z ubocznych produktów przemysłowych”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu M-ERA.NET 3, numer grantu M-ERA.NET3/2023/67/CleanLake/2024.

Synthesis of zeolites from rock dust – the potential of granite and diatomite waste fractions in adsorptive materials engineering

In recent years growing environmental pressure and the need for the rational management of natural resources have led to an intensive search for new applications of industrial waste and post-production dusts. One of the most promising directions is their use as raw materials for the synthesis of functional materials,

including zeolites – crystalline, microporous materials with ion-exchange and sorption properties.

This work outlines a concept for the synthesis of zeolites from waste fractions of granite and diatomite dust generated during the cutting, grinding, and processing of natural rocks, as well as during the extraction and treatment of diatomaceous earth. These raw materials exhibit a high content of silica and alumina, making them an excellent base for alkaline activation and conversion into zeolites with sorption capabilities.

The research was carried out as part of the CleanLake project, which main objective is to develop a comprehensive lake water restoration and protection system using sorbent materials with controlled selectivity towards biogenic compounds – primarily nitrogen and phosphorus species responsible for eutrophication. The project involves the development of a technology for producing zeolites from waste mineral raw materials (including rock dust and ashes from thermal processes) and the evaluation of their application potential in engineering solutions dedicated to aquatic environmental protection.

The developed composites containing synthesized zeolites will be used to create three main types of demonstrator products:

- Cleaning pathways – located along the shoreline of lakes, serving as filtration belts for surface runoff pollution;
- Floating platforms – performing both filtration and habitat functions for waterfowl;
- Submerged platforms – structural solutions for filtering water in the lake column, which can also serve as habitats for fish, small aquatic organisms, or be used for educational and training purposes.

After completing their filtration cycle (approx. one season), these products will undergo material recycling and be converted into mineral-organic fertilizers dedicated to energy crop cultivation. Thanks to the content of previously captured nitrogen and phosphorus compounds, it will be possible to produce fertilizers with controlled nutrient release.

Zeolite synthesis is conducted under hydrothermal (alkaline) conditions using, among others, a 3M NaOH solution and mild temperatures ($<100^{\circ}\text{C}$), which aligns with the principles of sustainable development and low carbon footprint. For granite and diatomite dusts, a favorable Si/Al ratio and the presence of amorphous phases were identified, which support the formation of structures such as zeolite X, P, or analcime. The obtained products exhibit a specific surface area above $100\text{ m}^2/\text{g}$, as confirmed by BET analysis and mercury intrusion porosimetry.

The conducted research indicates a high application potential of the tested materials in the field of aquatic environmental protection, especially in the context of eutrophication prevention strategies and the implementation of circular economy (CE) principles.

In conclusion, the presented approach enables not only the utilization of difficult-to-manage waste dusts but also aligns with the development of environmental technologies

and material engineering. Converting waste fractions into high-value products that support water protection and allow for subsequent recycling in the form of fertilizers represents a prime example of effective CE implementation in line with the European Green Deal objectives.



This research was funded by the project entitled “Development of water treatment systems that counteract the eutrophication process of lakes based on zeolites obtained from industrial by-products”, which is financed by the Polish National Center for Research and Development under the M-ERA.NET 3 program, grant number M-ERA.NET3/2023/67/CleanLake/2024.

Perspektywy złożowe grafitu w Polsce

Rola grafitu w gospodarce jest kluczowa ze względu na jego wszechstronne zastosowania, od tradycyjnych po zaawansowane technologie. Jest on niezbędny w produkcji smarów, materiałów ogniotrwałych i elektrod do pieców, ale przede wszystkim w nowoczesnej gospodarce staje się krytycznym surowcem dla przemysłu bateryjnego, elektromobilności oraz innych technologii innowacyjnych, takich jak materiały półprzewodnikowe i nanotechnologia. Unikatowe właściwości grafitu, takie jak wysoka przewodność elektryczna, stabilność termiczna i obojętność chemiczna, czynią go nieodzownym w wielu gałęziach przemysłu.

Naturalny grafit, powstający w procesach metamorfizmu skał organicznych, obejmuje trzy główne rodzaje: grafit płatkowy o wysoko uporządkowanej strukturze krystalicznej, grafit żyłowy występujący w szczelinach rud oraz grafit amorficzny o słabo wykształconej strukturze. W Polsce od lat były notowane liczne przejawy występowania łupków grafitowych, głównie w rejonie Sudetów i na Przedgórzu Sudeckim oraz w Tatrach Zachodnich. Nigdy nie prowadzono zaawansowanych badań laboratoryjnych w celu oceny jakościowej surowca oraz możliwości odzysku grafitu w procesach przeróbki oraz flotacji. Łupki grafitowe powstają w wyniku przeobrażenia skał osadowych bogatych w substancję węglistą lub bituminy. Mają barwę czarną lub srebrną, najczęściej są produktami metamorfizmu w facji zieleńcowej; charakteryzują się wówczas słabą zwięzłością oraz wyraźną łupliwością wzdłuż foliacji. Jeśli formacje łupkowe zostaną poddane wyższej temperaturze oraz ciśnieniu, przechodzą w zwięzłe paragnejsy grafitowe.

W latach 2022–2025 specjaliści z Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego pod nadzorem dr. Sławomira Mazurka zapoczątkowali ocenę potencjału złożowego wystąpień łupków grafitowych w rejonie Sudetów. Na podstawie archiwalnych danych oraz studiów nad niemieckimi mapami wytypowano najbardziej perspektywiczne rejony w celu poszukiwań i rozpoznania. W 2022 roku przeprowadzono liczne badania na starych hałdach oraz prace geofizyczne, które bazowały głównie na metodach elektrooporowych (ERT), bowiem grafit jest doskonałym przewodnikiem prądu, co skutkuje wyraźnym kontrastem anomalii opornościowych na tle skał otoczenia. Bazując na omawianych metodach, głównie geofizycznych, wytypowano 3 obszary badań metodami wiertniczymi. Są to: rejon Radzimowic w pasie łupków radzimowickich na północny wschód od Mysłowa, rejon zaliczany do jednostki Chełmca na zachód od Męcinki oraz obszar Żelowice w pobliżu Niemczy. Zaprojektowano 8 otworów wiertniczych z możliwością wykonania otworów kierunkowych

w przypadku pozytywnych rezultatów. W maju 2025 r., po zatwierdzeniu projektu robót geologicznych oraz uzyskaniu wszelkich niezbędnych zezwoleń przystąpiono do kampanii wiertniczej. W dalszych etapach pozyskany materiał skalny w postaci rdzeni zostanie przebadany pod kątem jakości surowca. Efektem końcowym prowadzonych badań będą dokumentacje geologiczne w kat. D lub – w razie nieuzyskania zadowalających wyników – tak zwane „dokumentacje inne”, będące obszernym raportem wynikowym przeprowadzonych prac. W ramach wniosków i podsumowań planowana jest także ocena perspektyw oraz dalsze rekomendacje w celu doprecyzowania wiedzy o złożach grafitu w Polsce.

Prace sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (Projekt 22.7101.2401.00.0).

Prospects for graphite deposits in Poland

Graphite's role in the economy is crucial due to its versatile applications, from traditional to advanced technologies. It is essential in the production of lubricants, refractory materials, and furnace electrodes, but above all, in the modern economy. It is becoming a critical raw material for the battery industry, electromobility, and other innovative sectors such as semiconductors and nanotechnology. Unique properties of graphite, such as high electrical conductivity, thermal stability, and chemical inertness, make it indispensable in many industries.

Natural graphite, formed through the metamorphism of organic rocks, mainly comprises three types: flake graphite with a highly ordered crystalline structure; vein graphite occurring in ore fissures; and amorphous graphite with a poorly developed structure. Numerous instances of graphite schist have been noted in Poland for years, primarily in the Sudety Mountains, the Sudety Foreland, and the Western Tatra Mountains. Advanced laboratory tests have never been conducted to assess the quality of the raw material and the potential for graphite recovery through processing and flotation. Graphite schists form by the transformation of sedimentary rocks rich in carbonaceous matter or bitumen. Black or silver in color, they are most often products of metamorphism in the greenschist facies. They are characterized by poor cohesion and pronounced cleavage along foliation. If shale formations are subjected to higher temperatures and pressures, they transform into cohesive graphite paragneisses.

From 2022 to 2025, specialists from the Polish Geological Institute – National Research Institute, under the supervision of Dr. Sławomir Mazurek, initiated an assessment of the deposit potential of graphite schist occurrences in the Sudety Mountains. Based on archival data and studying German maps, the most promising areas were selected for exploration. In 2022, numerous surveys were conducted on old dumps, along with

geophysical work, primarily based on electrical resistivity (ERT) methods as graphite is an excellent conductor of electricity, resulting in a clear contrast of resistivity anomalies against the surrounding rocks. Based on these primarily geophysical methods, three areas were selected for drilling: the Radzimowice region in the Radzimowice schists belt northeast of Mysłów; the Chełmiec unit region west of Męcinka; and the Żelowice area near Niemcza. Eight drill boreholes were planned, with the possibility of drilling directional holes if positive results were obtained. In May 2025, after approval of the geological works plan and obtaining all necessary permits, the drilling campaign began. In subsequent stages, the extracted rock material in the form of cores will be tested for raw material quality. The final outcome of the research will be geological documentation in category D, or if satisfactory results are not obtained, the so-called „other documentation”, which will be a comprehensive report on the results of the work carried out. The conclusions and summaries will also include an assessment of the prospects and further recommendations to clarify our knowledge of graphite deposits in Poland.

The work was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management (Project 22.7101.2401.00.0).

Główne formacje metalogeniczne w Polsce pod kątem występowania pierwiastków krytycznych

Pierwiastki krytyczne (CRM 2023) mają obecnie duże znaczenie dla rozwoju technologii związanych z transformacją energetyczną oraz użyciem nowoczesnych technologii w przemyśle motoryzacyjnym, elektronicznym, zbrojeniowym, kosmicznym i chemicznym. Zastosowanie najnowszych kompleksowych metod laboratoryjnych w prowadzonych przez PIG-PIB badaniach geochemicznych i mineralogicznych otworzyło nowy rozdział w zakresie rozpoznania dystrybucji pierwiastków krytycznych w złożach rud metali w Polsce. W kraju znaczenie pod względem perspektyw występowania pierwiastków krytycznych ma kilka głównych formacji metalogenicznych, wśród których na szczególną uwagę zasługują: (1) siarczkowa miedziowo-srebrowa formacja cechsztyńska na Dolnym Śląsku, zawierająca w złożach (typ SSC) dodatkowo znaczne zasoby pierwiastków krytycznych i/lub towarzyszących (Co, Ni, V, Mo, Zn, Pb, Se, Re, S); (2) siarczkowa formacja cynkowo-ołowiowa (typ MVT), występująca głównie w utworach węglanowych triasu środkowego oraz w mniejszym stopniu w skałach dewonu w obszarze śląsko-krakowskim, w których obecne są w podwyższonych ilościach pierwiastki towarzyszące (Cd, Ag, Tl, S) oraz krytyczne (Ga, Ge, Ba, As); (3) tlenkowa formacja magnetytowo-ilmenitowa z wanadem (typ ortomagmowy), związana z mezoproterozoicznym suwalskim kompleksem AMCG, której towarzyszą znaczne szacunkowe zasoby Cu, Co, Ni oraz Zn związane z mineralizacją siarczkową, a także Sc towarzyszący mineralizacji tlenkowej; (4) formacja siarczkowa Cu±Mo z wolframem (złoża porfirowe, sztokwerkowe i/lub skarnowe), związana z karbońskimi felzytowymi intruzjami występującymi wzdłuż strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec oraz w Sudetach; (5) formacja karbonatytowa z REE w strefie wystąpień karbońskich intruzji alkalicznych na platformie wschodnioeuropejskiej oraz w Sudetach. Na obecnym etapie rozpoznania mniejsze znaczenie pod względem wystąpień pierwiastków krytycznych mają następujące formacje metalogeniczne: (6) formacja stratoidalnych złóż kasyterytowo-siarczkowych wzbogacona w Bi, Co, Cu, Zn, Pb, występująca w utworach paleozoicznych w Sudetach; (7) formacja paleozoicznych czarnych łupków wzbogaconych w U, V i Mo na obniżeniu podlaskim; (8) formacja ilmenitowo±magnetytowa z wanadem, związana z dewońskim środkowo-sudeckim kompleksem ofiolitowym; (9) formacja siarczkowa polimetaliczno±arsenowo±złotoñośna, związana z rozwojem procesów pomagmowo-hydrotermalnych wokół karbońskich intruzji w waryscydach w południowej Polsce (typ żyłowy, kontaktowo-metasomatyczny), wzbogacona w Cu, Zn, Pb, Co, Bi, Te; (10) karbońskie tufy wzbogacone w Al, występujące na wyniesieniu

podlasko-lubelskim; (11) formacje utlenione (tzw. Rote Fäule) w utworach permskich, wzbogacone lokalnie w PGE oraz Au; (12) paleozoiczne i/lub mezozoiczne formacje barytowo±fluorytowo±uranowo±siarczkowe w Sudetach i Górach Świętokrzyskich; (13) górnotriasowo-dolnojurajskie formacje paleogleb wzbogacone w REE; (14) formacje osadowe w tym fosforytonośne i/lub syderytonośne w utworach mezozoicznych i kenozoicznych wzbogacone w REE±U±Th; (15) kenozoiczne formacje złóż magnezytu i/lub (16) wietrzeniowych złóż niklu (typ saprolitowy) z domieszkami Co, Cr, V, Mn, występujące na bloku przedsudeckim; (17) formacje polimetaliczne związane z kenozoicznym wulkanizmem w Karpatach.

Podsumowując, w Polsce spośród aktualnej listy pierwiastków metalicznych zaliczanych do surowców krytycznych zdecydowanie największe znaczenie ma cechsztyńska formacja miedzionośna. Udokumentowane zostały duże zasoby miedzi (zasoby bilansowe ok. 56,7 mln ton), które przy obecnym poziomie produkcji miedzi elektrolitycznej przez KGHM Polska Miedź SA (0,588 mln ton) powinny wystarczyć na kilkadziesiąt lat. W procesie produkcji z pierwiastków krytycznych odzyskiwane są również niewielkie ilości siarczanu niklu (ok. 2,36 tys. ton) oraz Pt i Pd (BZZKP 2025). Inne pierwiastki krytyczne nie są przedmiotem wydobywania oraz odzysku z pierwotnych złóż w kraju. Występują one w różnych udokumentowanych typach złóż, tworząc w nich kopalinę główną (Ni, As, Ba, F, Mg, REE), towarzyszącą (Ti, V, W, Co, Bi) lub wzbogacenia w innych minerałach rudnych (Ga, Ge, V, Co, Sc). Aktualnie przygotowany Krajowy Program Poszukiwań Surowców Krytycznych bazuje częściowo na wynikach wcześniej przeprowadzonych prac, jednak obejmuje znacznie większą liczbę surowców mineralnych (34 wg listy CRMA '24), niż dotychczas brano pod uwagę w jakichkolwiek opracowaniach w zakresie krajowych perspektyw wystąpień pierwiastków krytycznych. Przedmiotem dalszych prac PSG pod kątem perspektywicznych wystąpień złóż surowców krytycznych będą najbardziej perspektywiczne formacje metalogeniczne w Polsce.

The main metallogenic formations in Poland in terms of the occurrence of critical elements

Critical elements (CRM 2023) are currently of great importance for the development of technologies related to energy transformation and the development of modern technologies in the automotive, electronics, defense, space, and chemical industries. The application of the latest comprehensive laboratory methods in geochemical and mineralogical studies conducted by the Polish Geological Institute (PGI-NRI) has opened a new chapter in the identification of the distribution of critical elements in metal ore deposits in Poland. Several major metallogenic formations are important in terms of the prospects for the occurrence of critical elements in Poland, including: (1) the sulphide copper-silver Zechstein formation (SSC type) in Lower Silesia, which contains

additionally significant resources of critical and/or accompanying elements (Co, Ni, V, Mo, Zn, Pb, Se, Re, S); (2) the sulphide zinc-lead formation occurring mainly in Middle Triassic carbonate sediments (MVT type) and, to a lesser extent, in Devonian rocks in the Silesian-Kraków area, in which accompanying elements (Cd, Ag, Tl, S) and critical elements (Ga, Ge, Ba, As) are present in increased amounts; (3) the oxide magnetite-ilmenite formation with vanadium (orthomagmatic type) associated with the Mesoproterozoic Suwałki AMCG complex, accompanied by significant estimated resources of Cu, Co, Ni and Zn associated with sulphide mineralisation, and Sc associated with oxide mineralisation; (4) the sulphide Cu±Mo formation with tungsten (porphyry, stockwork and/or skarn deposits) associated with Carboniferous felsic intrusions occurring along the Kraków-Lubliniec tectonic zone and in the Sudetes; (5) the formation of carbonate-related REE deposits in the zone of Carboniferous alkaline intrusions on the East European Platform and in the Sudetes. At the present stage of exploration, the following metallogenic formations are less important in terms of critical element occurrences: (6) the formation of stratiform cassiterite-sulphide deposits enriched in Bi, Co, Cu, Zn, Pb occurring in Paleozoic rocks in the Sudetes; (7) the formation of Paleozoic black shales enriched in U, V, and Mo in the Podlasie Depression; (8) the formation of ilmenite±magnetite with vanadium associated with the Devonian Central-Sudetic ophiolite complex; (9) the polymetallic±arsenic±gold-bearing sulphide formations related to the development of post-magmatic-hydrothermal processes around Carboniferous intrusions in Variscan Orogen in southern Poland (vein, and contact-metasomatic types) enriched in Cu, Zn, Pb, Co, Bi, Te; (10) the formation of Carboniferous tuffs enriched in Al occurring on the Podlasie-Lublin Upland; (11) oxidized formation (so-called Rote Fäule) in Permian sediments locally enriched in PGE and Au; (12) the formations of barite±fluorite±uranium±sulfides hosted by Paleozoic and/or Mesozoic rocks in the Sudetes and the Świętokrzyskie Mountains; (13) the formation of paleosoils enriched in REE hosted by Upper Triassic-Lower Jurassic sediments; (14) the formations of phosphorite and/or siderite enriched in REE±U±Th hosted by Mesozoic and Cenozoic sediments; (15) the Cenozoic formation of magnesite deposits and/or (16) the weathering nickel deposits (saprolite type) with admixtures of Co, Cr, V, Mn in the Fore-Sudetic block; (17) the polymetallic formations related to Cenozoic volcanism in the Carpathians.

In summary, among the current list of metallic elements classified as critical raw materials in Poland, the Zechstein copper-bearing formation is the most important. Large copper resources have been documented (balance resources of approximately 56.7 million tons), which at the current level of electrolytic copper production by KGHM Polska Miedź SA (0.588 million tons), should be sufficient for several decades. Small amounts of nickel sulfate (approximately 2.36 thousand tons) as well as Pt and Pd are also recovered among CE during the production process (BZZKP 2025).

Other critical elements are not mined or recovered from primary deposits in Poland. They occur in various documented deposit types, forming the main ore minerals (Ni, As, Ba, F, Mg, REE), accompanying minerals (Ti, V, W, Co, Bi), or enriched in other ore minerals (Ga, Ge, V, Co, Sc). The currently prepared National Exploration Program for

Critical Raw Materials is partially based on the results of previously conducted work, but it covers a significantly larger number of mineral resources (34 according to the CRMA '24 list) than has previously been considered in any studies. Further work by the Polish Geological Survey to identify CRMs deposit potential will focus on the most promising metallogenic formations in Poland.

Literatura/References

- BZZKP 2025. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2024 r. (red. M. Szuflicki i in.). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Bad. Warszawa.
- CRM 2023. Projekt rozporządzenia surowców krytycznych i strategicznych dla gospodarki Unii Europejskiej wraz z zaktualizowaną listów surowców krytycznych. 16.02.2023 r.

Wstępne rezultaty poszukiwań REE w wybranych perspektywicznych utworach osadowych obrzeżenia Gór Świętokrzyskich

Wzrost zapotrzebowania na pierwiastki ziem rzadkich (REE), wynikający z dynamicznego rozwoju nowoczesnych technologii (m.in. energetyki odnawialnej, elektromobilności, elektroniki), w połączeniu z globalną monopolizacją ich dostaw przez Chiny oraz wprowadzonymi przez ten kraj w 2025 r. ograniczeniami eksportowymi, rodzi szereg wyzwań natury geopolitycznej i ekonomicznej. Zakłócenia w łańcuchach dostaw, wojny celno-handlowe oraz napięcia międzynarodowe zwiększają ryzyko braku stabilności rynkowej i wahań cen REE, co czyni poszukiwania nowych źródeł tych surowców szczególnie istotnymi z punktu widzenia bezpieczeństwa surowcowego.

W ramach zadań PSG podjęto próbę weryfikacji oraz oceny potencjalnych zasobów REE na obszarze mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Szczególna uwaga została poświęcona osadom kredy dolnej (alb-cenoman), zawierającym mineralizację fosforytową w formie pseudokonkrecji, która była przedmiotem eksploatacji górniczej na początku drugiej połowy XX wieku. Z uwagi na niedostępność wyrobisk badaniom poddano pozostałe po historycznym kopalnictwie hałdy. Dodatkowo badano drobnoziarniste skały silikoklastyczne górnego triasu i dolnej jury ze względu na lokalne wzbogacenia w REE (Brański, Mikulski 2016; Mikulski i in. 2021).

Analiza archiwalnych danych z otworu Niekłań PIG-1 oraz przeprowadzone profilowanie przenośnym spektrometrem XRF rdzeni z otworu Gostków BS-2 pozwoliły na wytypowanie horyzontów anomalnych zawartości REE występujących w iłowcach/ mułowcach górnego triasu i dolnej jury. W celu ich weryfikacji wykonano dwa pełnordzeniowane otwory Nadziejów PIG-1 (200 m.b.) oraz Ubyszów PIG-1 (125 m.b.). Początkowe profilowanie pXRF pozyskanych rdzeni oraz późniejsze analizy geochemiczne (metodą ICP-MS) potwierdziły obecność wspomnianych horyzontów. W otworze Nadziejów PIG-1 w mułowcach górnego triasu natrafiono na horyzont o miąższości ok. 1,8 m, w którym suma REE sięga nawet do 5300 ppm ($n = 20$, mediana = 1664 ppm), potwierdzając tym samym hipotezę o anomalii z otworu Niekłań PIG-1. Natomiast w otworze Ubyszów PIG-1 w iłowcach i mułowcach późnojurajskich zidentyfikowano horyzont o miąższości 7 cm z sumą REE wynoszącą do 1570 ppm, jednak trudno w tym przypadku mówić o potwierdzeniu anomalii z otworu Gostków BS-2, gdyż zachodzi rozbieżność w kwestii głębokości i stratygrafii analizowanych skał, co wymaga dalszych badań.

W hałdach po górnictwie fosforytów w rejonie Chałupek i Annopola wykonano odpowiednio dwa i cztery płytkie otwory (w sumie 98 m.b.), mające na celu weryfikację

hipotez badawczych oraz potencjału wzbogacenia REE tych obiektów (Mikulski i in. 2021). Pobrano łącznie 158 prób z interwałów głębokościowych średnio co 0,6–1,2 m, o masie pojedynczej próby od 6 do 45,5 kg. Analizom chemicznym poddano zarówno wyseparowane konkrecje fosforytowe o średnicy większej niż 4 mm, jak i próbki piasków z frakcji podsitowej. Otrzymane wyniki posłużyły do stworzenia schematycznych profili wykonanych otworów wiertniczych. Przedstawiają one dane na temat przewiercanej litologii, procentowej zawartości konkrecji fosforytowych i frakcji nadsitowej w próbce, zawartości [w ppm] Y, La, Ce, U, sumy REE oraz procentowej zawartości poszczególnych tlenków. Najwyższa sumaryczna zawartość REE w próbkach konkrecji fosforytowych wyniosła 314 ppm, natomiast średnia sumaryczna zawartość REE – 186,2 ppm (n = 76). W próbkach piasków z fosforytami frakcji podsitowej najwyższa sumaryczna zawartość REE wyniosła 212,91 ppm, a średnia sumaryczna zawartość REE – 125,1 ppm (n = 30). W efekcie, dzięki ogólnodostępnym danym LIDAR oraz otrzymanym wynikom analiz, stworzono model 3D rozprzestrzenienia REE w obrębie hałdy w Annopolu.

REE prospection in selected perspective sedimentary formations of the Świętokrzyskie Mountains margin – preliminary results

Increasing demand for rare earth elements (REE), driven by the dynamic development of modern technologies (including renewable energy, electromobility, and electronics), combined with the global monopolization of China supply and export restrictions introduced in 2025, creates a number of geopolitical and economic challenges. Disruptions in supply chains, trade wars, and international tensions increase the risk of market instability and price fluctuations of REE, making the search for new sources of these raw materials particularly important from the perspective of resource security.

As part of the PSG tasks, an attempt to verify and assess the potential REE resources of the Świętokrzyskie Mountains Mesozoic margin was made. Special attention was paid to Lower Cretaceous (Albian–Cenomanian) sediments containing phosphate mineralization in the form of pseudoconcretions, which were mined at the beginning of the second half of the 20th century. Due to the inaccessibility of the mining excavations, heaps remaining from historical exploitation were studied. Additionally, fine-grained siliciclastic rocks of the Upper Triassic and Lower Jurassic were examined because of local enrichments in REE (Brański, Mikulski 2016; Mikulski et al. 2021).

Data analysis from the Niekłań PIG-1 archival borehole and portable XRF profiling of cores from the Gostków BS-2 borehole enabled the identification of anomalous REE horizons occurring in Upper Triassic and Lower Jurassic mudstones/siltstones. To verify these, two fully cored boreholes were drilled: Nadziejów PIG-1 (200 m) and Ubyszów PIG-1 (125 m). Initial pXRF profiling of the obtained cores and subsequent geochemical

analyses (ICP-MS) led to confirmation the presence of REE enriched zones. In the Nadziejów PIG-1 borehole, a horizon of approximately 1.8 m thick was found in Upper Triassic siltstones, where the total REE content reached up to 5300 ppm ($n = 20$, median = 1664 ppm), thereby confirming the anomaly hypothesis from the Niekłań PIG-1 borehole. In contrast, a 7 cm thick horizon with a total REE content up to 1570 ppm was identified in the Ubyszów PIG-1 Late Jurassic mudstones and siltstones; however, it is difficult to confirm the anomaly from the Gostków BS-2 borehole due to discrepancies in depth and stratigraphy of the analysed rocks, which requires further study.

In the heaps after phosphate mining in the Chałupki and Annopol areas, respectively two and four shallow boreholes were drilled (98 m in total) to verify the potential of REE enrichment in these sites (Mikulski et al. 2021). A total of 158 samples were collected from depth intervals averaging 0.6–1.2 m, with individual sample masses ranging from 6 to 45.5 kg. Chemical analyses were performed both on separated phosphate concretions larger than 4 mm in diameter and on sand samples from the undersize fraction. The obtained results were used to create schematic profiles of the drilled boreholes. These data were presented on the drilling profiles including the contents of phosphate concretions and oversize fraction in the sample together with Y, La, Ce, U, total REE and individual oxide contents (in ppm). The highest total REE content in phosphate concretion samples was 314 ppm, with an average total REE content of 186.2 ppm ($n = 76$). In sand samples containing phosphate from the undersize fraction, the highest total REE content was 212.91 ppm, with an average total REE content of 125.1 ppm ($n = 30$). As a result, using publicly available LIDAR data and the obtained analytical results, a 3D model of the distribution of rare earth elements within the heap in Annopol was created.

Literatura/References

- Brański P., Mikulski S.Z. 2016. Rare earth elements distribution in fine-grained deposits from the uppermost Triassic and Lower Jurassic of the Polish Basin: provenance and weathering in the source area. *Geol. Quart.* 60, 441–450.
- Mikulski et al. 2021 – Mikulski S.Z., Brański P., Pieńkowski G., Małek R., Zglinicki K., Chmielewski A. 2021. Wzbogacenie w REE utworów osadowych w wybranych rejonach obrzeżenia mezozoicznego Gór Świętokrzyskich – obiecujące dane wstępne i potrzeba dalszych badań. *Prz. Geol.* 69, 379–385.

Ustawa o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych – implementacja rozporządzenia Critical Raw Materials Act na gruncie polskim

Dnia 23 maja 2024 r. weszło w życie rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1252 ustanawiające ramy mające zapewnić bezpieczne i zrównoważone dostawy surowców krytycznych – tzw. Critical Raw Materials Act (CRMA). Rozporządzenie to stanowi element strategii surowcowej Unii Europejskiej, która ma na celu wzmocnienie bezpieczeństwa surowcowego, dywersyfikację źródeł dostaw oraz uniezależnienie europejskiej gospodarki od zewnętrznych dostawców surowców niezbędnych dla transformacji energetycznej, cyfrowej i przemysłowej, w tym zwłaszcza dla ważnego obecnie przemysłu obronnego. CRMA wprowadza cele, zgodnie z którymi do 2030 r. co najmniej 10% zapotrzebowania UE na surowce strategiczne ma pochodzić z wydobywania, 40% z przetwarzania, a 25% z recyklingu w ramach Unii. Jednocześnie udział surowców pochodzących z jednego państwa trzeciego nie powinien przekraczać 65% na żadnym etapie łańcucha dostaw. Jest to bardzo ambitny plan, który wymaga podjęcia pilnych i konkretnych działań zarówno na poziomie UE, jak i Państw Członkowskich. Kluczowym mechanizmem, który ma na to pozwolić, są projekty strategiczne.

Rozporządzenie nakłada na państwa członkowskie nowe obowiązki, obejmujące m.in. udział w opiniowaniu projektów strategicznych oraz pracach Europejskiej Rady ds. Surowców Krytycznych, tworzenie punktów kontaktowych wspierających procedury administracyjne, opracowanie krajowego programu poszukiwań surowców krytycznych, monitorowanie i ograniczanie ryzyk w łańcuchu dostaw oraz wdrażanie działań z zakresu gospodarki o obiegu zamkniętym.

W związku z powyższym pojawiła się konieczność uszczegółowienia i dostosowania przepisów rozporządzenia do polskiego porządku prawnego. Trwają prace nad projektem ustawy o zapewnieniu gospodarce krajowej dostępu do surowców, w tym surowców krytycznych (UC83). Po zakończeniu etapu konsultacji publicznych analizowane są obecnie zgłoszone uwagi i opinie. Rozporządzenie CRMA wprowadza wiele nowych, dotąd nierealizowanych przez Państwa Członkowskie UE zadań, które mają charakter interdyscyplinarny i obejmują różne działy administracji rządowej. Część z nich nie jest obecnie przypisana do żadnego resortu, co wymaga stworzenia spójnych ram prawnych i organizacyjnych. Projektowana ustawa ma na celu zapewnienie podziału kompetencji, uniknięcie ewentualnych sporów między organami, a także stworzenie podstaw do skutecznej i terminowej realizacji obowiązków wynikających z CRMA.

Warto podkreślić, że również cele Polityki Surowcowej Państwa (PSP) oraz CRMA są w dużej mierze zbieżne. Włączenie Polityki Surowcowej Państwa do ustawy pozwoli na zwiększenie jej rangi, trwałości instytucjonalnej oraz skuteczności realizacji. W kontekście rosnących napięć geopolitycznych oraz ograniczonej dostępności surowców bezpieczeństwo surowcowe staje się jednym z kluczowych elementów bezpieczeństwa państwa, wymagającym odpowiednich rozwiązań legislacyjnych i organizacyjnych.

The act on ensuring the national economy's access to raw materials, including Critical Raw Materials – implementation of the Critical Raw Materials Act in Poland

On May 23, 2024, Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council establishing a framework to ensure a secure and sustainable supply of critical raw materials – the so-called Critical Raw Materials Act (CRMA) – entered into force. This Regulation forms part of the European Union's raw materials strategy, aimed at strengthening raw materials security, diversifying supply chains, and reducing the EU economy's dependence on external suppliers of raw materials essential for the energy, digital, and industrial transitions – particularly for the increasingly important defence industry. The CRMA sets targets whereby, by 2030, at least 10% of the EU's annual consumption of strategic raw materials should come from extraction, 40% from processing, and 25% from recycling within the Union. At the same time, the share of raw materials originating from a single third country should not exceed 65% at any stage of the supply chain. This is a very ambitious plan that requires urgent and concrete action both at the EU and Member State levels. A key mechanism to achieve these goals is the implementation of strategic projects.

