

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

INŻYNIERIA OTWOROWA

ISTOTNY ELEMENT PRZEKSZTAŁCEN
ENERGETYCZNYCH

Zeszyt streszczeń

II Seminarium „Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła”
na temat: Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce
Pod patronatem dra Piotra Dziadzio - Głównego Geologa Kraju,
Pełnomocnika Rządu ds. Energetyki Surowcowej Państwa,
Podsekretarza Stanu w Ministerstwie Klimatu i Środowiska.



Zeszyt Streszczeń

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

II Seminarium

"Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła" na temat: Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce

Uniejów, 24-26 maja 2022 r.

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

Komitety 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:

dr hab. inż. Jan Ziaja, prof. AGH – Przewodniczący
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.

Komitet Organizacyjny:

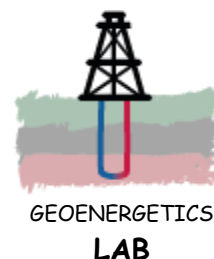
Tomasz Śliwa – Przewodniczący,
Tomasz Kowalski – Zastępca Przewodniczącego,
Martyna Ciepelińska – Sekretarz Techniczny,
Małgorzata Górniak – Sekretarz Finansowy,
Piotr Buliński – Sekretarz Naukowy,
Izabela Misztal,
Jakub Drosik,
Karolina Rerutko,
Michał Szczytowski,
Dominika Jaśkiewicz.

**II Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła, Uniejów 24 – 26 maja 2022 r.
„Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce”**



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



Urząd Miasta Uniejów
ul. Błogosławionego Bogumiła 13
99-210 Uniejów
Tel. 63 288 97 40/44
Fax: 63 288 97 43



Geotermia Uniejów Sp. Z.o.o. im. S. Ołasa
Ul. Kościelnicza 44, 99-210 Uniejów
Tel. 63 288 95 20
Email: bok@geotermia-uniejow.pl,
prezes@geotermia-uniejow.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 (geotermia.agh.edu.pl)



Uniejów 2022



Spis treści

Laboratorium Geoenergetyki dzisiaj i jutro	5
Zasoby dynamiczne ciepła geotermalnego kopalń rud miedzi LGOM.....	6
Wykorzystanie technologii bezwykopowych do realizacji horyzontalnych otworowych wymienników ciepła.....	7
Obecne możliwości gruntowych pomp ciepła – potencjał w zastosowaniach komercyjnych	8
Pętla wodna rozwiązaniem geoenergetycznym w gminie, na przykładzie miasta Czechowice-Dziedzice	9
Rozwój rynku gruntowych pomp ciepła w Polsce i Europie - stan aktualny oraz perspektywy	11
Dobór metody wiercenia w geoenergetyce pod kątem szybkości wykonywania otworów i redukcji kosztów wiercenia.....	12
Wykorzystanie materiałów odpadowych dla poprawy parametrów zaczynów cementowych do otworów w geoenergetyce	13
Zaczyny cementowe na bazie zużytej płuczki wiertniczej.....	15
Grawitacyjne i ciśnieniowe otworowe magazynowanie energii	16
Analiza możliwości zastosowania wybranych receptur zaczynów cementowych.....	17
Infrastruktura pogórnicza w gminach	18
Komputerowe wspomaganie projektowania otworowych wymienników ciepła.....	19
Wpływ pyłu bazaltowego na parametry stwardniałych zaczynów uszczelniających	20
Analiza wyników testów reakcji termicznej	21
Innowacyjny zaczyn uszczelniający do zastosowania w geoenergetyce	22
Analiza technologii wiercenia otworowych wymienników ciepła w Miechowie.....	23
Wykorzystanie otworów mrożeniowych w geoenergetyce.....	24
Kształcenie w zakresie geotermii na WWNIG AGH w Krakowie	25
Szkoła Naftowo-Gazownicza w Krośnie - z tradycją w nowoczesność	26
Drillmec HH-220 - nowoczesne urządzenie wiertnicze przyjazne dla środowiska naturalnego i środowiska pracy	27
Badania otworowych wymienników ciepła o różnych konstrukcjach	28
Algorytm zatłaczania zaczynów uszczelniających do otworowych wymienników ciepła	29
CompLithium – technologia kompleksowego odzysku litu i wody użytkowej z wód złożowych i geotermalnych	30
Formalne czynniki hamujące upowszechnianie technologii gruntowych pomp ciepła	31
Słowa kluczowe: gruntowe pompy ciepła, energia geotermalna, biurokracja	31
Uniejów i geotermia – studium przypadku	32
Słowa kluczowe: energia geotermalna, geotermia, Uniejów, kaskadowy system odbioru ciepła	32



Laboratorium Geoenergetyki dzisiaj i jutro

Laboratory of Geoenergetics today and tomorrow

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: śliwa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: geoenergetyka, geotermia, otworowe wymienniki ciepła, geotermalne pompy ciepła, magazynowanie ciepła w górotworze

Laboratorium Geoenergetyki jest polskim liderem w zakresie badań związanych z geotermią i geotermalnymi pompami ciepła. Najważniejszym tego przejawem są Seminarium organizowane przez Laboratorium, w 2021 r. w Krakowie i w 2022 r. w Uniejowie. Aktualnie Laboratorium posiada dwa pomieszczenia na terenie AGH w Krakowie oraz dwa pola otworowych wymienników ciepła. W pomieszczeniach pracują cztery geotermalne (gruntowe) pompy ciepła. Na polu A i B wykonanych jest 19 otworowych wymienników ciepła, każdy o innej konstrukcji. Badania otworowych wymienników są głównym kierunkiem badań nad intensyfikacją wymiany ciepła pomiędzy górotworem a nośnikiem ciepła.

W najbliższym czasie Laboratorium wzbogaci się o nowe 18 wymienników otworowych. Będą wykonane na polu C w Młoszowej. W pomieszczeniach Laboratorium w Krakowie przybędą pompy ciepła z bezpośrednim parowaniem czynnika grzewczego w otworach oraz pompa zasilana ciepłem niskotemperaturowym z dubletu studni.

W przyszłym roku kończy się międzynarodowy grant BHESINNO realizowany w konsorcjum z Uniwersytetem w Stavanger w Norwegii i z firmą MuoviTech. Zadaniem grantu jest opracowanie nowych konstrukcji otworowych wymienników ciepła, a także optymalizacja technologicznych parametrów wiercenia metodą tzw. dolnego młotka.



Zasoby dynamiczne ciepła geotermalnego kopalń rud miedzi LGOM

Dynamic resources of geothermal heat in copper ore mines LGOM

Stanisław Downorowicz

Afiliacja: Przedsiębiorstwo Konsultingowe „Hydrogeometal” w Lublinie, www.hydrogeometal.pl

Adres e-mail autora: stanislaw.downorowicz@pwr.edu.pl

Słowa kluczowe: Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy, energia geotermalna

Badania geotermiczne złóż rud miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM) były prowadzone techniką otworową w trakcie dokumentowania złóż oraz w wyrobiskach górniczych w kopalniach: „Lubin”, „Polkowice”, „Rudna”, „Sieroszowice” oraz „Głogów Głęboki-Przemysłowy”.

