

MONOGRAFIA

Redakcja Tomasz Śliwa

Górnictwo otworowe w (r)ewolucji energetycznej

Autorzy:

**Mohsen Assadi
Adrian Bugajny
Piotr Buliński
Martyna Ciepiewska
Jakub Drosik
Piotr Dziadzio
Andrzej Gonet
Kinga Jarosz**

**Marek Jaszczur
Adib Kalantar
Jakub Koczorowski
Stanisław Kotyła
Tomasz Kowalski
Marek Kucper
Chrystian Mazur
Karolina Rerutko**

**Krzysztof Seńczuk
Konrad Skrzypiec
Aneta Sapińska-Śliwa
Michał Szczytowski
Tomasz Śliwa
Marian Wolan
Michał Wójcik**

Wydawnictwo Laboratorium Geoenergetyki AGH w Krakowie

Laboratory of Geoenergetics book series vol. 5

Kraków 2023

Recenzenci (reviewers): dr hab. inż. Jan Ziaja, prof. AGH, dr hab. inż. Dariusz Knez, prof. AGH

Redakcja (editor): Tomasz Śliwa

Autorzy (the authors): Mohsen Assadi, Adrian Bugajny, Piotr Buliński, Martyna Ciepiewska, Jakub Drosik, Piotr Dziadzio, Andrzej Gonet, Kinga Jarosz, Marek Jaszczur, Adib Kalantar, Jakub Koczorowski, Stanisław Kotyła, Tomasz Kowalski, Marek Kucper, Chrystian Mazur, Karolina Rerutko, Krzysztof Seńczuk, Konrad Skrzypiec, Aneta Sapińska-Śliwa, Michał Szczytowski, Tomasz Śliwa, Marian Wolan, Michał Wójcik

Afiliacje autorów (authors' affiliations):

Mohsen Assadi, University of Stavanger, Faculty of Science and Technology, Department of Energy and Petroleum Engineering, Kristine Bonnevis vei 22, 4036 Stavanger, Norway, uis.no, email: mohsen.assadi@uis.no

Adrian Bugajny, Glinik Drilling Tools, ul. Michalusa 1, 38-320 Gorlice, glinik.com.pl, email: adrian.bugajny@glinik.com.pl

Piotr Buliński, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, email: bulinski@agh.edu.pl

Martyna Ciepiewska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, email: martynaciepiewska@gmail.com

Jakub Drosik, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, email: drosik@student.agh.edu.pl

Piotr Dziadzio, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa, gov.pl/web/klimat

Andrzej Gonet, 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, agh.edu.pl, email: gonet@agh.edu.pl

Kinga Jarosz, Instytut Nauk Geologicznych UJ, Wydział Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków, ing.uj.edu.pl, email: kinga.borek@uj.edu.pl

Marek Jaszczur, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, weip.agh.edu.pl, email: jaszczur@agh.edu.pl

Adib Kalantar, MuoviTech AB, Tvinnargatan 11, 507 30 Brämhult, Sweden, muovitech.com, email: Adib.Kalantar@muovitech.com

Jakub Koczorowski, Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła PORT PC, ul. Cechowa 51/50, 30-614 Kraków, portpc.pl, email: jakub.koczorowski@portpc.pl

Stanisław Kotyła, SATOR Grzegorz Skowroński, ul. Wspólna 10, 26-900 Kozienice-Nowiny, sator.pl, email: sk@sator.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, geotermia.agh.edu.pl, email: tkowal@agh.edu.pl

Marek Kucper, Specjalistyczny Zakład Robót Budowlano-Wiertniczych „EURO-WIERT” Sp. z o.o., ul. Siarkopolowa 6, 39-400 Tarnobrzeg, eurowiert.eu, email: marek.kucper@yahoo.com

Chrystian Mazur, Exalo Drilling S.A., ul. Naftowa 3, 65-705 Zielona Góra, exalo.pl, email: chrystian.mazur@exalo.pl

Karolina Rerutko, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, email: rerutko.karolina@wp.pl

Krzysztof Seńczuk, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, email: senczuk@agh.edu.pl

Konrad Skrzypiec, GEOD Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Michał Wójcik, Przebieczany 685, 32-020 Wieliczka, geod.pl, email: k.skrzypiec@geod.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, geotermia.agh.edu.pl, email: ans@agh.edu.pl