The Regulation imposes new obligations on Member States, including participation in the assessment of strategic projects and in the work of the European Critical Raw Materials Board, the establishment of contact points to support administrative procedures, the development of national programmes for the exploration of critical raw materials, monitoring and mitigating supply chain risks, and implementing circular economy actions.

Consequently, it has become necessary to specify and adapt the Regulation's provisions to the Polish legal system. Work is currently underway on a draft Act on Ensuring Access to Raw Materials for the National Economy, including Critical Raw Materials (UC83). Following the completion of the public consultation stage, the draft is now being analysed with respect to submitted comments and opinions. The CRMA introduces numerous new tasks for EU Member States, many of which are interdisciplinary and span different areas of public administration. Some of these responsibilities are not currently assigned to any ministry, which necessitates the creation of coherent legal

and organisational frameworks. The proposed Act aims to define the division of competences, prevent potential disputes between authorities, and establish a basis for the effective and timely implementation of the obligations arising from the CRMA.

It is worth emphasising that the objectives of Poland's National Raw Materials Policy (PSP2050) and the CRMA are largely aligned. Incorporating the State Raw Materials Policy into the Act will enhance its status, institutional stability, and implementation effectiveness. In the context of growing geopolitical tensions and limited resource availability, raw material security is becoming one of the key elements of national security, requiring appropriate legislative and organisational solutions.

Badania geotechniczne czy roboty geologiczne – propozycja zmian przepisów

W artykule przedstawione jest zagadnienie wykonywania robót geologicznych na potrzeby zaliczenia projektowanego obiektu budowlanego do odpowiedniej kategorii geotechnicznej.

W 2022 r. do Dyrektora Okręgowego Urzędu Górniczego wpłynął wniosek o naliczenie, na podstawie art. 140 ust. 1 ustawy Prawo geologiczne i górnicze, opłaty podwyższonej dla wykonawcy robót geologicznych za działalność wykonywaną bez zatwierdzonego projektu robót geologicznych. Szczegółowa analiza omawianego przypadku wskazuje na odmienne podejście ustawodawcy do tego zagadnienia w ramach ustawy Prawo budowlane oraz ustawy Prawo geologiczne i górnicze. Prawo budowlane nakłada na projektanta obowiązek sporządzenia dla każdego obiektu budowlanego opinii geotechnicznej, która ustala przydatność gruntów na potrzeby budownictwa oraz wskazuje kategorię geotechniczną obiektu budowlanego. W celu sporządzenia opinii geotechnicznej wykonuje się tak zwane „otwory geotechniczne”, które nie występują w ustawie Prawo geologiczne i górnicze, mają natomiast za zadanie skrócić procedury administracyjne przy projektowaniu obiektów budowlanych dla prostych warunków geologicznych w pierwszej kategorii geotechnicznej.

Ustawa Prawo geologiczne i górnicze w art. 3 pkt 7 wyłącza ze stosowania przepisów ustawy ustalanie geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych bez wykonywania robót geologicznych. Przepis ten w połączeniu z definicją robót geologicznych (art. 6 ust. 1 pkt. 11) sprawia, że wykonywanie w ramach prac geologicznych wszelkich czynności poniżej powierzchni terenu wymaga zatwierdzenia przez właściwy organ administracji geologicznej projektu robót geologicznych. Konieczność podjęcia tych działań znacznie wydłuża proces projektowania obiektów budowlanych nawet w prostych warunkach geotechnicznych.

Proponuje się rozwiązanie tego problemu drogą liberalizacji przepisów ustawy Prawo geologiczne i górnicze poprzez wyłączenie jej obowiązywania dla ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych z wykonywaniem robót geologicznych, tj. wkopów oraz otworów wiertniczych o głębokości do 6 m na potrzeby sporządzania opinii geotechnicznych z wyłączeniem obszarów górniczych utworzonych w celu wydobywania wód leczniczych.

Geotechnical surveys or geological works – a proposal to amend the regulations

The article presents the issue of performing geological works for the purpose of classifying the designed building object into the appropriate geotechnical category.

In 2022, the Director of the District Mining office received a request to calculate, pursuant to Article 140(1) of the Geological and Mining Law, an increased fee for the contractor of geological works for activities performed without an approved geological works project. A detailed analysis of the case in question indicates a different approach to this issue of the legislator under the Construction Law Act and the Geological and Mining Law.

The construction law imposes on the designer the obligation to prepare a geotechnical opinion for each building object, which determines the suitability of the land for construction purposes and indicates the geotechnical category of the building object. In order to prepare a geotechnical opinion, the so-called “geotechnical boreholes” are made, which do not appear in the Geological and Mining Law, but are intended to shorten administrative procedures when designing buildings in simple geological conditions in the first geotechnical category.

Article 3(7) of the Geological and Mining Law excludes from the application of the provisions of the Act the determination of geotechnical conditions for the foundation of buildings without performing geological works. This provision, combined with the definition of geological works (Article 6(1)(11)), means that the performance of all activities below the surface of the site as part of geological works requires approval of the geological works project by the competent geological administration body. The need to take these actions significantly prolongs the process of designing buildings even in simple geotechnical conditions.

It is proposed to solve this problem by liberalizing the provisions of the Geological and Mining Law by excluding its application for determining geotechnical conditions for the foundation of buildings with the performance of geological works, i.e. trenches and boreholes with a depth of up to 6 m for the purposes of preparing geotechnical opinions, excluding mining areas created for the purpose of extracting healing waters.

Perspektywy pozyskiwania surowców do produkcji manganu w Polsce

W ramach Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1252 z dnia 11 kwietnia 2024 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 i (UE) 2019/1020 (dalej CRMA) mangan (w standardzie wymaganym dla baterii) został uznany za surowiec strategiczny. W ramach implementacji CRMA każdy kraj członkowski zobowiązany jest do przygotowania opracowania określającego perspektywy wydobywania każdego wyszczególnionego surowca.

Historyczna eksploatacja manganu w Polsce miała miejsce w eoceńskich i górnokredowych łupkach manganowych jednostek skolskiej i śląskiej. Po II wojnie światowej przeprowadzono rozpoznanie wapieni manganonośnych w płaszczewinie krzyżniańskiej między Dolinami Chochołowską i Lejową, jednak niewielkie zasoby oraz położenie przesądziły o braku perspektywiczności tych utworów.

Zróżnicowana zawartość manganu (1,8–16,3% wag., w formie MnO_2) występuje w konkrekcjach Fe-Mn w obrębie dna Polskiej Wyłącznej Strefy Ekonomicznej na Morzu Bałtyckim. Jednak poza pracami kartograficznymi prowadzonymi na Bałtyku (*Mapa geologiczna dna Bałtyku w skali 1:200 000* czy *Atlas geochemiczny południowego Bałtyku*) nie przeprowadzono nowych, bardziej szczegółowych prac rozpoznających surowce morskie, w tym konkrekcje Fe-Mn. Współczesne badania opierają się na danych pozyskanych w ramach rejsów naukowych na wyselekcjonowanych obszarach.

W innych krajach europejskich planowane jest również wykorzystanie odpadów wydobywczych jako surowca do pozyskania manganu. Przykładem takiego przedsięwzięcia jest projekt Chvaletice Manganese w Czechach. Jednak rozważanie takiego projektu zależy ściśle od występowania utworów o zwiększonej zawartości manganu, metod ich dotychczasowego przerobu czy samego wolumenu odpadów.

Podsumowując, w Polsce istnieją niewielkie perspektywy pozyskania surowców do produkcji manganu. Nie istnieją również żadne kryteria do wyznaczania złóż manganu zarówno na lądzie, jak i na morzu.

Prospects for sourcing raw materials for manganese production in Poland

Under Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of April 11, 2024 establishing a framework to ensure a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending Regulations (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724, and (EU) 2019/1020 (hereinafter CRMA), manganese (meeting the standard required for batteries) has been recognized as a strategic raw material. As part of the CRMA implementation, each Member State is obliged to prepare a study outlining the prospects for extraction of each designated raw material.

Historically, manganese exploitation in Poland occurred in Eocene and Upper Cretaceous manganese shales within the Skola and Silesian units. After World War II, manganese-bearing limestones were investigated in the Kriżnia nappe between the Chochołowska and Lejowa valleys; however, the limited resources and their location determined the lack of economic prospects for these formations.

Variable manganese contents (1.8–16.3 wt.% as MnO_2) occur in Fe-Mn concretions within the seabed of the Polish Exclusive Economic Zone in the Baltic Sea. Nevertheless, apart from cartographic work carried out in the Baltic (such as the Geological Map of the Baltic Seafloor at a scale of 1:200,000 or the Geochemical Atlas of the Southern Baltic), no new more detailed studies have been conducted to assess marine raw materials, including Fe-Mn concretions. Contemporary research relies mainly on data obtained during scientific cruises in selected areas.

In other European countries, the use of mining waste as a source of manganese is also being considered. An example of such an undertaking is the Chvaltice Manganese project in the Czech Republic. However, consideration of such a project depends strictly on the presence of formations with elevated manganese content, the methods of their previous processing, as well as the overall volume of waste material.

In summary, Poland has limited prospects for acquiring raw materials for manganese production. Furthermore, there are no established criteria for defining manganese deposits, either on land or at sea.

Instrumenty prawne gospodarowania wnętrzem Ziemi

W dobie gwałtownej urbanizacji, zmian klimatu i rosnących potrzeb energetycznych wnętrze Ziemi staje się strategicznym zasobem, którym racjonalne gospodarowanie wymaga spójnych i nowoczesnych instrumentów prawnych. Coraz częściej przestrzeń wnętrza Ziemi wykorzystywana jest nie tylko do wydobycia kopalin, lecz także do lokalizacji lokali usługowych, tuneli komunikacyjnych, sieci infrastrukturalnych, podziemnych magazynów energii czy obiektów badawczych.

Wraz z przesunięciem uwagi z regulacji użytkowania przestrzeni w układzie poziomym – obszar (2D) na regulacje w ujęciu trójwymiarowym – przestrzeń (3D) w zakresie własności, w niektórych krajach, takich jak: USA, Australia, Holandia, Szwecja, Japonia czy Korea, stopniowo udoskonalana jest koncepcja praw własności w układzie 3D i jej ramy prawne. Badania literatury poświęconej zagadnieniom prawnym 3D wskazują, że kwestie prawne koncentrują się wokół kilku głównych zagadnień: (1) form praw własności 3D; (2) standaryzacji własności 3D, obejmującego prawa, ograniczeń i obowiązków; (3) wdrażania, ograniczeń i analizy krajowych regulacji w zakresie własności 3D; oraz (4) rejestracji własności 3D, w tym rejestracji i integracji trójwymiarowych obiektów prawnych i fizycznych. Reforma prawa własności 3D jest koniecznością w wielu krajach, ponieważ brak jednoznacznych regulacji nie odpowiada na rosnące wykorzystanie zabudowy wielokondygnacyjnej i stwarza potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa tytułów prawnych w przyszłości. Niniejsza praca ma na celu ustalenie, jakie są ramy prawne dla wykorzystania podziemnej przestrzeni, i wskazanie kluczowych punktów, które mogą posłużyć do wspierania jej wykorzystania i planowania.

Ze względu na ograniczenia przestrzenne, koncentrację ludności, warunki geologiczne, uwarunkowania środowiskowe i klimatyczne wykorzystanie i rozwój podziemnej przestrzeni, a co za tym idzie, rozwój regulacji prawnych dotyczących jej zagospodarowania, ma miejsce głównie w Ameryce Północnej (USA i Kanada), Europie Zachodniej (np. Wielka Brytania, Holandia i Niemcy), Europie Północnej (np. Szwecja, Finlandia) oraz w Azji (np. Japonia, Singapur; Zhang i in. 2020). W powyższych krajach wykształciły się różne rozwiązania prawne odpowiadające lokalnym uwarunkowaniom. Podczas analizy wyzwań prawnych i przepisów dotyczących gospodarowania wnętrzem Ziemi w różnych państwach i regionach szczególną uwagę zwraca się na aspekt cywilnoprawny, w szczególności pionowe granice własności oraz kwestie planistyczne.

W ujęciu cywilnoprawnym dwie podstawowe klasyczne zasady – *superficies solo cedit* (budynki lub konstrukcje trwale związane z gruntem stają się jego częścią) oraz

cuius est solum, eius est usque ad caelum et ad inferos (kto jest właścicielem gruntu, ten jest właścicielem przestrzeni w górę i w dół) – ograniczały swobodę dysponowania przestrzenią podziemną. Kodeksy cywilne w wielu krajach określają pionowy zasięg prawa własności, z zamiarem stworzenia przestrzeni dla warstwowego podziału nieruchomości (np. niemiecki kodeks cywilny, holenderski kodeks cywilny, grecki kodeks cywilny). Z perspektywy przepisów dotyczących planowania przestrzeni podziemnej kilka krajów w Europie (np. Finlandia, Holandia, Niemcy) oraz w Azji (np. Japonia i Singapur) wprowadziło szczególne regulacje w tym zakresie. Na przykład w Finlandii plan zagospodarowania przestrzeni podziemnej został potraktowany jako część ustawy o użytkowaniu terenu i budownictwie, która obejmuje plan regionalny, plan ogólny oraz plan szczegółowy. Helsinki są pierwszym miastem na świecie, które opracowało i wdrożyło podziemny plan zagospodarowania obejmujący cały obszar gminy. Istotą modelu fińskiego jest myślenie trójwymiarowe: podziemie nie jest „marginesem” planu, lecz pełnoprawną warstwą planistyczną, którą się rysuje, rejestruje i bilansuje. Jedną z najbardziej kompleksowych regulacji prawnych w zakresie zagospodarowania przestrzeni podziemnej posiada Japonia. Dlatego też uwaga zostanie skupiona na przedstawieniu tych regulacji. Uzupełniając przedstawione zostaną także inne rozwinięte w tym zakresie porządki prawne Singapuru i Chin oraz Finlandii.

Gospodarowanie wewnątrz Ziemi w polskim systemie prawnym opiera się na złożonej strukturze norm cywilnoprawnych i administracyjnych, które wzajemnie się przenikają, tworząc jednak w praktyce system fragmentaryczny i niespójny. Brakuje jednego aktu prawnego regulującego kompleksowo status prawny przestrzeni podziemnej, co sprawia, że wiele istotnych zagadnień rozstrzyganych jest kazuistycznie, w oparciu o przepisy ogólne lub regulacje sektorowe. Brak adekwatnych regulacji w zakresie gospodarowania wewnątrz Ziemi prowadzi do poważnych utrudnień inwestycyjnych (przykład: projekty CCS). W przeciwieństwie do państw, które wypracowały zintegrowane ramy prawne i planistyczne dla podziemia, w Polsce problemy wynikają przede wszystkim z braku katastru i planowania 3D, niejasnego zakresu pionowego prawa własności oraz ograniczenia instrumentów do użytkowania górniczego i specustaw sektorowych.

Rosnąca liczba sposobów wykorzystania wnętrza Ziemi prowadzi do sytuacji, w których różne funkcje nakładają się na siebie i pozostają w konflikcie. Konflikty występują nie tylko w odniesieniu do inwestycji zasobowych, lecz także na ich styku z inwestycjami infrastrukturalnymi. Budowa podziemnych magazynów substancji może utrudniać dostęp do wód termalnych, a planowane tunele i korytarze komunikacyjne mogą kolidować z budownictwem podziemnym czy przestrzenią objętą użytkowaniem górniczym. Kwestia kolizji funkcji ma także wymiar systemowy. Decyzje o przeznaczeniu podziemia (wnętrza Ziemi) zapadają fragmentarycznie, bez całościowej koordynacji i bez mechanizmów kompensacyjnych pomiędzy konkurencyjnymi zastosowaniami. Praktyka międzynarodowa pokazuje, że problem kolizji można ograniczać poprzez system masterplanów podziemnych (Finlandia, Japonia) albo poprzez jasne wyznaczenie pionowych granic prawa własności i domeny państwowej (Singapur).

Instrumenty prawne gospodarowania wnętrzem Ziemi w Polsce są rozproszone i nieskoordynowane. Prawo cywilne nie daje możliwości pełnego wydzielenia przestrzeni podziemnej jako samodzielnego przedmiotu prawa, a prawo administracyjne ogranicza się do reglamentacji działalności górniczej i sektorowych procedur inwestycyjnych. Brak prawa sąsiedzkiego dla podziemia, brak katastru i planowania 3D, a także brak ogólnych reguł rozstrzygania kolizji między różnymi funkcjami przestrzeni podziemnej powodują, że system nie odpowiada na wyzwania współczesności. *De lege ferenda* należałoby rozważyć wprowadzenie konstrukcji własności warstwowej *sub superficie terrae* lub prawa zabudowy podziemnej, zintegrowanego z katastrzem 3D i obowiązkiem planowania przestrzennego w trzech wymiarach, aby zapewnić elastyczne, efektywne i bezpieczne korzystanie z ograniczonego zasobu, jakim jest wnętrze Ziemi.

Legal instruments for the governance of subsurface space

In an era of rapid urbanization, climate change, and growing energy demands, the subsurface has become a strategic resource, whose rational management requires coherent and up-to-date legal instruments. Increasingly, subsurface space is used not only for the extraction of minerals but also for the location of service facilities, transport tunnels, infrastructure networks, underground energy storage, and research installations.

With the shift of attention from regulating the use of space in a horizontal dimension, i.e. area (2D), to regulation in a three-dimensional perspective, space (3D), in the domain of property rights, several countries, including the United States, Australia, the Netherlands, Sweden, Japan, and Korea, have been gradually refining the concept of 3D property rights and their legal framework. A review of the literature devoted to 3D legal issues indicates that the debate centers around several key themes: (1) forms of 3D property rights; (2) the standardization of 3D property, encompassing rights, restrictions, and responsibilities; (3) the implementation, limitations, and analysis of national regulations on 3D property; and (4) the registration of 3D property, including the recording and integration of three-dimensional legal and physical objects. Reform of 3D property law is a necessity in many countries, as the lack of unambiguous regulations does not address the growing use of multi-storey developments and creates potential risks for the security of property titles in the future. The present paper seeks to identify the legal framework for the use of subsurface space and to highlight key issues that may serve to support its utilization and planning.

Due to spatial constraints, population concentration, geological conditions, and environmental and climatic conditions, the use and development of subsurface space – and, consequently, the development of legal regulations governing its use – have primarily occurred in North America (the United States and Canada), Western Europe

(e.g., the United Kingdom, the Netherlands, Germany), Northern Europe (e.g., Sweden, Finland), and Asia (e.g., Japan, Singapore, Zhang et al. 2020). Across these jurisdictions, a variety of legal frameworks has emerged in response to local conditions. In examining the legal challenges and regulatory approaches to subsurface governance across countries and regions, particular emphasis is placed on the civil-law dimension, notably the vertical boundaries of property ownership, as well as on planning considerations.

From a civil-law perspective, two fundamental classical principles – *superficies solo cedit* (buildings or structures permanently attached to the land become part of it) and *cuius est solum, eius est usque ad caelum et ad inferos* (whoever owns the land owns it up to the sky and down to the depths) – have traditionally limited the freedom to dispose of subsurface space. Civil codes in many countries define the vertical extent of property rights with the aim of creating scope for the stratified division of real property (e.g., the German Civil Code, the Dutch Civil Code, the Greek Civil Code). From the perspective of regulations concerning subsurface spatial planning, several European countries (e.g., Finland, the Netherlands, Germany) as well as Asian jurisdictions (e.g., Japan and Singapore) have introduced specific legislative measures in this regard. For example, in Finland, the underground master plan has been incorporated into the Land Use and Building Act, which encompasses the regional plan, the master plan, and the detailed plan. Helsinki is the first city in the world to have developed and implemented a comprehensive underground master plan covering the entire municipal territory. The essence of the Finnish model lies in three-dimensional thinking: the subsurface is not a “marginal” aspect of planning but a fully-fledged planning layer, which is delineated, registered, and accounted for. One of the most comprehensive regulatory frameworks governing subsurface space has been established in Japan, and particular attention will therefore be devoted to presenting these regulations. Additionally, reference will be made to other developed legal systems in this field, including those of Singapore, China, and Finland.

The governance of subsurface space within the Polish legal system is based on a complex structure of civil-law and administrative-law norms, which interpenetrate yet, in practice, produce a fragmented and inconsistent system. There is no single legal act comprehensively regulating the legal status of the subsurface, which results in many significant issues being resolved on a case-by-case basis, either under general provisions or through sector-specific regulations.

The absence of adequate regulations governing the subsurface leads to serious investment obstacles (as exemplified by Carbon Capture and Storage, CCS, projects). In contrast to countries that have developed integrated legal and planning frameworks for the subsurface, the difficulties in Poland stem primarily from the absence of a 3D cadastre and 3D planning, the ambiguity surrounding the vertical scope of property rights, and the limitation of available instruments to mining use and sector-specific special statutes.

The legal instruments governing subsurface space in Poland are fragmented and uncoordinated. Civil law does not provide for the possibility of fully separating

subsurface space as an independent object of rights, while administrative law is limited to regulating mining activities and sector-specific investment procedures. The absence of neighbor law for the subsurface, the lack of a 3D cadastre and 3D planning, as well as the absence of general rules for resolving conflicts between different functions of subsurface space, mean that the system does not adequately respond to contemporary challenges. *De lege ferenda*, consideration should be given to introducing the construction of stratified ownership *sub superficie terrae* or underground building rights, integrated with a 3D cadastre and a requirement for three-dimensional spatial planning, in order to ensure flexible, efficient, and secure use of the limited resource constituted by subsurface space.

Literatura/References

Zhang et al. 2020 – Zhang Z., Paulsson J., Gong J., Huan J. 2020. Legal framework of urban underground space in China. Sustainability 12(20), DOI: 10.3390/su12208297.

Charakterystyka krajowych odmian kredy jako składników węglanowych do modyfikacji surowców ilastych dla zastosowań środowiskowych

Kreda jest osadową skałą wapienną o wyjątkowo miękkiej i porowatej strukturze, charakteryzującą się bardzo wysoką zawartością węglanu wapnia (CaCO_3) oraz drobnoziarnistą teksturą (Szczygielski 2025). W Polsce występują dwa główne typy kredy: kreda piszcząca i kreda jeziorna. Kreda piszcząca to organogeniczny osad morski, zbudowany głównie ze szczątków kokkolitów i otwornic, występujący m.in. na Lubelszczyźnie i w północno-wschodniej Polsce (Szczygielski 2025). Kreda jeziorna powstaje w wyniku biochemicznego wytrącania węglanu wapnia w środowisku jeziornym, najczęściej przy współudziale roślin wodnych, i zawiera co najmniej 80% CaCO_3 (Szczygielski 2025). Podczas gdy kreda piszcząca cechuje się bardzo wysoką czystością, kreda jeziorna często zawiera domieszki mineralne i materię organiczną. Oba typy kredy znajdują szerokie zastosowanie przemysłowe i rolnicze, m.in. jako surowiec do produkcji materiałów budowlanych, farb czy papieru oraz jako nawóz wapniowy służący do odkwaszania gleb (Szczygielski 2025; Błaziak 1998).

W ramach badań przeanalizowano pięć próbek krajowych kredy – cztery odmiany kredy piszczącej oraz jedną odmianę kredy jeziornej. Charakterystyka surowców została przeprowadzona z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych, takich jak: dyfrakcja rentgenowska (XRD), pomiar powierzchni właściwej metodą BET, analiza rozkładu wielkości cząstek, spektroskopia w podczerwieni (IR), fluorescencja rentgenowska (XRF) oraz różnicowa kalorymetria skaningowa z analizą termogravimetryczną (DSC-TG). Wszystkie próbki wykazały dominujący udział kalcytu jako głównego składnika mineralnego, co potwierdziły: zgodność wyników XRF (wysoka zawartość CaO), obecność charakterystycznych refleksów kalcytu na dyfraktogramach XRD oraz efekty endotermiczne dekarbonatyzacji zarejestrowane metodą DSC/TG. Analiza chemiczna XRF ujawniła także obecność domieszek, takich jak Fe_2O_3 i MgO , które mogą wpływać na przydatność (poprzez zabarwienie) surowca w przemyśle szklarskim (Błaziak 1998). W próbce kredy jeziornej stwierdzono natomiast wyższą zawartość materii organicznej, co pozostaje w pełnej zgodności z jej genezą (Szczygielski 2025). Wyniki analizy ziarnowej potwierdziły drobnoziarnisty charakter wszystkich próbek.

Przeprowadzone analizy potwierdzają, że kreda – zarówno piszcząca, jak i jeziorna – stanowi cenny surowiec o szerokich możliwościach aplikacyjnych. Jej zastosowanie jako dodatku do surowców ilastych nie tylko podnosi zasadowość i pojemność sorpcyjną gleb, lecz także wzbogaca je w kationy wapnia, co bezpośrednio

przekłada się na poprawę ich jakości i zwiększenie ich żyzności. W warunkach glebowych kreda działa analogicznie do tradycyjnych nawozów wapniowych, skutecznie neutralizując zakwaszenie, zwiększając dostępność składników pokarmowych oraz stwarzając korzystne warunki dla wzrostu i rozwoju roślin. Tym samym badania wskazują na jej istotny potencjał w kontekście zarówno przemysłowym, jak i środowiskowym.

Praca została zrealizowana w zakresie programu „Dofinansowanie badań prowadzonych w ramach przygotowywania pracy doktorskiej na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH” (Projekt nr 16.16.160.557).

Characterization of domestic chalk varieties as carbonate additives for modification of clay raw materials for environmental applications

Chalk is a sedimentary limestone with an exceptionally soft and porous structure, characterized by a very high content of calcium carbonate (CaCO_3) and a fine-grained texture (Szczygielski 2025). Two main types of chalk occur in Poland: chalk (marine) and lacustrine (lake) chalk. The first one is an organogenic marine sediment composed mainly of coccolith and foraminiferal remains and occurs, for example, in the Lublin region and north-eastern Poland (Szczygielski 2025). Lacustrine chalk forms through biochemical precipitation of calcium carbonate in lacustrine environments, often mediated by aquatic plants, and typically contains at least 80% CaCO_3 (Szczygielski 2025). While marine chalk is characterized by very high purity, lacustrine chalk often contains mineral admixtures and organic matter. Both chalk types have wide industrial and agricultural applications, e.g., as a raw material for the production of construction materials, paints, and paper, and as a liming fertilizer used to neutralize acidic soils (Szczygielski 2025; Błaziak 1998).

In this study, five domestic chalk samples were analyzed — four varieties of marine chalk and one variety of lacustrine chalk. The raw materials were characterized using modern analytical techniques including X-ray diffraction (XRD), specific surface area measurement by the BET method, particle size distribution analysis, infrared spectroscopy (IR), X-ray fluorescence (XRF) and differential scanning calorimetry coupled with thermogravimetric analysis (DSC-TG). All samples exhibited a dominant proportion of calcite as the principal mineral phase, which was confirmed by high CaO contents in XRF chemical analysis, the presence of characteristic calcite reflections in XRD diffractograms, and the endothermic decarbonation events recorded by DSC/TG. XRF chemical analysis also revealed the presence of impurities such as Fe_2O_3 and MgO , which may affect the raw material's suitability for the glass industry (e.g., via coloration). The lacustrine chalk sample showed a higher content of organic matter, which is fully consistent

with its genesis (Szczygielski 2025). Particle size analysis confirmed the fine-grained character of all samples.

The conducted analyses confirm that chalk – both marine and lacustrine – is a valuable raw material with broad application potential. Its use as an additive to clay raw materials not only increases soil alkalinity and sorption capacity but also enriches soils with calcium cations (Ca^{2+}), directly improving soil quality and fertility. Under soil conditions, chalk acts analogously to conventional liming fertilizers, effectively neutralizing acidity, increasing nutrient availability and creating favorable conditions for plant growth and development. Thus, the results indicate significant potential for chalk in both industrial and environmental contexts.

This research was carried out as part of the project „Co-financing of research conducted as part of the preparation of a doctoral thesis at the Faculty of Materials Science and Ceramics of AGH” (Project no. 16.16.160.557).

Literatura/References

- Błaziak J. 1998. Wpływ wapnowania i magnezowania gleby w różnych warunkach jej wilgotności na zawartość manganu, cynku i żelaza w glebie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 456, 183–186.
- Szczygielski W. 2025. Kreda. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.XII.2024 r. (red. Szuflicki M., Malon A., Tymiński M.), 131–139, PIG-PIB, Warszawa.

Surowce mineralne w innowacyjnych materiałach budowlanych – pianki geopolimerowe z PCM na bazie diatomitu

Wyzwania współczesnego budownictwa związane są z koniecznością projektowania materiałów, które łączą wysoką wydajność techniczną z kryteriami zrównoważonego rozwoju. Postępująca urbanizacja, rosnące zużycie energii oraz potrzeba ograniczania emisji dwutlenku węgla sprawiają, że tradycyjne materiały, takie jak cement portlandzki czy syntetyczne izolacje cieplne, stają się w coraz większym stopniu niewystarczające. Poszukuje się alternatyw, które nie tylko pozwolą spełniać rygorystyczne normy budowlane i klimatyczne, lecz także wprowadzą dodatkowe funkcje poprawiające efektywność energetyczną budynków. W tym kontekście rozwój pianek geopolimerowych modyfikowanych materiałami zmiennofazowymi (PCM) stanowi jeden z najbardziej innowacyjnych i obiecujących kierunków badań.

Geopolimery powstają w wyniku aktywacji alkalicznej glinokrzemianów, takich jak metakaolin czy popioły lotne, i stanowią spoiwo o znacznie niższym śladzie węglowym niż cement portlandzki. Ich właściwości obejmują wysoką trwałość, odporność chemiczną i termiczną oraz możliwość kształtowania mikrostruktury w zależności od użytego surowca i warunków syntezy. Szczególnie interesującą odmianą są pianki geopolimerowe, czyli materiały o porowatej strukturze, niskiej gęstości i dobrej izolacyjności cieplnej. Dzięki dużej objętości porów pianki te charakteryzują się przewodnictwem cieplnym porównywalnym z komercyjnymi izolacjami, a jednocześnie są niepalne i bardziej trwałe w czasie eksploatacji.

Kolejnym krokiem w rozwoju tej technologii jest integracja geopolimerów z materiałami zmiennofazowymi. PCM to substancje zdolne do akumulacji i uwalniania ciepła podczas przemian fazowych, najczęściej w zakresie temperatur istotnych z punktu widzenia komfortu cieplnego człowieka. Zdolność ta sprawia, że wbudowane w przegrody budowlane PCM działają jak magazyn energii, stabilizując warunki termiczne wewnątrz pomieszczeń i zmniejszając obciążenie systemów grzewczych i chłodniczych. Największym wyzwaniem jest jednak zapewnienie stabilności PCM w materiale kompozytowym, ponieważ substancje te mogą ulegać wyciekom w trakcie kolejnych cykli przemiany fazowej.

W tym miejscu szczególnego znaczenia nabiera diatomit – naturalny, mineralny surowiec o unikatowych właściwościach. Jest to lekka skała osadowa powstała z pancerzy

okrzemek, bogata w krzemionkę i charakteryzująca się dużą powierzchnią właściwą oraz rozwiniętą strukturą porów. Dzięki temu diatomit może pełnić funkcję naturalnego nośnika materiałów zmiennofazowych. Proces impregnacji PCM w porach diatomitu pozwala uzyskać stabilny kompozyt, w którym substancja czynna pozostaje zamknięta i chroniona przed wyciekami, a jednocześnie zachowuje zdolność do wielokrotnego akumulowania i oddawania ciepła.

Połączenie pianek geopolimerowych z diatomitem nasyconym PCM daje materiał o unikatowych właściwościach. Struktura geopolimerowej pianki zapewnia izolacyjność cieplną i ognioodporność, diatomit stabilizuje obecność materiału zmiennofazowego, a sam PCM wnosi zdolność do regulowania mikroklimatu wewnątrz budynku. W efekcie uzyskuje się kompozyt, który nie tylko chroni przed stratami energii, lecz także aktywnie uczestniczy w zarządzaniu przepływem ciepła, wyrównując wahania temperatury i obniżając zużycie energii.