Pole termalne obszarów złożowych wymienionych kopalń jest usytuowane w środkowej części monokliny przedsudeckiej. Zostało ono rozpoznane na powierzchni ponad 1000 km² łącznie z perspektywnymi obszarami złożowymi: „Gaworzyce”, „Bytom Odrzański”, „Głogów”, „Retków” i „Ścinawa”. Kształtowanie się tego pola od SE jest uwarunkowane wypiętrzaniem głębokiego podłoża skał krystalicznych i metamorficznych, z kulminacją w postaci bloku przedsudeckiego i skał występujących w obrębie monokliny o specyficznej litologii i warunkach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich oraz zalegającymi niezgodnie na obu wymienionych strukturach – mocno uwarstwionych i zawodnionych warstw formacji kenozoicznej. W wyniku eksploatacji złoża rud miedzi, odwadniania górotworu i rozwoju rozległego leja depresji, pole termalne zostało zaburzone na obszarze występujących wpływów górnictwa.

Dynamika pola termalnego następuje głównie w obrębie drenowanych poziomów wodonośnych formacji permskiej, triasowej i kenozoicznej, to jest ponad eksploatowanym złożem rud miedzi. Skały zalegające w spągu złoża generują do strefy złożowej i wyrobisk górniczych stały strumień ciepły, o zróżnicowanych wartościach jednostkowych od 0,005 do 0,1 W/m².

W pracy dokonano po raz pierwszy próby zbilansowania generowanego do strefy złożowej ciepła geotermalnego. Przedstawiony w referacie bilans może być podstawą do szacowania i projektowania zagospodarowania energii geotermalnej w ramach ogólnych bilansów energetycznych wszystkich kopalń rud miedzi LGOM, na etapie ich eksploatacji, jak też likwidacji i utrzymania wybranych obiektów po ich zlikwidowaniu.

Łącznie zasoby ciepła geotermalnego dla aktualnych obszarów górniczych objętych koncesją na wydobycie rudy miedzi wynoszą około 16,8 MW.



Wykorzystanie technologii bezwykopowych do realizacji horyzontalnych otworowych wymienników ciepła

The use of trenchless technologies to implement horizontal bore heat exchangers

Jan Ziąja

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii WWiG AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, kwig.wnaft.agh.edu.pl

Adres e-mail autora: ziaja@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: gruntowe wymienniki ciepła, horyzontalne wymienniki ciepła, technologie bezwykopowe

Kryzys energetyczny na świecie, a w szczególności w Europie, jest niezaprzeczalnym faktem. Galopująco rosnące ceny standardowych nośników energii, czyli węgla, ropy naftowej oraz gazu ziemnego skłaniają do intensyfikacji poszukiwań alternatywnych źródeł energii. Jedną z dróg pozyskiwania energii są gruntowe (otworowe) wymienniki ciepła. Od wielu lat prężnie rozwija się ta technologia. Znane są zarówno pionowe otworowe wymienniki ciepła jak i też poziome. W referacie autor przedstawia alternatywę dla ich budowy w postaci wykorzystania technologii bezwykopowych. Przeanalizowane zostały schematy wykonywania horyzontalnych otworowych wymienników ciepła – HOWC za pomocą techniki horyzontalnego przewiertu sterowanego HDD. Opisane zostały m.in. fazy wykonywania HOWC, zalety, wady i ograniczenia stosowania tej technologii.



Obecne możliwości gruntowych pomp ciepła – potencjał w zastosowaniach komercyjnych

Current possibilities of ground source heat pumps - potential in commercial applications

Adam Koniszewski

Afiliacja: Stiebel Eltron Sp. z o.o., ul. Działkowa 2, 02-234 Warszawa, www.stiebel-eltron.pl

Adres e-mail autora: adam.koniszewski@stiebel-eltron.pl

Słowa kluczowe: gruntowe pompy ciepła, energia geotermalna

Gruntowe pompy ciepła cieszą się coraz większą popularnością. W referacie przedstawiono charakterystykę tego typu pomp oraz przedstawiono ich możliwości systemowe. Ponadto poruszone zostały kwestie doboru według mocy chłodniczej, wpływu budowy wymiennika ciepła na temperaturę wypływu nośnika ciepła, a także efektywności energetycznej i ekonomicznej.



Pętla wodna rozwiązaniem geoenergetycznym w gminie, na przykładzie miasta Czechowice-Dziedzice

Water loop as a geoenergetic solution in a commune, on the example of the city of Czechowice-Dziedzice

*Tomasz Śliwa^{*1}, Aneta Sapińska-Śliwa¹, Marian Błachut², Piotr Herczek³*

Afiliacje: 1 – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl; 2 – Urząd Miejski w Czechowicach-Dziedzicach, Plac Jana Pawła II 1, 43-502 Czechowice-Dziedzice, czechowice-dziedzice.pl, 3 – Przedsiębiorstwo Inżynierii Miejskiej Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością, ul. Szarych Szeregów 2, 43-502 Czechowice-Dziedzice, pim-czdz.pl

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

Słowa kluczowe: gruntowe pompy ciepła, energia geotermalna, miejskie sieci ciepłownicze, otworowe wymienniki ciepła, magazynowanie ciepła w górotworze

Koncepcja zmiany systemu grzewczego w Czechowicach-Dziedzicach bazuje na koncepcji tzw. pętli wodnej. W skrócie przewiduje ona zamianę wysokotemperaturowego zasilania miejskiej sieci ciepłowniczej (120/60) na zasilanie niskotemperaturowe (10-30°C). Węzły ciepłe u odbiorców ciepła będą wyposażone w pompy ciepła (woda-woda lub glikol-woda). Sieć będzie zamkniętym obiegiem wody, do którego będą podłączeni odbiorcy oraz producenci ciepła odpadowego. Dodatkowo sieć będzie zasilana ciepłem z górotworu, za pośrednictwem otworowych wymienników ciepła, które będą wykonane na terenach należących do miasta i znajdują się w pobliżu sieci ciepłowniczej. Miasto wytypowało około 20 takich działek. Jedną z nich jest działka o powierzchni 6 ha. Na tej działce miasto chce wykonać farmę kolektorów słonecznych. Proponowane są kolektory kogeneracyjne (PVT), produkujące energię elektryczną i ciepło. Proponuje się, aby zanim zainstalowane będą kolektory, wykonać na tej działce ponad 800 otworów. Będą miały za zadanie magazynować w górotworze ciepło z kolektorów pozyskiwane latem, aby „pętla wodna” korzystała z tego ciepła w sezonie grzewczym. Proponuje się jednocześnie innowacje w postaci wyposażenia otworów w układ magazynowania energii elektrycznej w cyklu dobowym. W każdym (lub w części) z otworów z cyrkulującym nośnikiem ciepła będzie układ grawitacyjnego magazynowania energii elektrycznej. Umożliwi to specjalna konstrukcja otworów. W jednym kanale cyrkulacyjnym nośnika ciepła będzie umieszczony obciążnik. Jego zadaniem będzie przemieszczanie się ku powierzchni terenu w sytuacji braku odbioru (nadprodukcji) energii elektrycznej. Ponowne zamienienie energii potencjalnej obciążnika na energię elektryczną będzie realizowane podczas jego opadania w kierunku dna otworu. Roczna produkcja ciepła z 1 m² kolektora PVT (polskiego producenta) to około 334 kWh_t/m² i produkcja prądu około 217 kWh_{el}/m². Daje to razem 334 kWh_t/m² + 217 kWh_{el}/m² = 551 kWh/m². Sumaryczna energia z 1 m² jest mniejsza niż dla - rozdzielnie 1 m² kolektora słonecznego termicznego i 1 m² panelu fotowoltaicznego, ale relatywnie uzyskuje się więcej bardziej wartościowej energii elektrycznej, której ewentualne nadwyżki (nie możliwe do zmagazynowania) mogą być także zamieniane na ciepło.

