MONOGRAFIA

Redakcja Tomasz Śliwa

GeoHoryzonty
– odkrywanie potencjału Ziemi

Autorzy:

Kamil Bandura
Jakub Drosik
Krzysztof Górnicki
Aleksandra Jamrozik
Grzegorz Karczewski
Tomasz Kowalski
Remigiusz Kunasz
Paweł Obstawski
Aneta Sapińska-Śliwa
Krzysztof Skrzypaszek
Andrzej Szczygieł
Michał Szczytowski
Krzysztof Szołkowski
Olga Szydło
Tomasz Śliwa
Przemysław Toczek
Tomasz Wiglusz
Albert Złotkowski

Wydawnictwo Laboratorium Geoenergetyki AGH w Krakowie

Laboratory of Geoenergetics book series vol. 6

Kraków 2026

Recenzenci: dr hab. inż. Tomasz Kujawa, prof. ZUT, dr hab. Mirosław Wąsik (Uniwersytet Wrocławski)

Redakcja: Tomasz Śliwa

Edycja: Kamil Bandura, Tomasz Kowalski

Autorzy: Kamil Bandura, Jakub Drosik, Krzysztof Górnicki, Aleksandra Jamrozik, Grzegorz Karczewski, Tomasz Kowalski, Remigiusz Kunasz, Paweł Obstawski, Aneta Sapińska-Śliwa, Krzysztof Skrzypaszek, Andrzej Szczygieł, Michał Szczytowski, Krzysztof Szołkowski, Olga Szydło, Tomasz Śliwa, Przemysław Toczek, Tomasz Wiglusz, Albert Złotkowski

Afiliacje autorów

Kamil Bandura, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: kbandura@agh.edu.pl

Jakub Drosik, PRAWTECH Sp. z o.o., ul. Garbarska 43, 32-340 Wolbrom, Polska, e-mail: j.drosik@prawtech.pl

Krzysztof Górnicki, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Katedra Podstaw Inżynierii i Energetyki, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa, email: krzysztof_gornicki@sggw.edu.pl

Aleksandra Jamrozik, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Polska, email: jamrozik@agh.edu.pl

Grzegorz Karczewski, DPS Sp. z o.o. Odwierty dla pomp ciepła, ul. Dwa Światy 3F, 55-040 Bielany Wrocławskie, www.dps.net.pl, e-mail: grzegorz.karczewski@dps.net.pl

Tomasz Kowalski, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (+48) 12 617 22 06, email: tkowal@agh.edu.pl

Remigiusz Kunasz, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: kunasz@agh.edu.pl

Paweł Obstawski, SGGW Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Mechanicznej, Katedra Podstaw Inżynierii i Energetyki, Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa, e-mail: pawel_obstawski@sggw.edu.pl

Aneta Sapińska-Śliwa, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (+48) 12 617 22 13, email: ans@agh.edu.pl

Krzysztof Skrzypaszek, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: varna@agh.edu.pl

Andrzej Szczygieł, Chemfor Poland Sp. z o.o., ul. Towarowa 29, 38-200, Jasło, e-mail: a.szczygiel@chemfor.eu

Michał Szczytowski, MuoviTech Polska Sp. z o.o., ul. Grabska 11A, 32-005 Niepołomice, Polska, e-mail: michal.szczytowski@muovitech.com

Krzysztof Szołkowski, Atagor Sp. z o.o., ul. Sikorskiego 22, 32-540 Trzebinia, e-mail: krzysztof.szolkowski@atagor.com

Olga Szydło, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: szydlo@agh.edu.pl

Tomasz Śliwa, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. (+48) 12 617 22 17, e-mail: sliwa@agh.edu.pl

Przemysław Toczek, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: toczek@agh.edu.pl

Tomasz Wiglusz, specjalista ds. wierceń, e-mail: t.wiglusz@gmail.com

Albert Złotkowski, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Laboratorium Geoenergetyki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, email: azlot@agh.edu.pl

Monografię zrealizowano w ramach trwałości projektu POLNOR BHEsINNO na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, nr umowy AGH 11.11.190.555 finansowanego przez NCBiR ze środków tzw. grantów norweskich.

Trwałość projektu POLNOR BHEsINNO

NCBR Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Norway grants

Drukarnia: NOVA SANDEC, Nowy Sącz ul. Lwowska 143, 33-300 Nowy Sącz, www.novasandec.pl. Druk został sfinansowany dzięki pomocy firmy MuoviTech Polska Sp. z o.o.