Aspekty środowiskowe takiego rozwiązania są równie istotne jak parametry techniczne. Produkcja geopolimerów wiąże się z niższą emisją CO₂ w porównaniu z cementem portlandzkim, a wykorzystanie diatomitu – naturalnego i łatwo dostępnego minerału – wpisuje się w strategię gospodarki o obiegu zamkniętym. Ponadto wysoka trwałość materiału i jego odporność na ogień oraz czynniki chemiczne sprawiają, że może on służyć przez wiele lat bez utraty właściwości, co dodatkowo ogranicza jego ślad środowiskowy. Potencjalne zastosowania tego typu materiałów obejmują systemy izolacji przegród zewnętrznych, elementy prefabrykowane wznoszonych konstrukcji oraz rozwiązania przeznaczone do inteligentnych budynków, w których materiały budowlane aktywnie wspierają proces zarządzania energią.

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Perły Nauki”, nr projektu PN/01/0067/2022 („Badania funkcjonalnych lekkich struktur porowatych na bazie glinokrzemianów aktywowanych alkalicznie”), całkowita wartość projektu 239 970,00 zł.

Mineral raw materials in innovative building materials – geopolymer foams with PCM based on diatomite

The challenges of modern construction are related to the need to design materials that combine high technical performance with sustainability criteria. Progressive urbanization, growing energy consumption, and the need to reduce carbon dioxide emissions mean that traditional materials such as Portland cement and synthetic thermal insulation are becoming increasingly inadequate. Alternatives are being sought that will not only meet stringent building and climate standards, but also introduce additional

features to improve the energy efficiency of buildings. In this context, the development of geopolymer foams modified with phase change materials (PCMs) is one of the most innovative and promising areas of research.

Geopolymers are formed as a result of the alkaline activation of aluminosilicates, such as metakaolin or fly ash, and are a binder with a significantly lower carbon footprint than Portland cement. Their properties include high durability, chemical and thermal resistance, and the ability to shape the microstructure depending on the raw material used and the synthesis conditions. A particularly interesting variety are geopolymer foams, i.e., materials with a porous structure, low density, and good thermal insulation properties. Thanks to their large pore volume, these foams have thermal conductivity comparable to commercial insulation materials, while also being non-flammable and more durable during use.

The next step in the development of this technology is the integration of geopolymers with phase change materials. PCMs are substances capable of accumulating and releasing heat during phase transitions, most often in the temperature range relevant to human thermal comfort. This ability means that PCMs built into building partitions act as energy storage, stabilizing thermal conditions inside rooms and reducing the load on heating and cooling systems. However, the biggest challenge is to ensure the stability of PCMs in composite materials, as these substances can leak during successive phase change cycles.

This is where diatomite, a natural mineral raw material with unique properties, becomes particularly important. It is a light sedimentary rock formed from diatom shells, rich in silica and characterized by a high specific surface area and a developed pore structure. Thanks to this, diatomite can act as a natural carrier of phase change materials. The process of impregnating PCM into the pores of diatomite allows for the creation of a stable composite in which the active substance remains enclosed and protected from leakage, while retaining its ability to repeatedly accumulate and release heat.

The combination of geopolymer foams with PCM-saturated diatomite results in a material with unique properties. The structure of the geopolymer foam provides thermal insulation and fire resistance, diatomite stabilizes the presence of the phase change material, and the PCM itself contributes to the ability to regulate the microclimate inside the building. The result is a composite that not only protects against energy loss, but also actively participates in heat flow management, balancing temperature fluctuations and reducing energy consumption.

The environmental aspects of this solution are just as important as the technical parameters. The production of geopolymers involves lower CO₂ emissions compared to Portland cement, and the use of diatomite – a natural and readily available mineral – is in line with the circular economy strategy. In addition, the high durability of the material and its resistance to fire and chemical agents mean that it can be used for many years without losing its properties, which further reduces its environmental footprint. Potential applications for these types of materials include external wall insulation

systems, prefabricated elements for building structures, and solutions for smart buildings, where building materials actively support the energy management process.

Publication subsidized by the state budget within the framework of the program of the Ministry of Science and Higher Education called "Pearls of Science", project number PN/01/0067/2022 ("Research of functional lightweight porous structures based on alkali-activated aluminosilicates"), total project value 239,970.00 PLN.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki



PERLY NAUKI

Ekoprodukty dla budownictwa

na bazie ubocznych produktów spalania z energetyki

- Hydrauliczne spoiwa drogowe
- Kruszywa do budowy nasypów
- Ekostabilizacje i ekopodbudowy
- Spoiwa hydrotechniczne
- Produkty do makroniwelacji

Hydrauliczne spoiwa drogowe

SOLITEX

EPO-Grunt

Zobacz więcej naszych produktów
na www.pgeekoserwis.pl

Uboczne produkty spalania jako substytut surowców naturalnych – potencjał, bariery i kierunki rozwoju

W obliczu wyzwań związanych z transformacją energetyczną oraz koniecznością wdrażania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) uboczne produkty spalania (UPS) zyskują na znaczeniu jako alternatywne źródło surowców. Materiały takie jak popiół lotny, żużel czy gips z odsiarczania spalin mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie, drogownictwie, rolnictwie oraz rekultywacji terenów zdegradowanych, przyczyniając się do ograniczenia eksploatacji zasobów naturalnych.

W wystąpieniu konferencyjnym przedstawiony zostanie aktualny potencjał UPS w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem ich właściwości użytkowych i możliwości technologicznych. Omówione zostaną główne bariery ograniczające ich szersze wykorzystanie, w tym aspekty prawne, środowiskowe, techniczne oraz społeczne. Szczególną uwagę poświęcono kierunkom rozwoju, takim jak innowacje w przetwarzaniu UPS czy zmiany legislacyjne wspierające ich klasyfikację jako produkty uboczne, a nie odpady, oraz roli badań i współpracy międzysektorowej w budowaniu zaufania do materiałów wtórnych.

Celem wystąpienia jest zaprezentowanie UPS jako zasobu o strategicznym znaczeniu dla zrównoważonego rozwoju, a nie jako problemu odpadowego, a także wskazanie konkretnych działań umożliwiających ich efektywne włączenie do obiegu gospodarczego.

Combustion by-products as a substitute for natural resources – potential, barriers and directions for development

Faced with the challenges of energy transition and the need to implement circular economy principles, coal combustion products (CCPs) are gaining importance as an alternative source of raw materials. Materials such as fly ash, slag and gypsum from flue gas desulfurization can find applications in the building industry, road construction, agriculture, and the remediation of degraded land, contributing to reduced exploitation of natural resources.

The conference presentation will present the current potential of CCPs in Poland, with particular emphasis on their functional properties and technological capabilities.

The main barriers limiting their wider use will be discussed, including legal, environmental, technical, and social aspects. Particular attention will be paid to development directions such as innovations in CCP processing, legislative changes supporting their classification as by-products rather than waste, and the role of research and cross-sectoral collaboration in building trust in secondary materials. The aim of the presentation is to present CCPs as a resource of strategic importance for sustainable development, not as a waste problem, and to indicate specific actions enabling their effective inclusion in the economic cycle.

Główne cele i wyniki projektu SEMACRET: „Sustainable exploration for orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: Charting the road of the green energy transition”

Głównym celem projektu badawczego SEMACRET, realizowanego w latach 2022–2025 w ramach programu Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation (2021–2027), było zwiększenie elastyczności dostaw surowców krytycznych poprzez rozwój prac poszukiwawczych i badanie możliwości wydobywania w Unii Europejskiej. Projekt koordynowany był przez Uniwersytet w Oulu (Finlandia) i zrzeszał 18 jednostek naukowo-badawczych oraz partnerów przemysłowych z 12 różnych krajów. Polskę reprezentował Państwowy Instytut Geologiczny – PIB.

Projekt koncentrował się na rozwoju wiedzy na temat powstawania złóż minerałów magmowych związanych ze skałami maficznymi i ultramaficznymi, a także na sposobach ich pozyskiwania przy minimalnym wpływie na środowisko. Przedmiotem największego zainteresowania były tlenki Ti-V w anortozytach typu masywowego, Cr, PGE i V w gabrach, a także magmowe siarczki niklu i miedzi. Badania prowadzone były na 5 stanowiskach referencyjnych w Portugalii, Finlandii, Czechach i Polsce.

Aby lepiej zrozumieć głęboki transport magmy oraz interakcję magmy ze skorupą podczas procesów formowania rud, wykorzystane zostały zaawansowane modelowania termodynamiczne i obliczeniowe. Przeprowadzono symulację powstawania, magazynowania i transportu magmy na różnych głębokościach skorupy ziemskiej. Modelowanie geochemiczne pozwoliło na opisanie procesów zachodzących w komorach magmowych na różnych głębokościach skorupy ziemskiej.

Dla systemu mineralnego przetestowano różne wskaźniki wspierające regionalne modelowanie perspektywiczności. W testowym modelowaniu wykorzystano metodę sejsmiki pasywnej – metodę, która nie była dotychczas powszechnie stosowana w tego typu pracach. Sejsmika pasywna jest przyjazna środowisku, ponieważ nie wymaga źródła drgań i opiera się na odległych trzęsieniach Ziemi. Jest wykorzystywana głównie do obrazowania głębokich struktur (setki kilometrów), natomiast obrazowanie płytkich struktur jest trudne. W projekcie SEMACRET opracowano nowe algorytmy, oparte na języku Python, do obrazowania struktur o skali kilku kilometrów. Algorytm został pozytywnie przetestowany na obiekcie Akanvaara (Finlandia) – wyniki okazały się zgodne z dostępnymi danymi geologicznymi.

Znaczny wysiłek został włożony w opracowanie lub udoskonalenie metod przetwarzania i interpretacji danych geofizycznych w celu poprawy skuteczności wykrywania

i modelowania złóż rud w różnych warunkach geologicznych i w różnych skalach, m.in. algorytmów inwersji elektromagnetycznej 3D (3D EM), a także polaryzacji indukowanej (IP) w połączeniu z lotniczą elektromagnetyką w środowiskach bogatych w tlenki i ubogich w siarczki. Opracowana została wtyczka QGIS do modelowania 3D EM i IP. Umożliwia ona integrację przetwarzania danych, inwersji i wizualizacji w jednym narzędziu i jest dostępna jako przyjazne użytkownikowi, bezpłatne i oparte na otwartym kodzie źródłowym narzędzie dla społeczności.

W skali lokalnej rozwinięta została metodyka powierzchniowej geochemii roślin i górnej warstwy gleby oraz opartego na uczeniu maszynowym 3D modelowania perspektywiczności.

Ciekawym aspektem projektu był udział zespołu socjologów, którzy analizowali społeczną świadomość na temat znaczenia surowców krytycznych dla gospodarki oraz akceptację lokalnych społeczności dla prowadzenia badań poszukiwawczych i prac wydobywczych. Badania objęły analizę danych w sieciach społecznościowych (opartą na metodzie uczenia maszynowego) oraz bezpośrednie interakcje z mieszkańcami w wywiadach i podczas wydarzeń społecznych.

Więcej informacji dostępnych jest na stronie: <https://semacret.eu/>

Main goals and results of SEMACRET project: “Sustainable exploration for orthomagmatic (critical) raw materials in the EU: Charting the road of the green energy transition”

The main goal of the SEMACRET project, carried out in 2022–2025 under the program Horizon Europe – the Framework Programme for Research and Innovation (2021–2027) was to increase the flexibility of critical raw material supplies by developing exploration technics and examining the possibilities of their extraction in the European Union.

The project was coordinated by the University of Oulu (Finland) and brought together 18 research institutions, universities and industrial partners from 12 different countries. Poland was represented in the project by the Polish Geological Institute (NRI).

SEMACRET was devoted to improving the knowledge on the formation of magmatic mineral deposits associated to mafic and ultramafic rocks, and also how they can be found with minimum environmental impacts. The mineralizations types include Ti-V oxides in massif type anorthosites, Cr, PGE and V in gabbros and also magmatic Ni-Cu sulfides. The research was conducted at 5 reference sites in Portugal, Finland, Czech Republic and Poland.

To enhance understanding of deep magma transportation, magma-crust interaction during ore forming processes advanced thermodynamical and computational modelling

was used. Simulation of the formation, storage and transport of magmas at various crustal depths was performed. Geochemical modelling enabled to constrain magma chamber processes at variable crustal depths.

Various indicators supporting regional prospectivity modelling were tested for the mineral system. The test modelling used the passive seismic method – a method that has not been widely used in this type of work so far. Passive seismic is environmentally friendly compared to active seismic, since it requires no source of vibration and rather relies on distant earthquakes. It is mainly used for imaging deep structures (hundreds of kilometres), whereas imaging shallow depths is challenging. In SEMACRET new Python-based algorithms were developed for imaging structures of a few kilometres scale. It was validated at the Akanvaara site – the modelling results are consistent with the available geological data.

Significant effort was employed into developing or improving technology that allows a better detection and modelling of orebodies in different geological conditions and different scales. Some examples include: 3D Electromagnetic inversion algorithms as well as Joint induced polarization – airborne EM. A QGIS PLUGIN for 3D EM and IP modelling has been developed, which enables to integrate data processing, inversion and visualization in one single tool and is available as a user-friendly, open source and free tool for the community.

At the local scale several exploration methods were being further developed: surficial geochemistry of plants and upper soil and machine learning based 3D prospectivity modelling.

SEMACRET also entails a social dimension. A team of social scientists sought to understand the attitude of citizens towards mineral exploration and mining activities, assessing their knowledge on responsible sourcing of critical raw materials. Their research includes data mining in the social networks and direct interactions with the populations in interviews and communality events.

For more information visit: <https://semacret.eu/>

Globalne kierunki na rynku surowców: strategiczne wybory 10 największych spółek wydobywczych

Globalny rynek surowców podlega dynamicznym zmianom – z jednej strony wspomagany impulsem zielonej transformacji, z drugiej powstającym w wyniku niestabilności geopolitycznej. Reakcje największych światowych spółek wydobywczych na te wyzwania nie tylko stanowią odpowiedź na bieżące potrzeby firm, lecz także mogą być istotnym wskaźnikiem przyszłych kierunków rozwoju sektora wydobywczego na świecie. Z kolei wiedza ta jest istotna dla oceny bezpieczeństwa surowcowego kraju i stanowi fundament prawidłowej polityki gospodarczej w obszarze surowcowym. Dlatego Państwowy Instytut Geologiczny – PIB prowadzi monitoring działań eksploracyjnych i wydobywczych dla dziesięciu największych spółek górniczych (wg kapitalizacji rynkowej): BHP, Rio Tinto, Glencore, Vale, Southern Copper Corp., Freeport-McMoRan, Fortescue Metals Group, Newmont, Zijin Mining i Ma’aden. Systematyczna analiza raportów finansowych, komunikatów rynkowych i źródeł branżowych umożliwia na bieżąco ocenę decyzji inwestycyjnych, kierunków rozwoju i wyzwań stojących przed globalnymi liderami branży górniczej.

Portfolio analizowanych spółek koncentruje się na metalach bazowych i szlachetnych: miedzi, rudzie żelaza, złocie i niklu, które generują większość przychodów. Coraz częściej pojawiają się jednak inwestycje w surowce krytyczne, przede wszystkim lit i pierwiastki ziem rzadkich. Widać również, że strategię monitorowanych firm różnią się: część z nich skupia się na jednej kopalinie (np. Newmont – złoto, Freeport i SCC – miedź, Fortescue – ruda żelaza, Ma’aden – nawozy), podczas gdy inni gracze (BHP, Rio Tinto, Glencore, Zijin) dywersyfikują swoje aktywa. Projekty obejmują Amerykę Południową, Afrykę, Australię i Bliski Wschód – głównie kraje rozwijające się, natomiast Europa pozostaje marginalnym obszarem działań.

W latach 2023–2025 szczególnie widoczne są inwestycje w miedź, lit i metale szlachetne, często w formule joint venture oraz w powiązaniu z rozwojem aktywów hutniczych i przetwórczych. Bez wątpienia kopalina o największym znaczeniu dla spółek jest miedź, ze względu na rosnący popyt w odnawialnych źródłach energii i pojazdach elektrycznych, przy równoczesnym ryzyku deficytu podaży. Złoto utrzymuje rolę „bezpiecznego metalu” stabilizującego portfel aktywów spółek, a lit, pomimo obecnej nadpodaży i spadających cen, pozostaje fundamentem technologii bateryjnych, z perspektywą kilkukrotnego wzrostu popytu. Jednocześnie firmy ograniczają inwestycje w węgiel i aktywa wysokoemisyjne, rozwijając dekarbonizację, automatyzację i cyfryzację procesów.

Monitoring działań globalnych liderów pokazuje, że zielona transformacja jest jednym z kluczowych czynników kształtujących strategie spółek wydobywczych. Nie przekłada się to jednak na tak szeroko zakrojone inwestycje w surowce krytyczne (poza miedzią), jak mogłoby się to wydawać. Widać natomiast powszechne działania na rzecz redukcji emisyjności operacji, rodzi się tylko pytanie, na ile są one efektem długofalowej strategii, a na ile próbą poprawy wizerunku wobec rosnącej presji społecznej i regulacyjnej.

Global trends in the commodity market: strategic choices of the 10 largest mining companies

The global commodity market is undergoing dynamic transformations driven on the one hand by the momentum of the green transition, and on the other – by increasing geopolitical instability. The responses of the world's leading mining companies to these challenges are not only immediate business decisions, but also serve as significant indicators of potential future developments in the global mining sector. Such knowledge is crucial for assessing national raw material security and forms the foundation for sound economic policy in the resource sector.

For this reason, the Polish Geological Institute – National Research Institute (PIG–NRI) conducts ongoing monitoring of exploration and mining activities undertaken by the ten largest mining companies (by market capitalization): BHP, Rio Tinto, Glencore, Vale, Southern Copper Corp., Freeport-McMoRan, Fortescue Metals Group, Newmont, Zijin Mining, and Ma'aden. Systematic analysis of financial reports, market announcements, and industry sources enables continuous assessment of investment decisions, development directions, and key challenges faced by global mining leaders.

The portfolios of these companies are primarily focused on base and precious metals: copper, iron ore, gold, and nickel, which generate the majority of revenues. However, there is a growing presence of investments in critical raw materials, especially lithium and rare earth elements. Company strategies vary considerably: some focus on a single commodity (e.g. Newmont – gold; Freeport and SCC – copper; Fortescue – iron ore; Ma'aden – phosphates and fertilizers), while others (such as BHP, Rio Tinto, Glencore, and Zijin) pursue diversified asset portfolios. The geographical distribution of projects spans South America, Africa, Australia, and the Middle East – mainly in developing economies, while Europe remains a marginal area of operation.

Between 2023 and 2025, investments in copper, lithium, and precious metals are particularly prominent, often undertaken in joint venture formats and linked to the development of smelting and processing capacities. Undoubtedly, copper holds strategic importance for these companies, driven by rising demand in renewable energy systems and electric vehicles, alongside increasing concerns over supply shortages. Gold

continues to play the role of a „safe harbour” asset, stabilizing corporate portfolios, while lithium, despite current oversupply and declining prices, remains a cornerstone of battery technologies, with demand projected to multiply in the coming years. At the same time, companies are curtailing investments in coal and high-emission assets, while accelerating decarbonization, automation, and digitalization of operations.

Monitoring the activities of global mining leaders reveals that the green transition is one of the key factors shaping corporate strategies. However, this does not necessarily translate into extensive investments in critical raw materials (apart from copper) to the extent that might be expected. What is clearly evident there is a widespread focus on reducing operational emissions, raising the question of whether these actions stem from long-term strategic planning or are merely efforts to improve corporate image amid growing social and regulatory pressures.

Potencjał surowcowy zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego

Definicja sprzętu elektrycznego i elektronicznego (SEE) zawarta została w artykule 4 Ustawy z dnia 11 września 2015 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym (Dz. U. 2015 poz. 1688 z późniejszymi zmianami). Pod pojęciem sprzętu elektrycznego i elektronicznego rozumie się urządzenia, których prawidłowe działanie jest uzależnione od dopływu prądu elektrycznego lub od obecności pól elektromagnetycznych, oraz mogące służyć do wytwarzania, przesyłania lub pomiaru prądu elektrycznego lub pól elektromagnetycznych, które są zaprojektowane do użytku przy napięciu elektrycznym nieprzekraczającym 1000 V dla prądu przemiennego oraz 1500 V dla prądu stałego. Po pewnym czasie użytkowania SEE staje się odpadem, czyli zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym (ZSEE). Największymi wytwórcami ZSEE są gospodarstwa domowe. Przykładami sprzętu elektrycznego i elektronicznego używanego w gospodarstwach domowych są odkurzacze, laptopy, telewizory, pralki, chłodziarko-zamrażarki, suszarki do włosów oraz urządzenia zasilane bateriami lub akumulatorami, takie jak zabawki czy narzędzia.

Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny (ZSEE) zawiera w swoim składzie metale określone przez Unię Europejską mianem krytycznych oraz strategicznych. Do surowców krytycznych (CRM) zaliczono między innymi pierwiastki ziem rzadkich (REE) oraz platynowce (PGE). Grupa platynowców składa się z 6 metali: platyna, pallad, rod, iryd, ruten i osm. Pierwiastki ziem rzadkich obejmują grupę 15 lantanowców oraz skand i itr. Istnieje kilka podziałów REE. Jednym z nich jest podział na lekkie (LREE: lantan, cer, prazeodyn, neodym, promet, samar, europ) i ciężkie (HREE: gadolin, terb, dysproz, holm, erb, tul, iterb, lutet). Ich udział zależny jest od rodzaju ZSEE i może wynosić od kilkuset ppm do kilkudziesięciu procent, np. magnesy typu Fe₁₄Nd₂B zawierają około 24% neodymu (Jarosiński 2016). REE mają coraz większe zastosowanie w nowoczesnych produktach wysokich technik.

Koncentracja cennych pierwiastków jest znacznie większa w ZSEE niż w rudzie. Jedna tona telefonów komórkowych zawiera 300–350 gramów złota, podczas gdy w jednej tonie rudy znajduje się kilka gramów złota (Sullivan 2006). Recykling miliona telefonów pozwala na uzyskanie 16 ton miedzi, 772 kg srebra, 75 kg złota oraz 33 kg palladu (Wojciechowski i in. 2014). W 2015 r. na świecie zostało sprzedanych 1,92 mld sztuk telefonów komórkowych, natomiast w Polsce 10,3 mln (Szamałek, Galos 2016). Telefony komórkowe stanowiły niemal 1% masy wytworzonego na świecie ZSEE.

Według szacunków na świecie w 2010 r. wytworzono 34 mln ton zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego, w 2016 r. było to niemal 46 mln ton,

a w 2022 r. – 62 mln ton ZSEE. Wytworzony w 2022 r. ZSEE zawierał 31 mln ton metali: Fe – 24 mln ton, Al – 3,9 mln ton, Cu – 2,1 mln ton, Zn – 280 tys. ton, Pb – 70 tys. ton, Sn – 44 tys. ton, Co – 34 tys. ton, Sb – 2 tys. ton, Ag – 1,2 tys. ton, Au – 270 ton, Pd – 120 ton, Pt, Rh, Ru – 9 ton oraz innych – 740 tys. ton. Sumarycznie odzyskano i wprowadzono ponownie do obiegu 19 mln ton metali, z czego największy poziom odzysku uzyskano dla żelaza, aluminium, miedzi i niklu – 60%, najmniejszy dla cynku, ołowiu, cyny, kobaltu i antymonu – 4%. Łączna wartość metali zawartych w elektrośmieciach została oszacowana na 91 mld USD. Większość potencjalnej wartości surowców wtórnych zawartych w elektroodpadach przypada na miedź – 19 mld USD, złoto – 15 mld USD i żelazo – 16 mld USD (Baldé i in. 2024).

Raw material potential of waste electrical and electronic equipment

The definition of electrical and electronic equipment (EEE) is contained in Article 4 of the Act of September 11, 2015 on Waste Electrical and Electronic Equipment (Journal of Laws 2015, item 1688, as amended). Electrical and electronic equipment refers to any device whose proper functioning depends on the flow of electric current or the presence of electromagnetic fields, as well as devices intended for the generation, transmission, or measurement of electric current or electromagnetic fields, designed for the use at a voltage not exceeding 1,000 V AC or 1,500 V DC. After a certain period of use, EEE becomes waste, that is, waste electrical and electronic equipment (WEEE). The largest producers of WEEE are households. Examples of electrical and electronic equipment used in households include vacuum cleaners, laptops, televisions, washing machines, refrigerators and freezers, hair dryers, as well as battery- or accumulator-powered devices such as toys or tools etc.

Waste electrical and electronic equipment (WEEE) contains metals defined by the European Union as critical and strategic. Critical raw materials (CRM) include, among others, rare earth elements (REE) and platinum group elements (PGE). The platinum group consists of six metals: platinum, palladium, rhodium, iridium, ruthenium, and osmium. Rare earth elements include the 15 lanthanides as well as scandium and yttrium. There are several classifications of REE. One of them divides them into light (LREE: lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium) and heavy ones (HREE: gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium). Their share depends on the type of WEEE and can range from several hundred ppm to several dozen percent, e.g., Fe₁₄Nd₂B magnets contain about 24% neodymium (Jarosiński 2016). REEs have increasing applications in modern high-tech products.

The concentration of valuable elements is much higher in WEEE than in ores. One ton of mobile phones contains 300–350 grams of gold, whereas one ton of ore contains

only a few grams of gold (Sullivan 2006). Recycling one million mobile phones allows for the recovery of 16 tons of copper, 772 kg of silver, 75 kg of gold, and 33 kg of palladium (Wojciechowski et al. 2014). In 2015, 1.92 billion mobile phones were sold worldwide, including 10.3 million in Poland (Szamałek, Galos 2016). Mobile phones accounted for nearly 1% of the mass of WEEE generated globally.

According to estimates, 34 million tons of waste electrical and electronic equipment were produced worldwide in 2010, nearly 46 million tons in 2016, and 62 million tons in 2022. The WEEE generated in 2022 contained 31 million tons of metals: Fe – 24 million tons, Al – 3.9 million tons, Cu – 2.1 million tons, Zn – 280 thousand tons, Pb – 70 thousand tons, Sn – 44 thousand tons, Co – 34 thousand tons, Sb – 2 thousand tons, Ag – 1.2 thousand tons, Au – 270 tons, Pd – 120 tons, Pt, Rh, Ru – 9 tons, and others – 740 thousand tons. In total, 19 million tons of metals were recovered and reintroduced into circulation, with the highest recovery rates achieved for iron, aluminum, copper, and nickel – 60%, and the lowest for zinc, lead, tin, cobalt, and antimony – 4%. The total value of metals contained in e-waste was estimated at USD 91 billion. Most of the potential value of secondary raw materials in e-waste came from copper – USD 19 billion, gold – USD 15 billion, and iron – USD 16 billion (Baldé et al. 2024).

Literatura/References

- Baldé et al. 2024 – Baldé C.P., Kuehr R., Yamamoto T., McDonald R., D'Angelo E., Althaf S., Bel G., Deubzer O., Fernandez-Cubillo E., Forti V., Gray V., Herat S., Honda S., Iattoni G., Khetriwal D.S., di Cortemiglia V.L., Lobuntsova Y., Nnorom I., Pralat N., Wagner M. 2024. The global e-waste monitor 2024. International Telecommunication Union (ITU) and United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Geneva/Bonn.
- Jarosiński A. 2016. Możliwości pozyskiwania metali ziem rzadkich w Polsce. Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk 92, 75.
- Sullivan D.E. 2006. Recycled cell phones – a treasure trove of valuable metals. USGS, 3097.
- Szamałek K., Galos K. 2016. Metals in Spent Mobile Phones (SMP) – a new challenge for mineral resources management. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management 32(4), 45–58.
- Wojciechowski et al. 2014 – Wojciechowski A., Dyduch J., Lankiewicz K. 2014. Odzysk metali z elektroniki samochodowej i sprzętu AGD. Logistyka 6, 11259.

Polska inwestycja w sercu Afryki: LuNa Smelter jako kompletny łańcuch wartości od górnictwa do metalu w Rwandzie

LuNa Smelter – polsko-rwandyjskie przedsięwzięcie – od 2018 r. tworzy w Rwandzie w pełni zintegrowany łańcuch produkcji cyny, od wydobycia rudy po rafinację metalu. Huta zlokalizowana w Kigali produkuje wysokiej czystości sztabki cyny (ok. 99,96–99,99% Sn), wykorzystując jako wsad koncentrat kasyterytu (SnO_2), między innymi z własnych kopalń. Ta pionowo zintegrowana inicjatywa opiera się na bogatych złożach cyny w Rwandzie oraz polskim know-how, dostarczając wysokiej jakości metaliczną cynę na rynek globalny.

Złoża eksploatowane przez LuNa Smelter leżą w mezoproterozoicznym pasie Karagwe-Ankole we wschodniej Rwandzie – regionie geologicznym, który wraz z sąsiednim pasmem Kibara tworzy jedną z największych na świecie prowincji złożowych Sn-Ta-W. Mineralizacja cynowa (kasyteryt) w pasie Karagwe–Ankole ma genezę związaną z granitoidami: występuje przy tzw. „granitach cynonośnych” (dwumikowych granitach peraluminowych) oraz w ich późnych produktach procesów frakcjonowania i dyferencjacji, takich jak pegmatyty typu LCT (litowo-cezowo-tantalowe), strefy grejzenowe i hydrotermalne żyły kwarcowo-muskowitowe. Wszystkie te style złożowe współwystępują w rejonie Bugarura–Kuluti (gdzie koncentrują się projekty LuNa), tworząc ciągły system mineralizacyjny o złożonej ewolucji. Pierwotna mineralizacja Sn-Ta o znaczeniu ekonomicznym lokalizuje się w otaczających skałach metaosadowych, których uzupełnieniem są złoża wtórne rozwinięte na ich powierzchni.

W kluczowych złożach LuNa Smelter kasyteryt jest spotykany głównie w żyłach kwarcowo-muskowitowych, przecinających sfałdowane skały metaosadowe (fyllity i kwarcyty) otoczenia granitów cynonośnych. Uwarunkowania strukturalne odgrywają istotną rolę: żyły z minerałami 3T (tin, tungsten, tantalum) wypełniają strome nieciągłości (często pionowe szczeliny wzdłuż warstwowania), powstałe na skutek deformacji tektonicznych przed intruzją granitów. Szczeliny te stanowiły kanały dla bogatych w cynę roztworów magmowo-hydrotermalnych, wydzielających się z krzepnących granitów i magm pegmatytowych. Wokół kwarcowego jądra żył obserwuje się intensywne przeobrażenia typu grejzenowego (muskowit, alteracja turmalinowa), świadczące o procesie przepływu gorących roztworów. Kasyteryt rozłożony jest w żyłach nierównomiernie, wykazując tzw. efekt samorodkowy. Minerał ten tworzy lokalne skupienia w postaci gniazd o bardzo wysokiej zawartości cyny (pojedyncze nagromadzenia kasyterytu mogą osiągać masę od kilku kilogramów do nawet kilku ton). Takie bogate

soczewy ułożone są w żyłach pod stromym kątem, tworząc formy kominowe, podczas gdy otaczający kwarcowo-muskowitowy materiał zawiera niższe koncentracje metalu. Ta mozaikowa niejednorodność mineralizacji wymaga ostrożnego podejścia przy pobieraniu próbek i szacowaniu zasobów złoża.

Kopalnia Mbogo – flagowy zakład LuNy – stanowi przykład opisanych cech geologicznych. Złoże Mbogo obejmuje system równoległych żył kwarcowych (tzw. system żył równoległych) eksploatowanych systemem podziemnym poprzez sieć poziomych sztolni i pionowych szybków. Urobek pozyskuje się elektrycznymi młotami udarowymi, a następnie poddaje kruszeniu i wzbogacaniu grawitacyjnemu na miejscu, co daje koncentrat kasyterytowy o zawartości ok. 73% Sn. Projekt Rwimishinya (projekt typu greenfield w pobliżu Mbogo) kryje co najmniej cztery odrębne żyły zawierające kasyteryt, zidentyfikowane w trakcie niedawnych prac poszukiwawczych. Rozpoczęcie wydobywania w Rwimishinya planowane jest na końcówkę 2025 r.; wykorzystane zostaną metody odkrywkowe i podziemne analogiczne do Mbogo. Jeszcze dalej na północ położony jest projekt Budjumu, obejmujący złoże typu pegmatytowego z mineralizacją tantalowo-cynową. Kartowanie geologiczne w Budjumu ujawniło ciągły system pegmatytów LCT o łącznej długości ponad 2 km, wzbogaconych w kasyteryt i minerały tantalowo-niobowe, przy miąższości pojedynczych ciał szacowanej na 5–20 m. Obecnie Budjumu znajduje się na etapie zaawansowanych badań – wykonywane są wykopy i analizy prób – a uzyskane wyniki posłużą do oceny opłacalności ewentualnej przyszłej eksploatacji tego złoża pegmatytowego, która będzie stanowić potencjalne źródło rudy, uzupełniając eksploatowane obecnie złoża typu żyłowego.