Gdyby Gmina Czechowice-Dziedzice postawiła na terenie przy oczyszczalni ścieków (6 ha) kolektory PVT, to jest w stanie z nich otrzymać 18 000 MWh ciepła i 11 000 MWh prądu rocznie. Wyliczenia zostały wykonane przy założeniach dla kolektorów typu TWIN (firmy Skorut Systemy Solarne ® sp. z o.o.). Przy wykonaniu otworowych wymienników ciepła pod kolektorami PVT (przy ich głębokości 200 m każdy) możliwa ilość pozyskanego rocznie ciepła

II Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła, Uniejów 24 – 26 maja 2022 r.
„Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce”



niskotemperaturowego wynosi 18 000 MWh (przy schłodzeniu w okresie 25 lat maksymalnie do temperatury -5°C). Dokładnie tyle samo ile ciepła dostarczą kolektory PVT. Gruntowe pompy ciepła cieszą się coraz większą popularnością. W referacie przedstawiono koncepcję ich wykorzystania w pętli wodnej działającej w oparciu o miejski system ciepłowniczy w Czechowicach-Dziedzicach.



Rozwój rynku gruntowych pomp ciepła w Polsce i Europie - stan aktualny oraz perspektywy

Development of ground source heat pumps market in Poland and Europe - current status and prospects

Jakub Koczorowski

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

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

Słowa kluczowe: pompy ciepła, dolne źródła ciepła, geotermia

W 2021 r. wzrosty sprzedaży na europejskich rynkach pomp ciepła odbiły się szerokim echem i to pomimo ograniczeń związanych z COVID-19 i ogólnoswiatowych wyzwań związanych z łańcuchem dostaw. Według Europejskiego Stowarzyszenia Pomp Ciepła EHPA, sprzedaż pomp ciepła w Unii Europejskiej przekroczyła 2 miliony sztuk w 2021 roku, przy około 10% udziale gruntowych pomp ciepła. Natomiast udział pomp ciepła w rynku urządzeń grzewczych w Europie ma się podwoić w ciągu najbliższych trzech-czterech lat, osiągając udział ponad 50%. Według najnowszych statystyk, Polska była w ubiegłym roku jednym z najszybciej rozwijających się rynków w Europie. Wiosną 2022 r. Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC) opublikowała raport z badania polskiego rynku pomp ciepła w 2021. Według naszych ustaleń, liczba pomp ciepła sprzedanych do centralnego ogrzewania wzrosła w 2021 r. o 80% w porównaniu z rokiem 2020, podczas gdy rynek gruntowych pomp ciepła wzrósł o 7,5%.

W lipcu 2020 r. w unijnej strategii UE dotyczącej integracji systemów energetycznych zasugerowano potrzebę elektryfikacji ogrzewania ponad 40% europejskich budynków mieszkalnych i komercyjnych, co doprowadziłoby do osiągnięcia celu w postaci około 50 milionów pomp ciepła zainstalowanych do 2030 r. i w praktyce wymagałoby rocznego wzrostu o około 16% w ciągu tej dekady. 3 marca 2022 r. Międzynarodowa Agencja Energii MAE stwierdziła, że „przyspieszenie przewidywanego wdrożenia poprzez podwojenie obecnego tempa instalacji pomp ciepła w UE pozwoliłoby zaoszczędzić dodatkowe 2 mld m³ gazu już w pierwszym roku”. W opublikowanej w lutym 2022 r. w języku polskim mapie drogowej „Net Zero by 2050” MAE wskazują, że w 2050 r. ponad 50% ciepła powinno pochodzić z elektrycznych pomp ciepła, a w przypadku krajów rozwiniętych (OECD) poziom ten powinien sięgnąć 2/3 istniejących zasobów budowlanych. Z kolei 8 marca 2022 w komunikacie Komisji Europejskiej "REPowerEU" przedstawiono szereg działań dotyczących rezygnacji z paliw kopalnych. W dokumencie zaproponowano podwojenie poziomu ambicji w zakresie sprzedaży pomp ciepła, informując o potrzebie 2-krotnego zwiększenia rocznej sprzedaży pomp ciepła w ciągu najbliższych 5 lat.

Na przestrzeni ostatnich paru lat widzimy bardzo dynamiczny wzrost sprzedaży pomp ciepła, głównie powietrznych, ale perspektywy dla gruntowych pomp ciepła są także bardzo obiecujące. Głównymi przyczynami są przede wszystkim znaczący wzrost poparcia i przekonania inwestorów do tej technologii, liczne programy wsparcia finansowego (m.in. Czyste Powietrze, Moje Ciepło) oraz coraz większa wiedza i zaplecze techniczne po stronie firm instalacyjnych, choć sama liczba firm instalacyjnych jest niewątpliwie wyzwaniem na kolejne lata.



UNIEJÓW
Uzdrowisko Termalne



Dobór metody wiercenia w geoenergetyce pod kątem szybkości wykonywania otworów i redukcji kosztów wiercenia

Selection of the drilling method in geoenergetics in terms of drilling speed and reduction of drilling costs

Michał Wójcik

Afiliacja: GEOD Przedsiębiorstwo Wielobranżowe Michał Wójcik, ul. Skośna 12, 30-838 Kraków, www.geod.pl

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

Słowa kluczowe: pompy ciepła, dolne źródła ciepła, geotermia

W referacie przedstawiono kilka przykładowych konstrukcji otworów i możliwych do zastosowania metod wiercenia w zależności od profilu geologicznego na danym obszarze Polski. Dla określonej konstrukcji otworu przedstawiono różne metody wiercenia i poddano analizie osiągane prędkości wiercenia oraz koszty związane z zastosowaniem danej metody. Analiza obejmuje nie tylko koszt wiercenia otworu, ale całość kosztów wykonania dolnego źródła wraz z kosztami instalacji kolektora dolnego, wypełnienia otworu iniektem oraz kosztami utylizacji odpadów, rekultywacji terenu. Szczególną uwagę zwrócono na ograniczenie wpływu na środowisko oraz koszty towarzyszące każdej z metod.

Wykorzystanie materiałów odpadowych dla poprawy parametrów zaczynów cementowych do otworów w geoenergetyce

The use of waste materials to improve the parameters of cement grouts for boreholes in geoenergetics

Kinga Jarosz^{*1}, Tomasz Śliwa², Tomasz Kowalski²

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

^{*}Adres e-mail autora do korespondencji: kinga.borek@uj.edu.pl

Słowa kluczowe: zaczyny cementowe, geoenergetyka, odpady, grafit, otworowe wymienniki ciepła

Realizacja celów zrównoważonego rozwoju jest nierozdzielnie związana z działaniami ukierunkowanymi na domykanie obiegu surowców, w tym w szczególności, z uwalnianiem potencjału surowcowego odpadów. Cykliczność wykorzystania surowców i energii znajdują się w centrum dyskusji naukowej w tym zakresie. Alternatywne źródła energii, takie jak ciepło geotermalne, od lat stanowią realne rozwiązanie części problemów związanych z energetyką i ciepłownictwem. Współcześnie, równie istotne wyzwanie stanowi optymalizacja technologii i ich zastosowania. Wykorzystując żużle i popioły powstałe w wyniku termicznego przekształcania odpadów i surowców rozwiązujemy problem ich składowania, a dodatkowo nie wypadają one z obiegu surowców, znajdując jednocześnie nowe zastosowanie. Jednym z takich zastosowań jest stosowanie ich jako dodatku do zaczynów cementowych stosowanych w technologiach geotermalnych.