MuoviTech®
BEST IN EARTH.

Geoenergetics
LAB
geotermia.agh.edu.pl

Published by Geoenergetics Laboratory (www.geotermia.agh.edu.pl)

Laboratory of Geoenergetics book series, vol. 6

ISBN 978-83-68139-29-7

Kraków 2026

Spis treści

Od Redaktora 12

From the Editor 15

Rozdział 1 Wprowadzenie 19

1.1. Wkład WWNiG AGH w rozwój geotermii w ostatnich latach 22

1.2. Geotermia i Geoenergetyka 27

1.3. Testowanie otworowych wymienników ciepła 31

Rozdział 2 Laboratorium Geoenergetyki dzisiaj i jutro 35

Rozdział 3 Wykorzystanie ciepła Ziemi i wody 53

3.1. Geotermia w budownictwie wielorodzinnym 53

3.1.1. Problemy eksploatacyjne sprężarkowych pomp ciepła 54
3.1.2. Sprężarkowa pompa ciepła dedykowana dla budownictwa wielorodzinnego ..55
3.1.3. Dolne źródło ciepła 57
3.1.4. Podsumowanie i wnioski 59

3.2. Pętla wodna rozwiązaniem geoenergetycznym w mieście, na przykładzie Czechowic-Dziedzic 60

3.2.1. Koncepcja 61
3.2.2. Centralna energia dla „pętli wodnej” z odnawialnych źródeł energii 64
3.2.3. Analiza danych 65
3.2.4. Ideowy schemat rozwiązania koncepcyjnego 67
3.2.5. Przykład Spółdzielni Mieszkaniowej Michałowicza 71
3.2.6. Analiza systemu pod otworowe wymienniki ciepła 73
3.2.7. Energia cieplna 76
3.2.8. Wnioski 80

3.3. Efektywność energetyczna głębokiego otworowego wymiennika ciepła na bazie otworu mrożeniowego 82

3.3.1. Obiekt badań 83
3.3.2. Metodyka badawcza 85
3.3.3. Wyniki 88
3.3.4. Prognoza 93
3.3.5. Wnioski 95

Rozdział 4 Geotermalne sieci ciepłownicze 96

4.1. Kompozytowe rury TWS do przesyłu wód geotermalnych 96

4.1.1. Zalety rur TWS 97
4.1.2. Studium przypadku – Geotermia Koło 99

4.2. Geoenergetyka w inteligentnych sieciach ciepłowniczo-klimatyzacyjnych 101

4.2.1.Geotermia niskotemperaturowa w małych sieciach ciepłowniczo-klimatyzacyjnych 101
4.3. Możliwości geoenergetycznego wykorzystania ciepła niskotemperaturowego ze studni przeznaczonych do likwidacji w sieci ciepłowniczej 5G 105
4.3.1. Geotermalne wykorzystanie studni z wodą podziemną 106
4.3.2. Wariant I – eksploatacja wody – dublet geotermalny 112
4.3.3. Wariant II – otworowe wymienniki ciepła 114
4.3.4. Wariant III – MPEC (Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Cieplnej) 117
4.3.5. Wnioski 118
Rozdział 5 Grawitacyjne i ciśnieniowe otworowe magazynowanie energii 121
5.1. Grawitacyjny otworowy magazyn energii 124
5.1.1. Zasada działania 124
5.1.2. Budowa 125
5.2. Ciśnieniowy otworowy magazyn energii 130
5.2.1. Zasada działania 130
5.2.2. Budowa 130
Rozdział 6 Wiercenia geotermalne 135
6.1. Techniczne aspekty wiercenia rurami okładzinowymi sekcji otworów geotermalnych w formacjach chłonnych z zanikami płuczki 136
6.1.1. Krótka charakterystyka CwD 136
6.1.2. Zalety wiercenia rurami okładzinowymi 137
6.1.3. Wady 138
6.1.4. Parametry urządzeń wiertniczych oraz typowe wymagania sprzętowe 139
6.1.5. Przykładowe zastosowanie CwD w otworze ze znaczącymi zanikami płuczki lub brakiem wypływu w dolomicie 139
6.2. Płuczki do wierceń geotermalnych – kluczowe kryteria doboru 143
6.3. Zaczyny cementowe na bazie zużytej płuczki wiertniczej 155
6.3.1. Płuczka wiertnicza 157
6.3.2. Zaczyny na bazie płuczki wiertniczej 157
6.4. Innowacyjny zaczyn uszczelniający do zastosowania w geoenergetyce 159
6.4.1. Metodyka badań 162
6.4.2. Wyniki badań 163
6.4.3. Wnioski 165
Rozdział 7 Badania i modelowanie w geotermii/geoenergetyce 167
7.1. Wyznaczenie czasu rozpoczęcia testu reakcji termicznej 168
7.1.1. Badania laboratoryjne zaczynów cementowych 169
7.1.2. Badania polowe 172
7.1.3. Aparatura pomiarowa 173
7.1.4. Podsumowanie 181