Metodyka poszukiwań geologicznych stosowana przez LuNa Smelter kładzie nacisk na korelację obserwacji terenowych z modelami geologicznymi, tak aby skutecznie odnajdywać i interpretować żyły hydrotermalne. Na obszarach Rwimishinya i Budjumu przeprowadzono intensywne prace eksploracyjne: szczegółowe kartowanie geologiczne, wykopy poszukiwawcze oraz pobór próbek do analiz geochemicznych. Działania te pozwoliły zaktualizować mapę geologiczną rejonu oraz zaznaczyć na niej nowo odnalezione odsłonięcia zmineralizowanych struktur, potwierdzając strefowość występowania poszczególnych typów złóż i zasięg ich mineralizacji. Na podstawie danych terenowych opracowano model metalogeniczny okolic Bugarura–Kuluti, uwzględniający strefowy rozkład pierwiastków (np. wzrastającą zawartość minerałów tantalowo-niobowych w większej odległości od granitowego źródła mineralizacji). Takie ujęcie pomaga prognozować lokalizację kolejnych żył lub innych wystąpień rudnych – nawet jeśli są ukryte pod nadkładem – poprzez ekstrapolację znanych struktur w oparciu o ich orientację i cechy mineralogiczne. Przykładowo, obecność intensywnej muskowityzacji i turmalinizacji w skałach otaczających stanowi ważną wskazówkę bliskości żył hydrotermalnych; analogicznie, identyfikacja skupisk ciężkich minerałów akcesorycznych (turmalinu, cyrkonu, monacytu itp.) w glebach pomaga wyznaczać obszary potencjalnej mineralizacji. Opisana, oparta na naukowych podstawach strategia eksploracji przynosi wymierne rezultaty – potwierdzono ciągłość i zasięg nowych struktur żyłowych (m.in. rozszerzono zasoby złoża Rwimishinya o kolejne strefy złożowe) oraz

zweryfikowano znaczny potencjał stref pegmatytowych w Budjumu. Przypadek LuNy Smelter w Rwandzie pokazuje, że połączenie dogłębnej wiedzy geologicznej z kompleksowym podejściem od złoża aż po metal może umożliwić pełne wykorzystanie potencjału zasobów cynowych w regionie Afryki Środkowej.

A Polish investment in the heart of Africa: LuNa Smelter as a complete value chain from mining to metal in Rwanda

Since 2018, LuNa Smelter – a joint Polish–Rwandan venture – has established a fully integrated tin value chain in Rwanda, spanning from ore mining to refined metal. The Kigali-based smelter produces high-purity tin ingots (≈ 99.96 – 99.99% Sn), leveraging feedstock from its own cassiterite (SnO_2) mining operations. This vertically integrated project builds on Rwanda's rich tin resources and Polish investment to deliver high-quality tin metal for global markets.

Geologically, LuNa's mining assets lie within the Karagwe–Ankole Belt (KAB) – a Mesoproterozoic metallogenic province that, together with the adjacent Kibara Belt, hosts one of the world's largest Sn-Ta-W districts. Cassiterite mineralization in the KAB is associated with specialized “tin granites” (two-mica peraluminous granites) and their late-stage differentiates: lithium–caesium–tantalum (LCT) pegmatites, greisen-altered zones, and quartz–muscovite hydrothermal veins. All these deposit styles co-occur in the Bugarura–Kuluti mining district (the focus of LuNa's projects) as part of a continuous, multi-stage mineral system, with primary Sn-Ta mineralization hosted predominantly in the surrounding metasedimentary rocks.

At LuNa's key deposits, cassiterite occurs principally in quartz–muscovite veins within folded metasediments (phyllites and quartzites) adjacent to tin-bearing granites. Structural controls on ore emplacement are evident: the mineralized veins occupy steeply dipping fracture systems (often radial tension fractures perpendicular to bedding) related to pre-intrusive deformation. These fractures acted as pathways for Sn-rich magmatic–hydrothermal fluids exsolved from the granites. The veins typically show greisen-style alteration (muscovite selvages and tourmaline halos) and carry cassiterite in a “nuggety” distribution. Notably, coarse cassiterite forms irregular high-grade pockets or nests (sometimes weighing several kilograms or even tonnes) within the veins. Such pods can align vertically into chimney-like ore shoots, surrounded by lower-grade vein material – a geological “nugget effect” that poses challenges for sampling and grade estimation. Understanding this heterogeneous ore distribution is critical for mine planning and resource modelling.

Mbogo Mine, LuNa's flagship operation, exemplifies these geological characteristics. The Mbogo deposit consists of multiple sub-parallel cassiterite veins (“parallel vein structure”) which are exploited via a network of horizontal adits and vertical shafts.

Ore is extracted with electric jackhammers and upgraded on site by crushing and gravity concentration, yielding a 73% Sn cassiterite concentrate. The Rwimishinya Project (a nearby greenfield site) contains at least four distinct Sn-bearing quartz veins identified by recent exploration. Rwimishinya is slated to commence production by late 2025, employing open-pit and underground methods similar to Mbogo. Further north, the Budjumu Project targets a different deposit style: a large tantalum-tin pegmatite. Surface mapping at Budjumu has confirmed >2 km of continuous pegmatite bodies enriched in Sn and Ta, with individual dikes reaching 5–20 m in thickness. Currently in advanced exploration, Budjumu represents a potential future source of ore, complementing the vein-type deposits with a pegmatite-hosted resource.

LuNa's exploration methodology integrates detailed geology and structural analysis to effectively track hydrothermal veins and high grade chimney structures. Extensive field campaigns – including geologic mapping, trenching/pitting, and geochemical sampling – have been conducted across the Bugarura–Kuluti license areas. These efforts have refined the geological map and pinpointed mineralized outcrops, confirming the zonation and spatial extent of each mineralization style. By interpreting surface vein exposures in the context of the underlying granite/pegmatite framework, geologists can predict where concealed extensions might lie. For example, recognition of alteration indicators (tourmaline, muscovite) and host-rock control has helped project the continuity of Sn-rich veins along strike and at depth. The evolving exploration model incorporates the district's metallogenic zonation – e.g. increasing tantalum-rich phases with greater distance from the granite core – to prioritize targets. This integrated approach, backed by iterative mapping and sampling data, has successfully delineated new ore shoots (such as additional veins at Rwimishinya) and confirmed the scale of pegmatitic mineralization at Budjumu. The case of LuNa Smelter in Rwanda highlights how a science-driven exploration strategy, coupled with an end-to-end mining-to-smelting capability, can unlock the full value chain of a tin project in Central Africa.

Stan badań naukowych i perspektywy dotyczące surowców w świetle publikacji naukowych

Światowa górnicza produkcja surowców mineralnych w roku 2023 wyniosła według raportu World Mining Data 19,2 mln ton i w stosunku do roku 2000 wzrosła o ok. 70%. Produkcja ta obejmuje surowce energetyczne, surowce metaliczne, w tym rudy żelaza i metali nieżelaznych, metale szlachetne oraz niemetaliczne surowce stosowane w przemyśle, tzw. minerały przemysłowe.

W bazie Web of Science zarejestrowanych jest ponad 88 tysięcy publikacji naukowych związanych z tematyką surowcową (stan na dzień 31.08.2025 r.). Krajem z największą liczbą publikacji naukowych w bazie są Chiny (28,3% wszystkich publikacji). Kolejne miejsca zajmują: Stany Zjednoczone (6,7%), Rosja (6,4%), Niemcy (4,9%) i Włochy (4,8%). Polska z udziałem 3,9% zajmuje siódmą pozycję w tym zestawieniu.

Najwięcej publikacji zostało zakwalifikowanych do następujących obszarów badawczych: inżynieria materiałowa, inżynieria, chemia, technologia oraz nauki środowiskowe. Wymienione kategorie obejmują około 85% wszystkich publikacji. Publikacje z analizowanej tematyki najczęściej drukowane są w dwóch czasopismach: „Ceramics International” oraz „Journal of Cleaner Production”. Jednakże oba czasopisma posiadają łącznie udział na poziomie 2,4% i tylko nieznacznie dominują pod względem liczby publikacji nad czasopismami związanymi z technologią pozyskiwania i przetwarzania surowców.

Naukowcy afiliowani w krajowych jednostkach naukowych, badawczych i przemysłowych opublikowali w analizowanej tematyce 3505 publikacji, z czego najwięcej z AGH (10,4%), Polskiej Akademii Nauk (8,5%) oraz Politechniki Wrocławskiej (6,2%). Wśród obszarów badawczych w krajowych publikacjach z bazy WoS dominują: chemia, inżynieria, inżynieria materiałowa, nauki środowiskowe oraz górnictwo i przeróbka surowców, które łącznie stanowią około 84% wszystkich publikacji. Najwięcej artykułów zostało opublikowanych w czasopismach „Przemysł Chemiczny” (4,9%), „Materials” (4,7%), „Energies” (4%) oraz „Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management” (3,6%). Zaprezentowana ilościowo-jakościowa analiza publikacyjności pozwala na analizę i ocenę kierunków prowadzonych badań naukowych oraz zarysowuje główne trendy w rozwoju branży surowców mineralnych.

Zagadnienia poruszane w publikacjach naukowych można pogrupować w następujące szersze grupy tematyczne:

- badania w zakresie odkrywania i udostępniania nowych złóż surowców mineralnych. Głównym celem tych badań jest zapewnienie ciągłego dostępu do surowców, zwłaszcza surowców strategicznych i krytycznych. Z kolei udostępnianie do eksploatacji nowych obszarów zwiększa bezpieczeństwo dostaw i sprzyja rozwojowi gałęzi przemysłu związanych między innymi z transformacją energetyczną;
- efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów surowców poprzez zastosowanie nowych technologii ich pozyskiwania i przetwarzania, a także poprawę efektywności istniejących technik i metod odzysku składnika użytecznego z kopaliny;
- recykling oraz gospodarka bezodpadowa, mające na celu odzysk metali i innych komponentów opłacalnych ekonomicznie z różnego rodzaju odpadów, w tym *urban mining*;
- badania nad substytucją materiałową, które dotyczą zwłaszcza surowców o ograniczonej dostępności. Kierunek tych badań jest istotny zwłaszcza w aspekcie potencjalnego zmniejszenia zależności od surowców krytycznych poprzez ewentualne zastąpienie ich tańszymi i łatwiej dostępnymi materiałami;
- ograniczanie negatywnego oddziaływania przemysłu surowcowego na środowisko, zrównoważony rozwój i poprawa świadomości społecznej w zakresie pozyskiwania i przetwarzania surowców,
- zastosowanie nowoczesnych technik i narzędzi informatycznych, w tym sztucznej inteligencji i cyfryzacji, w przemyśle surowcowym.

W wymienionych obszarach badań można dostrzec dwa kluczowe czynniki, na które należy zwrócić uwagę. Są to techniczno-technologiczny łańcuch produkcji metali i innych produktów wytwarzanych z surowców oraz uwarunkowania ekonomiczne obejmujące wdrażanie procesów i urządzeń umożliwiających minimalizację kosztów i maksymalizację uzyskiwanych efektów. Oprócz wymienionych czynników należy też odnotować zwiększającą się świadomość społeczną w omawianym zakresie, co może być wykorzystane w działaniach mających na celu poprawę wizerunku branży surowcowej.

Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu nr 101091885 „A Holistic Digital Mine 4.0 Ecosystem” (akronim mine.io), finansowanego przez European Health and Digital Executive Agency w ramach konkursu HORIZON Innovation Actions, działanie: HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01-06.

Current state of the art in research and prospects for raw materials in the light of scientific publications

Global mining production of mineral raw materials in 2023, according to the World Mining Data report, amounted to 19.2 million tons, which represents an increase of about 70% compared to the year 2000. This includes the production of energy raw

materials (mineral fuels), iron and ferro-alloy metals, non-ferrous metals, precious metals and non-metallic raw materials used in industry, the so-called industrial minerals.

The Web of Science database contains over 88,000 scientific publications related to raw materials (as of August 31, 2025). The country with the largest number of scientific publications in the database is China (28.3% of all publications). The next positions are held by the United States (6.7%), Russia (6.4%), Germany (4.9%), and Italy (4.8%). Poland, with a share of 3.9%, ranks seventh in this classification.

Most publications were classified into the following research areas: Materials Science, Engineering, Chemistry, Science Technology and Environmental Sciences. These categories account for about 85% of all publications. Publications in this field are most frequently printed in two journals: "Ceramics International" and "Journal of Cleaner Production". However, the combined share of these two journals is only 2.4%, and they only slightly dominate in terms of the number of publications compared to journals focused on raw material extraction and processing technologies.

Researchers affiliated with domestic scientific and research institutions have published 3,505 papers on this topic, with the largest contributions from AGH University of Krakow (10.4%), the Polish Academy of Sciences (8.5%), and Wrocław University of Science and Technology (6.2%). Within Polish publications indexed in the WoS database, Chemistry, Engineering, Materials Science, Environmental Sciences, and Mining & Mineral Processing, are among the dominant research areas, and together they constitute about 84% of all publications. Most articles were published in "Chemical Industry Journal" (4.9%), "Materials" (4.7%), "Energies" (4%), and "Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management" (3.6%). The presented quantitative and qualitative analysis of publication activity allows for the evaluation of research directions and outlines the main trends in the development of the raw materials industry.

The issues addressed in scientific publications can be grouped into the following broader thematic areas:

- ➔ Research on the discovery and putting into operation of new deposits of mineral raw materials. The main goal of these studies is to ensure continuous access to raw materials, especially strategic and critical ones. The opening of new areas for exploitation increases a security of raw materials supply and supports the development of industries related, among others, to the energy transition;
- ➔ Efficient utilization of available raw material resources and deposits through the application of new extraction and processing technologies, as well as improving the efficiency of already existing techniques and methods for recovering the useful components from ores;
- ➔ Recycling and zero-waste economy, aimed at recovering metals and other economically viable components from various types of waste, including urban mining;
- ➔ Research on material substitution, particularly for raw materials with limited global availability. This direction of investigations is important in the context of potential reduction of dependence on critical raw materials by replacing them with cheaper and more easily available materials;

- ➔ Limiting of a negative environmental impact of the raw materials industry, sustainable development, and raising social awareness regarding raw material extraction and processing;
- ➔ The application of modern IT techniques and tools in the raw materials industry, including artificial intelligence and digitalization.

Within the mentioned research areas, two key factors should be emphasized: the technical and technological production chain of metals and other products derived from raw materials, and the economic conditions, which include the implementation of processes and devices enabling cost minimization and profit maximization. Additionally, increasing the social awareness in this area should also be noted, as this fact can be utilized in improvement the public image of the raw materials sector.

This article was prepared as part of the implementation of project no. 101091885 "A Holistic Digital Mine 4.0 Ecosystem" (acronym mine.io), funded by the European Health and Digital Executive Agency under the HORIZON Innovation Actions call, action: HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01-06.

Dorobek polskich geologów na terenie Mongolii – przegląd i perspektywy

Obecność badawcza Polaków na Dalekim Wschodzie sięga drugiej połowy XIX w., a wśród tamtejszych obszarów wyjątkowe miejsce zajmowała Mongolia. Polscy geolodzy szczególnie ją zaznaczyli w pierwszej połowie XX w. Byli odkrywcami nowych terenów, pionierami poszukiwań i dokumentowania złóż, a niejednokrotnie dyrektorami lub właścicielami działających tam firm wydobywczych. Wśród zasłużonych dla odkryć, geologii, górnictwa i nauki na terenie Mongolii były takie postaci jak: L. Jaczewski, E. de Henning-Michaelis, H. Czechtz, S. Doktorowicz-Hrebniński i K. Bohdanowicz. Bez wątpienia wyróżniał się K. Grochowski – organizator 30 ekspedycji poszukiwawczych metali i węglowodorów, właściciel wielu koncesji i założyciel Fortu Grochowski. Wiele z przedstawionych postaci odgrywało ważną rolę w państwie polskim po 1918 r.

Intensyfikacja polskich badań geologicznych zaznacza się od lat 60. do końca lat 80. XX w. Wtedy odbywały się ekspedycje poszukiwawcze w ramach porozumień bilateralnych między Polską a Mongolią lub ekspedycje międzynarodowej COMECON. Ich celem była prospekcja głównie złóż metali, ziem rzadkich, węgla, ale też prowadzono badania hydrogeologiczne. Zdecydowana większość zespołów kierowana była na wschód Mongolii, część na południe (Govi), kilka zaś do zachodniej części kraju. Do obszarów objętych badaniami należały: Kherlen, Ondoorkhaan, Orgonsheere, Indur Tsagaan Ovo, Serven, Moungun Odoor, Lugin Gol i Mushgai Khudak. Postaciami wyróżniającymi się wśród organizatorów i kierujących wyprawami byli m.in. E. Rutkowski i J. Uberta. Osobną kartę w tym czasie zapisali polscy paleontolodzy i geolodzy pod kierunkiem Z. Kielan-Jaworowskiej (badania dinozaurów i wczesnych ssaków).

Współcześnie odbyło się kilka wypraw PIG-PIB i AGH na tereny zachodniej, środkowej i wschodniej Mongolii. Najszerzej zakrojone prace odbywały się na terenie gór Khasagt (2009–2013; A. Wojciechowski i A. Wójcik) i Khangai (2023–2025; R. Pachytel, R. Sikora, A. Wójcik). Zespoły AGH prowadził A. Piestrzyński. Rozpoznanie dotyczyło złóż metali, w tym pierwiastków krytycznych dla UE i Polski. Polscy geolodzy prowadzili też badania naukowe dotyczące granitów (PIG-PIB i UAM w Poznaniu; K. Machowiak) oraz zmian środowiskowych w czwartorzędzie i badania dla celów archeologii (PIG-PIB; R. Sikora).

Dorobek poszukiwawczy i badawczy w zakresie rozpoznania geologicznego Mongolii w XX i XXI w. jest bardzo duży. Poszukiwania nie zaowocowały odkryciem złóż nadających się do eksploatacji, ale pozwoliły wykluczyć wiele obszarów z dalszych prac. Do pozytywnych efektów niewątpliwie należy podniesienie kompetencji polskich geologów w zakresie badań terenowych, analitycznych i stosowania rozwiązań naukowych.

Biorąc pod uwagę perspektywę ostatnich 30 lat oraz potencjał złożowy Mongolii i zapotrzebowanie na surowce mineralne światowej gospodarki, niefortunne okazało się przerwanie współpracy w latach 90. XX w. Odnowienie wzajemnych kontaktów wymaga zaangażowania nowych kadr w Polsce. Obiecujące jest podejmowanie współpracy naukowej przy analizie basenów sedymentacyjnych, geodynamiki podłoża, badaniach geośrodowiskowych, hydrogeologicznych, paleoklimatycznych. Przyszłościowe kierunki to kształcenie kadr mongolskich w Polsce oraz współpraca na polu geoedukacji i ochrony dziedzictwa geologicznego. Prace naukowe dotyczące Mongolii cieszą się popularnością i często mają wymiar użyteczny. Być może wzmożenie współpracy naukowej będzie dobrą ścieżką do zacieśnienia kontaktów i uruchomienia projektów międzynarodowych, a w konsekwencji kontynuacji poszukiwań surowców.

The achievements of Polish geologists in Mongolia – review and prospects

The Polish research presence in the Far East dates back to the second half of the 19th century, with Mongolia holding a special place among these regions. Polish geologists made their presence felt, particularly in the first half of the 20th century. They were explorers of new territories, pioneers in the exploration and documentation of deposits, and often directors or owners of mining companies operating there. Among those distinguished in Mongolia's exploration, geology, mining, and science were figures such as L. Jaczewski, E. de Henning-Michaelis, H. Czeczott, S. Doktorowicz-Hrebnicki, and K. Bohdanowicz. K. Grochowski undoubtedly stood out – organizer of 30 metal and hydrocarbon exploration expeditions, owner of numerous concessions, and founder of Fort Grochowski. Many of these people played important roles in the Polish state after 1918.

Polish geological research intensified from the 1960s to the late 1980s. Exploration expeditions were carried out under bilateral agreements between Poland and Mongolia or under the international COMECON expedition. Their goal was primarily the exploration works for deposits of metals, rare earths, and coal, but hydrogeological studies were also conducted. The vast majority of teams were directed to eastern Mongolia, some to the south (Govi), and a few to western Mongolia. Areas explored included Kherlen, Ondoorkhaan, Orgonsheere, Indur Tsagaan Ovo, Serven, MOUNGUN ONDOOR, LUGIN GOL, and MUSHGAI KHUDAK. Prominent persons among the organizers and leaders of these expeditions included E. Rutkowski and J. UBERNA. Polish paleontologists and geologists, led by Z. Kielan-Jaworowska (studies of dinosaurs and early mammals), have written a separate chapter during this period. Several expeditions by the Polish Geological Institute–National Research Institute (PGI-PIB) and the AGH University of Science and Technology (AGH) have recently taken place in western, central, and eastern Mongolia. The most extensive work was carried out in the Khasagt Mountains (2009–2013;

A. Wojciechowski and A. Wójcik) and Khangai Mountains (2023–2025; R. Pachytel, R. Sikora, A. Wójcik). The AGH team was led by A. Piestrzyński. The exploration focused on metal deposits, including elements critical for the EU and Poland. Polish geologists also conducted scientific research on granites (PGI-PIB and Adam Mickiewicz University in Poznań; K. Machowiak) and for archaeological and environmental changes in the Quaternary (PGI-PIB; R. Sikora).

Polish exploration and research achievements in the 20th and 21st centuries in the field of geological research in Mongolia are difficult to assess. While these explorations did not result in the discovery of exploitable deposits, they did eliminate many areas from further exploration. Among the positive outcomes is undoubtedly the increased competence of Polish geologists in field research, analytical studies, and the application of scientific solutions. Considering the last 30 years, the deposit potential of Mongolia, and the global economy's demand for mineral raw materials, the discontinuation of cooperation in the 1990s proved unfortunate. Renewing mutual contacts requires the involvement of new personnel in Poland. Scientific collaboration in the analysis of sedimentary basins, subsurface geodynamics, geoenvironmental, hydrogeological, and paleoclimatic studies is promising. Future directions include training Mongolian personnel in Poland as well as cooperation in geoeducation and geological heritage protection. Scientific works referring to Mongolia are popular and often have a practical dimension. Perhaps increasing scientific cooperation will be a good path to strengthening contacts and launching international projects, and consequently continuing the search for raw materials.

Poszukiwania surowców krytycznych w Azji: bieżąca aktywność PIG-PIB na terenie Mongolii

Azja Centralna jest obszarem perspektywnym dla poszukiwań surowców, w tym krytycznych dla Unii Europejskiej (UE). Państwowy Instytut Geologiczny – PIB (PIG-PIB) podejmuje próby współpracy z krajami azjatyckimi w celu rozpoznania potencjału surowcowego na ich terenie, w konsekwencji wpisując się w politykę dywersyfikacji łańcuchów dostaw oraz zwiększenia bezpieczeństwa surowcowego i energetycznego UE. Zakres umów wykracza poza poszukiwania złóż, nadając projektom charakter naukowy, obejmujący szereg innych dziedzin geologii.

W ostatnich dwudziestu latach PIG-PIB największą aktywność na terenie Azji odnotował w Mongolii. Wynika to z wieloletnich tradycji pracy polskich geologów na tym obszarze oraz różnych zobowiązań finansowych lub gospodarczych między państwami. Ponadto Mongolia, stając się coraz nowocześniejszym państwem i chcąc przyciągnąć nowe inwestycje oraz rozwój technologii, duży nacisk kładzie na współpracę z krajami europejskimi (tzw. polityka trzeciego sąsiada). Świadomość Mongołów na temat potencjału surowcowego kraju spowodowała, że jednym z kluczowych filarów mongolskiej gospodarki stały się górnictwo i geologia. Na obszarze kraju udokumentowano 10 000 złóż ponad 80 różnych minerałów. Możliwość uzyskania koncesji na poszukiwania lub wydobywanie surowców krytycznych dla podmiotów z UE nadaje dodatkowy sens obecności i pracom polskich geologów na terenie Mongolii.

W 2015 r. PIG-PIB zakończył projekt poszukiwań złóż metali w zachodniej części gór Khasagt, a od 2023 r. na podstawie umowy międzypaństwowej realizowany jest projekt prospekcji surowców krytycznych w południowo-zachodniej części Khangaju. Jego celem jest rozpoznanie wystąpień molibdenu i wolframu, ale badania prowadzone są również w kierunku innych cennych pierwiastków. Prace terenowe objęły trzy obszary: Beliin Bulag, Zadgai Bulag (prowincja Bayankhongor) i Taishir (prowincja Govi-Altai). Udział w nich wzięły 4 zespoły złożone z 21 geologów z PIG-PIB. Prace prowadzone są klasycznymi metodami, podczas których pobierane są próbki do badań geochemicznych, petrograficznych i mineralogicznych. Wstępne informacje na temat zawartości poszczególnych pierwiastków uzyskiwane są już w terenie za pomocą przenośnych spektrometrów fluorescencji rentgenowskiej (pXRF). Metodyka została dostosowana do wierzeń i tradycji kulturowych lokalnych nomadów, którzy głębokie wykopy i wiercenia uważają za zakłócanie świętości Ziemi.

Wyniki projektu zostaną przedstawione w raporcie w 2026 r. Należy podkreślić, że realizacja bilateralnej umowy między Polską a Mongolią w zakresie poszukiwań

surowców krytycznych jest ważnym aspektem nawiązania współpracy między służbami geologicznymi obu krajów. Podnoszone są kompetencje polskich geologów, nie tylko w zakresie badań i wiedzy geologicznej, lecz także dotyczące organizacji pracy w trudnych warunkach polowych. Wymiennie wzrasta również umiejętność prowadzenia obserwacji terenowych i analizy danych na wstępnym etapie prac prospekcyjnych. W aspekcie dywersyfikacji dostaw surowców do Europy umiejętności te okażą się istotne dla podejmowania kolejnych wyzwań poza granicami kraju przez pracowników PIG-PIB, która to instytucja – pełniąc funkcję państwowej służby geologicznej – powinna posiadać odpowiednio doświadczone i przeszkolone kadry. Współpraca z Mongolią wpisuje się w plan tworzenia stabilnego łańcucha dostaw surowców do UE i może przyczynić się do wzmocnienia gospodarczego Polski. Przy umiejętnie prowadzonej współpracy Polska może stać się jednym z kluczowych partnerów Mongolii, wspomagającym jej zrównoważony rozwój i wykorzystanie bogactw naturalnych.

Prospecting for critical raw materials in Asia: current activities of PGI-NRI in Mongolia

Central Asia represents a significant region for the exploration of raw materials, including those deemed critical for the European Union (EU). The Polish Geological Institute (PGI-NRI) is actively seeking to collaborate with Asian nations to assess the raw material potential within their territories, thereby contributing to the diversification of supply chains and enhancing the EU's security concerning raw materials and energy. The initiatives encompass a range of activities beyond deposit prospection, incorporating scientific research across various geological disciplines.

Over the past two decades, PGI-NRI has focused its efforts primarily in Mongolia, reflecting a longstanding tradition of Polish geologists working in the region, coupled with multiple financial and economic commitments between Poland and Mongolia. As Mongolia evolves into a modern economy, it aims to attract new investments and fortify technological development, greatly emphasizing collaboration with European countries through its "third neighbor policy". The increasing awareness among Mongolians regarding their country's raw material potential has established mining and geology as fundamental components of the economy, with over 10,000 documented mineral deposits of more than 80 distinct minerals. The opportunity to secure exploration or production concessions for critical raw materials relevant to EU entities further underscores the significance of Polish geologists' presence and activities in Mongolia.

In 2015, PGI-NRI successfully completed a project focused on the exploration of metal deposits in the western region of the Khasagt Mountains. Currently, based on an bilateral agreement established in 2023, a project aimed at prospecting for critical raw materials is underway in the southwestern Khangai region. This initiative seeks to

identify occurrences of molybdenum and tungsten, while also investigating other valuable elements. Fieldwork has been conducted in three regions: Beliin Bulag and Zadgai Bulag (located in Bayankhongor province) and Taishir (Govi-Altai province). Four teams comprising 21 geologists from PGI-NRI participated in the reconnaissance efforts. The methodologies involves the collection of samples for geochemical, petrographic, and mineralogical analyses. Preliminary results concerning the content of specific elements are being gathered in the field utilizing portable X-ray fluorescence spectrometers (pXRF). Notably, the methodology has been tailored to respect the beliefs and cultural traditions of the local nomadic populations, who perceive deep excavations and drilling as disruptions to the sanctity of the Earth.

The results of this project are scheduled to be presented in a comprehensive report in 2026. It is important to recognize that the execution of the bilateral agreement between Poland and Mongolia concerning the reconnaissance for critical raw materials is essential for fostering collaboration between the geological services of both nations. The competencies of Polish geologists are being enhanced not only in terms of research and geological expertise but also in the efficient organization of fieldwork under challenging conditions. Consequently, the capability to conduct field observations and analyze data in the initial stages of prospecting activities is improving significantly. In terms of diversifying raw material supplies to Europe, these enhanced skills will equip PGI-NRI personnel to undertake new challenges internationally, ensuring that the state geological service maintains suitably trained and experienced staff. The collaboration with Mongolia aligns with the strategic objective of establishing a stable raw material supply chain to the EU and may also contribute to Poland's economic resilience. Through judiciously executed cooperation, Poland can emerge as a key partner for Mongolia, supporting its sustainable development and responsible management of natural resources.

Fluoryty – aktualny stan prac PSG i perspektywy w Krajowym Programie Poszukiwań Surowców Krytycznych

Fluoryt znajduje się na unijnej liście surowców krytycznych, a ze względu na brak krajowego wydobycia jest w całości importowany do Polski. Perspektywy rozpoznania i udokumentowania złóż fluorytu w Polsce nie zmieniają się znacząco od kilkudziesięciu lat ze względu na fakt, że poza obszarami złoża barytu z fluorytem Stanisławów i małego złoża Jeżów Sudecki nie prowadzono od lat 90. XX w. innych robót poszukiwawczych fluorytów.

O konieczności prac zarówno w głównych, jak i w towarzyszących im drugorzędnych strefach tektonicznych pisało się od dawna. Planowano rozpoznanie w obszarach charakteryzujących się m.in. przejawami mineralizacji fluorytowej, występowaniem fluorytów w próbach szlichowych czy obecnością anomalii hydrogeochemicznych jonu fluorkowego. W kolejnych opracowaniach liczba obszarów wskazywanych do rozpoznawania sukcesywnie się zmniejszała, a w najnowszym „Bilansie zasobów perspektywicznych kopalin wg stanu na 31 grudnia 2018 r.” jako najbardziej perspektywiczne rekomendowane jest wyłącznie ponowne uruchomienie eksploatacji złoża Stanisławów.