Biorąc pod uwagę efektywność, najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie odpadów do polepszenia właściwości termicznych zaczynów stosowanych do płytkiej geotermii, w drugiej kolejności do poprawy parametrów wytrzymałościowych, a w trzeciej jako wypełnienie do cementowania głębokich otworów geotermalnych, gdzie podwyższona przewodność cieplna nie jest wskazana.

W związku z udowodnieniem pozytywnego wpływu dodatków grafitu do zaczynów cementowych, obiecującym rozwiązaniem jest zastosowanie odpadów po termicznym przekształceniu biomasy. Bogate w związki m.in. krzemu popioły pozostałe po spalaniu osadu ściekowego oraz odpadów komunalnych, również mogą pozytywnie wpłynąć zarówno na osiągnięcie wyższej przewodności cieplnej jak i do pozostałych drugorzędowych celów. Kolejną grupą dodatków pochodzenia odpadowego stanowić mogą wysokometaliczne odpady z przemysłu hutniczego. Łącząc dotychczasowe doświadczenie z dodatkami o mniej skomplikowanym składzie dobrano odpady o potencjale zastosowania jako dodatki do zaczynów i zaplanowano szereg eksperymentów.

W projektowaniu cyklicznych rozwiązań należy także w bilansie uwzględnić wpływ otworowych wymienników ciepła na środowisko naturalne. W tym celu zaplanowano eksperymenty polegające na badaniu roztworów, w których będą postarzane stwardniałe cementy. Stosowanie odpadów jako dodatku może pozytywnie wpłynąć na ograniczenie uwalniania się do środowiska pierwiastków szkodliwych dla zdrowia człowieka i środowiska, w przeciwieństwie do wielu dotychczasowych zastosowań. Część odpadów natomiast nie znajduje do tej pory zastosowania i musi być

II Seminarium Geoenergetyka i Geotermalne Pompy Ciepła, Uniejów 24 – 26 maja 2022 r.

„Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce”



UNIEJÓW
Uzdrowisko Termalne



składowana, również nie bez wpływu na zasoby środowiska.

Przeprowadzenie badań będzie miało na celu optymalizację właściwości zaczynów, zagospodarowanie surowca odpadowego, ograniczenie wpływu na środowisko - zarówno odpadów jak i otworowych wymienników.

Zaczyny cementowe na bazie zużytej płuczki wiertniczej

Cement slurries based on used drilling mud

*Izabela Misztal¹, Jakub Drosik¹, Tomasz Śliwa^{*1}, Grzegorz Karczewski², Jarosław Ozimek², Tomasz Kowalski¹*

Afiliacje: 1 – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, www.geotermia.agh.edu.pl, 2 – DPS Sp. z o.o. Odwierty dla pomp ciepła, 55-040 Bielany Wrocławskie, ul. Dwa Światy 3F, www.dps.net.pl

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

Słowa kluczowe: płuczka wiertnicza, zaczyn cementowy, otworowe wymienniki ciepła

Nieodzowną częścią każdego prawidłowo zaprojektowanego oraz wykonanego otworowego wymiennika ciepła jest zaczyn cementowy. Do jego głównych zadań należą: stabilizacja otworu w górotworze, ochrona rur wymiennika przed złamaniem oraz zapewnienie dobrego przewodnictwa cieplnego pomiędzy górotworem a rurkami, w których krąży nośnik ciepła. W przypadku zaczynów cementowych przeznaczonych na potrzeby geotermii niskotemperaturowej wskazane jest, aby posiadał on jak najwyższe przewodnictwo cieplne. W celu jego przygotowania należy wykorzystać podstawowe składniki, czyli sam cement, który następnie zostaje dodany do cieczy zarobowej. Istnieje także możliwość dodania różnych substancji, które mogą spowodować zmianę czasu wiązania, zmianę wytrzymałości cementu lub inne skutki. Jednakże za każdym razem potrzebne są dwa wcześniej wymienione składniki – ciecz zarobowa oraz cement. Cement może posiadać różne właściwości sam w sobie, jednakże jako ciecz zarobowa stosowana jest głównie woda. Celem niniejszych badań było zbadanie właściwości przewodnictwa cieplnego zaczynów, w których jako ciecz zarobowa użyta została nie woda, a zużyta płuczka wiertnicza. Sens użycia płuczki do sporządzenia zaczynu leży nie w założonych parametrach, a w czynnikach ekonomicznych – po odwierceniu otworów płuczka staje się odpadem wiertniczym, który należy zutylizować, co z kolei wiąże się z kosztami finansowymi. W opisywanych badaniach przebadano możliwość zastosowania polimerowych płuczek wiertniczych, na której odwiercono otwory pod otworowe wymienniki ciepła. Celem badań jest odnalezienie stosunków W/C (wskaźnika wodno-cementowego), przy których osiągnie się wartości przewodnictwa cieplnego na tyle wysokie, że można będzie użyć jej jako cieczy zarobowej do zaczynu w sposób nie stwarzający potrzeby kompromisu, a wręcz obniżającym koszty ze względu na brak potrzeby utylizacji płuczki.

Grawitacyjne i ciśnieniowe otworowe magazynowanie energii

Gravitational and pressure borehole energy storage

Tomasz Śliwa, Jakub Drosik, Kamil Bandura*

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

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

Słowa kluczowe: magazyn energii, otwór wiertniczy

W ciągu ostatnich kilku dekad ludzkość rozpoczęła (r)ewolucję technologiczną za sprawą rozwoju elektroniki oraz doprowadzenia do stanu rzeczy, w którym energia elektryczna stała się nieodzowną częścią naszego codziennego życia. W związku z rewolucją technologiczną zwiększyło się także zapotrzebowanie na energię. Początkowo problem ten był rozwiązywany poprzez budowę nowych elektrowni konwencjonalnych, które przetwarzają surowce energetyczne na ciepło oraz energię elektryczną. Jednakże w ciągu ostatnich lat coraz więcej nacisku kładzie się na połączenie (r)ewolucji energetycznej wraz z (r)ewolucją ekologiczną – w związku z zanieczyszczeniem środowiska naturalnego nastąpiła drastyczna potrzeba zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz zanieczyszczenia substancjami trwałymi na skalę światową. Po kilkudziesięciu latach można stwierdzić, że odnawialne źródła energii stają się popularnym oraz skutecznym rozwiązaniem powyższego problemu. Rozwój jednej z najpopularniejszych technologii OZE, czyli pozyskiwania energii słonecznej stworzył jednak pewien problem. Nie występuje on przy równoczesnej produkcji prądu i jego wykorzystaniu. Jednak w częstym przypadku kiedy podaż i popyt się nie pokrywają jesteśmy zmuszeni do odprowadzania energii do sieci elektroenergetycznej lub zwiększenia jej zużycia. Sprawia to że podczas szczytowych okresów produkcyjnych do sieci odprowadzane są znaczne ilości energii, co powoduje z kolei wzrost napięcia. Gdy przekroczy ono wartość graniczną (w Polsce 253 V) następuje wyłączenie falownika, co z kolei powoduje przerwanie produkcji energii zarówno na odprowadzanie do sieci jak i na nasze własne potrzeby. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to niekorzystne, gdyż traci się energię, która mogłaby być zmagazynowana. Jednymi z rozwiązań tego problemu są otworowe magazyny energii.

