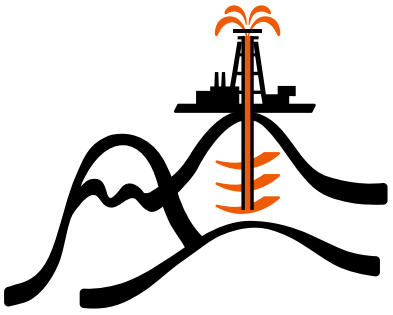
PSG

POLSKIE STOWARZYSZENIE GEOTERMICZNE

VIII 29 XI-01 XII 2023

Ogólnopolski Kongres Geotermalny

KSIĄŻKA ROZSZERZONYCH ABSTRAKTÓW



kongresgeotermalny.pl

***Redakcja naukowa i techniczna*:**
Aleksandra Kasztelewicz *(Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne)*

Współpraca:
Barbara Czerwińska *(Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne)*

Kraków 2023
Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne
Al. Mickiewicza 30
30-59 Kraków

ISBN 978-83-65874-06-1

KOMITET HONOROWY:
Inż. Zdzisław Bociek – *Członek Honorowy PSG*
Prof. dr hab. inż. Wojciech Ciężkowski – *Politechnika Wrocławska, WGGiG*
Dr inż. Mateusz Damrat – *Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy*
Prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos – *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia PAN*
Dr inż. Marzena Gancarz – *Geolog Wojewódzki, Województwo Małopolskie*
Prof. dr hab. inż. Wojciech Górecki – *Profesor Honorowy AGH, Członek Honorowy PSG*
Prof. dr hab. inż. Jacek Matyszkiewicz – *Dziekan Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH*
Prof. dr hab. inż. Władysław Nowak – *Członek Honorowy PSG*

KOMITET NAUKOWY:
Dr hab. inż. Józef Chowaniec – ***Przewodniczący*** – *PSG*
Dr hab. inż. Wiesław Bujakowski, prof. IGSMiE PAN – *IGSMiE PAN*
Dr hab. inż. Beata Kępińska, prof. prof. IGSMiE PAN – *IGSMiE PAN*
Dr Barbara Kiełczawa – *Politechnika Wrocławska WGGiG*
Dr Maciej Kłonowski – *PIG-PIB, Oddział Dolnośląski*
Dr Monika Konieczyńska – *PIG-PIB*
Dr hab. inż. Arkadiusz Krawiec, prof. UMK – *Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu KGIH*
Dr Ewa Kurowska – *Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, PSG*
Dr inż. Elżbieta Liber-Makowska – *Politechnika Wrocławska WGGiG*
Dr hab. Henryk Marszałek, prof. UWr – *Uniwersytet Wrocławski, WNOZIKŚ*
Dr inż. Maciej Miecznik – *Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*
Prof. dr hab. inż. Stanisław Nagy – *AGH WNiG, KIG*
Dr hab. inż. Leszek Pająk, prof. AGH – *AGH WGGiOŚ KSE, IGSMiE PAN*
Dr Adam Porowski – *Instytut Nauk Geologicznych PAN*
Dr hab. inż. Aneta Sapińska-Śliwa, prof. AGH – *AGH WNiG*
Dr Mariusz Socha – *PIG-PIB*
Prof. dr hab. inż. Andrzej A. Stachel – *Akademia Nauk im. Jakuba z Paradyża, Gorzów Wielkopolski*
Dr hab. inż. Tomasz Śliwa, prof. AGH – *AGH WNiG*
Prof. dr hab. inż. Barbara Tomaszewska – *AGH WGGiOŚ KSE, IGSMiE PAN*

KOMITET ORGANIZACYJNY:
Mgr inż. Anna Będkowska – *GlobEnergia*
Mgr inż. Bartłomiej Ciapała – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr Dominika Dawiec – *AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr inż. Marek Hajto – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Dr inż. Elżbieta Hałaj – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr Aleksandra Kasztelewicz – *PSG, IGSMiE PAN, AGH WGGiOŚ KSE*
Dr hab. inż. Beata Kępińska, prof. IGSMiE PAN – *PSG, IGSMiE PAN*
Dr inż. Wojciech Luboń – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr Dorota Papiernik – *PSG*
Dr inż. Grzegorz Pełka – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Dr hab. inż. Anna Sowiżdżał, prof. AGH – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr inż. Monika Szczygieł – *PSG, AGH WGGiOŚ KSE*
Mgr Barbara Woś – *GlobEnergia*

Organizator:

PSG
POLSKIE STOWARZYSZENIE GEOTERMICZNE

Współorganizatorzy:

WGGiOŚ

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk

GLOBENERGIA

Patronat honorowy:

Ministerstwo Klimatu i Środowiska

NARODOWY FUNDUSZ OCHRONY ŚRODOWISKA i GOSPODARKI WODNEJ

WOJEWODA MAŁOPOLSKI

MAŁOPOLSKA

Patronat medialny:

wiadomości NAFTOWE I GAZOWNICZE

CEENERGY NEWS

TERAZ ŚRODOWISKO .pl

Patronat merytoryczny:

PORT PC

Izba Gospodarcza Ciepłownictwo Polskie

Stowarzyszenie Producentów i Importerów Urządzeń Grzewczych

STOWARZYSZENIE GMIN I POWIATÓW MAŁOPOLSKI

Partnerzy:

UOS Drilling

ODKRYJ GEOTERMIE

Geotermia Mazowiecka S.A.