Państwowy Instytut Geologiczny – PIB realizuje od 2023 r. zadanie państwowej służby geologicznej pn. „Surowce krytyczne – fluoryty – dokumentowanie w kat. D”, które jest konsekwencją wytypowania w poprzednich latach kopalin o wysokim priorytecie do udokumentowania w ramach „Wsparcia działań Głównego Geologa Kraju w zakresie prowadzenia Polityki Surowcowej Państwa”. W trakcie zadania dokonano przeglądu i weryfikacji dostępnych materiałów archiwalnych, w tym istniejących dokumentacji złożowych, a także opracowań regionalnych i raportów oraz profili otworów dostępnych w Centralnym Archiwum Geologicznym. Bazując na kompleksowych archiwalnych badaniach geologicznych, geofizycznych i geochemicznych, wytypowano 2 obszary do rozpoznania z wykorzystaniem nowoczesnych geofizycznych metod pomiarowych. Jako uzupełnienie do pomiarów geofizycznych ERT/IP, płytkiej sejsmiki oraz grawimetrycznych dokonano weryfikacji i uszczegółowienia pomiarów w obszarach anomalnych wskazań hydrogeochemicznych. Największą skuteczność w tych warunkach geologicznych wykazały badania ERT – wskazując na istnienie stref niskooporowych, interpretowanych jako strefy dyslokacyjne, które mogą być nośnikami mineralizacji, w tym fluorytowej czy barytowo-fluorytowej. Dla identyfikacji tych stref zaprojektowano 5 kierunkowych otworów wiertniczych o długości 100–150 m w rejonie Stanisławów-Pomocne na S i SE od zaniechanego złoża Stanisławów oraz na wschód od złoża

Jeżów Sudecki. Obecnie trwają prace wiertnicze, a docelowo powstanie dokumentacja złożowa lub, w przypadku braku pozytywnych wyników, tzw. dokumentacja inna.

W Krajowym Programie Poszukiwań Surowców Krytycznych w najbliższych latach zaproponowano dalsze rozpoznanie w kilku obszarach, częściowo w zależności od wyników obecnie realizowanego projektu.

Fluorites – current status of the Polish Geological Survey's activities and future exploration plans within the National Critical Raw Materials Exploration Program

Fluorite is included on the EU's list of critical raw materials and, due to the absence of domestic mining, is entirely imported into Poland. The status of reconnaissance and documentation of fluorite deposits in the country has remained largely unchanged for several decades. Since the 1990s, no significant exploration work has been conducted, apart from the areas of the Stanisławów barite-fluorite deposit and the small Jeżów Sudecki deposit. The need for exploration in both the main and secondary accompanying tectonic zones has been emphasized for many years. Reconnaissance activities were planned in areas characterized by, among other indicators, manifestations of fluorite mineralization, the presence of fluorite in stream sediment samples, and hydrogeochemical anomalies of the fluoride ion. In subsequent studies, the number of areas designated for exploration was gradually reduced. In the latest edition of the "Balance of Prospective Mineral Resources of Poland as of December 31, 2018", only the restart of exploitation at the Stanisławów deposit is recommended as the most promising option.

Since 2023, the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) has been implementing the task of the state geological survey entitled "Critical Raw Materials – Fluorites – Category D Documentation". This initiative results from the identification of high-priority minerals for documentation in previous years under the project "Support for the Activities of the Chief National Geologist in the implementation of the State Raw Materials Policy".

As part of the current project, a review and verification of available archival materials was conducted, including existing deposit documentation, regional studies, geological reports, and borehole profiles available in the Central Geological Archive. Based on comprehensive archival geological, geophysical, and geochemical data, two areas were selected for modern geophysical exploration. In addition to ERT/IP (electrical resistivity tomography/induced polarization) measurements, shallow seismic and gravimetric methods were verified and refined in zones showing hydrogeochemical anomalies. ERT surveys proved to be the most effective in these geological conditions, indicating the presence of low-resistivity zones interpreted as dislocation structures, which may serve as pathways for mineralization, including fluorite or barite-fluorite

mineral assemblages. To identify these zones, five directional boreholes with lengths ranging from 100 to 150 meters were designed in the Stanisławów–Pomocne area – south and southeast of the abandoned Stanisławów deposit and east of the Jeżów Sudecki deposit. Drilling work is currently in progress. Depending on the results, either deposit documentation will be prepared, or, in the absence of economically viable mineralization, alternative (“other”) documentation will be compiled.

Within the framework of the National Exploration Program for Critical Raw Materials, further exploration is planned in several areas in the coming years. The scope and prioritization of these activities will, in part, depend on the outcomes of the current project.

STANISŁAW SPECZIK^{1,2}, WŁADYSŁAW ZYGO³, TOMASZ BIEŃKO¹,
ALICJA NAPIERAŁSKA¹, KRZYSZTOF ZIELIŃSKI¹

¹ *Mozów Copper sp. z o.o.*

² *Uniwersytet Warszawski, Warszawa*

³ *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie*

Zastosowanie geologicznego modelu 3D do dokumentowania stratoidalnych złóż rud miedzi i srebra na przykładzie złoża Nowa Sól

Cyfrowe modele geologiczne stosowane są od kilku dekad, a ciągły rozwój oprogramowania pozwala na użycie coraz bardziej skomplikowanych algorytmów obliczeniowych oraz przetwarzanie coraz większych baz danych. W zależności od celu, w jakim są one tworzone, modele wykorzystane mogą być do wizualizacji budowy geologicznej, rozpoznania struktur, a w przypadku dokumentacji złóżowych do projektowania prac, szacowania zasobów czy opracowywania projektów zagospodarowania złoża.

Jedną z takich dokumentacji dotyczy nowo odkrytego złoża rud miedzi i srebra Nowa Sól, dla którego opracowano model budowy geologicznej obszaru oraz model jakościowy złoża (Gądek, Zygo 2024). Prace te wykonano w ramach przygotowywania Dodatku numer 2 do dokumentacji geologicznej, podnoszącego rozpoznanie do kategorii C1 (Speczik 2024). Model obszaru obejmuje powierzchnię około 206 km², z czego powierzchnia samego złoża to około 119 km². Powstał on na podstawie 23 głębokich otworów wiertniczych dokumentujących złożę oraz wyników interpretacji geofizycznej, wykorzystanej do modelowania tektoniki w obrębie utworów czerwonego spągowca i cyklotemu Werra (Bąk i in. 2024).

Model został wykonany przy wykorzystaniu oprogramowania MineScape 2023 firmy Datamine. Narzędzie to pozwala na budowę modeli uwzględniających warstwy o bardzo małej miąższości (do kilku cm). Dobór odpowiedniego oprogramowania jest niezwykle istotny; w tym przypadku wybrano narzędzie odpowiednie do modelowania mineralizacji zlokalizowanej w stosunkowo wąskim przedziale miąższości, przy zasięgu złoża rzędu setek kilometrów kwadratowych z tektoniką nieciągłą. Struktura modelu składa się z powierzchni stropowych i spągowych wydzieleni geologicznych, opartych na regularnych siatkach *grid*.

Kolejnym etapem była budowa modelu strefy złożowej. Bazując na wynikach analiz chemicznych oraz uwzględniając inwestorskie graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice (Zieliński 2023), wyznaczono powierzchnie stropowe i spągowe złoża. Model ten posłużył do oszacowania zasobów miedzi i srebra, co stanowiło jedną z metod pomocniczych stosowanych przy sporządzaniu dodatku do dokumentacji (Speczik 2024). Szacowanie zasobów odbyło się przez wykonanie operacji matematycznych na gridach, określających powierzchnie stropu i spągu oraz rozmieszczenie

składników użytecznych wraz z informacją o gęstości objętościowej i uskokach. Całość procesu zintegrowano w formie wewnętrznych algorytmów programu, które na każdym etapie mogą być weryfikowane przez użytkownika. Uzyskana wielkość zasobów była zbliżona do wyników obliczonych innymi metodami.

Należy zwrócić uwagę, że sporządzenie najbardziej wiarygodnego modelu cyfrowego (a szczególnie blokowego) często wymaga wielu podejść z zastosowaniem różnych wartości dla wybranych parametrów, takich jak odległość pomiędzy węzłami siatki (grid), rodzaj interpolatora czy wielkość i kształt elipsoidy zliczania danych. Istotna jest krytyczna weryfikacja wyników w oparciu o doświadczenie osób, które pracują z określonym typem złoża. Dla oprogramowania wszystkie wersje są tak samo złe/dobre, gdyż wszystkie powstają w oparciu o parametry definiowane przez operatora i/lub o ustawienia domyślne dla poszczególnych operacji. Aktywny udział doświadczonego dokumentatora pozwala odpowiednio modyfikować parametry modelu w granicach wynikających z doświadczenia danej osoby i możliwości programu.

Model złoża Nowa Sól jest również doskonałym punktem startowym do przygotowania projektu zagospodarowania, szczególnie w części górniczej. Pod tym względem jego główną zaletą, dzięki zastosowanej interpolacji, jest możliwość śledzenia przebiegu warstw skalnych oraz zmian jakości mineralizacji w dowolnym punkcie złoża, nie tylko w lokalizacjach otworów wiertniczych. Możliwe jest też kreślenie dowolnej liczby przekrojów geologicznych o dowolnych przebiegach oraz map izolinii głębokości stropu, spągu i miąższości dowolnej jednostki litostratygraficznej, a w przypadku serii miedzionośnej także map jakości rudy. Model umożliwia wizualizację i planowanie podziału złoża na bloki eksploatacyjne z uwzględnieniem wpływu uskoków. Modelowanie numeryczne obejmuje także warstwy związane z jednolitymi częściami wód podziemnych, niezbędne do przeanalizowania podczas ubiegania się o koncesję wydobywczą (uzyskanie decyzji o uwarunkowaniach środowiskowych).

Application of geological 3D modelling in documenting stratiform copper and silver ore deposits – exemplified by the Nowa Sól deposit

Digital geological models have been used for several decades, and the continuous advancement of software allows for the application of increasingly complex computational algorithms and the processing of increasingly large databases. Depending on the purpose of their generation, the models can be used to visualise geology, identify structures, and, in the case of documenting ore deposits, to plan operations, estimate resources, or prepare deposit development plans.

One such documentation involves the newly discovered Nowa Sól copper and silver ore deposit, for which a model of the geological structure of the area was prepared along with a qualitative model of the deposit (Gądek, Zygo 2024). This work was

performed as part of preparation of Addendum number 2 to its geological documentation, upgrading the category of exploration to C1 (Speczik 2024). The model of the area covers approximately 206 km², out of which the area of the deposit itself is about 119 km². It is constructed on the basis of 23 deep boreholes documenting the deposit, and the results of geophysical interpretation, applied in tectonic modelling within the sediments of the Rotliegend and the Werra cyclothem (Bak et al. 2024).

The model was generated using the MineScape 2023 software from the Datamine company. This tool allows for the construction of models including strata of very small thickness (down to several cm). Selection of proper software is extremely crucial; in this case, the selected tool is suitable for the modelling of ore located within a relatively narrow thickness interval, while the range of the deposit reaches hundreds of square kilometers and includes discontinuous tectonic features. The structure of the model consists of the top and bottom surfaces of geological units, based on regular grids.

The next step involved the modelling of the ore-bearing zone. The top and bottom surfaces of the deposit were traced on the basis of the results of chemical analyses, and by taking into account the investor's threshold values of parameters defining the deposit and its boundaries (Zieliński 2023). This model was used to estimate the copper and silver resources, which constituted one of the auxiliary methods used in the preparation of the addendum to the documentation (Speczik 2024). The estimation of resources involved the execution of mathematical operations on grids defining the top and bottom surfaces as well as the distribution of useful ore components with information about bulk density and faults. The entire process was integrated in the form of internal algorithms of the software, which can be verified by the user at any stage. The resulting amount of resources was similar to the results calculated with the use of other methods.

Note that the preparation of a most credible digital model (particularly block-based) often requires several attempts using various values of selected parameters, such as the distance between grid nodes, the type of interpolator, or the size and shape of the data counting ellipsoid. It is crucial to carefully review the results based on the experience of individuals who work with a specific type of deposits. For the software, all versions are equally bad/good, since all are based on parameters defined by the operator and/or default settings for specific operations. Active participation of an experienced documenter allows for proper modification of parameters of the model within boundaries set by their experience and capabilities of the software.

The model of the Nowa Sól deposit is also a perfect starting point for the preparation of a development plan, especially in its mining part. In that regard, due to the applied interpolation, its main advantage is the ability to trace the rock strata and changes in ore quality in any location within the deposit, not limited to the locations of boreholes. It is also possible to draw any number of geological cross-sections in any direction as well as contour maps showing the depth of the top and bottom and the thickness of any lithostratigraphic unit, along with ore quality maps of the copper-bearing series. The model enables visualisation and planning of the division of the deposit into mining

blocks, taking into account the impact of faults. Numerical modelling also includes strata related to uniform parts of groundwaters, necessary to analyse when applying for a mining licence (obtaining a decision on environmental conditions).

Literatura/References

- Bąk et al. 2024 – Bąk T., Jóźwiak W., Kiersnowski H., Pepel A., Żuk Z. 2024. Opracowanie mapy tektonicznej złoża Nowa Sól. S-Systems sp. z o.o. na zlecenie Zielona Góra Copper Sp. z o.o. (mat. niepubl.).
- Gądek A., Zygo W. 2024. Złoże Nowa Sól – przestrzenny model geologiczno-złożowy na potrzeby Projektu zagospodarowania złoża. S-Systems sp. z o.o. na zlecenie Zielona Góra Copper sp. z o.o. (mat. niepubl.).
- Speczik S. 2024. Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi i srebra Nowa Sól. Zielona Góra Copper sp. z o.o., Warszawa.
- Zieliński K. 2023. Rola kryteriów inwestorskich w zagospodarowaniu głębokich złóż rud miedzi. [W]: Professor Stanisław Speczik. Wiedza i pasja. Monografia naukowa: Zagadnienia polimetalicznych złóż miedzi w Polsce (red. K. Szamałek, K. Galos). Wydawnictwo IGSMiE PAN, pp. 299–305.

Rynek węgla energetycznego w 2025 roku

W pracy zaprezentowano ceny węgla energetycznego, jakie notowano na międzynarodowych rynkach spot, jak również na rynku krajowym w okresie od stycznia do czerwca 2025 r.

Po zaburzeniach wywołanych atakiem Rosji na Ukrainę w 2022 r., w efekcie którego ceny w wielu krajach znacznie przekroczyły 400 USD/tonę oraz nastąpiła reorganizacja rynku, kolejne lata przyniosły spadek cen węgla. Warunki rynkowe zaczęły się normalizować, co wpłynęło na poprawę równowagi popytu i podaży. Pierwszy kwartał 2025 r. cechował się większą stabilnością, a rynki węgla wykazywały mniejsze wahania w porównaniu z poprzednimi latami. Malejący popyt w Europie wraz z nadwyżkami zapasów w Chinach i Indiach przyczynił się do spadku cen.

Pod koniec drugiego kwartału 2025 r. ceny węgla energetycznego znalazły się w trendzie wzrostowym, wspierane: (1) eskalacją konfliktu Iran – Irak (przy militarnym zaangażowaniu USA) na Bliskim Wschodzie, (2) perspektywą ekstremalnych upałów w Europie oraz stosunkowo niskimi stanami zapasów węgla w portach ARA (spadek z 4,2 mln ton w styczniu 2025 r. do 3,2 mln ton w czerwcu 2025 r.), (3) ograniczeniami podaży węgla południowoafrykańskiego (problemy natury logistycznej – wstrzymanie ruchu kolejowego: kradzieże trakcji, wykoślenie pociągu), (4) zakłóceniami w logistyce dostaw do portów australijskich (Hunter Valey), (5) wzrostem popytu ze strony tradycyjnych azjatyckich nabywców. W styczniu 2025 r. średnia miesięczna cena węgla energetycznego w portach ARA wynosiła 110 USD/tonę, natomiast w maju zmniejszyła się o 5 dolarów, a w czerwcu wzrosła do poziomu 104 USD/tonę. W przypadku rynku azjatyckiego – w stosunku do stycznia 2025 r. – średnia miesięczna cena węgla australijskiego notowana w porcie Newcastle (6000 kcal/kg) spadła aż o 10 dolarów i w czerwcu wynosiła 107 USD/tonę.

Po sześciu miesiącach 2025 r. import węgla energetycznego do Polski wyniósł 2,5 mln ton i był o 2% niższy w stosunku do roku poprzedniego. Polska sprowadzała węgiel energetyczny głównie z Kazachstanu (64%) i Kolumbii (31%). Na rynku krajowym średnie miesięczne ceny importowanego węgla energetycznego spadły z 24,7 zł/GJ w styczniu 2025 r. do 16,9 zł/GJ w kwietniu 2025 r. W czerwcu 2025 r. cena ta wzrosła do 18,6 zł. Polski indeks węgla energetycznego PSCMI_1 (w sprzedaży dla energetyki zawodowej i przemysłowej) zmieniał się w zakresie od 15,95 zł/GJ (czerwiec 2025 r.) do 16,78 zł/GJ (luty 2025 r.). Notowania drugiego polskiego indeksu PSCMI_2 (w sprzedaży dla ciepłowni przemysłowych i komunalnych) wahały się w granicach od 19,70 zł/GJ (czerwiec 2025 r.) do 21,01 zł/GJ (styczeń 2025 r.). Krajowe wydobycie

węgla energetycznego w Polsce w pierwszej połowie 2025 r. wyniosło 14,6 mln ton i było niższe (r/r) o 1,6 mln ton.

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

Steam coal market in 2025

The paper presents the prices of steam coal prevailing on international spot markets as well as on the Polish domestic market in the January-June 2025.

Following the disturbances caused by Russia's attack on Ukraine in 2022, which resulted in prices in many countries significantly exceeding USD 400/tonne, and the need to reorganize the market, the following years saw a decline in coal prices. Market conditions began to normalize, which improved the balance between supply and demand.

The first quarter of 2025 was characterized by increasing stability, with coal markets showing less volatility compared to previous years. Falling demand in Europe, combined with surplus stocks in China and India, contributed to price declines. At the end of the second quarter of 2025, steam coal prices were on an upward trend, supported by: (1) the escalation of the conflict Iran – Iraq (with the US military involvement) in the Middle East, (2) the prospect of extreme heat in Europe and relatively low coal stocks in ARA ports (a decline from 4.2 million tons in January 2025 to 3.2 million tons in June 2025), (3) restrictions on the supply of South African coal (logistical problems – suspension of rail traffic: theft of traction, train derailment), (4) disruptions in logistics to Australian ports (Hunter Valley), (5) increased demand from traditional Asian buyers. In January 2025, the average monthly price of steam coal in the ARA ports was USD 110/tonne, falling by USD 5/tonne in May and rising to USD 104/tonne in June. In the Asian market, compared to January 2025, the average monthly prices of Australian coal listed in the port of Newcastle (6,000 kcal/kg) fell by as much as USD 10/tonne and amounted to USD 107/tonne in June.

After six months of 2025, imports of steam coal to Poland amounted to 2.5 million tonnes, which was 2% lower than in the previous year. Poland imported steam coal mainly from Kazakhstan (64%) and Colombia (31%). On the domestic market, the average monthly prices of imported steam coal fell from PLN 24.7/GJ (in January 2025) to PLN 16.9/GJ in April 2025. In June 2025, this price rose to PLN 18.6/GJ. The Polish steam coal index PSCMI_1 (sold to commercial and industrial power plants) ranged from PLN 15.95/GJ (June 2025) to PLN 16.78/GJ (February 2025). The quotations of the second Polish index, PSCMI_2 (sold to industrial and municipal heating plants), ranged from

PLN 19.70/GJ (June 2025) and PLN 21.01/GJ (January 2025). Polish domestic steam coal production in the first half of 2025 amounted to 14.6 million tonnes, which was lower (y/y) by 1.6 million tons.

Publication prepared within the statutory research of The Mineral and Energy Economy Research Institute, Polish Academy of Sciences.

Poszukiwanie, rozpoznawanie i dokumentowanie złóż kopalin w dobie AI

W pracy przedstawiono aspekty wzajemnych powiązań, zależności gospodarczych, finansowych oraz innowacyjności w gospodarowaniu zasobami Ziemi, globalizacji i sztucznej inteligencji (AI). Wskazano na korzystanie z zasobów Ziemi dla potrzeb AI oraz wykazano skutki korzystania z globalizacji. Uzasadniono wzajemne powiązanie rozpoznawania złóż z OZE, energią i ryzykami zrywania łańcuchów dostaw nie tylko surowców, lecz także produktów z udziałem surowców krytycznych.

Globalna transformacja i globalnie powstające w nowych formach sieci rozpowszechniania oraz udostępniania wiedzy, technologii, surowców, energii i produktów skutkują globalnym wymuszaniem m.in. takich transformacji, jak energetyczna, zielonego ładu, informatyczna. Na tym gruncie powstaje, najpierw jako idea i przedmiot zainteresowania nauki, a następnie gospodarki – sztuczna inteligencja (AI), która staje się na naszych oczach samodzielnym zjawiskiem, aczkolwiek antropogenicznym, i tak jak globalizacja rozwijającym się już naturalnie, samodzielnie. Jednak AI, tak jak globalizacja, nie może rozwijać się bez konsumowania zasobów planety i to w szerszym materialnie i finansowo zakresie, stając się konkurentem w zapobieganiu zmianom klimatycznym.

Rozwój oparty na wiedzy i nowych technologiach istotnie przyspieszył wykorzystywanie zasobów Ziemi. Gospodarka tymi zasobami jest podstawą wszelkiej działalności. Jest też poddawana presji globalnych koncernów, jak i poszczególnych krajów. Jest też podstawą zarówno globalizacji, jak i sztucznej inteligencji. Globalizacja jako zjawisko rozwijające się samodzielnie jest jednak antropogeniczną strukturą poddaną regulacjom człowieka i powiązanym procesom funkcjonowania globalnych przepływów materialnych i niematerialnych: wiedzy i przede wszystkim łańcuchów dostaw surowców, towarów oraz energii. Zarządzanie tymi procesami w coraz większym stopniu przejmuje AI, dostosowując je do swoich potrzeb. Stabilność łańcuchów dostaw surowców krytycznych w ramach globalizacji stała się pierwszorzędna dla rozwoju i oceny korporacji. Sztuczna inteligencja jest uznana za największego konsumenta energii – to już miliardy komputerów, smartfonów, kart pamięci, serwerów, które potrzebują szczególnych surowców, turbin, paneli.

Kompleksowe spojrzenie na AI jako przemysł wydobywczy proponuje Kate Crawford (2024). Według niej współczesne systemy AI nie byłyby możliwe bez wielkoskalowej eksploatacji zasobów energetycznych i mineralnych Ziemi (naturalnych i antropogenicznych), taniej siły roboczej i dostępu do danych. Systemy AI podlegają logice kapitału, policyjnej kontroli i militaryzacji, a takie połączenie jeszcze bardziej wzmacnia

istniejące asymetrie władzy/władz. Nie zatrzymamy rozwoju, a więc nowych technologii, wymagających nowych surowców; nie zatrzymamy globalizacji, bowiem gospodarka potrzebuje surowców, a sztuczna inteligencja będzie dbać o swój rozwój, a także o dostawę surowców i utrzymanie rozwoju globalizacji.

W pracy wykazano, że od początku dostrzegano niebezpieczeństwa. W 2024 roku ukazała się publikacja „Nadchodząca fala” (Suleyman, Bhaskar 2024). Jak podnosi były dyrektor generalny Google Eric Schmidt (Kissinger i in. 2024), pozycja ta to niezwykle i obowiązkowe studium wyjątkowego momentu w historii ludzkości. Erik Brynjolfsson (Dyrektor Economy Lab w Institute for Human-Centre AI na Uniwersytecie Stanforda) stwierdza, że następna dekada będzie *najlepsza lub najgorsza w historii ludzkości*. Z kolei Jason Matheny wskazuje, iż do największych wyzwań współczesnego świata należy wypracowanie form zarządzania, które pozwolą *spożytkować korzyści płynące z rozwoju sztucznej inteligencji i biotechnologii, a zarazem uniknąć katastrofalnych zagrożeń*. Wtórzy mu Graham Allison (profesor Uniwersytetu Harvarda), który stwierdza, że *program niecierpiących zwłoki działań rządu powinny podjąć już dziś, aby ograniczyć potencjalnie najbardziej katastrofalne zastosowania tych rewolucyjnych technologii*.

Sztuczna inteligencja (AI) to ani sztuczna, ani inteligencja; to struktura materialno-techniczna z zasobem niematerialnych dóbr i wartości oraz praw, obejmująca całość udostępnianej wiedzy (zasobów informacji) lokowanych na kartach, wirtualnych serwerach, stanowiąca globalne środowisko regulowane przez programy, algorytmy, tworzone i kontrolowane przez kilka globalnych korporacji i w ich interesie (Crawford 2024).

W pracy wykazuje się m.in., że miliardy baterii i magazynów energii, będących już na globalnym rynku, to zaledwie mały ułamek liczby, jaką trzeba będzie wyprodukować. Będziemy potrzebować ogniw, aby zasiląć elektronikę użytkową, ale będziemy także potrzebować wykładniczo więcej, aby przeprowadzić transformację energetyczną, a to wymusza budowę wielkoskalowych magazynów energii, także do zasilania m.in. chłodzenia serwerowni AI (Sanderson, Rush 2020). Dane w strukturach AI lub pobierane z innych dostępnych w sieci zasobów są integrowane z algorytmami przetwarzania iteracyjnego w środowisku kompatybilnych oprogramowań (systemów) uczenia się maszynowego (ML). Algorytmy rozpoznają wzorce i wyciągają wnioski z uzupełnianych nieustannie, sukcesywnie zasobów danych. To ML, po pełnym cyklu przetwarzania danych dostępnych w zasobie AI, testuje jego efekt (cyklu), ocenia wydajność, efektywność, a wyniki stanowią jej nową wiedzę do wykorzystania w kolejnym cyklu przetwarzania.

W pracy wskazuje się, że AI i globalizacja będą dla swojego rozwoju wspierać się, stymulować rozwój eksploracji, eksploatacji, wykorzystywania zasobów Ziemi rozpoznawanych przez AI, w tym złóż i odpadów, oraz rozwój technologii wzbogacania i przetwarzania kopalin, kondensatów i koncentratów. Wzajemne powiązania to wykorzystywanie AI do poszukiwań, rozpoznawania i dokumentowania zasobów górotworu oraz wzajemne zapewnianie surowców kluczowych dla technik i technologii OZE oraz zasilania AI.

Podsumowując, można zacytować Stuarta Russela (Uniwersytet Kalifornijski w Berkeley): *plan działania na rzecz najważniejszej kwestii naszych czasów: jak utrzymać władzę nad podmiotami znacznie potężniejszymi od nas samych*. Jednak to Mustafa Suleyman zauważył w „Nadchodzącej fali” (Suleyman, Bhaskar 2024), iż nie można przeoczyć żelaznych wzorców historii, niemalże naturalnej skłonności fal technologii do ustawicznego następowania po sobie. Trzeba tu przytoczyć za tym autorem, że powstrzymywanie AI w wymiarze technicznym dotyczy w istocie tego, co pierwotnie dzieje się w laboratorium lub placówce badawczo-rozwojowej.

W celu stosowania AI w geologii i górnictwie nie trzeba zamawiać sporządzania nowych kluczowych algorytmów, programów, modeli AI, lecz można wykorzystywać narzędzia, które są już na rynku. Szereg oferowanych programów (blisko 100) nadaje się do stosowania w geologii zarówno do poszukiwań i rozpoznawania kopalin, sporządzania PRG, dokumentacji czy PZZ, jak i do projektowania wydobywania na etapie eksploatacji. To, co jest potrzebne dla dostosowywania narzędzi AI, które są na rynku, to promptowanie zestawienia brzeżnych i wytycznych dla wyszukiwania i opracowywania danych oraz piaskownice dla własnego testowania, uczenia AI, czyli wprowadzania branżowych i miejscowych danych oraz uczenia języka branży.

Aktualnie 6 podmiotów globalnych można zaliczyć do rzeczywistych, w pełnym znaczeniu dużych właścicieli LLM. Są nimi: Open AI i Microsoft (ChatGPT), Google (Gemini), Meta (Llama – Elon Musk), X AI (Grok), DeepSeek (Chiny). Na tych podstawowych modelach bazuje natomiast wielu dostawców oprogramowania i platform, które są już wykorzystywane w geologii i górnictwie. Korporacje bardzo rzadko budują swoje rozwiązania od zera. Zamiast tego korzystają z platform i usług oraz programów dostarczanych przez czołowych graczy na rynku technologicznym.

Mineral exploration, recognition, and documentation in the era of Artificial Intelligence

This paper presents the aspects of mutual interconnections, economic and financial dependencies, and innovation in the management of Earth's resources, globalization, and artificial intelligence (AI). It points out the use of Earth's resources for the needs of AI and demonstrates the links of utilizing globalization. The mutual connection between the recognition of deposits, renewable energy sources (RES), energy, and the risks of supply chain disruptions – not only for raw materials but also for products containing critical raw materials – is justified.

The global transformation and globally emerging new forms of networks for the dissemination and sharing of knowledge, technologies, raw materials, energy, and products result in a global compulsion for transformations such as the energy transition, the Green Deal, and the digital transformation. On this basis, artificial intelligence (AI)

emerges, first as an idea and a subject of scientific interest, and then of the economy. It is becoming an independent, albeit anthropogenic, phenomenon right before our eyes, and like globalization, it is developing naturally and autonomously. However, AI, just like globalization, cannot develop without consuming the Planet's resources, and it does so in a broader material and financial scope, thus becoming a competitor in the effort to prevent climate change. Development based on knowledge and new technologies has significantly accelerated the exploitation of Earth's resources. The management of these resources is the foundation of all activity. It is also subject to pressure from global corporations as well as individual countries. It is the foundation for both globalization and artificial intelligence. Globalization, as a self-developing phenomenon, is an anthropogenic structure subject to human regulations and the interconnected processes of functioning global flows, both material and immaterial: knowledge and, above all, the supply chains of raw materials, goods, and energy. The management of these processes is increasingly being taken over by AI, which adapts them to its own needs. The stability of critical raw material supply chains within globalization has become paramount for the development and valuation of corporations. Artificial intelligence is already recognized as the largest consumer of energy – billions of computers, smartphones, memory cards, and servers that require specific raw materials, turbines, and panels.

Kate Crawford (2024) proposes a comprehensive view of AI as an extractive industry. According to her, contemporary AI systems would not be possible without the large-scale exploitation of the Earth's energy and mineral resources (both natural and anthropogenic), cheap labor, and data access. AI systems are subject to the logic of capital, police control, and militarization, and this combination further reinforces existing power asymmetries. We cannot stop development, and the new technologies that require new raw materials. We cannot stop globalization, as the economy needs raw materials, and artificial intelligence will look after its own development by ensuring the supply of raw materials and maintaining the progression of globalization.

The paper demonstrates that the dangers of this development were recognized from the beginning. In 2024, the publication *The Coming Wave* (Suleyman, Bhaskar 2024) was released. Following this publication, former Google CEO Eric Schmidt (Kissinger et al. 2024) points out, that it is an extraordinary and essential study of a unique moment in human history. Erik Brynjolfsson (Director of the Economy Lab at the Stanford Institute for Human-Centered AI) states *that the next decade will be either the best or worst in human history*. Meanwhile, Jason Matheny indicates that among the greatest challenges of the modern world is the need to develop forms of governance that *allow for the utilization of benefits from the development of AI and biotechnology while avoiding catastrophic threats*. Graham Allison (professor at Harvard University) agrees, stating *that governments should take urgent action today to limit the potentially most disastrous applications of these revolutionary technologies*.

Artificial intelligence (AI) is neither artificial nor intelligent; it is a material and technical structure with a repository of intangible goods, values, and rights. It encompasses

the entirety of accessible knowledge (information resources) stored on cards and virtual servers, constituting a global environment regulated by programs and algorithms created and controlled by a few global corporations for their own interests (Crawford 2024).

The paper further demonstrates that the billions of batteries and energy storage units already on the global market are just a small fraction of the number that will need to be produced. We will need cells to power consumer electronics, but we will also need exponentially more to carry out the energy transition. This necessitates the construction of large-scale energy storage facilities, including those for cooling AI server farms (Sanderson, Rush 2020). Data within AI structures, or retrieved from other available network resources, are integrated with iterative processing algorithms in an environment of compatible machine learning (ML) software (systems). The algorithms recognize patterns and draw conclusions from the continually and successively replenished data resources. It is ML that, after a full cycle of processing the data available in the AI repository, tests the effect of the cycle, evaluates its performance and efficiency, and the results constitute its new knowledge for use in the next processing cycle.

The paper pointed out that for their mutual development, AI and globalization will support and stimulate the exploration, exploitation, and utilization of Earth's resources recognized by AI, including deposits and waste. They will also advance technologies for the enrichment and processing of minerals, condensates, and concentrates. The mutual interconnections involve using AI for prospecting, recognizing, and documenting geological resources, while also ensuring the supply of raw materials crucial for RES technology and powering AI.