Propozycja grawitacyjnego otworowego magazynu energii obejmuje innowacje w postaci wyposażenia otworów w układ magazynowania energii elektrycznej w cyklu dobowym. W każdym (lub w części) z otworów (otworowych wymienników ciepła) z cyrkulującym nośnikiem ciepła może być układ grawitacyjnego magazynowania energii elektrycznej. Umożliwi to specjalna konstrukcja otworów. W jednym kanale cyrkulacyjnym nośnika ciepła będzie umieszczony obciążnik. Jego zadaniem będzie przemieszczanie się ku powierzchni terenu w sytuacji braku odbioru (nadprodukcji) energii elektrycznej. Ponowne zamienienie energii potencjalnej obciążnika na energię elektryczną będzie realizowane podczas jego opadania w kierunku dna otworu, za pośrednictwem prądnicy.

W przypadku nadwyżki energii elektrycznej może ona zostać przekształcona także na energię kinetyczną (ciśnienia), aby następnie zostać zmagazynowana w otworze. Gdy zajdzie potrzeba poboru energii w pierwszej kolejności pobieramy ją z magazynu. W niniejszym referacie przedstawiono dwa systemy magazynujące energię w otworach wiertniczych zbudowane w Laboratorium Geoenergetyki AGH przez studentów SKN „Geowiert” na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie.

Analiza możliwości zastosowania wybranych receptur zaczynów cementowych

Analysis of the possibility of using selected recipes of cement grouts

Małgorzata Formela, Martyna Ciepielowska, Przemysław Toczek, Tomasz Kowalski*

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

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

Słowa kluczowe: zaczyny uszczelniające, zaczyny cementowe, receptury, geoenergetyka, geotermia, geoinżynieria, otworowe wymienniki ciepła

Zaczyny cementowe są bardzo ważnym elementem projektowym i konstrukcyjnym w wielu branżach przemysłu. Szczególną rolę pełnią w szeroko pojętej branży wiertniczej, w tym w zagadnieniach dotyczących geoinżynierii i geoenergetyki. W głębokich otworach geotermalnych zaleca się stosowanie zaczynów o obniżonym przewodnictwie cieplnym w celu redukcji strat ciepła w trakcie eksploatacji wody geotermalnej. Ze względu na znaczną głębokość otworów geotermalnych (często powyżej 3000 m) zaleca się stosowanie receptur zaczynów cementowych o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych. W otworowych wymiennikach ciepła dąży się do sporządzenia receptury zaczynu cementowego o jak najwyższym przewodnictwie cieplnym, aby zmaksymalizować przepływ ciepła z górotworu do nośnika ciepła w wymienniku otworowym. W głębokich otworowych wymiennikach ciepła, w dolnej części zaleca się stosowanie zaczynu o jak najwyższej przewodności cieplnej, natomiast w górnej części zaczyn izolacyjny. W przypadku otworowych wymienników ciepła i głębokich otworowych wymienników zaczyn wypełniający ma zapewnić możliwie najlepsze uszczelnienie i izolację warstw wodonośnych, parametry wytrzymałościowe zaczynu są natomiast sprawą drugorzędną. Zaczyny cementowe stosowane są również w energetycznych palach nośnych (termopalach). Zaczyn wykorzystywany do tych celów powinien charakteryzować się wysokim przewodnictwem cieplnym oraz wysokimi parametrami wytrzymałościowymi. W artykule zaprezentowano różne rodzaje cementów, gotowe mieszanki przemysłowe oraz propozycje receptur zaczynów w zależności od ich przeznaczenia.



Infrastruktura pogórnicza w gminach

Post-mining infrastructure in communes

Tomasz Śliwa

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

Adres e-mail autora: śliwa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: geoenergetyka, geotermia, geoinżynieria, otworowe wymienniki ciepła, geotermalne pompy ciepła

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 są wyrobiska i hałdy, a także infrastruktura wydobywcza i przesyłowa.

W referacie przedstawiono analizę kilku zakładów górniczych, gdzie możliwe, a nawet celowe jest 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. W referacie zaprezentowano wybrane przykłady.



Komputerowe wspomaganie projektowania otworowych wymienników ciepła

Computer aided design of borehole heat exchangers

*Arkadiusz Pyczko, Krzysztof Skrzypaszek, Przemysław Toczek, Tomasz Kowalski**

*Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, WWiG AGH,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, www.wwnig.agh.edu.pl*

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

Słowa kluczowe: symulacje numeryczne, energia geotermalna, otworowe wymienniki ciepła, projektowanie komputerowe

W ostatnich latach udział odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie energetycznym kraju cały czas rośnie. Przewiduje się, że ten trend będzie się utrzymywał w przyszłości. Jednym z głównych rodzajów odnawialnych źródeł energii, które można wykorzystać, jest energia geotermalna udostępniana przez otworowe wymienniki ciepła. Proces projektowania i wykonywania otworowych wymienników ciepła jest istotny ze względów środowiskowych, ale również ze względu na skuteczność i sprawność takich rozwiązań. Jednym z ważniejszych aspektów poprawnego działania tych instalacji jest sposób przygotowania projektu, który wpływa na dobór właściwych parametrów eksploatacji i konstrukcji otworowych wymienników ciepła. Proces ten można wspomagać z wykorzystaniem dedykowanych pakietów oprogramowania takich jak np. Earth Energy Designer firmy Blocon AB. Jednakże ze względu na specyfikę problemu i stopień skomplikowania mają one również ograniczenia, czasem znaczne. Dlatego też jednym z pomysłów wspomagania numerycznego całego procesu projektowego jest wykorzystanie pakietu ANSYS, który jest narzędziem analizy typu *explicite* pozwalającym na modelowanie nieliniowych zadań dynamiki ciał, cieczy i gazów z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania. W niniejszym referacie zaprezentowane zostaną możliwości stworzenia numerycznego stanowiska badawczego i symulowania wyżej wymienionych zagadnień za pomocą modułu Fluent z pakietu ANSYS.

Wpływ pyłu bazaltowego na parametry stwardniałych zaczynów uszczelniających

Influence of basalt dust on the parameters of hardened sealing slurries

Aneta Sapińska-Śliwa*, Krzysztof Seńczuk, Tomasz Kowalski

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

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

Słowa kluczowe: pył bazaltowy, geoenergetyka, zaczyn uszczelniający, parametry reologiczne, przewodność cieplna, wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie

Wśród odnawialnych źródeł energii podatną i łatwą do modyfikacji jest energia geotermalna. Można ją pozyskiwać z górotworu za pomocą otworowych wymienników ciepła i głębokich otworowych wymienników ciepła oraz z wód geotermalnych za pośrednictwem otworów geotermalnych. Dla otworów pozyskujących ciepło Ziemi pożądane jest uzyskać najwyższą możliwą efektywność energetyczną, przy możliwie jak najniższych kosztach wykonania otworu. Jednym z czynników to warunkujących, zwłaszcza w przypadku głębszych otworów jest wytrzymałość zaczynu. Zbyt niska wartość tego parametru może spowodować uszkodzenia zaczynu cementowego, a tym samym spowodować problemy z jego późniejszą eksploatacją (nieszczelność). W ramach przeprowadzonych badań laboratoryjnych wykorzystano dwa pyły bazaltowe z dwóch kopalń, które uznawane są za odpady powstające w procesie wydobywania oraz kruszenia skał bazaltowych. Oba materiały wykorzystane zostały do stworzenia receptur o zawartości wody względem suchej mieszaniny w ilościach od 0,5 do 0,7 dla dużego spektrum stężeń dodatku względem masy suchej mieszaniny w zakresie od 0 do 50%.



