

WYDZIAŁ WIERTNICTWA, NAFTY I GAZU
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
W KRAKOWIE

OTWORY WIERTNICZE

ISTOTNY ELEMENT PRZEKSZTAŁCENÍ
ENERGETYCZNYCH

Zeszyt streszczeń

I Seminarium „Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła”
na temat: Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej
Pod patronatem dr Piotra Dziadzio – Głównego Geologa Kraju, Pełnomocnika
Rządu ds. Energetyki Surowcowej Państwa,
Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska.

 Ministerstwo
Klimatu i Środowiska

 KATEDRA WIERTNICTWA
i GEOINŻYNIERII
AGH w Krakowie

 Norway
grants



 AGH

 GEOWIERT

 Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju



Zeszyt Streszczeń

Redakcja: Tomasz Śliwa, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Edycja: Piotr Buliński, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

I Ogólnopolskie Seminarium "Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła" na temat: Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej

Kraków, 7-8 września 2021 r.

Patronat nad Seminarium objął dr Piotr Dziadzio – Główny Geolog Kraju, Pełnomocnik Rządu ds. Polityki Surowcowej Państwa, Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska

Komitet Honorowy:

Prorektor ds. Współpracy AGH, prof. dr hab. inż. Rafał Wiśniowski
Dziekan Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, dr hab. inż. Mariusz Łaciak, prof. AGH
Prodziekan Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu ds. Studiów Stacjonarnych, dr hab. inż. Aneta Sapińska-Śliwa, prof. AGH
Kierownik Katedry Wiertnictwa i Geoinżynierii WWNiG AGH, dr hab. inż. Jan Ziaja, prof. AGH
Kierownik Laboratorium Geoenergetyki AGH, dr hab. inż. Tomasz Śliwa, prof. AGH
Pełnomocnik Rektora ds. Kół Naukowych, dr hab. inż. Paweł Bogacz, prof. AGH

Komitet Naukowy:

prof. dr hab. inż. Andrzej Gonet,
prof. dr hab. inż. Stanisław Stryczek,
prof. dr hab. inż. Rafał Wiśniowski,
dr hab. inż. Dariusz Knez, prof. AGH,
dr hab. inż. Aneta Sapińska-Śliwa, prof. AGH,
dr hab. inż. Tomasz Śliwa, prof. AGH,
dr hab. inż. Jan Ziaja, prof. AGH.

Komitet Organizacyjny:

Tomasz Śliwa – Przewodniczący,
Tomasz Kowalski – Zastępca Przewodniczącego,
Martyna Ciepiewska – Sekretarz Naukowy,
Magdalena Gaczoł – Sekretarz Finansowy,
Piotr Buliński,
Karolina Rerutko,
Jakub Drosik.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”

Organizacja Seminarium:

Laboratorium Geoenergetyki AGH
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Tel.: (+48) 12 617 22 17, kom. 664 05 63 30
Email: geotermia@agh.edu.pl



Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje
paw. A-4, pok. 312A
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
Email: nafta@agh.edu.pl



Studenckie Koło Naukowe GEOWIERT
Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Tel.: (+48) 531 377 942
Email: geowiert@agh.edu.pl



Wydawnictwo Laboratorium Geoenergetyki AGH (www.geotermia.agh.edu.pl)
oraz Fundacji "Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje" (www.nafta.agh.edu.pl)



Kraków 2021

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Spis treści

Cementowanie głębokich otworowych wymienników ciepła – koncepcja realizacji podkątę maksymalizacji mocy grzewczej	5
Dolne źródła pomp ciepła. Czy to tylko odwierty? Istotne zagadnienia towarzyszące. Nieoczywiste aspekty formalne ..	6
Działalność SKN Geowiert w badaniach z zakresu wiertnictwa, geoinżynierii i geotermii	7
Głęboki otworowy wymiennik ciepła w Sękowej - koncepcja innowacyjnej instalacji otworowej – pilotaż	8
Głębokie otworowe wymienniki ciepła	10
Innowacyjne wgłębne wyposażenie głębokich otworowych wymienników ciepła na przykładzie otworu Sękowa GT-1 ..	11
Instalacje gruntowe dla pomp ciepła - turbocollector TC45	12
Istniejące oraz potencjalne źródła ciepła i chłodu antropogenicznego w górotworze	13
Magazynowanie energii elektrycznej w otworach wiertniczych	14
Możliwości wykorzystania energii gorących suchych skał - prace badawcze realizowane w Katedrze Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH	15
Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w podziemnych zakładach górniczych	16
Możliwość zastosowania pyłu bazaltowego w geoenergetyce	17
Określenie oporności cieplnej otworowego wymiennika ciepła - modele obliczeniowe	18
Optymalizacja kosztów wiercenia dla instalacji z otworowymi wymiennikami ciepła	19
Optymalizacja wiercenia otworowych wymienników ciepła metodą udarowo-obrotową	20
Pierwsze geotermalne uzdrowisko w Polsce – historia i perspektywy rozwoju miasta Uniejów	21
Porównanie wydajności wiercenia z dolnym młotkiem i z płuczką polimerowo bentonitową - fakty i mity	22
Potencjał otworowych wymienników ciepła GRD w Polsce	23
Projekt BHEsINNO realizowany z programu POLNOR Narodowego Centrum Badań i Rozwoju	24
Przebieg testu reakcji termicznej otworowego wymiennika ciepła	25
Racjonalizacja wyboru nowego urządzenia wiertniczego. Dylemat pomiędzy urządzeniem specjalistycznym a uniwersalnym	26
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	27
Test reakcji termicznej sposobem na określenie efektywnego przewodnictwa cieplnego	28
Zaczyny uszczelniające o podwyższonym przewodnictwie cieplnym	29
Zwiększenie przewodności cieplnej zaczynów uszczelniających w otworowych wymiennikach ciepła na instalacje geotermalne – analiza porównawcza	30

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



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

Cementing of deep borehole heat exchangers – implementation concept for heating power maximization

Martyna Ciepielowska, Tomasz Śliwa, Tomasz Kowalski*

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

**Adres e-mail autora do korespondencji: ciepielowska@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: zaczyny uszczelniające, przewodnictwo cieplne, instalacje geotermalne, otworowe wymienniki ciepła, efektywność energetyczna

Otworowe wymienniki ciepła (BHEs - ang. Borehole Heat Exchangers) jako źródło energii odnawialnej cieszą się coraz większym zainteresowaniem ze względu na uniwersalność ich zastosowania. Inwestycje na szerszą skalę ograniczone są jednak przez wymagany wysoki kapitał początkowy. Należy zatem zastanowić się nad maksymalizacją mocy grzewczej instalacji w celu jak najszybszego zwrotu nakładów inwestycyjnych.

Wiadomym jest, że przewodnictwo cieplne stwardniałego zaczynu cementowego, uszczelniającego, wpływa na wymianę ciepła między wnętrzem otworu a górotworem. Referat opisuje zagadnienie maksymalizacji mocy grzewczej otworowych wymienników ciepła, poprzez zastosowanie zaczynów uszczelniających o zmodyfikowanej przewodności cieplnej. W zależności od wartości przewodności cieplnej stwardniałego zaczynu cementowego, może on mieć działanie przewodzące – pozwalające na przeniknięcie większej ilości ciepła do cieczy roboczej, lub izolujące – zapobiegające stratom ciepła z cieczy roboczej podczas jej przepływu. Referat przedstawia przegląd literatury naukowej związanej z cementowaniem otworowych wymienników ciepła, właściwościami zaczynu cementowego, oraz postępy badań naukowych prowadzonych na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w ramach Laboratorium Geoenergetyki.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



**Dolne źródła pomp ciepła. Czy to tylko odwierty? Istotne zagadnienia towarzyszące.
Nieoczywiste aspekty formalne**

**Sources of heat pumps. Is it just boreholes? Relevant accompanying issues.
Non-obvious formal aspects**

Grzegorz Karczewski, Wojciech Mazurek, Jarosław Ozimek*

Afiliacja: DPS Sp. z o.o. Odwierty dla pomp ciepła, 55-040 Bielany Wrocławskie, ul. Dwa Świąty 3F

**Adres e-mail autora do korespondencji: grzegorz.karczewski@dps.net.pl*

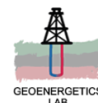
Słowa kluczowe: odwierty, pompy ciepła, projekt dolnego źródła,

Aspekty związane z wykonawstwem dolnych źródeł pompy ciepła w postaci odwiertów pionowych są tematem wielowątkowym: można mówić o szeroko pojętym projektowaniu, aspektach formalnych, logistyce, dotacjach, błędnych działaniach czy też dobrych praktykach.