GEOTERMIA Podhalańska

Orab

GWE POL-BUD

Chochołowskie termy

PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY MENTE ET MALLEO 1919 PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

odwierty.eu

PROINSOL

Geotermia Poddębice

EXALO GRUPA ORLEN

SPÓŁKA Z O.O. GEOTERMIA PYRZYCE

mpec KONIN

VIII Ogólnopolski Kongres Geotermalny dedykujemy śp. Jarosławowi Kotyzie –

naszemu Koledze i Przyjacielowi, specjaliście z zakresu geotermii i pomp ciepła,
osobie wyjątkowej w życiu i w pracy zawodowej, pomysłodawcy Kongresu, współzałożycielowi Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego

Organizatorzy
VIII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego 2023

In Memoriam
ŚP. Jarosław Kotyza
(1970 – 2022)

3 grudnia 2022 r. zmarł nasz Przyjaciel Jarosław Kotyza –
współtwórca Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękini,
pracownik Katedry Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Akademii Górniczo–Hutniczej w Krakowie.
Współzałożyciel i członek zarządów Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego (PSG)
Pomysłodawca Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego
Zaangażowany w wiele inicjatyw w branży odnawialnych źródeł energii

Jarosław Kotyza był absolwentem studiów magisterskich i doktoranckich na Wydziale Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH. W 2005 roku był stypendystą UNU Geothermal Training Programme – Studiów podyplomowych z zakresu geotermii Uniwersytetu Narodów Zjednoczonych i Krajowej Agencji Energii Islandii. W tym czasie pracował w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, gdzie zajmował się tematami geotermalnymi, a także w przemyśle związanym z produkcją pomp ciepła. Od 2006 roku prowadził działalność gospodarczą, w ramach której m.in. współtworzył i wydawał czasopismo GLOBEnergia, którego był pierwszym redaktorem naczelnym. Od 2007 roku był związany zawodowo z Wydziałem Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, gdzie w zespole prof. Wojciecha Góreckiego zaangażowany był w budowę, a następnie kierowanie Laboratorium Edukacyjno–Badawczym Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii w Miękini. W ostatnich latach życia był zaangażowany w powstanie Centrum Zrównoważonego Rozwoju i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękini. Swoją misję wytrwale realizował wraz z zespołem Katedry Surowców Energetycznych WGGiOŚ AGH. Jego pełne pasji zaangażowanie udzielało się współpracownikom i towarzyszyło Mu do ostatnich chwil jako kierownikowi „Miękini".

Jarosław Kotyza poświęcił wiele sił i energii na integrację branży OZE w Polsce. Był w gronie założycieli Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego (2006 rok) oraz pomysłodawcą i współtwórcą Ogólnopolskich Kongresów Geotermalnych (którego pierwsza edycja odbyła się w 2007 roku). Zainicjował także cykliczne spotkania branżowe w zakresie pomp ciepła pn. Forum Pomp Ciepła (od 2007 roku). Obydwa wydarzenia odbywają się regularnie do dziś, cieszą się wysoką renomą i dużą popularnością. Rozpoczęte przez zespół kierowany przez Jarosława Kotyzę prace naukowo–badawcze zaowocowały w postaci prototypów innowacyjnych pomp ciepła dla polskich producentów, którzy z powodzeniem uruchomili ich produkcję. Urządzenia te cechuje wysoka trwałość i efektywność pracy.

Podejmowane przez Jarosława Kotyzę różnorodne inne inicjatywy przyczyniły się do powstania (przy zaangażowaniu między innymi Ministra Klimatu i Środowiska) HUB-u Naukowo–Technologiczno–Biznesowego w Miękini. Jego celem jest realizacja zadań z zakresu promocji, badań, rozwoju oraz wykorzystania odnawialnych źródeł energii, głównie w oparciu o pompy ciepła.

Całokształt Jego pracy i działalności zawodowej został uhonorowany tytułem Trendera Energetycznego roku 2022.

Wyrazem uznania dla wieloletniej pracy zawodowej i wszechstronnej działalności służącej rozwojowi geotermii w Polsce (w szczególności technologii pomp ciepła), a także integracji środowisk geotermalnych

w Polsce jest uhonorowanie śp. Jarosława Kotyzy Medalem Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego im. Erazma Syksta przyznanym w 2023 roku.

Działalność Jarosława Kotyzy to nie tylko praca zawodowa – wraz z żoną Natalią wychował trójkę dzieci, był prezesem i aktywnym członkiem Braterstwa modlitewno-pomocowego NamARKA.