Michał Szczytowski, MuoviTech Polska Sp. z o.o., ul. Wimmera 31, 32-005 Niepołomice, muovitech.com/PL/, email: szczytowskimichal.1998@gmail.com

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, geotermia.agh.edu.pl, email: sliwa@agh.edu.pl

Marian Wolan, Orlen S.A. OGIE PGNiG w Warszawie, ul. M. Kasprzaka 25, 01-224 Warszawa, pgnig.pl, marian.wolan@pgnig.pl

Michał Wójcik, GEOD Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Michał Wójcik, Przebieczany 685, 32-020 Wieliczka, geod.pl, email: m.wojcik@geod.pl

Drukarnia (printing house): NOVA SANDEC, 33-300 Nowy Sącz, ul. Lwowska 143, novasandec.pl

ISBN 978-83-66394-89-6

Monografię zrealizowano w ramach projektu **POLNOR BHESINNO** na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Operatorem programu było **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie**. Środki finansowe pochodziły z tzw. Funduszy Norweskich.

The research leading to these results has received funding from the **Norway Grants** 2014–2021 via the National Centre for Research and Development in Warsaw.



Druk został sfinansowany dzięki pomocy firmy MuoviTech Polska Sp. z o.o. (The printing was financed with the help of MuoviTech Polska Sp. z o.o.), ul. Wimmera 31, 32-005 Niepołomice, muovitech.com/PL/



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

Wydawnictwo Laboratorium Geoenergetyki AGH w Krakowie (geotermia.agh.edu.pl)



Laboratory of Geoenergetics book series, vol. 5

Kraków 2023

SPIS TREŚCI

Od Redaktora

Note from the Editor

Rozdział 1. Wprowadzenie

1.1. Projekt BHEsINNO realizowany z programu POLNOR Narodowego Centrum Badań i Rozwoju

1.2. Perspektywy rozwoju geotermii niskotemperaturowej w Polsce: Finansowanie Geotermii Niskotemperaturowej w Polsce

Rozdział 2. Wiertnictwo

2.1. Cementowanie głębokich otworowych wymienników ciepła – koncepcja realizacji pod kątem maksymalizacji mocy grzewczej

2.1.1. Głębokie otworowe wymienniki ciepła

2.1.2. Rekonstrukcja otworu

2.1.3. Zwiększenie przewodności cieplnej

2.1.4. Zapobieganie stratom ciepła

2.1.5. Badania laboratoryjne

2.1.6. Wnioski

2.2. Głęboki otworowy wymiennik ciepła w Sękowej – koncepcja innowacyjnych instalacji otworowej – pilotaż

2.3. Innowacyjne wgłębne wyposażenie głębokich otworowych wymienników ciepła na przykładzie instalacji otworowej – pilotaż

2.3.1. Wariant I

2.3.2. Wariant II

2.3.3. Wariant III

2.3.4. Podsumowanie

2.4. Optymalizacja kosztów wiercenia dla instalacji z otworowymi wymiennikami ciepła

2.5. Optymalizacja wiercenia otworowych wymienników ciepła metodą udarowo-obrotową

2.6. Porównanie wydajności wiercenia z dolnym młotkiem i z płuczką polimerowo bentonitową - fakty i mity

2.7. Zaczyny uszczelniające o podwyższonym przewodnictwie cieplnym

Rozdział 3. Geoenergetyka

3.1. Głębokie otworowe wymienniki ciepła

3.2. Istniejące oraz potencjalne źródła ciepła i chłodu antropogenicznego w górotworze

3.2.1. Istniejące źródła zanieczyszczenia górotworu ciepłem nienaturalnym

3.2.2. Potencjalne źródła zanieczyszczeń górotworu ciepłem nienaturalnym

3.2.3. Zagrożenia związane z wyspami ciepła

3.2.4. Możliwe sposoby wykorzystania

3.2.5. Geotermalne pompy ciepła a podziemne miejskie wyspy ciepła/chłodu

3.2.6. Podsumowanie

3.3. Magazynowanie energii elektrycznej w otworach wiertniczych

3.4. Możliwość zastosowania pyłu bazaltowego w geoenergetyce

3.5. Test reakcji termicznej sposobem na określenie efektywnego przewodnictwa cieplnego

Rozdział 4. Geotermalne, gruntowe, solankowe i glikolowe pompy ciepła oraz otworowe wymienniki ciepła