UNIEJÓW
Uzdrowisko Termalne



Analiza wyników testów reakcji termicznej

Analysis of the results of thermal reaction tests

Tomasz Śliwa, Karolina Rerutko*

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

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

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

Zgodnie z polską polityką energetyczną oraz światowymi trendami do utrzymania komfortu cieplnego w pomieszczeniach budynków w przyszłości będą wykorzystywane głównie pompy ciepła. W przypadku obiektów o większych kubaturach przewiduje się (na podstawie obecnego trendu) głównie geotermalne (gruntowe) pompy ciepła. W niniejszej pracy zostaną poddane analizie wyniki uzyskane z modelu obliczeniowego. Celem zastosowanego modelu było wyliczenie parametrów przewodności i oporności cieplnej. Są to kluczowe parametry na etapie projektowania jak również późniejszego doboru i ustawienia pompy ciepła, tak aby jej działanie było jak najbardziej efektywne w danych warunkach. Wartości poszczególnych parametrów zostały pozyskane podczas przeprowadzenia testów reakcji termicznej.

Na podstawie danych z testów reakcji termicznej w otworowych wymiennikach ciepła, prowadzić można interpretacje wyników 3 metodami: metodą klasyczną (*mk*) bazującą na określeniu współczynnika nachylenia prostej k zależności temperatury 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 na podstawie wykresu $R_b=f(t)$ (zależności oporności termicznej otworu R_b od czasu trwania testu).

Innowacyjny zaczyn uszczelniający do zastosowania w geoenergetyce

Innovative sealing grout for use in geoenergetics

Tomasz Śliwa, Hubert Mulawa, Albert Złotkowski, Radosław Rejman, Przemysław Toczek, Tomasz Kowalski*

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

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

Słowa kluczowe: Pompy ciepła, otworowe wymienniki ciepła, zaczyn uszczelniający, cement, odnawialne źródła energii, energia geotermalna komputerowe

Sektor ciepłowniczy obecnie musi zwrócić się w stronę odnawialnych źródeł energii. Podstawowym urządzeniem, które zapewnia ciepłą wodę użytkową, centralne ogrzewanie oraz chłodzenie, kiedy jest to pożądane, jest pompa ciepła. Geotermalna pompa ciepła najlepiej współpracuje z otworowymi wymiennikami ciepła. Projektowanie systemów otworowych wymienników ciepła jest sprawą bardzo ważną z powodów aspektów środowiskowych, jak i energetycznych. Jednym z najważniejszych elementów, jakie należy wziąć pod uwagę, który łączy wspomniane aspekty, jest opracowanie odpowiedniego zaczynu uszczelniającego. Zaczyn taki ma zapewnić jak najlepsze uszczelnienie, odizolowanie przewiercanych warstw wodonośnych, a także jak najwyższe przewodnictwo cieplne, niezmiennie w czasie eksploatacji ciepła. Przeprowadzone badania laboratoryjne doprowadziły do zaproponowania nowej receptury i jej aplikacji w otworowych wymiennikach ciepła.



Analiza technologii wiercenia otworowych wymienników ciepła w Miechowie

Analysis of borehole heat exchanger drilling technology in Miechów

Piotr Buliński, Tomasz Śliwa, Mateusz Olejarczyk, Karol Malmur*

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

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

Słowa kluczowe: optymalizacja parametrów wierceń, otworowe wymienniki ciepła, metoda udarowo-obrotowa

W referacie przedstawiono wyniki analizy wiercenia otworowych wymienników ciepła w Miechowie. W ramach przeprowadzonych prac wykonano 4 otworowe wymienniki ciepła. Przy wszystkich otworach ciśnienie sprężonego powietrza miało wartość 19 bar. Natomiast każdy otwór był wykonywany dla różnej, stałej na całej długości pomiaru, wartości prędkości obrotowej. Pierwszy otwór odwiercono przy prędkości obrotowej 72 obr/min, otwór 2 przy 65, natomiast otwory 3 i 4 odpowiednio przy 55 i 45 obr/min. Analiza wykazała, że największą prędkość wiercenia osiągnięto dla 65 obr/min, natomiast najmniejsza prędkość wiercenia miała miejsce przy zastosowaniu prędkości obrotowej wynoszącej 72 obr/min. Powodem tak słabych wyników dla prędkości obrotowej 72 obr/min mogło być niedostatecznie szybkie oczyszczanie dna otworu ze zwiercin, co utrudniało pracę świdra w tym konkretnym górotworze. Analizowano również udział czasu pracy młotka w całkowitym czasie wiercenia. Wyniki pokazały, że czas pracy młotka stanowi niecałe 80% całkowitego czasu wiercenia otworu.



Wykorzystanie otworów mrozeniowych w geoenergetyce

The use of freezing boreholes in geoenergetics

Tomasz Śliwa, Michał Szczytowski, Jakub Drosik*

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

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

Słowa kluczowe: otwory wiertnicze, geoenergetyka, otwory mrozeniowe

Geoenergetyka, a co za tym idzie geotermia, jest dziedziną nauki która przeżywa obecnie rozkwit za sprawą rozwoju wszystkich technologii związanych z odnawialnymi źródłami energii. W geotermii w Polsce można wyróżnić geotermię niskotemperaturową, średniotemperaturową oraz głęboką (wysokotemperaturową). Rozdział pomiędzy poszczególnymi rodzajami geotermii może zostać dokonany za pomocą typowych rozwiązań jakie są stosowane w każdym rodzaju, lub poprzez temperaturę górotworu w badanym zakresie. Jednakże największy potencjał w przypadku wielkoskalowych instalacji ma geotermia głęboka – dzieje się tak za sprawą gradientu geotermicznego, który z definicji informuje o wyższej temperaturze górotworu na większych głębokościach. Obecnie wierce się otwory przeznaczone dla celu udostępnienia ciepła z dużych głębokości zarówno w Polsce jak i zagranicą, choć nie są to jedyne możliwości, aby pozyskać ciepło Ziemi. Istnieją także projekty mające na celu adaptację innych otworów, najczęściej opuszczonych otworów naftowych i gazowych, na potrzeby głębokiej geotermii. W niniejszym referacie przedstawiono sposób adaptacji opuszczonych otworów mrozeniowych na głębokie otworowe wymienniki ciepła. Zaprezentowano rozwiązanie dla kilku otworów mrozeniowych o głębokości ponad 500 metrów. W referacie opisano sposób w jaki mogą być one zaadaptowane na głębokie otworowe wymienniki ciepła które następnie posłużą do ogrzewania i/lub chłodzenia obiektów znajdujących się w bliskim otoczeniu otworów.