As a summary, we can quote Stuart Russell (University of California, Berkeley), who noted: *a plan of action for the most important issue of our time: how to maintain power over entities vastly more powerful than ourselves*. However, Mustafa Suleyman observed in *The Coming Wave* (Suleyman, Bhaskar 2024) that one cannot overlook the iron patterns of history, the almost natural tendency for waves of technology to continuously follow one another. We must also cite this author's statement, that technically containing AI essentially concerns what happens initially in a laboratory or research and development facility.

For the application of AI in geology and mining there is no need to commission the new key algorithms, programs, or AI models. Instead, existing tools that are already on the market can be utilized. A range of programs (around 100) are suitable for use in geology for prospecting and recognizing minerals, preparing geological reports (PRG), documentation, or resource management plans (PZZ), as well as for designing extraction during the exploitation phase. What is needed to adapt these existing AI tools is prompting – the compilation of boundary conditions and guidelines for data searching and processing – and sandboxes for personal testing and training the AI. This involves inputting industry-specific and localized data and teaching the language of the industry.

Currently, six global entities can be considered true, full-fledged owners of Large Language Models (LLMs): OpenAI and Microsoft (ChatGPT), Google (Gemini), Meta

(Llama), X AI (Grok), DeepSeek (China). Many software and platform providers, already in use in geology and mining, are based on these fundamental models. Corporations very rarely build their solutions from scratch. Instead, they use platforms, software services and programmes provided by leading players in the technology market.

Literatura/References

- Crawford K. 2024. Atlas sztucznej inteligencji. Władza, pieniądze i środowisko naturalne. Kraków: Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Kissinger et al. 2024 – Kissinger H.A., Schmidt E., Huttenlocher D. 2024. Era Sztucznej Inteligencji. Warszawa: Wyd. Nowej Konfederacji.
- Sanderson H., Rush V. 2020. The winners and losers in the race to go green. Londyn: Wyd. Oneworld.
- Suleyman M., Bhaskar M. 2024. Nadchodząca fala. Sztuczna inteligencja, władza i najważniejszy dylemat ludzkości w XXI wieku. Kraków: Wyd. Szczeliny.

Wykonanie i archiwizacja cyfrowych obrazów rdzenia wiertniczego dokumentującego budowę geologiczną złoża węgla kamiennego Pniówek

Podstawowa wiedza na temat budowy geologicznej złóż węgla kamiennego pochodzi przede wszystkim z wierceń rozpoznawczo-badawczych. Wiercenia te przeważnie wykonuje się w systemie pełnego rdzeniowania. Uzyskany rdzeń wiertniczy oraz pobrane próbki geologiczne zabezpiecza się i archiwizuje zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 czerwca 2015 r. w sprawie przekazywania informacji z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych (Dz.U. 2015, poz. 903). Jednakże, zgodnie z zapisem ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981 – z późn. zm.), nie wszystkie uzyskane w wyniku wierceń rdzenie podlegają archiwizowaniu, a tym samym po ich makroskopowym opisaniu i opróbowaniu są one bezpowrotnie likwidowane. Sytuacja ta dotyczy m.in. rdzeni wiertniczych uzyskiwanych z wierceń dołowych wykonywanych w ruchu zakładu górniczego. Takie rozwiązanie prawne jest korzystne dla przedsiębiorcy prowadzącego działalność górniczą, w ramach której wykonuje się dziesiątki krótkich otworów rozpoznawczo-badawczych, w celu szczegółowego rozpoznania budowy geologicznej złoża i zaplanowania eksploatacji. Jednakże z punktu widzenia geologa dokumentującego budowę geologiczną każdy rdzeń wiertniczy jest cenny, zwłaszcza w kontekście jego rzetelnego opisu makroskopowego, który po przeprowadzeniu opróbowania i likwidacji materiału skalnego jest nie do odtworzenia.

Zachowanie cyfrowego obrazu rdzenia wiertniczego po jego opróbowaniu lub całkowitej likwidacji jest rozwiązaniem wspierającym pracę geologa przy dokumentowaniu budowy geologicznej złoża. Obraz ten uzyskuje się poprzez zastosowanie specjalistycznego skanera rdzeni wiertniczych, który umożliwia wykonanie wysokorozdzielczego obrazu rdzenia w trybie planarnym i obrotowym 360°. Cyfrowy obraz rdzenia wiertniczego pozwala m.in. na odtworzenie następstwa zalegania warstw skalnych, ich miąższości i głębokości występowania, uszczegółowienia opisu makroskopowego o widoczne na rdzeniu struktury sedimentacyjne i tektoniczne, okruszczowanie czy też pomiar kąta zapadania warstw skalnych.

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) posiada w swoich zasobach optyczny skaner rdzeni wiertniczych, dzięki któremu tworzy się cyfrowe obrazy rdzeni wiertniczych nienaruszonych opróbowaniem, pochodzących z głębokich otworów z powierzchni, jak również otworów dołowych wykonywanych dla rozpoznania złóż węgla kamiennego.

W wyniku prac prowadzonych przez PIG-PIB w ramach międzynarodowego projektu REM („Reduction of methane emissions from post mining goafs to minimise their

inflow into VAM”), realizowanego w obrębie złoża Pniówek, wykonano cyfrową archiwizację rdzenia wiertniczego przed jego opróbowaniem i bezpowrotną likwidacją. Cyfrową archiwizacją objęto rdzeń wiertniczy o długości 453,9 mb, który dokumentuje budowę geologiczną złoża w interwale głębokości od –342,8 do –801,4 m p.p.m.

Uzyskany przez PIG-PIB cyfrowy obraz rdzenia wiertniczego jest jedynym zachowanym w tej postaci materiałem archiwalnym dokumentującym budowę geologiczną złoża Pniówek. Dzięki wysokorozdzielczym obrazom wykonanym w trybie planarnym i obrotowym oraz dzięki dedykowanemu oprogramowaniu możliwe jest odtworzenie ciągłości profilu geologicznego bez konieczności fizycznego dostępu do materiału skalnego.

Cyfrowy obraz rdzenia wiertniczego stanowi nieocenioną pomoc w pracy geologa dokumentującego, zwłaszcza w przypadku konieczności weryfikacji i uszczegółowienia makroskopowego opisu rdzenia. Ponadto, poddając cyfrowe obrazy rdzenia odpowiedniej analizie, uzyskujemy dodatkowe informacje o składzie mineralnym skały czy też kierunku ułożenia ziaren mineralnych w jej strukturze. Analiza taka wymaga jednak zastosowania odpowiedniego oprogramowania. Niemniej jednak wykonanie i archiwizacja cyfrowego obrazu rdzenia wiertniczego umożliwiają szczegółowe odtworzenie profilu geologicznego i stwarzają szeroki wachlarz możliwości analitycznych, zwłaszcza w sytuacji likwidacji rdzenia wiertniczego.

Badania zostały wykonane w ramach projektu międzynarodowego pt.: „Redukcja emisji metanu ze zro-
bów poeksploatacyjnych w celu zminimalizowania jego dopływu do powietrza wentylacyjnego VAM” (akro-
nim: REM), realizowanego w ramach międzynarodowego programu Funduszu Badawczego Węgla i Stali UE
na podstawie umowy zawartej z European Research Executive Agency (REA) o nr 101099061-REM, współfi-
nansowanego ze środków budżetu państwa przez Ministerstwo Edukacji i Nauki – program „Projekty Między-
narodowe Współfinansowane”, umowa nr 5443/FBWiS/2023/2 o wykonanie projektu nr W55/FBWiS/2023.

Digital imaging and archiving of drill cores depicting the geological features of the Pniówek coal field

Basic knowledge about the geological features of coal deposits is derived primarily from exploratory and appraisal boreholes. These boreholes are typically drilled using a full coring system. The drill core and geological samples collected are secured and archived in accordance with the Regulation of the Minister of the Environment of June 9, 2015, on data submission from the ongoing reporting of geological work (Journal of Laws of 2015, item 903). However, in accordance with the Geological and Mining Law (Journal of Laws of 2011, No. 163, item 981, as amended), not all drill cores are archived, and therefore, after visual description and sampling, they are irretrievably disposed of. This applies, among others, to drill cores obtained from in-mine coreholes drilled while mining operations are carried out. Such a legal solution is beneficial

for a mining operator conducting operational activities that involve drilling dozens of short appraisal boreholes to perform a detailed geological interpretation of a coal field needed for its exploitation. However, from the perspective of a geologist, evaluating the geological structure, each drill core is valuable, especially in the context of its reliable visual description which cannot be recreated after the removal of rock material.

Digital images of drill cores, which are preserved after sampling or destruction of core material, is a solution that facilitates geologists' efforts in evaluating the geological features of a coal field. These images are obtained through the use of a specialized drill core scanner, which allows for high-resolution core imaging in planar and 360° rotational modes. Digital images of drill cores allow, among other things, for reconstructing the sequence of strata, their thickness and depth, as well as providing details for visual core description, including sedimentary and structural features, mineralization features and strata dips observed in core.

The Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) has an optical drill core scanner at its disposal, which is used for generating digital images of drill cores undisturbed by sampling that come from deep surface coreholes as well as in-mine coreholes drilled for the appraisal of coal fields.

While carried out the international REM project (Reduction of methane emissions from post-mining goafs to minimize their inflow into VAM), within the Pniówek coal field, the PGI-NRI performed digital archiving of drill cores before their sampling and irreversible disposal. The digital archiving covered 453.9-meter-long drill cores, which is related to the geological features of the coal deposit at a depth interval of –342.8 to –801.4 meters below sea level.

The digital image of drill cores obtained by the PGI-NRI is the only archival material preserved in this form, documenting the geological features of the Pniówek coal field. Owing to high-resolution images captured in planar and rotational modes, if combined with dedicated software, it is possible to perform a detailed interpretation of the penetrated lithology section without the need for physical access to the rock material.

Digital imaging of drill cores provides invaluable assistance to an evaluation geologist, especially when it comes to verifying and detailing the visual description of drill cores. Furthermore, by analyzing digital core images, we obtain additional information about the mineral composition of the rock and the orientation of mineral grains within its structure. However, such analysis requires the use of dedicated software. Nevertheless, capturing and archiving digital images of drill cores enable detailed interpretation of geological features as well as a wide range of data analyses, especially in the event of core removal.

This research was carried out as part of the international project entitled: "Reduction of methane emissions from post mining goafs to minimise their inflow into VAM" (acronym: REM), implemented under the international program of the EU Research Fund for Coal and Steel under the agreement concluded with the European Research Executive Agency (REA) no. 101099061-REM, co-financed by the Ministry of Education and Science – the program "International Co-Financed Projects" under the contract No. 5443/FBWiS/2023/2 for the implementation of the project No. W55/FBWiS/2023.

Klimat inwestycyjny w polskim sektorze mineralnym w świetle pilotażowych badań ankietowych

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) dwukrotnie przeprowadził wśród przedstawicieli sektora mineralnego ankietowe badanie klimatu inwestycyjnego dla tegoż sektora w Polsce. Celem badania była próba diagnozy czynników wpływających na warunki prowadzenia działalności gospodarczej w obszarze poszukiwania i wydobywania kopalin.

Badanie skierowano do przedsiębiorców działających w branży poszukiwawczej i wydobywczej. Pierwsza edycja ankiety została przeprowadzona w 2024 r., a druga w maju 2025 r. W 2024 r. wzięło w niej udział 50 respondentów, rok później liczba uczestników wzrosła do 200, co potwierdza rosnące zainteresowanie oraz większe zaangażowanie przedstawicieli sektora.

Respondenci oceniali wpływ dziesięciu czynników na możliwość podejmowania i prowadzenia działalności w sektorze mineralnym. Ocen dokonywano w sześciostopniowej skali: bardzo źle, źle, średnio, dobrze, bardzo dobrze, nie mam zdania. W obu edycjach ankiety przedsiębiorcy jako najbardziej problematyczne wskazywali kwestie związane z nadmiarem regulacji, niejasnością przepisów oraz niestabilnością prawa. Te elementy postrzegane były jako czynniki najmocniej utrudniające prowadzenie działalności. Najwyższe pozytywne oceny uzyskały aspekty związane z transparentnością i rzetelnością partnerów biznesowych, dostępnością nowoczesnych technologii, maszyn i urządzeń specjalistycznych, a także z warunkami rynków zbytu. Wskazuje to, że mimo istniejących barier prawnych i administracyjnych sektor mineralny w Polsce funkcjonuje w środowisku sprzyjającym rozwojowi technologicznemu i współpracy gospodarczej.

Porównanie wyników obu badań ankietowych pokazuje, że ogólna ocena większości czynników pozostała zbliżona. Zauważalne zmniejszenie odsetka negatywnych ocen dotyczyło procedur administracyjnych oraz przepisów z zakresu ochrony środowiska. Natomiast wzrost pozytywnych opinii zanotowano w aspektach dostępności technologii oraz wiarygodności partnerów biznesowych, co można interpretować jako przejaw stopniowego dojrzewania rynku i jego większej stabilności.

Cykliczne badanie klimatu inwestycyjnego w sektorze mineralnym, prowadzone przez PIG-PIB, dostarcza cennych informacji o barierach i potencjale rozwojowym branży. Uzyskane dane stanowią ważne źródło wiedzy zarówno dla administracji publicznej, jak i dla środowiska akademickiego, instytucji finansujących działalność górniczą oraz inwestorów zainteresowanych rozwojem sektora surowcowego w Polsce.

The investment climate in Poland's mineral sector: Insights from pilot survey research

The Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI) as state geological survey has conducted a pilot study of the investment climate in the Polish mineral sector. The questions in the survey were addressed to representatives of the industry. The aim of the study was to identify and analyze the factors influencing the conditions for conducting business activity in the area of mineral exploration and extraction.

The survey was addressed to entrepreneurs operating in the exploration and mining industry. The first edition of the survey was carried out in 2024, and the second in May 2025. In 2024, the study included 50 respondents, while in the following year the number of participants increased to 200, confirming growing interest and greater engagement of industry representatives.

Respondents assessed the impact of nineteen factors on the ability to start and conduct business activities in the mineral sector. The evaluation was made on a six-point scale: very poor, poor, average, good, very good, no opinion. In both editions of the survey, entrepreneurs identified excessive regulations, unclear legal provisions, and legislative instability as the most problematic issues. These factors were perceived as the main obstacles to business activity. The highest positive ratings were given to aspects related to the transparency and reliability of business partners, the availability of modern technologies, machinery and specialized equipment, as well as market conditions. This indicates that, despite existing legal and administrative barriers, the mineral sector in Poland operates in an environment conducive to technological development and economic cooperation. A comparison of the results of both surveys shows that the overall assessment of most factors remained similar. A noticeable decrease in the percentage of negative evaluations concerned administrative procedures and environmental protection regulations. At the same time, an increase in positive opinions was recorded in aspects such as the availability of technology and the credibility of business partners, which can be interpreted as evidence of the gradual maturation and growing stability of the market.

The cyclical study of the investment climate in the mineral sector, conducted by PGI-NRI, provides valuable information on the barriers and development potential of the industry. The data obtained constitute an important source of knowledge for public administration, the academic community, financial institutions supporting mining activities, and investors interested in the development of the raw materials sector in Poland.

BADANIE KLIMATU INWESTYCYJNEGO DLA ROZWOJU SEKTORA MINERALNEGO W POLSCE

JAK OCENIAJĄ PAŃSTWO WPŁYW PONIŻSZYCH CZYNNIKÓW NA PODJĘCIE I
PROWADZENIE SWOJEJ DZIAŁALNOŚCI?



Górny wykres przedstawia rok 2025, dolny przedstawia rok 2024.



MAGDALENA SZUMERA¹, ANNA BEREZICKA¹, SEBASTIAN PREWENDOWSKI¹,
WOJCIECH PANNA², KINGA KOWALSKA¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

² Akademia Tarnowska, Tarnów

Potencjał nawozowy wybranych surowców mineralnych bogatych w krzem, potas, magnez i wapń

Współczesne rolnictwo, ukierunkowane na zrównoważoną intensyfikację produkcji, wymaga stałego dostępu do nawozów mineralnych zawierających kluczowe makroelementy: krzem (Si), fosfor (P), potas (K), magnez (Mg) i wapń (Ca). Polska, choć w dużej mierze zależna od importu, zwłaszcza fosforytów i soli potasowych, dysponuje rozpoznanymi lub potencjalnymi krajowymi zasobami tych składników, które mogą stanowić alternatywne źródła nawozów. W opracowaniu przedstawiono aktualny stan eksploatacji oraz możliwości zagospodarowania krajowych złóż tych pierwiastków w kontekście agrotechnicznym i bezpieczeństwa surowcowego (MKiŚ).

Krzem: głównym jego źródłem są piaski kwarcowe o zawartości $\text{SiO}_2 > 95\%$, eksploatowane w celu wykorzystania przemysłowego (np. Biała Góra, Grzybów, Rejowiec, Osiek, Nowe Miasto Lubawskie) (Bilans... 2024). Choć nie są tradycyjnym komponentem nawozów, piaski te zyskują znaczenie dzięki badaniom nad ich wpływem na odporność roślin na stresy abiotyczne i biotyczne (Ma 2004). Dodatkowe źródła stanowią mineralne piaski ciężkie z dna Bałtyku (ławice Słupska i Odrzana), zawierające ilmenit, rutyl, cyrkon i granaty – bogate w Si, Ca i Mg. Według danych PIG-PIB potencjał ilmenitu w tych osadach wynosi nawet 40 kg/t piasku (Bilans... 2024).

Fosfor: Polska nie posiada obecnie czynnych kopalń fosforytów. Dawna eksploatacja (Annopol, Chałupki) została zaniechana z uwagi na niską jakość kopaliny i nieopłacalność produkcji. Krajowe zapotrzebowanie pokrywane jest niemal w całości importem surowców z Maroka, Tunezji i Rosji, przetwarzanych przez Grupę Azoty Police SA (Grupa Azoty...). Zasoby krajowe uznaje się za perspektywiczne – rozwój technologii wzbogacania może przywrócić ich znaczenie. Alternatywne źródła fosforu to popioły pofermentacyjne, osady ściekowe i struwit, którego odzysk wpisuje się w gospodarkę o obiegu zamkniętym (Ciesielczuk i in. 2025).

Potas i magnez: złoża soli potasowo-magnezowych występują w rejonie Pucka i Mieroszyna. Szacuje się, że zawierają ponad 3,5 mld ton zasobów geologicznych, z czego ponad 35 mln ton może stanowić K_2O (Sprawozdania środowiskowe...). Trwają prace poszukiwawcze (prowadzone przez KGHM Polska Miedź SA), zaś nowoczesne metody ługowania podziemnego mogą zapewnić opłacalność wydobywania. Magnez pozyskiwany jest także z dolomitów i margli eksploatowanych m.in. w Radkowicach, Czatkowicach

i Rędzinach – surowce te trafiają do produkcji nawozów wapniowo-magnezowych (Bilans... 2024).

Wapń: pozyskiwany jest głównie z wapieni dewońskich i triasowych eksploatowanych m.in. przez Holcim Polska SA (dawny Lafarge Kruszywa i Cement SA), Nordkalk sp. z o.o., Górnicze Zakłady Dolomitowe SA oraz Cementownię Ożarów (Bilans... 2024). Wysokiej jakości źródłem Ca są także desulfogipsy – uboczne produkty odsiarczania spalin w elektrowniach węglowych (m.in. Bełchatów, Kozienice), stosowane po oczyszczeniu jako składniki nawozów wapniowych.

Polska dysponuje wartościowymi, choć rozproszonymi, zasobami surowców zawierających pierwiastki nawozowe. Szczególny potencjał wykazują piaski krzemionkowe (Si), dolomity i desulfogipsy (Ca, Mg) oraz sole potasowo-magnezowe (K, Mg). Z uwagi na strategiczne znaczenie tych pierwiastków dla rolnictwa konieczne są rozwijanie technologii ich pozyskiwania, poprawa biodostępności i efektywności przetwórstwa. Racjonalne gospodarowanie tymi zasobami może przyczynić się do poprawy suwerenności surowcowej i rozwoju krajowego rynku nawozów specjalistycznych.

Praca została sfinansowana w ramach Projektu badawczego finansowanego ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza” w AGH (nr 9785).

Fertilizing potential of selected mineral raw materials rich in silicon, potassium, magnesium and calcium

Modern agriculture, aimed at sustainable intensification of production, requires a continuous supply of mineral fertilizers containing key macronutrients: silicon (Si), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg), and calcium (Ca). Although Poland is largely dependent on imports, particularly of phosphorites and potash salts, it possesses identified or potential domestic resources of these elements, which could serve as alternative fertilizer sources. This study presents the current status of exploitation and evaluates the potential for agricultural utilization of national deposits of these elements in the context of agrochemical performance and raw material security (MKiŚ).

Silicon: The main source is quartz sands with SiO₂ content exceeding 95%, exploited for industrial purposes (e.g., Biała Góra, Grzybów, Rejowiec, Osiek, Nowe Miasto Lubawskie) (Bilans... 2024). Although not traditionally used as a fertilizer component, these sands are gaining importance due to research highlighting their role in enhancing plant resistance to abiotic and biotic stresses (Ma 2004). Additional sources include heavy mineral sands from the Baltic Sea floor (Słupsk and Odra shoals), which contain ilmenite, rutile, zircon, and garnet, i.e. minerals rich in Si, Ca, and Mg. According to PGI-NRI data, the ilmenite potential in these sediments reaches up to 40 kg per tonne of sand (Bilans... 2024).

Phosphorus: Poland currently has no active phosphorite mines. Former mining operations (Annopol, Chałupki) were abandoned due to the low quality and poor economic viability of the raw material production. Domestic demand is now met almost entirely by imports of raw materials from Morocco, Tunisia, and Russia, which are processed by Grupa Azoty Police SA (Grupa Azoty...). National resources are considered prospective, and advancements in beneficiation technologies may restore their relevance. Alternative sources of phosphorus include post-digestion ash, sewage sludge, and struvite, whose recovery aligns with circular economy principles (Ciesielczuk et al. 2025).

Potassium and magnesium: Potassium-magnesium salt deposits are located primarily in the Puck and Mieroszyn areas. These deposits are estimated to contain over 3.5 billion tonnes of geological resources, including more than 35 million tonnes of K_2O (Sprawozdania środowiskowe...). Exploration work is currently being carried out by KGHM Polska Miedź SA, and modern underground leaching methods may ensure the economic viability of future extraction. Magnesium is also obtained from dolomites and marls mined in locations such as Radkowice, Czatkowice, and Rędziny – raw materials that are processed into calcium-magnesium fertilizers (Bilans... 2024).

Calcium: Calcium is primarily obtained from Devonian and Triassic limestones exploited by companies such as Holcim Polska SA (formerly Lafarge Kruszywa i Cement SA), Nordkalk Ltd., Górnicze Zakłady Dolomitowe SA, and Cementownia Ożarów (Bilans... 2024). High-quality sources of Ca also include desulphogypsum, being by-product of flue gas desulphurization in coal-fired power plants (e.g., Bełchatów, Kozienice), which, after purification, are used as components in calcium fertilizers.

Poland possesses valuable, albeit dispersed, resources of raw materials containing essential plant nutrients. Particularly promising are silica sands (Si), dolomites and desulphogypsum (Ca, Mg), and potassium–magnesium salts (K, Mg). Given the strategic importance of these elements for agriculture, it is necessary to develop extraction technologies, enhance their bioavailability, and improve processing efficiency. The rational management of these resources could significantly contribute to improving raw material sovereignty and advancing the domestic market for specialized mineral fertilizers.

This work was financed by the “Excellence Initiative – research university” program for the AGH University of Krakow (nr 9785).

Literatura/References

- Bilans... 2024. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2023, 2024. Warszawa: PIG-PIB.
- Ciesielczuk et al. 2025 – Ciesielczuk T., Głowacki M., Rosik-Dulewska Cz., Poluszyńska J. 2025. Extraction of heavy metals and phosphorus from sewage sludge ashes. *Journal of Ecological Engineering* 26(7), 185–195, DOI: 10.12911/22998993/202871.
- Czapowski et al. 2020 – Czapowski G., Bukowski K., Mazurek S. 2020. Sól kamienna (rock salt, salt, halites), sole potasowo-magnezowe (potash salts, potassium salts, potassium-magnesium salts). [W:] Bilans

perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r. (red. Szamałek K., Szuflicki M., Mizerski W.), 218–232, Warszawa: PIG-PIB.

Grupa Azoty... Grupa Azoty Zakłady Chemiczne Police SA, raporty roczne.

Ma J.F. 2004. Role of Silicon in Enhancing the Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. Soil Science and Plant Nutrition, DOI: 10.1080/00380768.2004.10408447.

MKiŚ. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Polityka Surowcowa Państwa.

Sprawozdania środowiskowe: Lafarge/Holcim, Nordkalk, Cementownia Ożarów.

Od badań regionalnych do eksploracji perspektywicznej – zawansowanie programu badań siarczków masywnych na Grzbiecie Śródatlantyckim

Polska od wielu lat angażuje się w badania oceaniczne związane z poszukiwaniem i rozpoznaniem morskich złóż minerałów metalicznych. Początkowo działania koncentrowały się na koncentracjach polimetalicznych w strefie Clarion-Clipperton na Pacyfiku. Strategia przyjęta w ramach rządowego Programu Rozpoznania Geologicznego Oceanów (PRoGeO) rozszerzyła zakres badań o naskorupienia kobaltonośne oraz polimetaliczne siarczki masywne (SMS, ang. *seafloor massive sulphides*). W 2018 r. Polska podpisała kontrakt z Międzynarodową Organizacją Dna Morskiego (MODM, ang. International Seabed Authority – ISA) dotyczący poszukiwania i rozpoznania polimetalicznych siarczków masywnych w obrębie Grzbietu Śródatlantyckiego (MAR, ang. Mid-Atlantic Ridge). Kontrakt, realizowany przez Państwowy Instytut Geologiczny – PIB (PIG-PIB), ustanowił ramy dla piętnastoletnich badań środowiskowych i rozwoju technologii, wzmacniających krajowe zdolności prowadzenia badań głębokomorskich.

Grzbiet Śródatlantycki należy do najbardziej obiecujących obszarów występowania siarczków masywnych. Wolne tempo rozrostu skorupy oceanicznej sprzyja bowiem długotrwałej aktywności hydrotermalnej – mechanizmowi prowadzącemu do powstawania i akumulacji złóż. Największy potencjał wiąże się z oceanicznymi kompleksami rdzeniowymi (OCC, ang. *oceanic core complexes*), czyli wyniesionymi fragmentami dolnej skorupy i płaszcza w segmentach akrecji asymetrycznej, natomiast mniejsze złoża mogą powstawać w środowiskach bazaltowych. Polski obszar kontraktowy obejmuje 100 bloków badawczych (10×10 km), pogrupowanych w pięć klastrów (A-E), o łącznej powierzchni $10\,000\text{ km}^2$ (rys. 1).

W 2022 r. przeprowadzono pierwszy rejs badawczy, który dostarczył danych batymetrycznych (o rozdzielczości 30–50 m) i środowiskowych, umożliwiając identyfikację kluczowych struktur dna morskiego oraz miejsc sprzyjających występowaniu aktywności hydrotermalnej. Po raz pierwszy zebrano także polskie dane z pól hydrotermalnych Broken Spur i Lost City. Analiza morfologii potwierdziła odkrycie nowych obszarów OCC, wcześniej zidentyfikowanych w oparciu o modele batymetryczne. Pozyskane dane pozwoliły na wyznaczenie dziewiętnastu obszarów potencjalnie perspektywicznych (PP). W 2023 r. badania skoncentrowano na trzech pierwszych obszarach zlokalizowanych w klastrze A: obszarze OCC, osiowym grzbiecie wulkanicznym (AVR, ang. *axial volcanic ridge*) oraz flance grzbietu śródoceanicznego o łącznej powierzchni 230 km^2 . Do badań użyto autonomicznego pojazdu podwodnego (AUV, ang. *autonomous underwater*

vehicle), którego misje dostarczyły unikatowych danych obejmujących wysokorozdzielczą batymetrię (0,25–1 m), obrazy sonarowe SAS (ang. *synthetic aperture sonar*, 3–5 cm), a także pomiary geofizyczne i środowiskowe, w tym własny potencjał elektryczny (SP, ang. *self-potential*), anomalie magnetyczne oraz dane kolumny wody (WCD, ang. *water column data*). Wyniki pozwoliły na identyfikację form dna bezpośrednio związanych z aktywnością hydrotermalną i mineralizacją siarczków masywnych – od nieaktywnych pól hydrotermalnych i kopców siarczkowych po aktywne kominy. Struktury hydrotermalne odkryto we wszystkich badanych obszarach potencjalnie perspektywicznych, co wskazuje, że ich występowanie jest powszechniejsze, niż wcześniej zakładano.

Odkryte lokalizacje będą poddane dalszej weryfikacji podczas ekspedycji planowanej na 2026 r., z wykorzystaniem zdalnie sterowanego pojazdu podwodnego (ROV, ang. *remotely operated vehicle*). Współpraca z hiszpańską służbą geologiczną (IGME, Instituto Geológico y Minero de España) oraz portugalskim EMEPC (Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental) umożliwi przeprowadzenie bezpośrednich obserwacji i pobór próbek siarczków masywnych oraz kominów hydrotermalnych. Na 2027 r. zaplanowano kolejne prace z wykorzystaniem AUV w klastrze E, które powinny dostarczyć kolejnych odkryć. Jest to szczególnie istotne w kontekście konieczności zwrotu 50% obszaru kontraktowego w 2028 r., zgodnie z zapisami kontraktu z MODM. Badania te będą szeroko uzupełniane badaniami środowiskowymi, wpisującymi się w potrzeby społeczności międzynarodowej w zakresie poszerzania wiedzy o ekosystemach głębokomorskich.

Program badań polimetalicznych siarczków masywnych na Grzbiecie Śródatlantycznym przeszedł w krótkim czasie od etapu rozpoznania regionalnego do szczegółowej eksploracji perspektywicznej. Uzyskane wyniki potwierdzają znaczący potencjał polskiego obszaru kontraktowego i stanowią podstawę do dalszych działań badawczych, technologicznych i środowiskowych realizowanych we współpracy międzynarodowej.

From regional-scale investigations to prospective exploration – advancing the seafloor massive sulphides research programme on the Mid-Atlantic Ridge

For many years, Poland has been engaged in ocean research related to the exploration and assessment of marine metallic mineral deposits. Initially, activities focused on polymetallic nodules in the Clarion-Clipperton Zone in the Pacific Ocean. The strategy adopted under the governmental Polish Ocean Geological Exploration Programme (PRoGeO) expanded the scope of research to include cobalt-rich crusts and seafloor massive sulphides (SMS). In 2018, Poland signed a contract with the International Seabed Authority (ISA) for the exploration of seafloor massive sulphides within the Mid-Atlantic Ridge (MAR). The contract, implemented by the Polish Geological Institute – National Research Institute (PGI-NRI), established a framework for fifteen years of

environmental research and technology development, strengthening national capabilities for deep-sea studies.

The Mid-Atlantic Ridge is among the most promising regions for the occurrence of seafloor massive sulphides. The slow spreading rate of the oceanic crust favours long-lasting hydrothermal activity – the mechanism responsible for the formation and accumulation of deposits. The greatest potential is associated with oceanic core complexes (OCC), i.e. uplifted portions of lower crust and mantle rocks within asymmetric accretion segments, while smaller deposits may occur in basaltic environments. The Polish contract area consists of 100 exploration blocks (10 × 10 km each), grouped into five clusters (A–E), with a total area of 10,000 km² (fig. 1).

In 2022, the first research cruise was conducted, which provided bathymetric data (30–50 m resolution) and environmental measurements, enabling the identification of key seafloor structures and areas favourable for hydrothermal activity. For the first time, Polish data were collected from the Broken Spur and Lost City hydrothermal fields. Morphological analysis also confirmed the discovery of new oceanic core complexes (OCC), previously identified from bathymetric models. The acquired data enabled the delineation of nineteen potentially prospective (PP) areas. In 2023, investigations focused on the first three areas located in Cluster A: an OCC, an axial volcanic ridge (AVR), and a mid-ocean ridge flank, covering a total of 230 km².