Nieoczywiste aspekty formalne jest to pierwszy rozdział planowanej szerszej publikacji, mający na celu na podstawie konkretnej, trudnej realizacji przedstawić spektrum formalności, które należy spełnić, aby zrealizować projekt dolnego źródła pompy ciepła, a finalnie ogrzewać budynek gruntową pompą ciepła.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Działalność SKN Geowiert w badaniach z zakresu wiertnictwa, geoinżynierii i geotermii

Activity of SKN Geowiert in drilling, geoengineering and geothermal energy research

Stanisław Kotyła, Jakub Drosik, Michał Szczytowski, Arkadiusz Pyczeko*

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

**Adres e-mail autora do korespondencji: geowiert@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: studenckie koło naukowe, wiertnictwo, geoinżynieria, geotermia

Powstanie Koła Naukowego Geowiert datuje się na rok 1954. Odbyło się to dzięki staraniom, odznaczonego m.in. Złotym Krzyżem Zasługi, śp. prof. dr. hab. inż. Karola Wojnara, który piastował funkcję opiekuna Koła aż do roku 1977. Wstępnie Koło miało nazwę Koło Naukowe Wiertników, obecną nazwę przyjęło w 1968 roku, również z Jego inicjatywy. Obecnie funkcję opiekuna Koła Naukowego Geowiert nieprzerwanie od 1997 roku pełni dr hab. inż. Tomasz Śliwa, prof. AGH. Według regulaminu uchwalonego w 2020 roku w Kole Naukowym Geowiert znajdują się trzy sekcje tematyczne: wiertnictwa, geoinżynierii oraz geotermii. W ostatnich latach jednak, z uwagi na to jak istotnym zagadnieniem dzisiejszego świata jest poszukiwanie alternatyw energetyczno-ciepłowniczych oraz dążenie do zrównoważonego rozwoju, nasza organizacja wiele uwagi poświęca tematyce wykorzystywania energii geotermalnej. Jednakże, biorąc pod uwagę charakterystykę obszaru naszych zainteresowań można oznajmić, że podczas prac nad różnymi projektami krzyżują się ze sobą w mniejszym lub większym stopniu zagadnienia z każdej sekcji tematycznej. Doskonałym tego przykładem jest zakres tematyczny tegorocznych projektów konstrukcyjno-badawczych realizowanych przez członków Koła, obejmujący m.in. skonstruowanie magazynów energii na bazie otworów wiertniczych oraz opracowanie matematycznego modelu oceny ekonomicznej innowacyjnego systemu ogrzewania na bazie głębokiego otworowego wymiennika ciepła na przykładzie kampusu AGH. W trakcie trwania kadencji obecnego zarządu Koło nawiązało współpracę sponsoringową z firmą ANSYS, czego efektem było otrzymanie rocznej licencji na specjalistyczne oprogramowanie do symulacji komputerowych o wartości ponad 30 tysięcy Euro. Mając na uwadze znaczenie umiejętności posługiwania się tego typu narzędziami przez inżynierów wchodzących na rynek pracy, prowadzone są działania w kierunku nawiązania wieloletniej współpracy z wiodącymi w Polsce dystrybutorami wspomnianego oprogramowania.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Głęboki otworowy wymiennik ciepła w Sękowej - koncepcja innowacyjnej instalacji otworowej – pilotaż

Deep borehole heat exchanger in Sękowa – pilot of an innovative borehole installation concept

Piotr Dziadzio¹, Tomasz Śliwa^{*2}, Stanisław Kotyła², Michał Szczytowski², Marian Wolan³

Afiliacje: 1 – Ministerstwo Klimatu i Środowiska, ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa, 2 – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WVNIG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, 3 – Exalo Drilling S.A. ul. Naftowa 3, 65-705 Zielona Góra

*Adres e-mail autora do korespondencji: śliwa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: głęboki otworowy wymiennik ciepła, odnawialne źródła energii, geotermalne pompy ciepła, energia geotermalna

Za sprawą zobowiązań Polski w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych do 2040 roku, Ministerstwo Klimatu i Środowiska oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej od kilku lat intensywnie wspierają jednostki samorządu terytorialnego w formie dofinansowań do projektów związanych z rozpoznaniem i udostępnianiem potencjału geotermalnego kraju. W 2021 roku jedynie z programu pn. „Udostępnianie wód termalnych w Polsce” podpisanych zostało 15 umów na realizację odwiertów poszukiwawczo-rozpoznawczych na łączną kwotę prawie 0,25 mld złotych. Wysoki stopień ryzyka inwestycji związanej z możliwym brakiem perspektywicznych warstw wodonośnych do produkcji energii geotermalnej, w pewnych przypadkach może prowadzić do sytuacji, jaka miała miejsce w 2020 roku w Sękowej koło Gorlic. Wykonany odwiert do głębokości 3000 metrów nie wykazał obecności wody geotermalnej o spodziewanej temperaturze i wydajności, które umożliwiłyby ekonomiczne wykorzystanie jej do celów grzewczych. Jednakże, zamiast standardowej procedury w postaci likwidacji odwiertu, zdecydowano się na wdrożenie pilotażowego projektu zakładającego adaptację negatywnego odwiertu na głęboki otworowy wymiennik ciepła. W tym celu, na zlecenie Gminy Sękowa i przy wsparciu Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz Zakładu Odnawialnych Źródeł Energii i Badań Środowiskowych IGSMiE PAN, zespół naukowców z Laboratorium Geoenergetyki AGH na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu w Krakowie oraz z Exalo Drilling S.A. opracował innowacyjną konstrukcję głębokiego otworowego wymiennika ciepła.

Wyniki przeprowadzonych badań i analiz jednoznacznie wskazały, że takie rozwiązanie jest technicznie możliwe do zrealizowania oraz, że istnieje potrzeba, wykonania takiego projektu ze względu chociażby na potrzebę określenia rentowności tej technologii. Adaptacja negatywnych, zlikwidowanych lub przeznaczonych do likwidacji otworów wiertniczych na głębokie otworowe wymienniki ciepła, zyskuje na świecie coraz większą popularność. W marcu br. pomyślnie zakończono adaptację zlikwidowanego w latach 60-tych XX wieku, odwiertu ropno-gazowego w miejscowości Kiskunhalas na Węgrzech. Wg założeń produkcja energii cieplnej z odwiertu o głębokości 2000 metrów, umożliwi ogrzanie budynków o łącznej powierzchni od 20 do 30 tys. m². Symulacje pracy głębokiego otworowego wymiennika ciepła na bazie negatywnego otworu geotermalnego Sękowa GT-1 wskazują na znacznie niższy potencjał energetyczny, co wynika z innej budowy geologicznej i warunków geotermalnych. Realizacja projektu pilotażowego, zainicjowanego przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska RP może przyczynić się jednak do potwierdzenia celowości stosowania opracowanej konstrukcji w innych lokalizacjach. Od początku ery naftowej wykonano na terenie Polski dużą liczbę otworów. Wiele z nich jest wciąż na etapie likwidacji lub są już zlikwidowane,