7.2. Infrastruktura informatyczna i laboratoria komputerowe Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH jako zaplecze dla projektowania otworowych wymienników ciepła 182
7.2.1. Nowoczesna serwerownia Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH – wysokowydajna platforma obliczeniowa dla badań i przemysłu 183
7.2.2. Wirtualne laboratorium – elastyczne środowisko dydaktyczne nowej generacji 185
7.2.3. Środowisko aplikacyjne klastra – dostęp do zaawansowanego oprogramowania inżynierskiego i bibliotek obliczeniowych 186
7.2.4. Autorskie oprogramowanie jako wsparcie badań i dydaktyki inżynierskiej 188
7.2.5. Podsumowanie.....190
Literatura 192

GeoHoryzonty – odkrywanie potencjału Ziemi

Streszczenie

Monografia przedstawia wybrane zagadnienia związanych z geotermią i szeroko rozumianą geoenergetyką. W rozdziale pierwszym opisano aktualny stan i kierunki rozwoju geotermii w Polsce oraz wkład WWNiG AGH w rozwój geotermii w ostatnich latach. Istotną część monografii stanowi rozdział drugi prezentujący działalność Laboratorium Geoenergetyki jako zaplecza badawczo-rozwojowego, umożliwiającego prowadzenie badań eksperymentalnych, testów oraz modelowania numerycznego procesów wymiany ciepła w górotworze. Opracowanie ukazuje aspekty technologiczne, projektowe, eksploatacyjne i materiałowe, ukazując rozwój systemów wykorzystania ciepła Ziemi w kontekście transformacji energetycznej oraz dekarbonizacji sektora ciepłowniczego.

Rozdział trzeci koncentruje się na praktycznych aspektach wykorzystania ciepła Ziemi i wód podziemnych. Przedstawiono zastosowania geotermii w budownictwie wielorodzinnym, analizując problemy eksploatacyjne sprężarkowych pomp ciepła, dobór dolnych źródeł ciepła (otworowych wymienników ciepła) oraz rozwiązania dedykowane dla zabudowy o wysokiej intensywności. Zaprezentowano koncepcję „pętli wodnej" jako miejskiego rozwiązania geoenergetycznego na przykładzie Czechowic-Dziedzic, obejmując analizę danych eksploatacyjnych, schematy koncepcyjne oraz ocenę energetyczną systemu. Opisano również efektywność energetyczną głębokiego otworowego wymiennika ciepła wykonanego na bazie otworu mrożeniowego, przedstawiając metodykę badań, wyniki pomiarów oraz prognozy pracy systemu.

W rozdziale czwartym zaprezentowano zagadnienia związane z geotermalnymi sieciami ciepłowniczymi, w tym zastosowanie kompozytowych rur TWS do przesyłu wód geotermalnych oraz integrację geoenergetyki z inteligentnymi sieciami niskotemperaturowymi 5G. Szczególną uwagę poświęcono możliwościom wykorzystania ciepła niskotemperaturowego ze studni przeznaczonych do likwidacji, analizując różne warianty zagospodarowania.

Rozdział piąty dotyczy innowacyjnych rozwiązań w zakresie magazynowania energii w otworach wiertniczych, zarówno w wariancie grawitacyjnym, jak i ciśnieniowym. Opisano zasady działania, konstrukcję oraz potencjalne zastosowania tych systemów jako elementów stabilizujących pracę odnawialnych źródeł energii.

Rozdział szósty poświęcony wierceniom geotermalnym obejmuje techniczne aspekty realizacji otworów w trudnych warunkach geologicznych, w tym wiercenie rurami okładzinowymi (CwD). Przedstawiono kryteria doboru płuczek wiertniczych do wierceń geotermalnych, technologie zagospodarowania zużytych płuczek poprzez opracowanie na ich bazie zaczynów cementowych oraz wyniki badań nad innowacyjnym zaczynem uszczelniającym dedykowanym zastosowaniu w geoenergetyce.