4.1. Określenie oporności cieplnej otworowego wymiennika ciepła - modele obliczeniowe

4.2. Potencjał otworowych wymienników ciepła GRD w Polsce

4.3. Rynek gruntowych pomp ciepła w Polsce i Europie oraz aktualizacja wytycznych Port PC cz. 1

Projektowanie, wykonanie i odbiór instalacji z pompami ciepła - dolne źródła ciepła

4.3.1. Wytyczne PORT PC dotyczące dolnych źródeł (otworowych wymienników ciepła) pomp ciepła

4.3.2. Rynek gruntowych pomp ciepła w Polsce

4.3.3. Podsumowanie

4.4. Zwiększenie przewodności cieplnej zaczynów uszczelniających w otworowych wymiennikach ciepła na instalacje geotermalne – analiza porównawcza

Literatura

Górnictwo otworowe w (r)ewolucji energetycznej

Streszczenie

Niniejsza monografia stanowi kontynuację serii wydawniczej *Laboratory of Geoenergetics book series*. Obejmuje swoją tematyką zagadnienia wiertnictwa, geoenergetyki, geotermalnych pomp ciepła oraz otworowych wymienników ciepła.

W pierwszym rozdziale przedstawiono założenia realizowanego przy współudziale Laboratorium Geoenergetyki AGH projektu BHESINNO z programu POLNOR Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie. Projekt realizuje międzynarodowe konsorcjum naukowo-przemysłowe. Opisano również perspektywy rozwoju geotermii niskotemperaturowej oraz programy Ministerstwa Klimatu i Środowiska mające na celu stymulację tego rozwoju.

Rozdział drugi poświęcony jest wiertnictwu, ze szczególnym uwzględnieniem optymalizacji procesu wiercenia otworowych wymienników ciepła. W rozdziale tym przedstawiono także wyniki badań nad zaczynami uszczelniającymi, stosowanymi zarówno w płytkich jak i głębokich otworowych wymiennikach ciepła. Poruszono również inne kwestie dotyczące głębokich otworowych wymienników ciepła.

Rozdział trzeci skupia się na szeroko pojętej geoenergetyce. Można w nim przeczytać o głębokich otworowych wymiennikach ciepła, źródle ciepła i chłodu pochodzenia antropogenicznego oraz możliwości zastosowania pyłu bazaltowego w zaczynach uszczelniających otwory wiertnicze, który modyfikuje ich właściwości termiczne. Poruszone zostały także zagadnienia testów reakcji termicznej (TRT) otworowych wymienników ciepła.

W ostatnim, czwartym rozdziale zaprezentowano tematykę związaną z geotermalnymi pompami ciepła i otworowymi wymiennikami ciepła. W rozdziale tym znaleźć można informacje na temat określenia oporności termicznej otworowego wymiennika ciepła, wymienników ciepła typu GRD, rynku gruntowych/geotermalnych pomp ciepła oraz zwiększania przewodności cieplnej zaczynów uszczelniających, stosowanych do uszczelniania/wypełniania otworowych wymienników ciepła.

Borehole maining in energy (r)evolution

Abstract

This monograph is a continuation of the *Laboratory of Geoenergetics book series*. It covers the topics of drilling, geoenergetics, geothermal heat pumps and borehole heat exchangers.

The first chapter presents the assumptions of the BHESINNO project implemented with the participation of the AGH University of Science and Technology Geoenergetics Laboratory from the POLNOR programme of the National Centre for Research and Development in Warsaw. The project is carried out by an international scientific-industrial consortium. The prospects for the development of low-temperature geothermal energy and the programmes of the Ministry of Climate and Environment to stimulate this development are also described.

The second chapter is devoted to drilling, with a particular focus on optimizing the drilling process for borehole heat exchangers. This chapter also presents the results of research on sealing grouts used in both shallow and deep borehole heat exchangers. Other issues regarding deep borehole heat exchangers are also addressed.

The third chapter puts focus on geoenergetics in the broadest sense. In it, deep borehole heat exchangers, the source of heat and cold of anthropogenic origin and the possibility of using basalt dust in borehole sealing slurries to modify their thermal properties are discussed. The thermal response testing (TRT) of borehole heat exchangers is also discussed.