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”

ale istnieje techniczna możliwość powrotu do nich. Część z nich, która zlokalizowana jest w niedużych odległościach od potencjalnych odbiorców ciepła może być wykorzystana jako źródło ciepła. Stare otwory umożliwiają adaptację na otworowe wymienniki ciepła przy znacznie zredukowanych kosztach, w porównaniu z ich wierceniem. Głębokie wymienniki otworowe mogą być także receptą na poniesione koszty negatywnych otworów, w tym geotermalnych.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Głębokie otworowe wymienniki ciepła

Deep borehole heat exchangers

Tomasz Śliwa, Aneta Sapińska-Śliwa, Stanisław Kotyła*

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

**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: głęboki otworowy wymiennik ciepła, odnawialne źródła energii, geotermalne pompy ciepła, energia geotermalna

W ostatnim czasie popularną staje się technologia produkcji energii geotermalnej z port głębokich otworowych wymienników ciepła. Związane jest to m.in. z rosnącym zapotrzebowaniem na bezemisyjne źródła energii cieplej i elektrycznej. Przewaga otworowych wymienników nad tradycyjną eksploatacją wody geotermalnej do celów energetycznych, dotyczy przede wszystkim przewidywalności systemu w trakcie eksploatacji. Głębokie otworowe wymienniki ciepła mogą powstawać na kilka sposobów; tworzone od podstaw (Akwizgran, Alberta), poprzez adaptację zlikwidowanych otworów wiertniczych (Kiskunhalas), oraz adaptację przeznaczonych do likwidacji (wyeksploatowanych i/lub negatywnych) otworów wiertniczych (projekt Sękowa). Duża liczba zlikwidowanych głębokich otworów w Polsce i na świecie, możliwych do adaptacji na otworowe wymienniki, klasyfikuję tą metodę spośród wszystkich na pierwszym miejscu pod względem ryzyka geologiczno-technicznego. Do niedawna tworzenie głębokich otworowych wymienników ciepła od podstaw uważane było za bezsensowne z punktu widzenia ekonomicznego. Sytuacja zmieniła się po zrealizowaniu demonstracyjnego projektu pn. „Eavor-Lite™”, który znacząco poszerzył horyzonty w tym obszarze. W wyniku tego, od początku 2022 roku w Niemczech rozpocznie się budowa 4 systemów energetycznych tego typu, dostarczających do sieci łącznie 8-10 MW energii elektrycznej.

Zważywszy na możliwości wykorzystania starych, zlikwidowanych oraz negatywnych otworów wiertniczych idea głębokich wymienników pojawia się w ostatnim czasie znacznie częściej na łamach literatury naukowej i technicznej na całym świecie. Wykorzystanie istniejących otworów po rekonstrukcjach, z wykorzystaniem jednostki coiled tubing, daje całkiem ciekawe wskaźniki rentowności ekonomicznej. Prace Laboratorium Geoenergetyki związane z tym tematem uzasadniają stwierdzenie, że Polska w tematyce głębokich wymienników otworowych jest w czołówce światowej. Warto dodać, że najgłębszy na świecie, jak dotychczas, wymiennik otworowy był zrealizowany, na potrzeby badań, w Polsce, w roku 1999.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Innowacyjne wgłębne wyposażenie głębokich otworowych wymienników ciepła na przykładzie otworu Sękowa GT-1

Innovative downhole equipment of deep borehole heat exchangers based on an example of the Sękowa GT-1 well

Marian Wolan*^{1,2}, Chrystian Mazur^{1,2}, Tomasz Śliwa³

Afiliacje: 1 - Exalo Drilling S.A. ul. Naftowa 3, 65-705 Zielona Góra, 2 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, WwNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, 3 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*Adres e-mail autora do korespondencji: marian.wolan@exalo.pl

Słowa kluczowe: głęboki otworowy wymiennik ciepła, odnawialne źródła energii, wyposażenie wgłębne, geotermalne pompy ciepła, energia geotermalna

W Polsce przez lata odwiercono wiele otworów wiertniczych, większość z nich ujęta jest w bazach udostępnianych przez Polski Instytut Geologiczny. Po analizie danych można łatwo zauważyć, że zdecydowana większość odwierconych otworów to otwory złożowe wiercone za węglowodorami (ropą i gazem), pozostałe rodzaje to otwory badawcze, technologiczne, kartograficzne i hydrogeologiczne. Dane te pokazują, że tylko od lat 80-tych XX w. wykonano ponad 4500 otworów o głębokości końcowej powyżej 500 m, z czego ponad 3500 otworów o głębokości końcowej powyżej 1000 m. Ilość i głębokość wykonanych otworów pokazuje duży potencjał, który może zostać użyty do pozyskiwania ciepła z górotworu. Niestety konstrukcja odwierconych otworów, warunki złożowe oraz wymagania dotyczące przeprowadzania prawidłowej likwidacji nie zawsze pozwalają na udostępnienie ciepła z takich otworów. Dodatkowym utrudnieniem zaadoptowania wyżej wymienionych otworów są sprawy formalne związane z Prawem geologicznym i górnictwem, odpowiednimi rozporządzeniami i prawami do koncesji.

Wśród odwierconych i wierconych obecnie odwiertów z całą pewnością znajdują się takie, które są w pobliżu aglomeracji, małych miasteczek, miast, które można byłoby wykorzystać do pozyskiwania energii z górotworu. Niewielką liczbę z tych otworów, z przyczyn geologiczno-technicznych, można byłoby zaadoptować jako odwierty geotermalne, jednakże zdecydowanie większą liczbę z tych otworów można byłoby wykorzystać jako głębokie wymienniki ciepła, o ile oczywiście zostaną spełnione warunki techniczno-ekonomiczne.

Autorzy referatu przedstawiają na przykładzie otworu geotermalnego Sękowa GT-1, który niestety po odwierceniu nie spełnił wymagań zagospodarowania jako otwór geotermalny, ale przy współpracy pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej WwNiG, Exalo Drilling S.A. oraz przy dużym wsparciu Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, władz gminy Sękowa wypracowano koncepcję na zaadoptowanie go jako głęboki otworowy wymiennik ciepła. Rozważano kilka wariantów wyposażenia otworu w odpowiednią instalację. Wykonano wiele badań, analiz i obliczeń. Po przeanalizowaniu danych oraz kosztów zdecydowano się na wariant z dwiema niezależnymi kolumnami uszczelnionymi w dolnej części przy pomocy uszczelnienia typu PBR/lokator, a przestrzeń między kolumnami planuje się wypełnić azotem, który po wytłoczeniu płynu również zostanie odpuszczony i częściowo „wyspany” w celu maksymalnego opróżnienia przestrzeni, co ma poprawić izolację termiczną między wtłaczanym i odbieranym płynem – nośnikiem ciepła.

Przedstawiony wariant wyposażenia wgłębne głębokiego otworowego wymiennika ciepła jest metodą nowatorską, autorzy referatu nie napotkali w dotychczasowej literaturze na tego typu rozwiązania techniczne.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Instalacje gruntowe dla pomp ciepła - turbocollector TC45

Ground installations for heat pumps - TC45 turbocollector

*Szymon Rogozik**

Afiliacja: MuoviTech Polska sp. z.o.o., Wimmera 31, 32-005 Niepołomice

**Adres e-mail autora do korespondencji: szymon.rogozik@muovitech.com*

Słowa kluczowe: rury, wymienniki ciepła, otworowe wymienniki ciepła

Wydawałoby się, że o wymiennikach wiemy już wszystko, i niewiele więcej można w tej kwestii zrobić. Mimo tego przekonania dział rozwojowy MuoviTech nieustannie opracowuje nowe rozwiązania i udoskonalenia w kierunku osiągnięcia maksymalnych korzyści dla środowiska oraz użytkowników. Efektem jest powstanie sondy o profilu Turbo i średnicy zewnętrznej 45mm (TC45).