Ostatnia część monografii koncentruje się na badaniach i modelowaniu procesów cieplnych w systemach geoenergetycznych. Opisano wyniki badań laboratoryjnych i polowych w celu określenia metody wyznaczania czasu rozpoczęcia testu reakcji termicznej (TRT). Przedstawiono również infrastrukturę informatyczną i obliczeniową WWNiG AGH, w tym wysokowydajne środowiska serwerowe, wirtualne laboratoria oraz autorskie oprogramowanie wspierające projektowanie i optymalizację otworowych wymienników ciepła oraz otworów geotermalnych.

Monografia stanowi interdyscyplinarne opracowanie łączące wiedzę z zakresu geologii, inżynierii wiertniczej, energetyki i inżynierii środowiska. Prezentowane wyniki badań, analizy przypadków oraz rozwiązania technologiczne potwierdzają istotną rolę geotermii i geoenergetyki w budowie niskoemisyjnych, efektywnych energetycznie systemów ciepłowniczych przyszłości.

GeoHorizons – Discovering Earth's Potential

Abstract

This monograph presents a comprehensive approach to issues related to geothermal energy and geoenergetics in its broadest sense. The first chapter discusses the current status and directions of geothermal development in Poland and the contribution of the AGH University of Krakow, Drilling, Oil and Gas Faculty. A significant part of the monograph is the second chapter, presenting the activities of the Geoenergetics Laboratory as a research and development facility, enabling experimental research, testing, and numerical modeling of heat transfer processes in the subsurface. The study explores technological, design, operational, and material aspects, demonstrating the development of geothermal energy systems in the context of energy transition and the decarbonization of the heating sector.

Chapter three focuses on practical aspects of utilizing geothermal energy and groundwater. Geothermal applications in multifamily housing are presented, analyzing the operational problems of compressor heat pumps, the selection of ground-source heat sources (borehole heat exchangers), and solutions designed for high-density buildings. The concept of a "water loop" as an urban geoenergetics solution is presented using the example of Czechowice-Dziedzice, including an analysis of operational data, conceptual diagrams, and an energy assessment of the system. The energy efficiency of a deep borehole heat exchanger constructed using a frozen well is also discussed, presenting the research methodology, measurement results, and system performance forecasts.

Chapter four presents issues related to geothermal heating networks, including the use of composite GRP pipes for geothermal water transport and the integration of geoenergetics with smart 5G low-temperature networks. Particular attention is paid to the possibilities of utilizing low-temperature heat from decommissioned wells, analyzing various development options.

Chapter five addresses innovative solutions for energy storage in boreholes, both gravity and pressure. The principles of operation, design, and potential applications of these systems as stabilizing elements for renewable energy sources are discussed. Chapter six, devoted to geothermal drilling, covers the technical aspects of drilling wells in challenging geological conditions, including casing drilling (CWD). It presents criteria for selecting drilling fluids for geothermal drilling, technologies for reusing spent fluids by developing cement

slurries based on them, and the results of research on an innovative sealing slurry for geoenergetics applications.

The final section of the monograph focuses on the research and modeling of thermal processes in geoenergetics systems. Results from laboratory and field studies are discussed to determine the method for determining the start time of the thermal response test (TRT). The IT and computing infrastructure of the Faculty of Geophysics and Geophysics at AGH University of Science and Technology is also presented, including high-performance server environments, virtual laboratories, and proprietary software supporting the design and optimization of borehole heat exchangers and geothermal wells.

The monograph is an interdisciplinary study combining knowledge from geology, drilling engineering, energy, and environmental engineering. The presented research results, case studies and technological solutions confirm the important role of geothermal energy and geoenergetics in the construction of low-emission, energy-efficient heating systems of the future.

Od Redaktora

Treść niniejszej monografii z serii wydawniczej *Laboratory of Geoenergetics book series* bazuje głównie na materiałach poseminaryjnych po II, III i IV Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła. Dziękuję autorom referatów seminaryjnych, którzy dostarczyli pełne wersje swoich referatów wygłoszonych w 2022, 2023 i 2024 roku.

Pod koniec 2025 roku działało w Polsce już 11 ciepłowni geotermalnych. Wierci się coraz więcej otworów geotermalnych i jeszcze więcej otworowych wymienników ciepła. Rozpoczęły się w Polsce realizacje inwestycji, które zawierać będą ponad tysiąc otworowych wymienników ciepła. Martwić powinien fakt zbyt słabego w Polsce przyrostu liczby specjalistów. Duże miasta położone w korzystnych warunkach geotermalnych już nawiązują niestety współpracę z firmami zagranicznymi w zakresie realizacji inwestycji w wody geotermalne, zamiast wykorzystywać polski potencjał naukowy.