An autonomous underwater vehicle (AUV) was deployed, providing a unique dataset including high-resolution bathymetry (0.25–1 m), synthetic aperture sonar (SAS) imagery (3–5 cm), as well as geophysical and environmental measurements, including self-potential (SP), magnetic anomalies, and water column data (WCD). These results enabled the identification of seabed features directly linked to hydrothermal activity and SMS mineralization – from inactive hydrothermal fields and sulphide mounds to active chimneys. Hydrothermal structures were discovered in all investigated potentially prospective areas, indicating that their occurrence is more widespread than previously assumed.

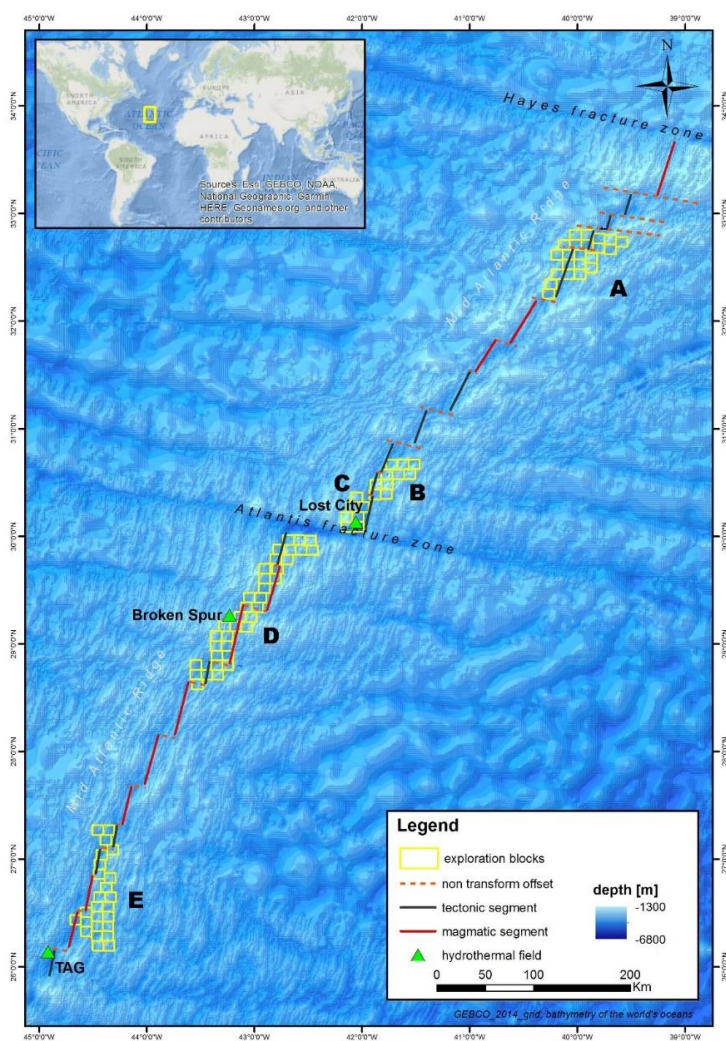
The discovered sites will be subjected to further verification during an expedition planned for 2026, using a remotely operated vehicle (ROV). Cooperation with the Spanish Geological Survey (IGME, Instituto Geológico y Minero de España) and the Portuguese EMEPC (Estrutura de Missão para a Extensão da Plataforma Continental) will enable direct observations and sampling of seafloor massive sulphides and hydrothermal chimneys. In 2027, further AUV operations are planned in Cluster E, which are expected to provide additional discoveries. This is particularly important in view of the contractual requirement to relinquish 50% of the exploration area in 2028, in accordance with the ISA contract. These studies will be complemented by wide-ranging environmental research, addressing the needs of the international community in expanding knowledge of deep-sea ecosystems.

The Polish seafloor massive sulphide research programme on the Mid-Atlantic Ridge has, in a short time, advanced from regional reconnaissance to detailed prospective exploration. The results confirm the significant potential of the Polish contract area and

provide the foundation for further research, technological development, and environmental studies, conducted in international cooperation.

Literatura/References

Ellefmo et al. 2019 – Ellefmo S.L., Søreide F., Cherkashov G., Juliani C., Panthi K.K., Petukhov S. i in. 2019. Quantifying the unknown. Cappelen Damm Akademiske.



Rys. 1. Polski obszar badawczy na Grzbiecie Śródatlantyckim objęty kontraktem z Międzynarodową Organizacją Dna Morskiego

Fig. 1. The Polish exploration area on the Mid-Atlantic Ridge under contract with the International Seabed Authority

Chiński kapitał w afrykańskim sektorze mineralnym w XXI wieku: skala, strategię i skutki

Chińska Republika Ludowa (ChRL) w czasie ostatniego ćwierćwiecza stała się ważnym inwestorem w afrykański sektor mineralny. Chiny za pomocą przedsiębiorstw należących do skarbu państwa od początku XXI w. przeprowadziły liczne bezpośrednie inwestycje zagraniczne (BIZ) w krajach afrykańskich. Zgodnie z badaniami w 2011 r. już 29,2% całego kapitału zainwestowanego w ten sposób przez ChRL w Afryce skupiało się w sektorze surowcowym. Wskazuje to jednoznacznie na umiejscowienie chińskich BIZów w kategorii resource-seeking wg klasyfikacji Dunninga. Ważna jest też dynamika wzrostu nakładów inwestycyjnych. Do roku 2000 ChRL nie podejmowała żadnych działań inwestycyjnych w Afryce, w roku 2003 inwestycje warte były już 73 mln USD, a w 2018 r. kwota zainwestowanego kapitału równała się 5,4 mld USD. Mimo iż Afryka przyjmuje jedynie 3,56% światowych napływów kapitałowych, to istotność branży górniczej, która jest głównym odbiorcą płynącego na kontynent kapitału, zmusza nas do nadania tym inwestycjom większej rangi. Przejmowanie kolejnych afrykańskich zakładów górniczych oraz budowanie nowych przez spółki o chińskim kapitale stanowi wyzwanie dla globalnego bezpieczeństwa surowcowego. Chiny, będące już głównym producentem m.in. pierwiastków ziem rzadkich, poszerzają swoją bazę zasobową o afrykańskie złoża, co może prowadzić do monopolizacji wydobycia kolejnych kopalin. Dodatkowo chińskie działania inwestycyjne mają niejednokrotnie charakter niezgodny z porządkiem prawnym krajów przyjmujących, co prowadzi do wzrastania napięć w regionie.

Kluczem do zrozumienia sukcesu kapitału chińskiego na afrykańskim rynku jest obserwacja wydarzeń, które poprzedził kryzys finansowy z 2008 r. Ze względu na trudną sytuację wiele zachodnich funduszy inwestycyjnych pozostawiło swoje rozpoczęte projekty w Afryce. Takie działanie obniżyło zaufanie do inwestorów pochodzących z USA i Europy. Sytuację tę wykorzystali państwowi inwestorzy chińscy, którzy nie dość, że okazali się pewniejsi w czasach kryzysu finansowego, to oferowali wraz z inwestycjami w sektor górniczy finansowanie dla projektów pożytku publicznego, takich jak drogi, linie kolejowe czy elektrownie.

Zasadniczym celem prezentowanej pracy było zbadanie trendów, jakie w ciągu 25 lat dało się zauważyć w inwestycjach typu BIZ w afrykański sektor surowcowy. Opracowanie zostało przygotowane na podstawie ogólnodostępnych danych statystycznych publikowanych przez agencje rządowe oraz podmioty prywatne. Porównanie wielkości

inwestycji w poszczególnych krajach afrykańskich oraz ich ocena w ramach czterech podstawowych kategorii opisujących motywację do ekspansji zagranicznej (czynniki rynkowe, kosztowe, zaopatrzeniowe i polityczno-społeczne) umożliwiły systematyczne przedstawienie prognoz dotyczących dalszego rozwoju inwestycji chińskich BIZów w afrykański przemysł surowcowy oraz ich wpływu na rynek globalny.

Chinese capital in the African mineral sector in the XXI century: scale, strategies and effects

Over the last 25 years, the People's Republic of China (PRC) has become a major investor in Africa's mineral sector. Since the beginning of the 21st century, the Chinese government has encouraged state-owned enterprises to make numerous foreign direct investments (FDI) in African countries. According to research, 29.2% of all capital invested by the PRC in Africa in this particular way in 2011 was concentrated in the raw materials sector. This clearly indicates that Chinese FDI falls into the, resource-seeking' category, according to Dunning's classification. The dynamics of investment growth are also important. Until 2000, the PRC did not undertake any investment activities in Africa. However, by 2003, investments were already worth USD 73 million. In 2018, this figure had increased to USD 5.4 billion. Although Africa receives only 3.56% of global capital inflows, the importance of the mining industry – the main recipient of capital flowing into Africa – means that we must pay more attention to these investments. The acquisition of more African mining plants and the construction of new ones by Chinese-owned companies poses a challenge to global raw material security. China is already a major producer of rare earth elements and is expanding its resource base with African deposits, which could lead to a monopoly on the extraction of other minerals. Furthermore, Chinese investment activities often conflict with the legal systems of host countries, leading to increased regional tensions.

To understand the success of Chinese capital in the African market, it is important to consider the events that preceded the 2008 financial crisis. Many Western investment funds abandoned their projects in Africa due to the difficult situation. This reduced confidence to investors from the U.S. and Europe. Chinese state investors took advantage of this situation, proving themselves to be more resilient in times of financial crisis and offering financing for public benefit projects such as roads, railways and power plants alongside investments in the mining sector.

This study examined the trends that have emerged over the past 25 years in foreign direct investment (FDI) in the African raw materials sector. The study was based on publicly available statistical data published by government agencies and private entities. Comparing the size of investments in individual African countries and assessing them

within four basic categories describing motivations for foreign expansion (market, cost, supply, and political and social factors) enabled to present forecasts systematically for the further development of Chinese FDI in the African raw materials industry and its impact on the global market.

Atlas geologiczny wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce

Państwowy Instytut Geologiczny-PIB w tym roku opublikuje trzeci (ostatni) tom „Atlasu geologicznego wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce”, zawierający szczegółowe informacje o obiektach złożowych mających największy potencjał ekonomiczno-gospodarczy. Zasoby eksploatowanych złóż węgla brunatnego wyczerpują się stopniowo, a istniejące kopalnie ulegną w latach 2026–2046 likwidacji z braku zasobów. Dysponujemy szczegółową informacją o wszystkich złożach eksploatowanych obecnie przez cztery odkrywkowe kopalnie węgla brunatnego (Bełchatów, Komin, Turów, Sieniawa). Inaczej sprawa wygląda, jeśli chodzi o złoża niezagospodarowane – zarówno udokumentowane, jak i perspektywiczne, których liczba w Polsce wynosi 163 i które w przyszłości mogą być przedmiotem zainteresowania przemysłu energetycznego. Informacja o tych złożach jest rozproszona i wymaga weryfikacji, standaryzacji i analizy. Takiego zadania podjął się PIG-PIB w ramach prac państwowej służby geologicznej. Opracowanie ma na celu zestawienie bazy danych niezagospodarowanych złóż węgla brunatnego w Polsce oraz ocenę możliwości ich zagospodarowania w przyszłości pod kątem lokalizacji, parametrów geologiczno-górnich i aspektów środowiskowych. Szczegółowej analizie poddano 71 obiektów złożowych opisanych w trzech tomach atlasu. O ich wyborze zdecydowały następujące kryteria: wielkość zasobów węgla, podstawowe parametry geologiczno-górnice oraz parametry jakościowe surowca. Każdy ze wskazanych obiektów został opracowany zgodnie z przyjętą metodyką. Prace rozpoczęto od zgromadzenia i zweryfikowania danych archiwalnych. Głównym źródłem informacji były dokumentacje i opracowania wykonane w ciągu ponad 70 lat przez różne podmioty, w tym PIG-PIB i przedsiębiorstwa geologiczne. Mając do dyspozycji dokumentacje złożowe, sprawozdania z prac geologiczno-rozpoznawczych oraz profile otworów wiertniczych, szczegółowej analizie poddano tysiące danych: geologiczno-złożowych, hydrogeologicznych, geoekologicznych. Ważnym i koniecznym etapem prac była standaryzacja danych. W wielu przypadkach dokonano uzupełnień i przeliczeń wartości zasobów węgla oraz jego podstawowych parametrów ustalonych w dokumentach źródłowych, nawet jeśli zostały one formalnie zatwierdzone. W przypadku już udokumentowanych złóż przyczyną były późniejsze zmiany kryteriów bilansowości, a także brak obliczonych zasobów pozabilansowych. Od 2011 r. zamiast terminu *kryteria bilansowości* funkcjonuje definicja *graniczne wartości parametrów definiujących złożo*. W latach 2005–2011 zasoby pozabilansowe były pojęciem nieformalnym, w związku z tym najczęściej nie były nawet oszacowane. W przypadku obszarów prognostycznych dokonane przeliczenia

wynikały z reguły z braków lub nieścisłości w istniejących operatach szacujących zasoby (z definicji niepodlegające zatwierdzeniu). Jako granicę złoża/obszaru prognostycznego przyjęto kontur zewnętrzny udokumentowanych lub oszacowanych zasobów bilansowych i pozabilansowych węgla brunatnego, a jeśli zasoby pozabilansowe nie zostały obliczone – kontur zasobów bilansowych węgla.

Charakterystyka każdego z nieeksploatowanych/prognostycznych złóż zawiera część tekstową oraz bogatą część graficzną (mapy, przekroje, tabele). Przedstawiono w nich informacje dotyczące: budowy geologicznej i uwarunkowań geologiczno-górnich, wielkości zasobów złoża, parametrów geologiczno-górnich pokładów węgla w złożu (miąższość węgla i grubość nadkładu), parametrów chemiczno-technologicznych węgla, w tym wartości opałowej Q_{ri}, popielności Ad oraz całkowitej zawartości siarki S_{dt}, warunków hydrogeologicznych, a także uwarunkowań środowiskowych.

Chcąc podjąć się w przyszłości eksploatacji węgla brunatnego przy wykorzystaniu technologii, które nie będą wpływały w tak dużym stopniu jak obecnie na zmiany w środowisku naturalnym, i jednocześnie by móc wykorzystać ten surowiec do niskiemisyjnej produkcji energii elektrycznej, konieczne jest posiadanie pełnej i rzetelnej informacji o złożach węgla brunatnego w Polsce. Atlas stanowi dawno oczekiwaną pozycję literatury, umożliwia kompleksowe spojrzenie na możliwości zagospodarowania nowych złóż węgla brunatnego o korzystnych warunkach geologiczno-górnich. „Atlas geologiczny wybranych złóż węgla brunatnego w Polsce” został opracowany w ramach projektu badawczego: „Aktualizacja stanu wiedzy o złożach węgla brunatnego dla potrzeb jego wykorzystania wraz z opracowaniem atlasu geologicznego wybranych złóż w Polsce” i został sfinansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Geological atlas of selected lignite deposits in Poland

The third and final volume of the “Geological atlas of selected lignite deposits in Poland” compiles comprehensive knowledge about lignite deposits with the highest economic potential. Current resources of exploited mines in Poland (Bełchatów, Konin, Turów, Sieniawa) are gradually being depleted, and their closure is expected between 2026 and 2046. At the same time, Poland has 163 unexploited or prospective lignite deposits, which may become important for the energy sector in the future. The Atlas presents standardized and verified data, collected from over 70 years of geological research, covering thousands of geological, hydrogeological, and environmental records. A detailed analysis was conducted on 71 deposits, selected basing on geological resources, geological and mining parameters and coal quality. For each deposit, the Atlas provides both descriptive and graphical information, including maps, cross-sections,

and tables that illustrate geological structure, resources, coal parameters, hydrogeological settings, and environmental aspects.

This work delivers a much-needed, reliable database of Polish lignite resources. It supports informed decision-making about potential future exploitation with technologies designed to limit environmental impact and enable low-emission electricity production. The “Geological atlas of selected lignite deposits in Poland” was prepared by Polish Geological Institute – NRI, as part of the research project “Updating the state of knowledge on lignite deposits for their utilization needs, including the development of a geological atlas of selected deposits in Poland”, financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Analiza umowy surowcowej pomiędzy USA a Ukrainą i jej wpływ na europejski sektor surowcowy

Podpisana 30 kwietnia 2025 r. umowa USA-Ukraina ustanawia United States-Ukraine Reconstruction Investment Fund, mechanizm inwestycyjny przeznaczony do finansowania odbudowy Ukrainy poprzez rozwój sektora wydobywczego. Porozumienie obejmuje wyłącznie nowe projekty surowcowe, co ogranicza krótkoterminowe efekty fiskalne, lecz wzmacnia długookresowy impuls inwestycyjny. Ukraina dysponuje potwierdzonymi zasobami dwóch trzecich z 34 surowców uznanych przez Unię Europejską za krytyczne, w tym tytanu, grafitu oraz potencjalnych złóż pierwiastków ziem rzadkich, co czyni ją kluczowym ogniwem w europejskim łańcuchu dostaw dla transformacji energetycznej i realizacji celów Zielonego Ładu. Obszar Ukrainy geologicznie obejmuje fragmenty tarczy wschodnioeuropejskiej oraz strefy fałdowe Karpat i Donbasu, od dekad znane z bogatych złóż rud tytanu, manganu i żelaza. Najnowsze badania geofizyczne i geochemiczne potwierdzają obecność strategicznych zasobów pierwiastków ziem rzadkich oraz potencjalnych złóż litu w pegmatytach środkowej i wschodniej części Ukrainy, jednak znaczna część tych zasobów znajduje się na terenach okupowanych, a pełne uruchomienie nowych kopalń wymaga 15–20 lat inwestycji, stabilności geopolitycznej i modernizacji infrastruktury. Zgodnie z umową Stany Zjednoczone wnoszą kapitał i technologie wydobywcze, uzyskując prawo pierwszej oferty oraz uprzywilejowany, lecz czasowo ograniczony dostęp do nowych projektów. Dokument wyraźnie zaznacza, że jego zapisy nie naruszają przyszłych zobowiązań Ukrainy wobec Unii Europejskiej ani jej procesu integracyjnego. Ukraina zachowuje własność złóż, a 50% przyszłych opłat koncesyjnych, licencyjnych i porównywalnych świadczeń zasili fundusz odbudowy. Wzmocni to finanse Kijowa, ale może też kierować inwestycje priorytetowo do partnerów amerykańskich. Klauzule stabilizacyjne i długoterminowe zobowiązania mogą ograniczyć elastyczność negocjacyjną Ukrainy wobec UE, a Kijów może nie mieć swobody w oferowaniu podobnych warunków europejskim inwestorom. Priorytetyzacja dostaw w kontraktach amerykańskich może zawęzić pulę surowców dla importerów z Unii, utrudniając dywersyfikację źródeł i realizację celów bezpieczeństwa dostaw. Istnieje ryzyko podwójnych standardów, bardziej elastyczne podejście USA mogłoby zniechęcać Ukrainę do stosowania ostrzejszych norm unijnych ESG, co sprzyjałoby nieuczciwej konkurencji i osłabiałoby promocję europejskich standardów.

Ewentualne zmiany w zasadach eksportu lub strategiczne kontrole, np. ograniczenia transferu technologii, mogą utrudnić UE dostęp do ukraińskich zasobów mimo ich

geograficznej bliskości. Szczególnie groźne byłoby to dla przemysłu bateryjnego, elektromobilności i sektora obronnego, dla których Ukraina pozostaje naturalnym partnerem dzięki bliskości i bogatym zasobom. Dodatkowo atrakcyjniejsze warunki kredytowe i gwarancje oferowane przez USA, np. poprzez U.S. International Development Finance Corporation (DFC), mogą wypreć europejskie instytucje finansowe z kluczowych projektów, zmuszając firmy z UE do konkutowania na mniej korzystnych warunkach. Ryzyko polityczne i reputacyjne może wynikać z kontrowersji wokół amerykańskich projektów, zwłaszcza środowiskowych, które mogłyby zaszkodzić wizerunkowi sektora surowcowego Ukrainy i utrudnić UE zawieranie własnych umów. Z geopolitycznego punktu widzenia porozumienie wzmacnia wpływy USA w Europie Wschodniej, potencjalnie osłabiając rolę UE w odbudowie i kształtowaniu standardów sektora.

Dla europejskich branż energochłonnych, m.in. stalowej, aluminiowej, bateryjnej i elektromobilności, ograniczony dostęp do ukraińskich minerałów oznaczałby konieczność większego importu z Afryki, Ameryki Łacińskiej lub Chin, co podniosłoby koszty i ryzyka logistyczne w całym łańcuchu dostaw, a silniejsza obecność USA mogłaby wywierać presję na wzrost cen surowców w Europie. Dlatego włączenie Ukrainy w unijne inicjatywy, takie jak Memorandum UE-Ukraina z 2021 r. o strategicznym partnerstwie w dziedzinie surowców oraz Europejski Sojusz Surowców, pozostaje kluczowe dla integracji łańcuchów wartości i rozwoju lokalnego przetwórstwa. Synergia amerykańskich inwestycji i europejskich programów, przy zachowaniu spójnych standardów środowiskowych i skutecznej koordynacji transatlantyckiej, może uczynić z ukraińskiego sektora wydobywczego filar dywersyfikacji dostaw i fundament europejskiej zielonej transformacji.

Analysis of the raw materials agreement between the USA and Ukraine and its impact on the European raw material sector

Signed on April 30, 2025, the USA-Ukraine agreement establishes the United States-Ukraine Reconstruction Investment Fund, an investment mechanism intended to finance Ukraine's reconstruction through the development of its mining sector. The agreement applies solely to new raw material projects, which limits short-term fiscal effects but strengthens long-term investment momentum. Ukraine possesses confirmed reserves of two-thirds of the 34 raw materials recognized by the European Union as critical, including titanium, graphite, and potential rare earth deposits, making it a key link in Europe's supply chain for the energy transition and the implementation of Green Deal objectives. Geologically, Ukraine encompasses parts of the East European Craton and the Carpathian and Donbas fold belts, long known for rich deposits of titanium, manganese, and iron ores. Recent geophysical and geochemical studies confirm the presence of strategic rare earth element resources and potential lithium deposits

in pegmatites in central and eastern Ukraine. However, many of these resources are located in occupied territories, while fully launching new mines would require 15–20 years of investment, geopolitical stability, and infrastructure modernization. Under the agreement, the United States contributes capital and extraction technologies, gaining the right of first offer and preferential but time-limited access to new projects. The document explicitly states that its provisions do not infringe upon Ukraine's future obligations towards the European Union or its integration process. Ukraine retains ownership of its deposits, and 50% of future concession, licensing, and comparable fees will be channeled into the reconstruction fund. This will strengthen Kyiv's finances but may also prioritize investments towards American partners. Stabilization clauses and long-term commitments could limit Ukraine's negotiating flexibility with the EU, and Kyiv may lack the freedom to offer comparable terms to European investors. Prioritization of supplies under U.S. contracts could narrow the pool of raw materials available to EU importers, complicating supply diversification and security objectives. There is a risk of double standards: a more flexible U.S. approach could discourage Ukraine from applying stricter EU ESG norms, fostering unfair competition and undermining the promotion of European standards.

Potential changes in export rules or strategic controls, such as restrictions on technology transfers, could hinder EU access to Ukrainian resources despite their geographical proximity. This would be particularly damaging for the battery, e-mobility, and defense industries, for which Ukraine remains a natural partner owing to its proximity and abundant reserves. Additionally, more attractive credit terms and guarantees offered by the United States, e.g., through the U.S. International Development Finance Corporation (DFC), could crowd out European financial institutions from key projects, forcing EU firms to compete under less favorable conditions. Political and reputational risks may also arise from controversies surrounding U.S. projects, particularly environmental ones, which could damage the image of Ukraine's raw materials sector and complicate the EU's ability to conclude its own agreements. From a geopolitical perspective, the agreement strengthens U.S. influence in Eastern Europe, potentially weakening the EU's role in reconstruction and in shaping sector standards.

For Europe's energy-intensive industries, such as steel, aluminum, battery production, and e-mobility, reduced access to Ukrainian minerals would mean increased imports from Africa, Latin America, or China, raising costs and logistical risks across the supply chain. A stronger U.S. presence could also exert upward pressure on raw material prices in Europe. Therefore, integrating Ukraine into EU initiatives, such as the 2021 EU-Ukraine Memorandum on Strategic Partnership on Raw Materials and the European Raw Materials Alliance, remains crucial for value chain integration and the development of local processing. Synergy between American investments and European programs while maintaining consistent environmental standards and effective transatlantic co-ordination could transform Ukraine's mining sector into a pillar of supply diversification and a cornerstone of Europe's green transition.

MAGDALENA WDOWIN¹, DOROTA CZARNA-JUSZKIEWICZ¹, PIOTR KUNECKI¹,
ŁUKASZ OSUCHOWSKI², TOMASZ GŁOWIENKO², STEFAN WOŁOSIAK²,
ŁUKASZ LELEK¹, JUSTYNA CADER-MARCINIAK¹, RENATA KONECZNA¹

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

² Geminus sp. z o.o.

Od odpadów do zasobów: cyrkularne podejście do odzysku REE w projekcie REECover – wstępne wyniki badań

Metale ziem rzadkich (REE – Rare Earth Elements) są surowcami strategicznymi, uznanymi przez Unię Europejską za zasób krytyczny. Znajdują one zastosowanie w wielu dziedzinach, m.in. w nowoczesnej elektronice, energetyce odnawialnej oraz przemyśle motoryzacyjnym. Procesy ługowania minerałów REE (najczęściej za pomocą kwasów), a następnie etapowa ekstrakcja rozpuszczalnikowa jak dotąd stanowią dominujący schemat produkcji REE na dużą skalę. Głównym problemem tego rozwiązania jest jednak to, że zasobochłonna i wysokoemisyjna produkcja wiąże się z ogromnym śladem środowiskowym, którego koszt degradacji środowiska osiągnął 14,8 mld USD w 2015 r, co uzasadnia poszukiwanie zrównoważonych rozwiązań. Ze względu na ograniczone zasoby oraz rosnące zapotrzebowanie na REE poszukiwanie efektywnych, a zarazem przyjaznych środowisku metod ich odzysku jest wysoce zalecane. W miarę wyczerpywania się dotychczas eksploatowanych złóż minerałów REE coraz większego znaczenia nabiera ich pozyskiwanie z odpadów przemysłowych, takich jak osady ściekowe, odpady górnicze i inne.

Niektóre odpady, takie jak produkty uboczne spalania węgla (CCPs – Coal Combustion Products) czy zużyte panele fotowoltaiczne oraz łopaty turbin wiatrowych po procesach termolizy, a także elektroodpady, stanowią potencjalne źródło metali ziem rzadkich (REE). Dotychczas jednak nie opisano pełnego procesu technologicznego ich odzysku. Większość publikacji skoncentrowana jest jedynie na ocenie zawartości REE w tego typu odpadach.

Głównym celem projektu pn. „Gospodarka o obiegu zamkniętym poprzez zrównoważoną technologię odzysku surowców krytycznych (REE) z wybranych materiałów odpadowych” jest opracowanie efektywnego sposobu odzyskiwania REE z odpadów stałych, uwzględniając aspekt ekonomiczny rozwiązania, a także wpływ społeczny i środowiskowy. Projekt skupia się na badaniu odpadów stałych z trzech krajów (Polska, Czechy oraz Turcja) pod kątem zawartości REE w celu opracowania koncepcji efektywnej technologii odzyskiwania REE. Realizowany jest w konsorcjum naukowo-przemysłowym, którego liderem jest Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Partnerami projektu są: Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, VSB – Techniczny Uniwersytet w Ostrawie, Turecka Agencja Badań nad Energią, Energetyką Jądrową

i Surowcami Mineralnymi oraz firma Geminus sp. z o.o. W ramach projektu partnerzy wybiorą najbardziej obiecujący materiał odpadowy (spośród popiołów lotnych, odpadów poflotacyjnych, zużytych paneli fotowoltaicznych, łopat turbin wiatrowych i innych) do odzyskiwania REE. W pierwszym etapie wybrane odpady zostaną scharakteryzowane pod kątem zależności między składem chemicznym i mineralnym a sposobem związania REE w badanych odpadach. Umożliwi to zaprojektowanie odpowiedniego procesu chemicznej ekstrakcji REE. Rozważone zostaną co najmniej trzy sposoby ekstrakcji w celu oceny najbardziej wydajnego, opłacalnego i przyjaznego środowisku rozwiązania. Ponadto w ramach ostatniego działania opracowana zostanie koncepcja technologiczna rozwiązania badawczego.

Projekt REECovery został zaplanowany z uwzględnieniem Celów Zrównoważonego Rozwoju (SDG – Sustainable Development Goals), wymienionych poniżej:

- ➔ Cel 6 – czysta woda i warunki sanitarne – w szczególności punkt 6.3, który podkreśla potrzebę eliminacji składowania odpadów na wysypiskach oraz minimalizacji emisji substancji i materiałów niebezpiecznych. Metody wykorzystania produktów ubocznych z sektora energetycznego po zakończeniu okresu ich eksploatacji pozwalają uniknąć składowania odpadów, a tym samym ograniczyć przedostawanie się odcieków do wód i gleby.
- ➔ Cel 7 – dostępna i czysta energia – projekt realizuje wszystkie cele i wskaźniki w tym zakresie, ponieważ zakłada poprawę funkcjonowania sektora czystej i odnawialnej energii (proponuje metody zagospodarowania paneli fotowoltaicznych oraz łopat turbin wiatrowych po zakończeniu okresu ich eksploatacji).
- ➔ Cel 9 – przemysł, innowacje i infrastruktura – proces odzyskiwania REE z odpadów proponowany w ramach projektu REECovery jest prowadzony z zachowaniem dbałości o stosowanie technologii i procesów przyjaznych środowisku, tak aby był jak najbardziej zrównoważony (ponowne wykorzystanie ścieków, „zielone” ekstrakanty, wdrażanie LCA i DOE na każdym etapie projektu).
- ➔ Cel 12 – odpowiedzialna konsumpcja i produkcja – REECovery proponuje ograniczenie wytwarzania odpadów poprzez recykling produktów ubocznych sektora energetycznego po zakończeniu okresu ich eksploatacji.
- ➔ Cel 13 – działania w dziedzinie klimatu – poprzez opracowanie ekologicznych technologii odzyskiwania REE. Obecnie stosowane technologie są bardzo szkodliwe dla środowiska i klimatu.

Na etapie pierwszym do badań wytypowano odpady z przemysłu energetycznego, tj. popioły lotne klasy C (powstałe w wyniku spalania węgla brunatnego), popioły klasy F (powstałe w wyniku spalania węgla kamiennego), PPR – półsuche produkty poreakcyjne powstałe w wyniku odsiarczania spalin metoda półsuchą, popioły z biomasy oraz przetworzone termicznie panele fotowoltaiczne, turbiny wiatraków i elektroodpady. Przeprowadzono badania uziarnienia, SEM oraz XRD.

Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach inicjatywy M-ERA.NET 3 Call 2024 nr umowy M-ERA.NET3/2024/66/REECovery/2025.

*From waste to resources: a circular approach to REE recovery
in the REECovery Project – preliminary research results*

Rare Earth Elements (REEs) are strategic raw materials recognized by the European Union as critical resources. They have found applications in many fields, including modern electronics, renewable energy, and the automotive industry. Concentrated aqueous acid leaching of REE minerals, followed by multistage solvent extraction, has so far been the dominant scheme for mass production of REEs. However, the main problem with this solution is that resource- and emission-intensive production is associated with a significant environmental footprint, with the cost of environmental degradation reaching \$14.8 billion in 2015, which justifies the search for sustainable solutions. Due to limited resources and growing demand for REEs, the search for recovery methods is highly recommended. As easily accessible REE minerals become depleted, their extraction from industrial wastes, such as sewage sludge, mining wastes, and others, is gaining increasing importance.

Some wastes, such as coal combustion by-products (CCPs), end-of-life photovoltaic panels, wind turbine blades after thermolysis processes, or e-waste, constitute potential sources of REEs. However, a complete technological process for their recovery has not yet been described. Most publications focus only on assessing the REE content in such waste.