Turbo Collector 45 mm to sonda nowej generacji wyposażona w wewnętrzne, skrętnie lamele. Unikalne rozwiązanie, które zostało objęte patentem globalnym. Innowacyjna konstrukcja profilu wewnętrznego rury o średnicy 45 mm pozwala zredukować opór termiczny odwiertu, spadki ciśnień w instalacji oraz zwiększa powierzchnię wymiany ciepła pomiędzy gruntem a wymiennikiem.

DZZPC gdzie jako wymiennik zastosowano sondę gruntową o profilu TC45, w połączeniu z Kilfrost GEO- nowoczesnym nośnikiem ciepła, charakteryzują niskie spadki ciśnienia, zmniejszenie zużycia energii pracy pomp obiegowych DŻ, co niesie ogromne korzyści dla odbiorcy końcowego w postaci obniżenia kosztów eksploatacji systemu do możliwie najniższego poziomu.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Istniejące oraz potencjalne źródła ciepła i chłodu antropogenicznego w górotworze

Existing and potential sources of anthropogenic heat and cold in the rock mass

Kinga Jarosz¹, Tomasz Śliwa^{*2}

Afiliacje: 1 – Instytut Nauk Geologicznych UJ, Wydział Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków, 2- AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

*Adres e-mail autora do korespondencji: śliwa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, miejskie wyspy ciepła, geotermia

Planetarna już skala skutków działalności człowieka, a także związany z tą działalnością wzrost zapotrzebowania na energię, nieuchronnie zmusza do rewaluacji wykorzystywanych źródeł energii, biorąc pod rozwagę zarówno koszty ekonomiczne jak i środowiskowe.

Poza minimalizowaniem strat warto rozważyć wykorzystanie, nawet negatywnych antropogenicznych zjawisk. Jednym z takich właśnie jest występowanie tzw. miejskich wysp ciepła, które mogą być wykorzystywane w celu pozyskiwania lub przynajmniej częściowego odzyskiwania energii. Terminem miejska wyspa ciepła określa się anomalię polegającą na występowaniu w obszarze miejskim temperatur wyższych niż na otaczających miasto obszarach, co spowodowane jest wyłącznie działalnością człowieka. Zjawisko to dotyczy nie tylko atmosfery, ale i warstwy gruntu, co przy dokładnym rozpoznaniu charakterystyki zjawiska, stwarza potencjał dla efektywnego zastosowania otworowych wymienników ciepła.

Opisane w licznych pracach pomiary i badania odnotowują wzrost temperatury gleby, szczególnie znaczący wokół antropogenicznych struktur, jak stacje metra, system wodociągowo-kanalizacyjny, a nawet coraz powszechniejsze, ze względu na chroniczny brak miejsca w aglomeracjach, piwnice. Te obserwacje stanowią przyczynek do rozważań nad możliwościami pozyskiwania energii dla miast poprzez wykorzystanie tej wieloczynnikowej anomalii, którą dotychczas analizowano głównie w kontekście jej ograniczenia.

W ramach badania rozważono źródła ciepła i chłodu antropogenicznego oraz związane z nimi możliwości i ograniczenia pozyskiwania energii z miejskich wysp ciepła przy zastosowaniu otworowych wymienników ciepła.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Magazynowanie energii elektrycznej w otworach wiertniczych

Electrical energy storage in boreholes

Tomasz Śliwa, Jakub Drosik, Stanisław Kotyła*

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: magazyny energii, otwór wiertniczy, nadprodukcja energii elektrycznej, grawitacyjny magazyn energii

W dzisiejszych czasach coraz więcej ludzi decyduje się na zainstalowanie instalacji fotowoltaicznej czy to na przydomowej działce, czy to na dachu własnego domu. Zapewniają one energię elektryczną w momencie, gdy warunki pogodowe zezwalają na jej produkcję, eliminując potrzebę kupowania sieciowego prądu elektrycznego.

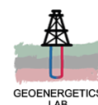
Jednakże takie rozwiązanie ma jedną zasadniczą wadę – w momentach, w których istnieje nadwyżka produkcji prądu przez PV jesteśmy zmuszeni odprowadzić ją do sieci, stając się prosumentem. Gdy zaistnieje potrzeba odebrania przez nas energii z sieci elektroenergetycznej za sprawą, czy to pory nocnej czy to pogorszonych warunków pogodowych, nie będziemy w stanie odebrać, bez ponoszenia kosztów równoważnej energii, którą doprowadziliśmy do sieci, a jedynie od 70 do 80% wytworzonej ilości. Rozwiązaniem tego problemu mogą być otworowe magazyny energii.

Otworowe magazyny energii działają podobnie jak akumulacyjne magazyny energii, z kilkoma istotnymi różnicami. Pierwszą z nich jest sposób magazynowania energii – obecnie na AGH prowadzony jest projekt mający na celu zbudowanie dwóch magazynów o różnych koncepcjach technicznych, magazynowania energii w formie kinetycznej gazu oraz potencjalnej. Magazyn kinetyczny odbiera nadwyżkowy prąd elektryczny za pomocą kompresora, który zatłacza powietrze atmosferyczne do zbiornika ulokowanego w otworze. W momencie deficytu energii otwierany będzie zawór łączący zbiornik z silnikiem pneumatycznym, który z kolei napędzać będzie prądnicę wytwarzającą prąd elektryczny. W magazynie potencjalnym, podczas okresu nadwyżki produkowanej energii elektrycznej, podnoszony będzie obciążnik z dna otworu za pomocą silnika elektrycznego, zużywając nadwyżkę energii produkowanej przez PV. Aby zwrócić ją do sieci należy zwolnić blokadę, a opadający obciążnik wprawi w ruch obrotowy szpulę połączoną z prądnicą. Obydwie instalacje powstają w ramach projektu SKN Geowiert, na które koło uzyskało dofinansowanie z AGH.

Obydwie koncepcje są na etapie projektowania, lecz w momencie ukończenia, będzie je można obserwować w okolicach pawilonu A-4 na terenie kampusu AGH w Krakowie.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



**Możliwości wykorzystania energii gorących suchych skał - prace badawcze realizowane
w Katedrze Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony
Środowiska AGH**

**The possibilities of using the energy of hot dry rocks - research carried out at the
Department of Energetic Materials, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental
Protection, AGH UST**

Anna Sowiżdżał, Anna Chmielowska*

*Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Surowców Energetycznych, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

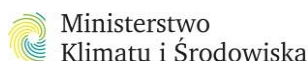
**Adres e-mail autora do korespondencji: ansow@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: energia geotermalna, gorące suche skały, systemy geotermalne, prace badawcze

Działalność Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH jest ściśle związana z tematyką geotermalną, która jest jednym z podstawowych kierunków działalności zarówno naukowo-badawczej, jak i dydaktycznej Katedry. Realizowane są krajowe i międzynarodowe projekty badawcze dotyczące oceny potencjału geotermalnego Polski, innowacyjnych technologii pozyskiwania energii geotermalnej, a także efektywnego gospodarowania zasobami wód i energią geotermalną. Istotne znaczenie mają prace badawcze związane z analizą możliwości wykorzystania potencjału energetycznego gorących suchych skał do celów użytkowych. Ograniczenie emisji dwutlenku węgla i łagodzenie antropogenicznych zmian klimatu przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb energetycznych jest głównym tematem międzynarodowego projektu EnerGizerS (CO₂-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply/Niekonwencjonalne systemy geotermalne EGS-CO₂ jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu (www.energizers.agh.edu.pl), NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019) realizowanego przez polsko-norweski zespół badawczy od roku 2020. Projekt ten ma na celu analizę efektywności funkcjonowania wspomaganych systemów geotermalnych (Enhanced Geothermal Systems) wykorzystujących dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym jako płyn roboczy. W ramach projektu prowadzone są badania mające na celu identyfikację szczegółową charakterystykę struktur geologicznych dla lokalizacji systemów CO₂-EGS w Polsce i Norwegii, łącząc wymagania technologii wspomaganych systemów geotermalnych oraz geologicznego składowania dwutlenku węgla. Projekt EnerGizerS otrzymał dofinansowanie w ramach polsko-norweskich projektów badawczych POLNOR 2019 finansowanych przez Fundusze Norweskie za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w podziemnych zakładach górniczych