Ciekawym kierunkiem działań jest zagospodarowanie dorobku (górniczego) wcześniejszych pokoleń. Zakończenie działalności górniczej zazwyczaj jest problemem dla przedsiębiorcy i gminy, gdzie taka działalność była realizowana. Wiąże się to z kosztami likwidacji zakładu górniczego oraz rekultywacji terenu i jego dalszego wykorzystania. Do głównych pozostałości po działalności górniczej należą wyrobiska i hałdy, a także infrastruktura wydobywcza i przesyłowa. W wielu miejscach celowe wydaje się wykorzystanie takiej pozostałej infrastruktury dla celów grzewczych i/lub grzewczo-chłodniczych w gminie/mieście. Wokół zakładów górniczych bardzo często tworzyły się miasta, czego najlepszym przykładem jest Górny Śląsk, ale i średniowieczne zakłady górnicze działające dotychczas, jak Kopalnia Soli Wieliczka i Kopalnia Soli Bochnia. Te dwie ostatnie działają nieprzerwanie od średniowiecza, przynosząc znaczne dochody dla skarbu państwa (jak w średniowieczu z wydobycia soli), albo obecnie, także dla miast (z opłat od licznych turystów z kraju i zagranicy), które w średniowieczu powstały wokół szybów górniczych. Obecnie można wykorzystać tysiące otworów przeznaczonych do likwidacji lub już zlikwidowanych do wymiany ciepła z górotworem i/lub do magazynowania energii. Kopalnie podziemne można wykorzystać jako obiekty turystyczne, co często się dzieje. Jednak, mogą one również służyć do pozyskiwania ciepła za pośrednictwem zużytego powietrza wentylacyjnego i/lub z wód eksploatowanych w celu ich odwadniania. Szyby górnicze można wykorzystywać do

wielkoskalowego magazynowania energii lub jako elementy instalacji geotermalnych. W wielu gminach zupełnie się nie rozważa takich możliwości, a mogą one być bardzo interesujące.

Materiały do monografii są wynikiem realizacji wielu projektów naukowo badawczych, które były finansowane z różnych źródeł. Jednymi z nich były tzw. fundusze norweskie na lata 2014–2021 finansujące badania za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie. Projekty badawcze były również wspierane przez program „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Badania zrealizowano również w ramach projektu: „Wysokowydajna podkrytyczna sprężarkowa pompa ciepła o zredukowanej masie czynnika chłodniczego" finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 – POIR.01.01.01-00.1538/19-00.

Część odwiertów, na których prowadzono badania, opisanych w niniejszej pracy, zostało wykonanych przez spółkę DPS z Bielan Wrocławskich. Autorzy badań składają serdeczne podziękowania za profesjonalne podejście, wysoką jakość realizacji prac wiertniczych oraz zaangażowanie zespołu, które umożliwiły sprawne przeprowadzenie badań terenowych. Prace powstawały także w ramach subwencji Katedry Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie.

W badaniach uczestniczyli studenci Studenckiego Koła Naukowego GEOWIERT. Badania te były częściowo finansowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, a także dzięki Grantom Rektorskim dla Studenckich Kół Naukowych na AGH w Krakowie.

30 sierpnia 2025 r. otwarto pierwszą w Polsce instalację do wytwarzania energii elektrycznej z wód geotermalnych. Działająca od grudnia elektrownia binarna wykorzystuje R1234ze w organicznym obiegu Rankine'a. Moc znamionowa wynosi 205 kW, a energia pochodzi z wody geotermalnej z otworu Chochołów PIG-1 z roku 1990 posiadającej temperaturę 90°C na głowicy.

Pod koniec 2025 r. Massachusetts Institute of Technology (MIT) ogłosił pierwsze przemysłowe wykorzystanie wierceń mikrofalowych do wykonywania głębokich otworów na potrzeby geotermii. Metoda jest jedną z analizowanych termicznych metod urabiania skał. Wykorzystuje mikrofale wytwarzane na powierzchni przez żyrotron, a roztopiona skała częściowo zastępuje w otworze rury okładzinowe. Ogłoszenie przez MIT w 2024 r. zaawansowanych systemów geotermalnych (EGS) jako jednej z technologii przełomowych dla

dalszego rozwoju cywilizacji sprawdza się w licznych projektach głębokich wierceń geotermalnych, w tym takich, które mają za zadanie wydobywanie wody w stanie nadkrytycznym. Pozostaje mieć nadzieję, że podobne projekty pojawią się także w Polsce. Opracowywana aktualizacja tzw. mapy drogowej rozwoju geotermii w Polsce powinna przewidzieć takie realizacje.