Kształcenie w zakresie geotermii na WWNIG AGH w Krakowie

Education in the field of geothermal energy at Faculty of Drilling, Oil and Gas AGH UST in Krakow

Aneta Sapińska-Słiwa

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, www.wnig.agh.edu.pl

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

Słowa kluczowe: dydaktyka, otwory wiertnicze, geoenergetyka, geotermia, studia stacjonarne, studia niestacjonarne, studia podyplomowe

Geotermia znajduje się w Polsce w intensywnym okresie przyspieszenia. Dotyczy to zwłaszcza realizacji nowych instalacji bazujących na wodach geotermalnych jak też na geotermalnych pompach ciepła. Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH jest jedynym w Polsce posiadającym kierunki kształcenia w zakresie górnictwa otworowego. W związku z tym przewiduje się wzrost liczby chętnych do kształcenia się także w zakresie geotermii i geoenergetyki. W referacie przedstawiono prowadzoną na WWNIG AGH specjalność na studiach II stopnia (magisterskich) w zakresie Geoinżynierii i Geotermii oraz Studia Podyplomowe „Geotermia”.



Szkoła Naftowo-Gazownicza w Krośnie - z tradycją w nowoczesność

Oil and Gas School in Krosno - with tradition and modernity

Joanna Kubit

Afiliacja: Zespół Szkół Naftowo-Gazowniczych im. Ignacego Łukasiewicza w Krośnie, Bohaterów Westerplatte 20, 38-402 Krosno, naftowka.pl

Adres e-mail autora: dyrektor@naftowka.pl

Słowa kluczowe: Szkoła Naftowo-Gazownicza w Krośnie, Branżowe Centrum Umiejętności, AGH

W referacie przedstawiono historię powstania i stan obecny Szkoły Naftowo-Gazowniczej w Krośnie. Zaprezentowane zostały kierunki kształcenia w formie dualnej oraz korzyści wynikające ze współpracy z pracodawcami. Poruszono problem kształcenia zawodów unikatowych, tj. technik wiertnik, technik eksploatacji otworowej złóż i technik geologii, a także utworzenie i działalność Branżowego Centrum Umiejętności pod merytorycznym patronatem AGH w Krakowie.



Drillmec HH-220 - nowoczesne urządzenie wiertnicze przyjazne dla środowiska naturalnego i środowiska pracy

Drillmec HH-220 - a modern drilling device that is environmentally friendly and work environment friendly

Tomasz Wójtowicz

Afiliacja: Exalo Drilling S.A, pl. Staszica 9, 64-920 Piła, exalo.pl

Adres e-mail autora: tomasz.wojtowicz@exalo.pl

Słowa kluczowe: Drillmec HH-220, wiercenie, urządzenia wiertnicze

Drillmec HH-220 to najnowsze urządzenie we flocie Exalo Drilling S.A., zakupione w 2021 roku od jednego z wiodących producentów urządzeń wiertniczych firmy Drillmec SPA. Urządzenie wyposażone jest w najwyższej klasy osprzęt wiertniczy i podzespoły, których parametry pracy są zgodne z obowiązującymi w UE przepisami i najwyższymi standardami w zakresie bezpieczeństwa pracy i ochrony środowiska. Drillmec HH-220 charakteryzuje się nowatorskimi rozwiązaniami technicznymi i wysoką automatyzacją procesu wiercenia, co przekłada się na wzrost efektywności prowadzenia robót wiertniczych oraz podniesienie bezpieczeństwa obsługi i komfortu pracy załogi. Zastosowane systemy bezpieczeństwa i monitorowania procesu wiercenia pozwalają ograniczyć zdarzenia wypadkowe oraz zmniejszyć zagrożenie dla środowiska naturalnego w trakcie wykonywania robót geologicznych związanych z poszukiwaniem złóż ropy naftowej, gazu ziemnego i wód termalnych.

W prezentacji przedstawiono podstawowe parametry urządzenia oraz sposób działania poszczególnych elementów wchodzących w jego skład, w tym m.in. magazyn przewodu wiertniczego z automatycznym podajnikiem, platformę urządzenia z masztom teleskopowym i centralną jednostką hydrauliczną HPU.

Wprowadzenie do użytkowania przez Exalo Drilling zautomatyzowanych urządzeń wiertniczych, poprzedzone jest konsultacjami z producentem, których celem jest wdrożenie rozwiązań zapewniających bezpieczeństwo pracy i środowiska naturalnego, zwiększających efektywność prowadzonych prac wiertniczych oraz minimalizację czasu nieprodukcyjnego, a tym samym kosztów operacyjnych. Drillmec łączy wszystkie te funkcjonalności w jedną nowoczesną wiertnicę należącą do serii HH220.



Badania otworowych wymienników ciepła o różnych konstrukcjach

Research on borehole heat exchangers of various designs

*Michał Szczytowski, Tomasz Śliwa**

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

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

Słowa kluczowe: otwory wiertnicze, geoenergetyka, otwory mrozeniowe

Obecnie udostępnianie energii geotermalnej jest jedną z najpopularniejszych metod wykorzystywania tzw. odnawialnych źródeł energii. Rozwój tej dziedziny nauki i energetyki wiąże się z wieloma czynnikami. Jednym z najważniejszych czynników jest ochrona środowiska, a przede wszystkim uwarunkowania prawne związane ze zmniejszeniem zanieczyszczeń oraz wytwarzaniem energii w sposób niekonwencjonalny. „Polityka Energetyczna Polski do 2040 r.” tzw. PEP2040, opisana w załączniku do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r. zakłada optymalne, możliwie długie wykorzystanie własnych surowców energetycznych poprzez między innymi rozwój odnawialnych źródeł energii, a także poprawę efektywności energetycznej. Planowane jest, aby do 2040 r. potrzeby cieplne wszystkich gospodarstw domowych pokrywane były przez ciepło systemowe oraz przez zero- lub niskoemisyjne źródła indywidualne np. poprzez (geotermalne) pompy ciepła w ciepłownictwie indywidualnym oraz tzw. „głęboką geotermię” w ciepłownictwie systemowym (Polityka Energetyczna Polski). Efektywność systemów geotermalnych, zarówno dla systemów płytkiej i głębokiej geotermii zależy m.in. od poprawnego zaprojektowania takich systemów, w tym konstrukcji otworów wiertniczych.

Jedną z popularniejszych metod udostępniania energii geotermalnej są otworowe wymienniki ciepła, które uczestniczą w wymianie ciepła niskotemperaturowego pomiędzy górotworem a nośnikiem ciepła. Otworowy wymiennik ciepła jest ekologicznym źródłem energii niskotemperaturowej mogącym wraz z gruntową pompą ciepłą dostarczyć ciepło w zimę i chłód latem. Powstawanie coraz większej liczby instalacji grzewczych opartych na otworowych wymiennikach ciepła, zmusza projektantów do projektowania coraz to bardziej innowatorskich projektów. Na początkowym etapie, by jak najefektywniej wykorzystać otworowy wymiennik ciepła, wymagane jest przeprowadzenie testu reakcji termicznej (ang. *thermal response test*). Na jego podstawie można określić efektywną przewodność cieplną górotworu (*effective ground thermal conductivity*) oraz opór cieplny otworu (*borehole thermal resistance*). Przeprowadzenie testu reakcji termicznej powinno być obowiązkowe dla instalacji powyżej 50 kW w celu jak najdokładniejszego wyznaczenia tych parametrów w celu zwiększenia lub zmniejszenia liczby otworowych wymienników ciepła i obniżenia kosztów całej instalacji.