The possibilities of using renewable energy sources in underground mining plants

Barbara Kielczawa*, Jan Kudelko, Herbert Wirth

Afiliacja: Politechnika Wrocławska, Katedra Górnictwa, ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław, wggg@pwr.edu.pl

*Adres e-mail autora do korespondencji: barbara.kielczawa@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: wody kopalniane, ogrzewanie powietrza wlotowego

Zabezpieczenie przed zamarzaniem i obładaniem urządzeń zainstalowanych w szybach wdechowych kopalń prowadzących eksploatację podziemną, wymusza zapewnienie wstępnego podgrzania powietrza przed wlotem do szybu. Zabiegi te mają zapewnić uzyskanie minimum 1°C temperatury powietrza na zrębie szybu wdechowego przed jego wlotem na właściwą instalację podgrzewania zainstalowaną w tych szybach. Jako medium dostarczające ciepło na potrzeby wstępnego podgrzewania autorzy proponują wykorzystać wody podziemne o temperaturach przekraczających 20°C, a pochodzące z odwaniania Zakładów Górniczych. Niewątpliwie wskazane jest, aby lokalizacja szybów wdechowych i odwodnieniowych nie była odległa.

Dla oszacowania zasobów technicznych energii cieplnej zawartej w wodach kopalnianych, jako temperaturę odniesienia przyjęto ok. 6°C. Wspomniane zasoby uwzględniają średnioroczny współczynnik wykorzystania mocy cieplnej zainstalowanej, którego wartość zależy od poprawności doboru maksymalnej mocy cieplnej instalacji do maksymalnego zapotrzebowania odbiorcy na moc cieplną. Do szacunków zasobów energii zawartej w omawianych wodach przyjęto, że wskaźnik ten wynosi 0,3 (dla poprawnie zaprojektowanych instalacji są to wartości z przedziału 0,25-0,3). Niskotemperaturowe zasoby energii cieplnej zakumulowanej w wodach kopalnianych można efektywnie zagospodarować stosując pompy ciepła w ciągu technologicznym instalacji zaopatrzenia szybów wdechowych w ciepło.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Możliwość zastosowania pyłu bazaltowego w geoenergetyce

The possibility of using basalt dust in geoenergetics

Aneta Sapińska-Śliwa, Krzysztof Seńczuk, Tomasz Kowalski*

Afiliacja: 1 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl,

*Adres e-mail autora do korespondencji: tkowal@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: pył bazaltowy, geoenergetyka, zaczyn uszczelniający, parametry reologiczne, przewodność cieplna

W ostatnim czasie zarówno w Europie jak i na świecie coraz głośniejsze mówi się o ekologii i byciu proekologicznym. W związku z tym energia geotermalna staje się coraz częściej wykorzystywanym źródłem energii do celów chłodniczych i grzewczych obiektów budowlanych, szklarni, do podgrzewania wód w basenach czy topienia śniegu z chodników i dróg. Wraz ze zwiększonym zainteresowaniem wykorzystania geoenergetyki do celów grzewczych, chłodniczych czy grzewczo-chłodniczych szuka się rozwiązań zapewniających najwyższe efekty przy minimalizacji kosztów. Jednym ze sposobów pobierania energii geotermalnej są wykorzystywanie otworowych wymienników ciepła czy też głębokich otworów geotermalnych. Jednym z elementów wykonania takich otworów, który ma istotny wpływ na powodzenia ich wykonania jest proces cementacji. W otworowych wymiennikach ciepła pożądana jest duża przewodność cieplna zaczynu, a w otworach geotermalnych eksploatujących wodę korzyść przynosi zastosowanie zaczynów izolujących termicznie. Dobrym posunięciem może okazać się dodawanie do zaczynów cementowych materiałów traktowanych jako odpady produkcyjne i przebadanie ich pod kątem zmiany przewodności cieplnej tych zaczynów. Postanowiono przebadać 2 różne pyły bazaltowe z czego jeden z nich pozbawiony jest tzw. zgorzeli słonecznej. Oba materiały przebadane zostaną dla współczynników wodno-mieszaninowych 0,5; 0,6; oraz 0,7 przy procentowych stężeniach względem suchej mieszaniny równym 0%; 1%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 20%; 30%; 40% oraz 50%. Dodatkowo oprócz przewodności cieplnej przebadane zostaną następujące parametry świeżych zaczynów uszczelniających: rozlewność, gęstość, filtracja, reologia.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Określenie oporności cieplnej otworowego wymiennika ciepła - modele obliczeniowe

Determination of borehole heat exchanger's thermal resistance - calculation models

Tomasz Śliwa, Karolina Rerutko*

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

**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, oporność cieplna, geotermia, test reakcji termicznej TRT

Testy reakcji termicznej TRT (Thermal Response Test) to badania wykorzystywane jako najlepsze narzędzie do określenia parametrów termicznych otworowych wymienników ciepła. Badania te umożliwiają przede wszystkim określenie oporności cieplnej (borehole thermal resistance), które wyznaczane są podczas testów reakcji termicznej. Do obliczenia oporu cieplnego R_b należy znać wartości podstawowych parametrów termicznych skał: przewodność cieplną, gęstość skały oraz jej ciepło właściwe. Ważne są również wymiary otworu: głębokość i średnica. Na podstawie profilowania można wyliczyć średnią wartość temperatury, temperaturę zasilania oraz powrotu przy zadanej mocy P , jak również czas trwania testu. Znając powyższe parametry można wyliczyć wartość oporności cieplnej badanego otworu. We wzorze zmiennymi parametrami jest czas oraz λ - przewodność cieplna skał profilu. Wartość efektywnej przewodności cieplnej wyliczyć można na podstawie 3 metod. Metodą klasyczną (mk) bazującą na określeniu współczynnika nachylenia prostej k zależności temperatury nośnika ciepła od czasu w układzie semilogarytmicznym. Metodą punktową (mp) zakładającą uśrednienie przyrostu temperatury oraz metodą stałej rezystywności odwiertu (msro) czyli wyznaczeniem wartości współczynnika efektywnej przewodności cieplnej λ_{ef} na podstawie wykresu $R_b=f(t)$. Badania prowadzone są na AGH w ramach dofinansowania z funduszy norweskich 2014–2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu POLNOR 2019 Call nr NOR/POLNOR/BHEsINNO/0018/2019

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Optimalization of drilling costs for installations with borehole heat exchangers

Drilling costs optimization for installations with borehole heat exchangers

Tomasz Śliwa, Jakub Drosik, Piotr Buliński*

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

**Adres e-mail autora do korespondencji: śliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: optymalizacja kosztów, otworowe wymienniki ciepła

Wykonywanie instalacji z otworowymi wymiennikami ciepła od zawsze generowało spore koszty. W związku z tym postanowiono przeprowadzić szeroko zakrojone badania mające na celu optymalizację wierceń pod względem czasu wiercenia, operacji dźwigowych, zużycia energii, czy przede wszystkim kosztów z uwzględnieniem mechanicznych parametrów technologii wiercenia.