Tomasz Śliwa

From the Editor

The content of this monograph from the Laboratory of Geoenergetics book series is based primarily on post-seminar materials from the 2nd, 3rd, and 4th Geoenergetics and Geothermal Heat Pump Seminars. I would like to thank the authors of the seminar papers who provided full versions of their papers presented in 2022, 2023, and 2024.

By the end of 2025, 11 geothermal heating plants were already operating in Poland. More and more geothermal wells and even more borehole heat exchangers are being drilled. Projects have begun in Poland, which will include over a thousand borehole heat exchangers. The slow growth in the number of specialists in Poland is a cause for concern. Large cities located in favorable geothermal conditions are unfortunately already partnering with foreign companies to implement geothermal water investments, instead of leveraging Poland's scientific potential.

An interesting direction of action is to utilize the (mining) achievements of previous generations. The termination of mining operations is usually a challenge for both the entrepreneur and the municipality where such operations were carried out. This involves the costs of mine closure, land reclamation, and its continued use. The main remnants of mining operations include pits and spoil heaps, as well as mining and transmission infrastructure. In many places, it seems advisable to utilize this remaining infrastructure for heating and/or heating-cooling purposes within the municipality/city. Towns often developed around mining plants, the best example being Upper Silesia, but also medieval mining plants still in operation, such as the Wieliczka Salt Mine and the Bochnia Salt Mine. The latter two have operated continuously since the Middle Ages, generating significant revenue for the state treasury (as in the Middle Ages from salt mining), and today, also for the cities (from fees from numerous domestic and international tourists) that were created around mine shafts in the Middle Ages. Currently, thousands of shafts slated for closure or already closed can be used for heat exchange with the rock mass and/or for energy storage. Underground mines can be used as tourist facilities, which is often the case. However, they can also be used to extract heat from used ventilation air and/or from extracted water for drainage. Mine shafts can be used for large-scale energy storage or as components of geothermal installations. Many municipalities completely ignore these possibilities, yet they can be very interesting.

The materials for this monograph are the result of numerous research projects funded by various sources. One of these was the so-called Norway Grants for 2014–2021, which

financed research through the National Centre for Research and Development in Warsaw. The research projects were also supported by the "Excellence Initiative – Research University" program for the AGH University of Science and Technology in Kraków. The research was also carried out as part of the project entitled "High-Efficiency Subcritical Compression Heat Pump with Reduced Refrigerant Mass," funded by the National Centre for Research and Development under the Smart Growth Operational Programme 2014-2020 – POIR.01.01.01-00.1538/19-00.

Some of the wells used for the research described in this paper were drilled by DPS from Bielany Wrocławskie. The authors would like to thank them for their professional approach, high-quality drilling, and dedicated team, which enabled the efficient conduct of the fieldwork. The work was also supported by a grant from the Department of Drilling and Geoengineering at the Faculty of Drilling, Oil, and Gas of the AGH University of Science and Technology in Krakow, grant number 16.16.190.779.

Students from the GEOWIERT Student Research Group participated in the research. This research was partially funded by the AGH University of Science and Technology in Kraków, Faculty of Drilling, Oil, and Gas, and also thanks to Rector's Grants for Student Research Groups at the AGH University of Science and Technology in Kraków.

On August 30, 2025, Poland's first geothermal electricity generation facility opened. The binary power plant, which has been operating since December, uses R1234ze in an organic Rankine cycle. Its rated power is 205 kW, and the energy comes from geothermal water from the 1990 Chochołów PIG-1 well, which had a head temperature of 90°C.

At the end of 2025, the Massachusetts Institute of Technology announced the first industrial use of microwave drilling to drill deep holes for geothermal purposes. This method is one of the thermal rock-cutting methods being analyzed. It utilizes microwaves generated at the surface by a gyrotron, with molten rock partially replacing the casing in the hole. MIT's 2024 announcement of advanced geothermal systems (EGS) as a breakthrough technology for the further development of civilization is proving effective in numerous deep geothermal drilling projects, including those designed to extract supercritical water. It remains to be hoped that similar projects will also appear in Poland. The upcoming update of the so-called roadmap for geothermal development in Poland should anticipate such implementations.

Tomasz Śliwa