The main objective of the project entitled Circular economy through sustainable technology of critical raw materials (REE) recovery from selected waste materials is to develop an efficient method for REEs recovery from solid waste, taking into account not only the economic aspect of the solution but also its social and environmental impact. The project focuses on the study of solid wastes from three countries (Poland, Czechia, and Türkiye) with respect to REE content, in order to elaborate the concept of an efficient technology of their recovery. It is carried out within a scientific-industrial consortium led by the Mineral and Energy Economy Research Institute, Polish Academy of Sciences. Project partners include: Maria Curie-Skłodowska University, the VSB – Technical University of Ostrava, the Turkish Energy, Nuclear and Mineral Research Agency, and the company Geminus Ltd. As part of the project, the partners will select the most promising waste material (from among fly ash, post-flotation waste, end-of-life PV panels, wind turbine blades, and others) for REE recovery. In the first stage, the selected wastes will be characterized in terms of the relationship between their mineralogical and chemical composition and REE binding in the investigated wastes. This will enable the design of an appropriate chemical extraction process for REEs. At least three extraction methods will be considered in order to evaluate the most efficient, economical, and environmentally friendly solution. In addition, as part of the final phase, a technological concept of the research solution will be developed.

The REECovery project has been designed with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) in mind, as listed below:

- ➔ Goal 6 – Clean water and sanitation – in particular target 6.3, which emphasizes the need to eliminate landfilling of waste and to minimize emissions of hazardous substances and materials. The methods of using end-of-life by-products from the energy sector make it possible to avoid landfilling, and thus the release of leachates into water and soil.
- ➔ Goal 7 – Affordable and clean energy – the project meets all targets and indicators for this goal, as it assumes the improvement of the clean and renewable energy sector (it proposes methods for managing end-of-life photovoltaic panels and wind turbine blades).
- ➔ Goal 9 – Industry, innovation, and infrastructure – the process of recovering REEs from waste, as proposed in the REECover project, is carried out with care to use environmentally friendly technologies and processes, making the process as sustainable as possible (reuse of wastewater, “green” extractants, implementation of LCA and DOE at every stage of the project).
- ➔ Goal 12 – Responsible consumption and production – REECover proposes to reduce waste generation by recycling end-of-life by-products from the energy sector.
- ➔ Goal 13 – Climate action – through the development of eco-friendly REE recovery technologies. Current technologies are highly harmful to the environment and climate.

In the first stage, wastes from the energy sector were selected for investigation, i.e., Class C fly ash (from lignite combustion), Class F fly ash (from hard coal combustion), PPR – semi-dry reaction products from flue gas desulfurization with the semi-dry method, biomass ash, as well as thermally processed PV panels, wind turbine blades, and e-waste. Grain size distribution, SEM, and XRD analyses were conducted.

Project funded by the National Centre for Research and Development under the M-ERA.NET 3 Call 2024, contract no. M-ERA.NET3/2024/66/REECover/2025.

Zagospodarowanie skał płonnych z górnictwa węglowego – od problemu do zasobu – przykłady rekultywacji, odzysku surowców i zastosowań w inżynierii lądowej

Skały płonne, będące odpadem towarzyszącym wydobywaniu węgla, od lat stanowią poważne wyzwanie środowiskowe i przestrzenne. W Polsce znajduje się około 150 hałd pogórnich, które zajmują łącznie ponad 11 300 hektarów powierzchni. Szacuje się, że w każdej z hałd może znajdować się od 8 do 15% węgla, co daje potencjał odzysku nawet 150 mln ton surowca. Referat przedstawia ewolucję podejścia do zagospodarowania skał płonnych – od traktowania ich jako odpadu po uznanie ich za zasób gospodarczy. Omówione zostaną przykłady:

- rekultywacji terenów pogórnich, w tym biologicznej i technicznej,
- odzysku surowców mineralnych, takich jak kruszywa drogowe i węgiel,
- zastosowań w inżynierii lądowej, np. w budowie nasypów, obwałowań oraz podbudów drogowych, a także do makroniwelacji.

Rekultywacja hałd nie tylko ogranicza ich negatywny wpływ na środowisko (np. emisję gazów cieplarnianych, endogeniczne pożary zwałowisk), lecz także umożliwia uwolnienie terenów pod inwestycje przemysłowe, komunalne czy energetyczne, np. farmy fotowoltaiczne.

Celem wystąpienia jest ukazanie, że odpowiednio zaplanowane działania mogą przekształcić problematyczny odpad w wartościowy komponent gospodarki cyrkularnej, wpisując się w strategię sprawiedliwej transformacji regionów górniczych.

Management of gangue from coal mining – from problem to resource – examples of reclamation, raw material recovery and applications in civil engineering

Gangue, which is a waste of coal mining, has been a serious environmental and spatial challenge for years. There are approximately 150 post-mining waste dumps in Poland, covering a total area of over 11,300 hectares. It is estimated that each of these dumps may contain between 8% and 15% coal, which gives a potential recovery of up to 150 million tons of coal.

The paper presents the evolution of the approach to the management of waste rock – from treating it as waste to recognizing it as an economic resource. The following examples will be discussed:

- reclamation of post-mining areas, including biological and technical reclamation,
- recovery of mineral raw materials, such as road aggregates and coal,
- applications in civil engineering, e.g., in the construction of embankments, roads and foundations, and for macro-levelling.

The reclamation of dump sites not only reduces their negative impact on the environment (e.g., greenhouse gas emissions, endogenous fires in dump sites), but also enables the release of land for industrial, municipal or energy investments, e.g. photovoltaic farms.

The aim of the presentation is to show that properly planned actions can transform problematic waste into a valuable component of the circular economy, contributing to the strategy of fair transition for mining regions.

W kierunku innowacyjnej eksploracji złóż – projekt MINOTAUR

Zabezpieczenie dostaw surowców krytycznych (Critical Raw Materials, CRMs) stanowi jeden z priorytetów strategicznych Europy w kontekście transformacji energetycznej i cyfrowej. Tradycyjne technologie eksploracji głębokich złóż mineralnych, mimo postępów w zakresie sejsmiki, wierceń kierunkowych czy zdalnych metod geofizycznych, pozostają kosztowne, czasochłonne i szkodliwe dla środowiska (Bellefleur i in. 2004; Prno, Slocombe 2012; Okada 2022). Szczególnie głębokie wiercenia, w tym rdzeniowane, będące podstawą potwierdzania mineralizacji, napotykają bariery społeczne i ekologiczne związane z dużym śladem węglowym, wymaganą powierzchnią oraz zużyciem wody i energii (Dvoynikov i in. 2022; Singh, Malinowski 2023).

W tym kontekście projekt MINOTAUR (Miniaturized Robotic Systems for Autonomous In-Situ Exploration of Critical Raw Materials in Deep Land Deposits), finansowany w ramach programu Horizon Europe, proponuje nowatorską koncepcję miniaturowanych systemów robotycznych do autonomicznej eksploracji in-situ. Rozwiązanie integruje wiedzę geologiczną z najnowszymi osiągnięciami w dziedzinie robotyki, sztucznej inteligencji oraz technologii cyfrowych bliźniaków, umożliwiając wysokorozdzielcze pozyskiwanie danych geofizycznych i geochemicznych bez konieczności prowadzenia rozległych kampanii wiertniczych (CORDIS 2024; MINOTAUR Consortium 2024).

Kluczowym elementem systemu jest modułowa architektura robotów-eksploratorów, wyposażonych w sensory LIBS, XRF czy XRD, które mają pozwolić na tworzenie cyfrowych rdzeni zastępujących fizyczne próbki. Dzięki autonomicznej nawigacji i pracy w trudnym środowisku podziemnym możliwe stanie się dynamiczne dostosowywanie procesu wiercenia oraz aktualizacja modeli geologicznych w czasie rzeczywistym (Cranford 2023; Kokkinis i in. 2024; Nikolakopoulos i in. 2025).

Analizy porównawcze wskazują, że w odniesieniu do tradycyjnych technik eksploracyjnych MINOTAUR ma szansę zapewnić większą dokładność geologiczną, redukcję kosztów i czasu kampanii eksploracyjnej nawet o 30%, a przede wszystkim znacząco ograniczyć oddziaływanie środowiskowe i zwiększyć akceptację społeczną (Caers i in. 2022; Yang i in. 2024). Opracowywany w ramach konsorcjum ośmiu partnerów z Europy system będzie dedykowany dwóm obszarom pilotażowym – złożom wolframu w Portugalii i złożom magnezytów w Grecji – w celu dopasowania technologii do różnych surowców krytycznych w różnych warunkach geologicznych.

Podsumowując, MINOTAUR ma szansę dokonać przełomu w sposobie myślenia o eksploracji: od kosztownej i uciążliwej działalności wiertniczej w kierunku zrów-

noważyonego, cyfrowego i robotycznego modelu badania złóż, zgodnego z europejską strategią autonomii surowcowej i neutralności klimatycznej (European Parliament and the Council 2024).

Badania te są realizowane w ramach projektu MINOTAUR, który otrzymał dofinansowanie z Programu Badań i Innowacji Unii Europejskiej Horyzont Europa w ramach Umowy Grantowej nr 101178775.

Towards innovative exploration of deposits – the MINOTAUR project

Securing the supply of Critical Raw Materials (CRMs) has become one of Europe's foremost strategic challenges for the green and digital transition. While recent advances in seismic imaging, directional core drilling, and airborne geophysics have improved exploration efficiency, traditional approaches remain capital-intensive, slow, and environmentally intrusive (Bellefleur et al. 2004; Prno, Slocombe 2012; Okada 2022). Drilling, in particular, continues to face societal resistance due to high carbon and water footprints, significant land disturbance, and safety concerns (Dvoynikov et al. 2022; Singh, Malinowski 2023).

Against this background, the Horizon Europe-funded project MINOTAUR (Miniaturized Robotic Systems for Autonomous In-Situ Exploration of Critical Raw Materials in Deep Land Deposits) introduces a pioneering concept of robotic micro-explorers. By merging geological principles with robotics, artificial intelligence, and digital twin technology, MINOTAUR aims to enable high-resolution in-situ characterization of mineral deposits, reducing the reliance on conventional drilling (CORDIS 2024; MINOTAUR Consortium 2024).

The system is built on a modular robotic architecture, integrating locomotion, drilling, and sensing modules (LIBS, XRF, XRD). This setup creates digital cores instead of physical samples, while real-time data fusion continuously refines geological and geo-mechanical models (Cranford 2023; Kokkinis et al. 2024; Nikolakopoulos et al. 2025). Autonomous navigation in GPS-denied environments ensures operational efficiency and adaptability in complex geological settings.

Comparative analysis highlights that, unlike conventional exploration methods, MINOTAUR achieves simultaneous improvements in technical performance, geological accuracy, and economic efficiency while significantly reducing environmental footprint and increasing social acceptance (Caers et al. 2022; Yang et al. 2024). Preliminary results suggest potential reductions of up to 30% in both costs and timelines. The project's eight-partner consortium tests the system at two pilot sites: in Portugal (wolframite deposit) and Greece (magnesite deposit) to validate adaptability across mineral deposit types.

In conclusion, MINOTAUR represents more than incremental innovation: it is a paradigm shift from drill-intensive, human-centered exploration to a digital, robotic, and

sustainable model. By aligning with the EU's Critical Raw Materials Act and sustainability strategies, MINOTAUR paves the way toward greater resource autonomy and reduced environmental impact in Europe (European Parliament and the Council 2024).

This research was conducted in the frame of MINOTAUR project that has received funding from the European Union's Horizon Europe Research and Innovation Programme under the Grant Agreement No. 101178775.

Literatura/References

- Bellefleur et al. 2004 – Bellefleur G., Müller C., Snyder D., Matthews L. 2004. Downhole seismic imaging of a massive sulfide orebody with mode-converted waves, Halfmile Lake, New Brunswick, Canada. *Geophysics* 69(2), 318–329, DOI: 10.1190/1.1707051.
- Caers et al. 2022 – Caers J., Scheidt C., Yin Z. 2022. Efficacy of information in mineral exploration drilling. *Natural Resources Research* 31, 1157–1173, DOI: 10.1007/s11053-022-10030-1.
- CORDIS (European Commission) 2024. MINOTAUR — Miniaturized Robotic Systems for Autonomous In-Situ Exploration and Mining Operations of Small Deposits and Urban Mines (Project ID 101178775). [Online:] <https://cordis.europa.eu/project/id/101178775> [Dostęp: 30.08.2025].
- Cranford R. 2023. Conceptual application of digital twins to meet ESG targets in the mining industry. *Frontiers in Industrial Engineering* 9, DOI: 10.3389/fieng.2023.1223989.
- Dvoynikov et al. 2022 – Dvoynikov M.V., Sidorkin D.I., Yurtaev S.L., Grokhotov E.I., Ulyanov D.S. 2022. Drilling of deep and ultra-deep wells for prospecting and exploration of new raw mineral fields. *Zapiski Gornogo Instituta* 258, 945–955, DOI: 10.31897/PMI.2022.55.
- European Parliament and the Council 2024. Regulation (EU) 2024/1252 of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. *Official Journal of the European Union*. [Online:] <http://data.europa.eu/eli/reg/2024/1252/oj> [Dostęp: 30.08.2025].
- Kokkinis et al. 2024 – Kokkinis A., Frantzis T., Skordis K., Nikolakopoulos G., Koustoumpardi, P. 2024. Review of automated operations in drilling and mining. *Machines* 12(12), DOI: 10.3390/machines12120845.
- MINOTAUR Consortium 2024. MINOTAUR Project website. [Online:] <https://www.minotaur-mining.eu/> [Dostęp: 30.08.2025].
- Nikolakopoulos et al. 2025 – Nikolakopoulos G., Koval A., Fumagalli M., Konieczna-Fuławka M., Santas Moreu L., Vigara-Puche V., Verma K., de Waard B., Deutsch R. 2025. Autonomous drilling and the idea of next-generation deep mineral exploration. *Sensors* 25(13), DOI: 10.3390/s25133953.
- Okada K. 2022. Breakthrough technologies for mineral exploration. *Mineral Economics* 35(3), pp. 429–454, DOI: 10.1007/s13563-022-00317-3.
- Prno J., Slocombe D.S. 2012. Exploring the origins of “social license to operate” in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories. *Resources Policy* 37(3), pp. 346–357, DOI: 10.1016/j.resourpol.2012.04.002.
- Singh B., Malinowski M. 2023. Seismic imaging of mineral exploration targets: Evaluation of ray - vs. wave-equation-based pre-stack depth migrations for crooked 2D profiles. *Minerals* 13(2), DOI: 10.3390/min13020264.
- Yang et al. 2024 – Yang F., Zuo R., Kreuzer O.P. 2024. Artificial intelligence for mineral exploration: A review and perspectives on future directions from data science. *Earth-Science Reviews* 258, DOI: 10.1016/j.earscirev.2024.104941

Metody rozpoznania i dokumentowania złóż kruszywa naturalnego na dnie Morza Bałtyckiego

Przedstawiono możliwości dokumentowania i obrazowania złóż kruszywa naturalnego na przykładzie prac prowadzonych przez firmę MEWO SA na obszarze południowego Bałtyku. W ramach projektów *offshore* pozyskiwane są wysokiej rozdzielczości dane, które dają możliwość dokładnego rozpoznania charakteru powierzchni dna oraz jego budowy geologicznej. Zestaw podstawowych pomiarów wykonywanych na morzu obejmuje pomiary batymetryczne, sonarowe oraz sejsmoakustyczne. Na podstawie danych batymetrycznych, pozyskanych echosondą wielowiązkową (MBES – Multibeam Echosounder), analizowana jest rzeźba dna wraz z pełną analizą morfometryczną. Analiza danych z pomiarów wykonanych sonarem bocznym (SSS – Side-Scan Sonar) umożliwia rozpoznanie charakteru powierzchni dna oraz wskazanie głównych typów osadów ją budujących. Interpretacja danych sejsmoakustycznych zebranych profilomierzem osadów (SBP – Sub-Bottom Profiler) daje możliwość rozpoznania budowy geologicznej dna morskiego. Uzyskane w ten sposób wyniki potwierdzane są przez pobranie próbek osadów powierzchniowych oraz rdzeniowych.

Przedstawione wyniki badań potwierdzają wysoką skuteczność nowoczesnych metod pomiarowych, które mogą być wykorzystywane do identyfikacji złóż kruszywa naturalnego na dnie Morza Bałtyckiego. Jakość wyników pomiarów prowadzonych na morzu jest porównywalna do wyników uzyskiwanych podczas pomiarów prowadzonych podobnymi metodami na lądzie.

Methods for identifying and documenting natural aggregate deposits on the Baltic Sea seabed

The possibilities of documenting and imaging natural aggregate deposits are presented on the example of work carried out by MEWO SA in the southern Baltic Sea. As part of ongoing offshore projects high-resolution datasets are acquired, which enable detailed recognition of the nature of the seabed surface and its geological structure. The core set of marine surveys includes bathymetric, sonar, and seismic-acoustic measurements. Bathymetric data obtained with a Multibeam Echosounder (MBES)

provide a basis for seabed relief analysis, including full morphometric assessment. Side-Scan Sonar (SSS) surveys support the identification of seabed surface characteristics and allow classification of the main sediment types forming the seabed. The interpretation of seismoacoustic data collected by a Sub-Bottom Profiler (SBP) makes it possible to identify the geological structure of the seabed. These results are verified through the collection of surface and core sediment samples.

The presented research results confirm the high effectiveness of modern survey methods that can be used to identify natural aggregate deposits on the Baltic Sea seabed. The quality of offshore survey results is comparable to that achieved with similar techniques on land.

Surowce ilaste i ich nietypowe zastosowanie

Kopaliny ilaste są urozmaiconą grupą skał powszechnie występujących na terenie Polski. Charakteryzują się dużą zmiennością składu mineralnego. Występują w nich w różnych ilościach minerały ilaste następujących grup: kaolinitu, illitu, smektytu, a także chlorytu, wermikulitu, glaukonitu i o strukturze mieszanopakietowej. Skład ten uzupełniają minerały nieilaste, takie jak kwarc oraz – w mniejszym i najczęściej podrzędnym stopniu – miki, skalenie, minerały węglanowe (kalcyt, dolomit), minerały siarczanowe (gips), tlenkowe i siarczkowe minerały żelaza (goethyt, hematyt, piryt) oraz tlenkowe minerały tytanu (anataz). Niekiedy obecna jest też substancja organiczna, której ilość może być bardzo zróżnicowana. Tak urozmaicony skład mineralny decyduje o możliwościach wykorzystania surowców ilastych w wielu różnych technologiach. Bazują one najczęściej na termicznej obróbce zestawu surowcowego, czego klasycznym przykładem są różne technologie ceramiczne.

Do cech różnicujących surowce ilaste należą m.in. wielkość powierzchni właściwej, a także barwa makroskopowa. Decydują one w głównej mierze o możliwości wykorzystania tych surowców w specyficznej dziedzinie, jaką są naturalne tynki dekoracyjne. Spośród minerałów ilastych największą powierzchnią właściwą wyróżniają się smektyty. Według różnych autorów wielkość tego parametru jest wysoka i mieści się w następujących przedziałach: 600–700 m²/g (Greene-Kelly 1962), 700–800 m²/g (Fripiat 1964), wzgl. 500–800 m²/g (Kohnke 1968). Dużą wielkością powierzchni właściwej charakteryzuje się też illit, dla którego – wg Greene-Kelly’ego (1962) – dochodzi ona do 250 m²/g. Występujące w wielu krajowych surowcach ilastych minerały mieszanopakietowe – zwłaszcza illit/smektyt, także wermikult/chloryt i chloryt/smektyt – cechują się też korzystnie wysoką wielkością tego parametru. Inny ważny i powszechnie występujący minerał ilasty, jakim jest kaolinit, wykazuje znacznie mniejszą wielkość powierzchni właściwej, która na ogół nie przekracza 40 m²/g. Należy jednak pamiętać, że minerał ten występuje w dwóch odmianach strukturalnych: jako stosunkowo gruboziarnisty, dobrze uporządkowany kaolinit Tc oraz zdecydowanie drobniejszy, o zaburzonej strukturze kaolinit D. Z wielkością ziaren wiąże się ich powierzchnia właściwa, która jest wyraźnie większa dla kaolinitu D.

Makroskopowa barwa surowców ilastych zmienia się w szerokim zakresie. Jest ona związana głównie z pigmentującym wpływem niektórych minerałów podrzędnych, takich jak tlenkowe minerały żelaza (hematyt, goethyt), a także substancji organicznej. W pierwszym przypadku zaznacza się rola stopnia utlenienia żelaza. Obecność jonów Fe³⁺

decyduje bowiem o barwie czerwonej, zaś Fe^{2+} – o barwie szarozielonej. Substancja organiczna wpływa natomiast na pojawienie się barwy szarej w różnych odcieniach.

Powierzchnia właściwa jest parametrem wpływającym w istotnym stopniu na właściwości sorpcyjno-desorpcyjne minerałów ilastych. Są one wykorzystane w doborze określonych surowców ilastych do sporządzania z nich mieszanek surowcowych stanowiących produkty finalne, tj. tynki ilaste. Do interesujących w tym aspekcie surowców należą czerwone ły triasowe i obecne w nich szarozielone przerosty. Występują one w dwóch regionach Polski: w północnym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich oraz na monoklinie śląsko-krakowskiej. Przykładem mogą być ły ze Szkucina w woj. świętokrzyskim. W czerwonej ich odmianie minerały ilaste są reprezentowane głównie przez kaolinit i illit oraz – w podrzędnej ilości – przez minerały mieszanopakietowe (vermikulit/chloryt i chloryt/smektyt). W substancji ilastej rozproszony jest pelit hematytowy, który decyduje o czerwonej barwie tego surowca. Lokalnie występują w nim soczewki i wtrącenia iłków i mułków barwy szarozielonej, które też są wykorzystywane do produkcji tynków ilastych.

Innymi surowcami ilastymi stosowanymi do produkcji tynków ilastych są świętokrzyskie ły jurajskie z Borkowic i Rozwad, a także mio-plioceniczne ły poznańskie ze Słowian (Dolny Śląsk). O ich właściwościach sorpcyjnych decyduje obecność zmiennej ilości illitu. Szczególnym rodzajem surowca jest ły ze Słowian, który reprezentuje płomienistą odmianę iłków poznańskich wyróżniających się zróżnicowaną zawartością pigmentujących minerałów – hematytu i goethytu. Ponadto do produkcji tynków ilastych o bardzo jasnej kolorystyce niezbędne jest stosowanie surowca o makroskopowo białej barwie. Może nim być substancja ilasta o charakterze kaolinitowym, która jest wydzielana w procesie płukania piasków szklarskich. W tym przypadku nie bez znaczenia jest też stosunkowo niski koszt tego surowca odpadowego.

Jednym z istotnych elementów procesu produkcji tynków ilastych jest mieszanie i homogenizacja zestawu surowcowego zgodnie z komputerowo zadaną recepturą. Umożliwia to otrzymanie produktu o ściśle określonej barwie. Tynki ilaste oferowane przez firmę CERADBUD stanowią naturalny zamiennik powszechnie stosowanych materiałów wykończeniowych wytwarzanych na bazie cementu lub innych spoiw budowlanych. Mają one korzystne oddziaływanie na zdrowie człowieka, gdyż – w przeciwieństwie do tradycyjnych tynków – umożliwiają m.in. zachowanie stałej wilgotności w pomieszczeniach użytkowych. Aktualna oferta handlowa proponowana przez producenta jest szeroka i obejmuje 12 gatunków tynków o zróżnicowanej kolorystyce.

Clayey raw materials and their unusual applications

Clayey raw materials are a diverse group of rocks commonly found in Poland. They are characterized by high variability in mineral composition. They contain varying amounts of clay minerals from the following groups: kaolinite, illite, smectite, as well

as chlorite, vermiculite, glauconite and mixed-layer minerals. This composition is supplemented by non-clay minerals such as quartz and, to a lesser and usually subordinate extent, micas, feldspars, carbonate minerals (calcite, dolomite), sulphate minerals (gypsum), oxide and sulphide iron minerals (goethite, haematite, pyrite) and oxide titanium minerals (anatase). Sometimes organic matter is also present, the amount of which can vary greatly. Such a diverse mineral composition determines the possibilities of using clayey raw materials in many different technologies. These are most often based on the thermal treatment of the raw material set, a classic example of which are various ceramic technologies.

The features that differentiate clayey raw materials include their specific surface area and macroscopic colour. These factors largely determine the suitability of these raw materials for use in a specific field, namely natural decorative plasters. Among clay minerals, smectites have the largest specific surface area. According to various authors, this parameter is high and ranges from 600–700 m²/g (Greene-Kelly 1962), 700–800 m²/g (Fripiat 1964), and 500–800 m²/g (Kohnke 1968). Illite is also characterized by a large specific surface area, which, according to Greene-Kelly (1962), reaches 250 m²/g. Mixed-layer minerals found in many domestic clayey raw materials, especially illite/smectite, as well as vermiculite/chlorite and chlorite/smectite – also have a favourably high value of this parameter. Another important and commonly occurring clay mineral, kaolinite, has a significantly lower specific surface area, which generally does not exceed 40 m²/g. However, it should be remembered that this mineral occurs in two structural varieties: as relatively coarse-grained, well-ordered kaolinite Tc and much finer, with a disturbed structure, kaolinite D. The grain size is related to their specific surface area, which is significantly larger for kaolinite D.

The macroscopic colour of clayey raw materials varies widely. It is mainly related to the pigmenting effect of certain minor minerals, such as iron oxide minerals (haematite, goethite), as well as organic matter. In the first case, the degree of iron oxidation plays an important role. The presence of Fe³⁺ ions determines the red colour, while Fe²⁺ ions determine the grey-green colour. Organic matter, on the other hand, influences the appearance of various shades of grey.

Specific surface area is a parameter that significantly influences the sorption and desorption properties of clay minerals. They are used in the selection of specific clayey raw materials for the preparation of raw material mixtures that constitute the final products, i.e. clay plasters. Raw materials of interest in this respect include red Triassic clays with the grey-green intergrowths present in them. They occur in two regions of Poland: on the northern margin of the Świętokrzyskie Mountains and on the Silesian-Krakow monocline. An example of this is the clays from Szkucin in the Świętokrzyskie Province. In the red variety, clay minerals are mainly represented by kaolinite and illite and, to a lesser extent, by mixed-layer minerals (vermiculite/chlorite and chlorite/smectite). Haematite pelite is dispersed in the clay substance, which determines the red colour of this raw material. Locally, there are lenses and inclusions of grey-green clays and silts, which are also used for the production of clay plasters.

Other clay raw materials used in the production of clay plasters include Jurassic clays from Borkowice and Rozwady in the Świętokrzyskie Mountains, as well as Miocene-Pliocene Poznań clays from Słowiany (Lower Silesia). Their sorption properties are determined by the presence of variable amounts of illite. A special type of raw material is clay from Słowiany, which represents a flaming variety of Poznań clays distinguished by a varied content of pigmenting minerals – haematite and goethite. In addition, the production of very light-coloured clay plasters requires the use of a raw material with a macroscopically white colour. This can be a kaolinitic clay substance, which is separated during the glass sand washing process. In this case, the relatively low cost of this waste raw material is also significant.

One of the key elements in the production process of clay plasters is mixing and homogenizing the raw materials according to a computer-generated recipe. This allows for obtaining a product with a precisely defined colour. The clay plasters offered by CERADBUD are a natural substitute for commonly used finishing materials based on cement or other building binders. They have a beneficial effect on human health because, unlike traditional plasters, they allow, among other things, for maintaining constant humidity in living spaces. The current commercial offer proposed by the manufacturer is wide and includes 12 types of plasters in various colours.

IGSMiE PAN – Wydawnictwo

Nakład 250 egz.

Objętość ark. wyd. 15,7; ark. druk. 22,0 (×8)

Druk i oprawa: TRADIVERS Magdalena Orska, ul. Wł. Reymonta 86, 32-065 Krzeszowice

BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE

Miliardy m³
gazu ziemnego
dla Polski

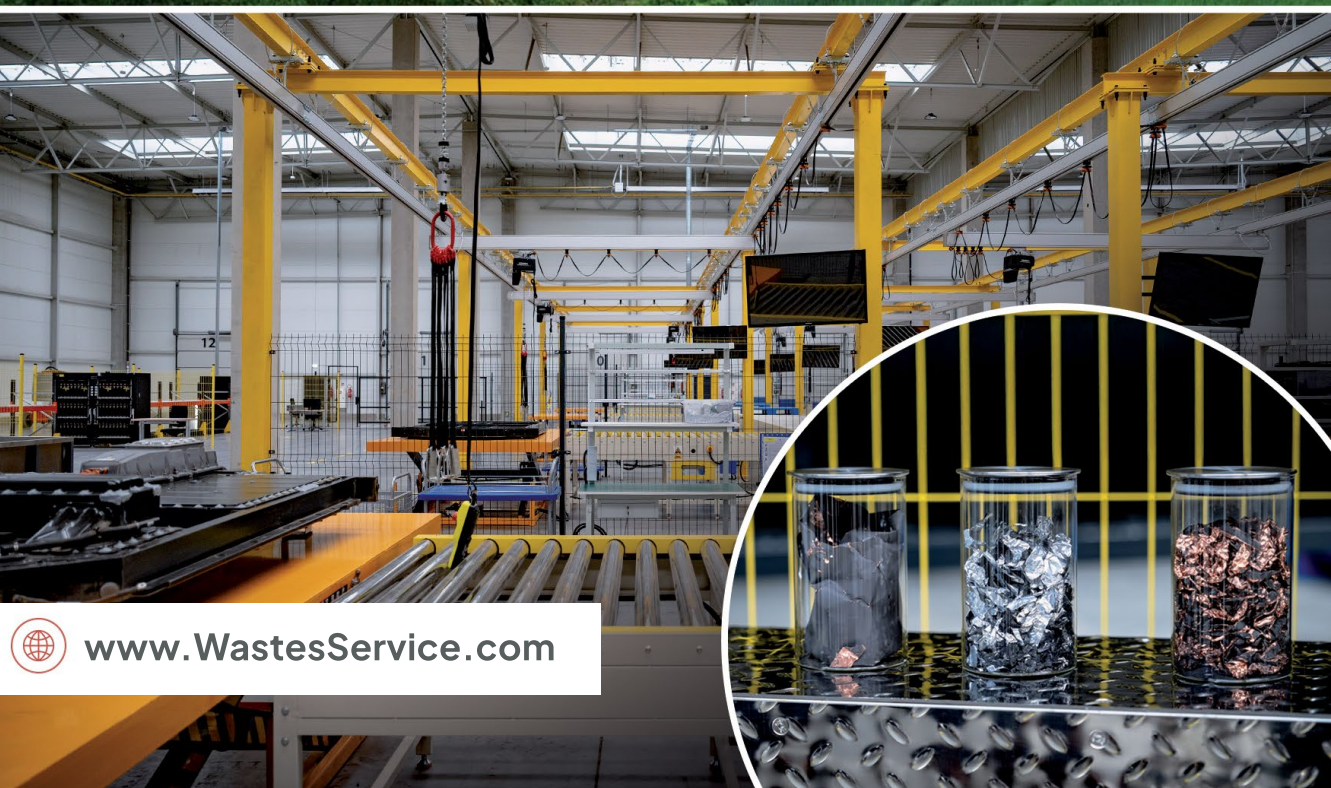


ORLEN

Energia jutra
zaczyna się dziś

STRATEGIA 2035

Recycling for Electromobility and E-Scrap



Komitety Organizacyjny Konferencji

Alicja KOT-NIEWIADOMSKA (Przewodnicząca)
Stanisław WOŁKOWICZ (Współprzewodniczący)
Jarosław SZLUGAJ (Sekretarz)
Paulina KOSTRZ-SIKORA (Sekretarz)
Anna BURKOWICZ
Ewa DĄBROWSKA-JĘDRUSIK
Beata FIGARSKA-WARCHOŁ
Andrzej GAŁAŚ
Katarzyna GUZIK
Marta HODBOD
Paweł JASKÓŁA
Jarosław KAMYK
Ewa LEWICKA
Magdalena PAŃCZYK-NAWROCKA
Paweł URBAŃSKI
Karol ZGLINICKI

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk
Pracownia Polityki Surowcowej
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7A
tel. 12 617 16 19, 506 087 645; 12 617 16 66, 693 833 190
email: aktualia@min-pan.krakow.pl

ISBN 978-83-67606-66-0
eISBN 978-83-67606-67-7