Akademia Górniczo-Hutnicza w ostatnich latach nabyła Zespół Pałacowo-Parkowy w miejscowości Młoszowa, planując jego przekształcenie w obiekt służący jako centrum konferencyjne, miejsce spotkań, prac dydaktycznych oraz spotkań socjalnych. Zaplanowano, że jednym z etapów przebudowy/rozbudowy ośrodka wykonana zostanie instalacja składająca się z otworowych wymienników ciepła, która posłuży do ogrzewania oraz schładzania budynków znajdujących się na kampusie (planowanych do realizacji). Przewiduje się że instalacja powstanie w ramach „poła C” Laboratorium Geoenergetyki AGH. Biorąc pod uwagę że celem badawczym projektu jest optymalizacja wcześniej wspomnianych parametrów, postanowiono że poszczególne otworowe wymienniki ciepła składające się na całą instalację zostaną zaprojektowane w sposób umożliwiający zbadanie różniących się od siebie konstrukcji, oraz zależności pomiędzy wydajnością otworowego wymiennika ciepła a jego głębokością. Instalacja będzie się dzięki temu składać z otworowych wymienników ciepła o konstrukcji U-rury w konfiguracji pojedynczej, podwójnej i potrójnej, układu 2+1 oraz konstrukcji centrycznej. Łącząc te konstrukcje ze zróżnicowaniem pod względem głębokości danego otworu powinniśmy uzyskać dane, które pozwolą stwierdzić, która konstrukcja przy jakiej głębokości pozwala na najkorzystniejsze i najwydajniejsze korzystanie z ciepła Ziemi. Zarówno zebranie niezbędnych do analizy danych podczas wierceń jak i sama ich analiza zostaną wykonane przez studentów SKN „Geowiert” działającego na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH oraz doktorantów Wydziału. W tym celu skonstruowany zostanie program, który po wpisaniu parametrów zadanych podczas wiercenia (prędkość obrotowa, nacisk, ciśnienie płuczki) zwróci informację o tym jakie parametry powinny zostać zaprogramowane podczas wiercenia kolejnego otworu, aby zoptymalizować wcześniej wspomniane kryteria.

Dalszym etapem projektu jest także zweryfikowanie poprawności działania programu poprzez wykonanie kolejnych wierceń w innej lokalizacji (geologii), z tą różnicą, że wiercenia od początku będą się odbywały z parametrami wyznaczonymi przez program po wykonaniu kilku otworów testowych. Jeśli koszty faktycznie okażą się niższe, będzie można stwierdzić, że program działa poprawnie, przynosząc wymierny efekt dla inwestorów.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Optimalization of borehole heat exchanger drilling using the rotary-percussive method

Optimization of borehole heat exchanger drilling using the rotary-percussive method

*Tomasz Śliwa*¹, Piotr Buliński¹, Kinga Jarosz²*

Afiliacje: 1 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl, 2 – Instytut Nauk Geologicznych UJ, Wydział Geografii i Geologii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków

**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, optymalizacja wierceń, geotermia

Otworowe wymienniki ciepła ze względu na swoją wysoką niezawodność, efektywność oraz minimalne oddziaływanie na środowisko mogą pełnić istotną rolę w transformacji energetycznej. Jednak wywiercenie otworowego wymiennika ciepła jest stosunkowo drogie. Stąd też konieczne jest poszukiwanie sposobu na zoptymalizowanie technologii dla minimalizacji kosztów wiercenia. Optymalizację wiercenia metodą obrotowo-udarową można podzielić na trzy etapy, pierwszym z nich jest dobór parametrów wiercenia, czyli obrotów świdra, ciśnienia sprężonego powietrza i średnicy świdra. Drugim etapem jest pomiar w czasie wiercenia parametrów takich jak czas pracy młotka, nacisk osiowy, zużycie świdra, zużycie energii. Natomiast trzeci etap to znalezienie korelacji między tymi parametrami. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najwyższa prędkość wiercenia ma miejsce przy zastosowaniu najwyższego ciśnienia. Wpływ obrotów świdra na prędkość wiercenia nie jest jeszcze sprawdzony i wymaga dalszych badań. Szczególnie istotna jest korelacja prędkości obrotowej świdra z częstotliwością udarów. W pracy krótko przedstawiono również plany rozbudowy Laboratorium Geoenergetyki AGH, w czasie której zostaną przeprowadzone dalsze badania optymalizacyjne technologii wiercenia.

Optymalizacja wiercenia metodą obrotową będzie również możliwa do zrealizowania w przypadku słabych osiągnięć metody udarowo-obrotowej. Jest ona przewidziana jako alternatywna metoda wiercenia dla profilu geologicznego w Młoszowej. Przewiduje się również możliwość jej zastosowania dla głębokości poniżej 100 m.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



**Pierwsze geotermalne uzdrowisko w Polsce – historia i perspektywy rozwoju miasta
Uniejów**

**The first geothermal health resort in Poland - history and development prospects for the
Uniejów city**

*Józef Kaczmarek¹, Jacek Kurpik², Beata Frontczak–Skrzypińska², Aneta Sapińska–Śliwa³**

*Afiliacje: 1 – Urząd Miasta i Gminy Uniejów, 99-210 Uniejów, ul. bł. Bogumiła 13, urząd@uniejow.pl,
2 – Geotermia Uniejów sp. z.o.o., ul. Kościelnicza 44 99-210 Uniejów, bok@geotermia-uniejow.pl, 3 - AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl*

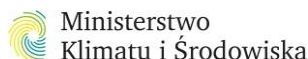
**Adres e-mail autora do korespondencji: ans@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: uzdrowisko, Uniejów, geotermia, wody geotermalne, uzdrowisko termalne, Geotermia Uniejów

W referacie przedstawiona zostanie istota pojęcia "Uzdrowisko Termalne" na podstawie ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych. Zaprezentowane będzie działanie uzdrowiska w Uniejowie. Opisana będzie historia geotermii w Uniejowie oraz potencjalne możliwości dalszego rozwoju. Historię geotermii w Uniejowie można datować od wykonania pierwszego otworu (1978 r.) albo od powstania Spółki Geotermia Uniejów (1999 r.) czy też od dostarczenia dla mieszkańców pierwszego ciepła geotermalnego (2001 r.). Historia uzdrowiska zaczęła się natomiast w roku 2012. W referacie podana będzie dodatkowo informacja o pilotażowym projekcie Ministerstwa Klimatu i Środowiska dotyczącym instalacji geotermalnych pomp ciepła w uzdrowiskach w Krynicy Zdroju i Rabce Zdroju oraz o projekcie Wody termalne dla samorządów, a także o Earth Festival Uniejów 2021 - Gwiazdy dla czystej Polski.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Porównanie wydajności wiercenia z dolnym młotkiem i z płuczka polimerowo bentonitową - fakty i mity

Drilling performance comparison with down-the-hole hammer and polymer bentonite mud - facts and myths

Michał Wójcik, Konrad Skrzypiec*

Afiliacje: GEOD Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Michał Wójcik, ul. Skośna 12, 30-838 Kraków

**Adres e-mail autora do korespondencji: m.wojcik@geod.pl*

Słowa kluczowe: wiercenia, dolny młotek, optymalizacja wierceń

W referacie przedstawiono porównanie metody wiercenia udarowo obrotowego z dolnym młotkiem i płuczka powietrzną z metodą obrotową z zastosowaniem płuczki. Dla dokonania prawidłowego porównania opisano założenia techniczne dla obydwu metod wiercenia. Następnie opisano możliwe metody optymalizacji wiercenia i ich zastosowanie w obydwu przypadkach. Analizę efektywności obydwu metod odniesiono do energochłonności obydwu metod. W oparciu o przeprowadzoną analizę metod oraz na podstawie praktycznych przykładów stosowanych urządzeń wiertniczych kompresorów i pomp płuczkowych wykonano porównanie osiągniętych rezultatów w funkcji energii zużytej na wiercenie. Zastosowanie prawidłowo dobranych kryteriów porównawczych pozwoliło na technicznoekonomiczną ocenę procesu wiercenia w obydwu przypadkach.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Potencjał otworowych wymienników ciepła GRD w Polsce