W niniejszym referacie przedstawiono wykonanie pełnego testu reakcji termicznej wraz z opisem urządzenia jak i z całym algorytmem postępowania przy podłączaniu. Wyniki dla przeprowadzonych testów zostały przedstawione w tabeli zbiorczej.



Algorytm zatłaczania zaczynów uszczelniających do otworowych wymienników ciepła

Algorithm of injection of sealing slurries into borehole heat exchangers

Aneta Sapińska-Śliwa, Radosław Rejman, Albert Złotkowski, Hubert Mulawa, Przemysław Toczek, Tomasz Kowalski*

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

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

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, zaczyn uszczelniający, zaczyn cementowy, algorytm, metoda obliczeniowa, zatłaczanie

Rozwój geotermii powoduje zwiększone zapotrzebowanie na wykonywanie otworowych wymienników ciepła. Wiąże się to z częstszym naruszaniem warstw wodonośnych w górotworze. Dlatego, aby nie dopuścić do ich zanieczyszczenia należy używać nie tylko odpowiednich zaczynów uszczelniających, ale także odpowiednio zaprojektować i wykonać takie uszczelnienie. W tym celu należy uregulować metody, które do tej pory były tylko w formie zaleceń. Nie istniał do tej pory także konkretny algorytm postępowania. Z tego powodu wykonane zostały badania laboratoryjne na nowej recepturze i na przykładzie ich wyników przeliczono za pomocą zaproponowanego algorytmu cementowania otworowych wymienników ciepła. Wyniki po porównaniu z tradycyjnymi wartościami okazały się porównywalne, co potwierdza skuteczność zaproponowanego algorytmu.



CompLithium – technologia kompleksowego odzysku litu i wody użytkowej z wód złożowych i geotermalnych

CompLithium – technology for comprehensive recovery of lithium and utility water from reservoir and geothermal waters

Ewa Knapik

Afiliacja: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, wnig.agh.edu.pl

Adres e-mail autora: eknapik@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: CompLithium, lit, energia geotermalna

Wody złożowe towarzyszące wydobywaniu węglowodorów oraz wody geotermalne to zwykle wysokozmineralizowane solanki. Stąd mogą one stać się surowcem do produkcji wybranych pierwiastków chemicznych (np. lit, jod, brom). Celem projektu CompLithium jest opracowanie kompleksowej technologii odzysku litu i wody użytkowej z krajowych wód złożowych i geotermalnych przy użyciu połączonych technik sorpcyjnych i membranowych. Lit jest pierwiastkiem strategicznym o kluczowym znaczeniu dla rozwoju elektromobilności, stąd zapotrzebowanie rynkowe na jego produkcję. W ramach projektu planuje się opracować innowacyjne sorbenty na bazie tlenków i wodorotlenków metali, pozwalające na selektywny odzysk litu z solanek. Dodatkowo, dzięki włączeniu technik membranowych planuje się badać przebieg odsalania wód złożowych celem produkcji wody użytkowej. Woda ta może być stosowana do różnych celów przemysłowych lub nawadniania upraw, co może mieć znaczenie dla lokalnego rolnictwa w sytuacji obserwowanych niedoborów wody. Unikalne połączenie dwóch rozwiązań technicznych - kolumn sorpcyjnych i modułu membranowego, pozwoli na zrównoważone i efektywne wykorzystanie wód złożowych i geotermalnych. Proponowane rozwiązanie jest innowacją procesową w skali Polski i Europy. Realizacja projektu może przyczynić się do poszerzenia bazy surowcowej kraju i poprawy opłacalności eksploatacji złóż węglowodorów.



Formalne czynniki hamujące upowszechnianie technologii gruntowych pomp ciepła

Formal factors inhibiting the dissemination of ground-source heat pump technology

Grzegorz Karczewski*, Jarosław Ozimek, Natalia Pożoga

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

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

Słowa kluczowe: gruntowe pompy ciepła, energia geotermalna, biurokracja

Popularyzacja odnawialnych źródeł energii z każdym rokiem nabiera tempa. Nowe technologie, projekty unijne, gminne dofinansowania zalewają rynek. Szeroko rozumiani konsumenci przy wyborze technologii zmagają się z lawiną technik marketingowych, czy nieuczciwej konkurencji. O ile wolny rynek, od zawsze rządzi się swoimi prawami, to na straży porządku legislacyjnego przynajmniej z założenia stoją organy administracji państwowej. Czy na pewno? Biurokracja, brak jasnych wytycznych i niekompetencja wyraźnie hamują odbiór faktycznych korzyści wynikający z zastosowań odnawialnych źródeł energii.

Formalne czynniki hamujące upowszechnianie technologii gruntowych pomp ciepła to kolejna odsłona planowanej szerszej publikacji, ukazująca spektrum formalności, które należy spełnić, aby zrealizować projekt dolnego źródła pompy ciepła, a finalnie ogrzewać budynek gruntową pompą ciepła.



UNIEJÓW
Uzdrowisko Termalne



Uniejów i geotermia – studium przypadku

Uniejów and geothermal energy - a case study

Aneta Sapińska-Śliwa^{*1}, Józef Kaczmarek²

Afiliacje: 1 - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, geotermia.agh.edu.pl, 2 – Urząd Miasta i Gminy Uniejów, 99-210 Uniejów, ul. bł. Bogumiła 13, uniejow.pl,

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

Słowa kluczowe: energia geotermalna, geotermia, Uniejów, kaskadowy system odbioru ciepła

Mieszkańcy Uniejowa ogrzewają się zimą i kąpią w ciepłej wodzie, która od sezonu grzewczego 2000/01 ogrzewana jest ciepłem wód termalnych. Popularyzacja i wykorzystanie geotermii z każdym rokiem nabiera tempa. W Uniejowie wokół geotermii zbudowano produkt miejski dla mieszkańców i turystów, a także dla kuracjuszy.

W mieście działają zakłady balneologiczne, baseny termalne, w nowych mieszkaniach są po trzy krany – ten trzeci z geotermalną wodą prosto z dolnej kredy, z piaskowców wodonośnych. Można kupić ogórki kiszane na wodzie geotermalnej oraz kosmetyki geotermalne. Rozwija się budownictwo, ukierunkowane głównie na wynajem. Turyści docierają nie tylko z zachodu, z Wielkopolski, ze wschodu, z Łodzi, ale już z całej Polski. Znacznie wzrosły ceny mieszkań, budują się hotele, przyjeżdżają kluby piłkarskie na zgrupowania, aby zimą trenować na boiskach podgrzewanych wodą geotermalną. W miejskich fontannach jest ciepła woda. W mieście zamieszkałym przez 3 tys. Ludzi funkcjonuje ponad 30 punktów gastronomicznych. Pozostawiane przez turystów pieniądze, dobrze inwestowane, powodują wzrost zamożności mieszkańców oraz całej gminy. Od 10 lat intensywnie rozwija się balneoterapia, gdy miastu nadano status uzdrowiska termalnego (pierwsze i jedyne, oraz dotychczas najmłodsze uzdrowisko w Polsce). W uzdrowisku takim podstawą działalności leczniczej nie są wody mineralne, tylko wody geotermalne. W Uniejowie z otworu Uniejów PIG/AGH-2 uzyskuje się wodę o temperaturze prawie 70°C. Referat zawiera opis swego rodzaju symbiozy Uniejowa i geotermii. Może to stanowić przykład dla wielu miast, gdzie występują zasoby wód termalnych.