The final, fourth chapter presents topics related to geothermal heat pumps and borehole heat exchangers. The chapter includes information on determining the thermal resistance of a borehole heat exchanger, GRD heat exchangers, the ground/geothermal heat pump market and increasing the thermal conductivity of sealing slurries used to seal/fill borehole heat exchangers.

Od Redaktora

Na początku września 2021 roku na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie miało miejsce I Seminarium „Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła”. Tematem przewodnim Seminarium było „Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”. Honorowy patronat nad wydarzeniem objął Pan dr Piotr Dziadzio – Główny Geolog Kraju, Pełnomocnik Rządu ds. Polityki Surowcowej Państwa, Podsekretarz stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska. Seminarium zostało przeprowadzone w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)”, a organizacją wydarzenia zajął się zespół Laboratorium Geoenergetyki AGH oraz studenci Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu, z Koła Naukowego Geowiert.

Pierwszy dzień Seminarium, zorganizowany w formie hybrydowej, rozpoczął się od oficjalnych wystąpień Pana Prorektora ds. Współpracy AGH, Pana Dziekana Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu oraz Pani Prodziekan Wydziału ds. Studiów Stacjonarnych, dr. hab. inż. Anety Sapińskiej-Śliwy, prof. AGH. Następnie miała miejsce prawie ośmiogodzinna sesja referatów, wzbogacona o ożywioną dyskusję. W trakcie tej sesji prelegenci poruszali tematy z zakresu wiertnictwa, geotermii, geoenergetyki i geotermalnych/gruntowych pomp ciepła. Dzień zwieńczony został sesją posterową, przygotowaną przez studentów i doktorantów Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu.

W trakcie drugiego dnia, zorganizowanego już wyłącznie stacjonarnie (choć w terenie), uczestnicy Seminarium mieli okazję zwiedzić Laboratorium Geoenergetyki AGH oraz zapoznać się z procesem wykonywania otworowego wymiennika ciepła w malowniczej, podkrakowskiej miejscowości Głogoczków.

Niniejsza monografia jest recenzowanym zbiorem tekstów napisanych na podstawie referatów przedstawionych na Seminarium. Biorąc pod uwagę pozytywny odzew przed i po naszym Seminarium, mam nadzieję, że Monografia spotka się z równie ciepłym przyjęciem i przyczyni się do rozwoju oraz popularyzacji geoenergetyki, a także geotermalnych pomp ciepła.

Tomasz Śliwa

Note from the Editor

In the beginning of September 2021, the AGH University of Science and Technology held the 1st Seminar “Geoenergetics and Geothermal Heat Pumps”. The main theme of the Seminar was “Borehole mining in the energy revolution”. The honorary patronage was held by dr Piotr Dziadzio, Undersecretary of State, Chief National Geologist, Government Plenipotentiary for the State’s Raw Materials Policy Chief National Geologist, Government Plenipotentiary for the State’s Resource-based Energetics, Undersecretary of State in the Ministry of Climate and Environment Republic of Poland. The Seminar was held as a part of ongoing project “Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)” and the organizing committee was comprised of members of the Laboratory of Geonergetics of the AGH University of Science and Technology and students of the Faculty of Mining, Oil and Gas – members of the Geowiert Student Research Group.

The first day of the Seminar, conducted in a hybrid manner, begun with the official statements from the Vice-rector for Cooperation of the AGH University of Science and Technology, the Dean of the Faculty of Mining, Oil and Gas, and the Vice-dean of the Faculty for the Full-time Studies. Then, a close to eight hours oral session, enriched by a lively discussion was held. During this part the speakers explored the topics regarding drilling, geothermics, geoenergetics and geothermal heat pumps. The day was finished with a poster session prepared by the students and PhD candidates from the Faculty of Mining Oil and Gas.

During the second day, which was entirely held in person, the participants were able to visit the Laboratory of Geoenergetics of AGH University of Science and Technology and learn about the process behind the installation of a borehole heat exchanger in a picturesque village Głogoczków, located in the vicinity of Krakow.

This monograph is a peer-reviewed collection of papers written basing on the talks given during the Seminar. Regarding the positive response both ahead of and after the seminar we sincerely do hope that this monograph will be equally well received and will partake in the improvement and popularization of geoenergetics and geothermal heat pumps.

Tomasz Śliwa