The potential of GRD borehole heat exchangers in Poland

Marek Kucper*

Afiliacja: Specjalistyczny Zakład Robót Budowlano – Wiertniczych „EURO-WIERT” Sp. z o.o.
ul. Siarkopolowa 6, 39 – 400 Tarnobrzeg

*Adres e-mail autora do korespondencji: marek.kucper@yahoo.com

Słowa kluczowe: GRD, ukośny otworowy wymiennik ciepła, odnawialne źródła energii, geotermalne pompy ciepła, energia geotermalna

Pozyskiwanie ciepła niskotemperaturowego najczęściej do tej pory odbywało się za pomocą wymienników ułożonych poziomo lub pionowo. Czasami, jednakże brakuje miejsca na wykonanie odpowiedniej długości poziomego wymiennika jak i wykonanie odpowiedniej ilości otworów pionowych, stąd też powstała idea wiercenia otworów ukośnych. Mogą one udostępniać górotwór znajdujący się pod obiektami budowlanymi i infrastrukturalnymi, a ponadto pozwalają zoptymalizować średnią wartość przewodności cieplnej i wykorzystać te warstwy w danym profilu geologicznym, które mają najlepsze właściwości z punktu widzenia wydajności cieplnej.

Specjalnie zaprojektowane wiertnice GeoDrill 4R dla technologii GRD – Geothermal Radial Drilling umożliwiają wiercenie otworów pod kątem od 30 do 65 stopni, z jednego miejsca, promieniście, a dzięki temu, wraz ze znajomością profilu geologicznego można tak zaprojektować rozmieszczenie wymienników, aby jak najdłuższa część wymiennika znajdowała się w warstwach najbardziej energetycznych.

Głównym celem referatu jest przedstawienie rozwiązań technologii GRD, wpływ na dobór dolnego źródła i jego efektywność.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Projekt BHEsINNO realizowany z programu POLNOR Narodowego Centrum Badań i Rozwoju

The BHEsINNO project implemented under the POLNOR programme of the National Centre for Research and Development

*Tomasz Śliwa*¹, Aneta Sapińska-Śliwa¹, Tomasz Kowalski¹, Kamil Zdziebko¹, Marek Jaszczur²*

Afilacje: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl, 2 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Energetyki i Paliw, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

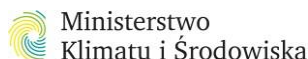
**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, geoenergetyka, innowacje, POLNOR, geotermia

Zwiększany udział energetyki odnawialnej w bilansach energetycznych Państw europejskich prowadzi do coraz szerszego propagowania tego typu energetyki poprzez m.in. programy badawcze. Obecny jednym z rozwijanych zagadnień jest znalezienie sposobu magazynowania energii cieplnej. Tematyką tą od dawna zajmują się naukowcy z Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Wynikiem tych działań jest projekt BHEsINNO realizowany z programu POLNOR Narodowego Centrum Badań i Rozwoju wspólnie z konsorcjantami - firmą MuoviTech Polska Sp. z o.o. oraz zagranicznym partnerem naukowym - University of Stavanger. Projekt obejmuje zagadnienia związane z podziemnym magazynowaniem energii cieplnej (ang. Underground Thermal Energy Storage - UTES), które jest dobrym sposobem zapewnienia komfortu cieplnego w krajach północnych (np. Norwegia i Szwecja) oraz w Europie Środkowej i Wschodniej (np. Polska i Ukraina). Projekt obejmuje opracowanie innowacyjnych konstrukcji otworowych wymienników ciepła (ang. Borehole Heat Exchanger - BHE). Konstrukcje testowane w ramach projektu będą miały na celu maksymalizację jednostkowej mocy uzyskana z otworowego wymiennika ciepła. Dodatkową innowacją będą sposoby interpretacji wyników Testów Reakcji Termicznej.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Przebieg testu reakcji termicznej otworowego wymiennika ciepła

Thermal response test of a borehole heat exchanger

Albert Zlotkowski, Andrzej Gonet, Tomasz Śliwa*

Afiliacje: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

**Adres e-mail autora do korespondencji: azlot@agh.edu.pl*

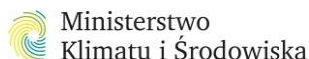
Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, test reakcji termicznej

Określenie parametrów termicznych otworowego wymiennika ciepła (OWC) oraz otaczającego go górotworu możliwe jest dzięki przeprowadzeniu testu reakcji termicznej (TRT). Dzięki niemu, na podstawie uzyskanych wyników pomiarów określa się współczynnik przewodności cieplnej skał otaczających OWC oraz opór termiczny wymiennika. Wyznaczenie tych parametrów jest możliwe po wcześniejszym określeniu czasów rozpoczęcia i zakończenia kolejnych etapów badania. Ponadto odpowiednio przeprowadzony pomiar może dostarczyć innych informacji, takich jak wartości oporów hydraulicznych przepływającej cieczy w funkcji strumienia objętości, głębokość OWC czy wartość średniego ciepła właściwego skał, w których został wywiercony otwór.

W referacie przedstawiono sekwencje następujących po sobie kolejnych etapów badania TRT oraz zawarto podstawy fizyko-matematyczne pozwalające na obliczenie szukanych parametrów.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



**Racjonalizacja wyboru nowego urządzenia wiertniczego. Dylemat pomiędzy
urządzeniem specjalistycznym a uniwersalnym**

**The rationalization of a new drilling rig selection. A dilemma between a specialized and
a multipurpose device**

Michał Wójcik, Konrad Skrzypiec*

Afiliacje: GEOD Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Michał Wójcik, ul. Skośna 12, 30-838 Kraków

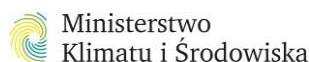
**Adres e-mail autora do korespondencji: m.wojcik@geod.pl*

Słowa kluczowe: wiercenia, urządzenia wiertnicze

Przy wyborze tematu artykułu, autorzy kierowali się praktycznym zastosowaniem metod porównywania różnego typu maszyn oraz określenia prawidłowych kryteriów wyboru zestawu wiertniczego w postaci urządzenia wiertniczego oraz wyposażenia niezbędnego do skutecznej realizacji wierceń i osiągnięciu dobrych rezultatów ekonomicznych. W artykule dokonano porównania kryteriów wyboru urządzenia specjalistycznego i urządzenia uniwersalnego oraz związanego z tym ryzyka i zagrożeń technicznych i ekonomicznych. Przeprowadzone rozważania mogą być pomocne przy realizacji zakupów z projektów wspieranych z funduszy unijnych i krajowych.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



**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**

**Ground source heat pump market in Poland and Europe and Port PC guidelines update,
part 1 Design, construction and commissioning of installations with heat pumps - heat
sources**

*Jakub Koczorowski**

*Afiliacja: Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła PORT PC, ul. Cechowa 51/50, 30-614 Kraków,
biuro@portpc.pl*

**Adres e-mail autora do korespondencji: jakub.koczorowski@portpc.pl*

Słowa kluczowe: pompy ciepła, dolne źródła ciepła, geotermia

W trakcie Seminarium "Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła" Jakub Koczorowski – przewodniczący komisji dolnych źródeł ciepła, członek zarządu PORT PC - przedstawi uaktualnione branżowe wytyczne PORT PC cz. 1, dotyczące dolnych źródeł do pomp ciepła. Impulsem do aktualizacji wytycznych PORT PC cz.1 dot. dolnych źródeł ciepła do gruntowych pomp ciepła stało się długo oczekiwane wydanie zaktualizowanych niemieckich wytycznych VDI 4640. Dodatkowym motorem było zebranie doświadczeń z pracą z dotychczasowym wydaniem, funkcjonującym już 10 rok na rynku, oraz wymiana wiedzy wśród członków sekcji firm wierzących zawiązanej przy PORTPC. Katalog zmian podjętych przez grono ekspertów obejmuje następujące zagadnienia: wprowadzenie uproszczonego tabelarycznego podejścia do projektowania instalacji do 30 kW, poruszenie tematyki zastosowań specjalnych m.in. palienergetycznych czy geotermii tunelowej, wprowadzenie weryfikacji pionowych GWC poprzez badania geofizyczne oraz uzupełnienie o opis dostępnych baz danych geologicznych i procedury pozyskiwania informacji geologicznej. Dużą rolę przy aktualizacji wytycznych pełniło grono praktyków w postaci sekcji wiertników przy PORTPC wzbogacone o ekspertów z geologii z Państwowego Instytutu Geologicznego czy specjalistów od wiertnictwa i geoenergetyki z Akademii Górniczo-Hutniczej. Udało się również zawrzeć sporą dawkę wiedzy z europejskiego projektu GeoPlasma-CE, którego głównym celem było wsparcie rozwoju geotermii płytkiej w Europie Środkowej. Mam nadzieję, że wzbogacone i uzupełnione nowe wytyczne PORT PC cz.1 przyczynią się do zdynamizowania rozwoju technologii gruntowych pomp ciepła w Polsce przy zachowaniu wysokiej jakości wykonywanych projektów oraz instalacji. Ponadto chciałbym przedstawić analizę potencjału płytkiej geotermii w Polsce w zakresie zainstalowanej mocy grzewczej gruntowych pomp ciepła wg stanu na 2020 r. oraz w świetle prognozy rozwoju rynku do 2030 r. na bazie opracowania mgr inż. Grzegorza Ryżyńskiego (Państwowy Instytut Geologiczny). Z kolei podejście ilościowe zainstalowanych gruntowych pomp ciepła zobrazuję na podstawie raportu rynkowego PORT PC dla Polski oraz EHPAna tle Europy.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Test reakcji termicznej sposobem na określenie efektywnego przewodnictwa cieplnego

Thermal response test as a means of determining the effective thermal conductivity

Tomasz Śliwa, Andrzej Gonet, Michał Szczytowski*

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl

**Adres e-mail autora do korespondencji: sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: test reakcji termicznej, otworowy wymiennik ciepła, badanie przewodnictwa cieplnego

Przez przyjęcie przez Polskę nowej uchwały PEP2040, zobowiązaliśmy się, że staniemy się krajem o niskiej emisji gazów cieplarnianych. W następnych latach będziemy musieli pręźnie rozwijać się w kierunkach odnawialnych źródeł energii. Pozyskiwanie ciepła za pomocą energii niskotemperaturowej za pośrednictwem otworowych wymienników ciepła daje szansę na dotrzymanie tej obietnicy. By jak najefektywniej wykorzystywać duże instalacje złożone z otworowych wymienników ciepła potrzebne jest przeprowadzenie testów reakcji termicznej. Testy reakcji termicznej pozwolą na zdefiniowanie najważniejszych parametrów takich jak opór termiczny wymiennika i efektywna przewodność cieplna górotworu (w odróżnieniu od średniego przewodnictwa cieplnego skał profilu geologicznego). Dzięki tym parametrom można zaprojektować i maksymalnie wykorzystać sprawność otworowych wymienników ciepła.

**I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.**

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



Zaczyny uszczelniające o podwyższonym przewodnictwie cieplnym

Sealing slurries with an increased thermal conductivity

*Tomasz Kowalski, Tomasz Śliwa**

*Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl*

**Adres e-mail autora do korespondencji: śliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: zaczyny uszczelniające, przewodnictwo cieplne, otworowe wymienniki ciepła, geoenergetyka

Na przestrzeni ostatnich lat na świecie odnotowuje się zwiększony udział energetyki odnawialnej w bilansie energetycznym. Jest to spowodowane głównie uwarunkowaniami prawnymi, które zakładają zmniejszenie emisyjności związanej ze spalaniem paliw kopalnych oraz realizację innych przedsięwzięć mających na celu ochronę środowiska. Jednym z odnawialnych źródeł energii jest energia geotermalna. Najpopularniejszą metodą udostępniania energii geotermalnej, dostępną dla każdego, którą można wykonać przy każdej litologii są otworowe wymienniki ciepła. Pozwalają na dostarczenie ciepła zarówno dużym obiektom, jak i małym domom jednorodzinnych, co uwydatnia ich wielopłaszczyznową możliwość działania. Na ilość ciepła wymienianego z górotworem wpływa głównie przewodnictwo cieplne skał. Natomiast jednym z najważniejszych aspektów podczas projektowania otworowych wymienników ciepła jest odpowiednio dobrany zaczyn uszczelniający. Dąży się to tego, aby w typowych otworowych wymiennikach ciepła stosować zaczyn o jak największym przewodnictwie cieplnym. Celowość badań nad tym tematem uzasadniają następujące argumenty. Obecnie wysoki koszt mieszanek przemysłowych do wykorzystania w wymiennikach otworowych prowadzi w dużej mierze do faktu, iż otwory pozostawione są bez uszczelnienia lub z niepoprawnie wykonanym uszczelnieniem co może powodować m.in. mieszanie się poziomów wodonośnych oraz zmniejszenia efektywności działania wymiennika otworowego. Kolejnym argumentem jest możliwość wykorzystanie dodatków odpadowych do zaczynu uszczelniającego w celu redukcji kosztów jego produkcji oraz ochrony środowiska przez prosty sposób ich recyklingu. Zaprezentowane zostaną wyniki badań receptur zaczynów uszczelniających z różnymi dodatkami, m.in. grafitu czy też sproszkowanych metali.

I Ogólnopolskie Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła
Kraków, 7–8 września 2021 r.

„Górnictwo otworowe w rewolucji energetycznej”



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

Increasing the thermal conductivity of sealing slurries in borehole heat exchangers for geothermal installations - comparative analysis

Adrian Bugajny*¹, Tomasz Kowalski²

*Afiliacje: 1 – NARZĘDZIA I URZĄDZENIA WIERTNICZE GLINIK SP. Z O.O.
ul. Józefa Michalusa 1, 38-320 Gorlice, niuw@glinik.com.pl, 2 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,
Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH, al.
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia@agh.edu.pl*

*Adres e-mail autora do korespondencji: adrian.bugajny@glinik.com.pl

Słowa kluczowe: zaczyny uszczelniające, przewodnictwo cieplne, instalacje geotermalne, otworowe wymienniki ciepła, efektywność energetyczna

W ostatnich latach widoczny jest wzrost udziału energii geotermalnej w światowym bilansie energetycznym. Z racji wzrostu szybkości rozwoju tej dziedziny nauki i gospodarki poszukuje się coraz bardziej efektywnych rozwiązań, starając się równocześnie minimalizować koszty prac geologicznych, które są najpoważniejszym czynnikiem kosztotwórczym. Dotyczy to procesu wykonywania otworowych wymienników ciepła oraz termopali. Wypełnianie otworu zaczynem cementowym jest jedną z najważniejszych części całego procesu projektowania i wykonania otworu. W otworowych wymiennikach ciepła, jak i termopalach wskazana jest duża przewodność cieplna zaczynu uszczelniającego. Na podstawie wyników badań przewodności cieplnej stwardniałych zaczynów uszczelniających została przeprowadzona analiza, dotycząca wpływu zmiany przewodności wypełnienia otworu, pod kątem zwiększenia dostarczanej energii niskotemperaturowej do odbiorcy ciepła za pośrednictwem geotermalnej pompy ciepła. W części ekonomicznej analizowano minimalizację kosztów przez redukcję sumarycznej długości otworowych wymienników ciepła. Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem programu Earth Energy Designer.