Jarek zawsze służył pomocą innym. Zawsze łączył, nigdy dzielił. Takim pozostanie w naszej wdzięcznej pamięci i sercach.

Członkowie Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego
Organizatorzy VIII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego 2023.

Zespół „Miękinia" (2017)

Wręczenie nagrody Trendera Energetycznego (2022)

Szanowni Państwo,

Oddajemy do rąk Czytelników Książkę rozszerzonych abstraktów nadesłanych na VIII Ogólnopolski Kongres Geotermalny, odbywający się w dniach 29 listopada – 1 grudnia 2023 r. w Krakowie.

VII Kongres odbył się w 2021 r. w wersji hybrydowej z powodu pandemii. Obecna edycja będzie już z powrotem w tradycyjnej wersji „na żywo" (i oby tak pozostało).

Organizatorami Kongresu są Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne, Katedra Surowców Energetycznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Redakcja GLOBEnergia.

Kongres odbywa się po patronatami honorowymi Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, Marszałka Województwa Małopolskiego, Wojewody Małopolskiego i Międzynarodowej Asocjacji Geotermalnej.

W programie Kongresu zaplanowano sesje plenarne, panelowe, okolicznościowe, debaty, a także sesje referatowe, sesję posterową oraz wyjazdową sesję techniczną do Laboratorium Edukacyjno–Badawczego Odnawialnych Źródeł i Poszanowania Energii WGGiOŚ AGH w Miękini.

Książka rozszerzonych abstraktów zawiera streszczenia referatów przewidzianych do wygłoszenia podczas sesji plenarnych, sesji referatowych oraz do prezentacji podczas sesji posterowej. Abstrakty były recenzowane i na podstawie pozytywnej recenzji przyjęte do prezentacji podczas Kongresu i tym samym umieszczone w niniejszej Książce abstraktów. Składamy podziękowania wszystkim recenzentom nadesłanych abstraktów za ich wnikliwe opinie, które służą utrzymaniu wysokiego poziomu merytorycznego Kongresu.

Organizatorzy VIII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego dziękują wszystkim Partnerom, Patronom Honorowym, Patronom Medialnym, Sponsorom i osobom zaangażowanym w prace Komitetu Naukowego za współpracę i różnorodne wsparcie, w tym finansowe.

Dziękujemy także wszystkim autorom, którzy zgłosili referaty i nadesłali rozszerzone abstrakty zamieszczone w tej Książce. Jej redakcja techniczna i naukowa jest zasługą mgr Aleksandry Kasztelewicz, a korekta techniczna i stylistyczna – mgr inż. Barbary Czerwińskiej. Obu Paniom bardzo dziękujemy za zrealizowane prace.

Życzymy interesującej lektury oraz udanego udziału w obradach VIII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego 2023.

w imieniu Organizatorów i Partnerów VIII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego,

Dr hab. inż. Beata Kępińska, prof. IGSMiE PAN
Prezes Polskiego Stowarzyszenia Geotermicznego

SPIS TREŚCI

SESJA INAUGURACYJNA

STAN WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ NA ŚWIECIE I W EUROPIE 2022-2023: *M. HAJTO, B. KĘPIŃSKA* ……..11

PRZEGLĄD WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W POLSCE W LATACH 2022–2023 *B. KĘPIŃSKA, M. HAJTO* ……..15

JUBILEUSZ 30-LECIA PEC GEOTERMIA PODHALAŃSKA S.A.: *W. IGNACOK, R. WÓJCIAK, W. WARTAK* ……..19

WODY I ENERGIA GEOTERMALNA – BADANIA, ZAGOSPODAROWANIE

PROFESOR ANDRZEJ ZUBER – ZASŁUŻONY BADACZ WIEKU WÓD TERMALNYCH (GEOTERMALNYCH): *J. CHOWANIEC* ……...21

PIERWIASTKI ZIEM RZADKICH W WODACH MINERALNYCH I TERMALNYCH NIŻU POLSKIEGO: *D. KACZOR-KURZAWA, I. WYSOCKA, A. POROWSKI, P. DRZEWICZ* ……...24

WYSTĘPOWANIE I GEOCHEMIA PIERWIASTKÓW ZIEM RZADKICH W WODACH MINERALNYCH I TERMALNYCH KARPAT POLSKICH: *A. POROWSKI, I. WYSOCKA, D. KACZOR-KURZAWA, P. DRZEWICZ* ……...26

POLSKIE DOŚWIADCZENIA Z BADAŃ NAD WYKORZYSTANIEM WODY GETOERMALNEJ DO NAWADNIANIA UPRAW – PROJEKT GEO4FOOD: *B. TOMASZEWSKA, M. TYSZER, M. MUKTI* ……...28

TECHNOLOGIE INNOWACYJNE, PŁYTKA GEOTERMIA, PODZIEMNE MAGAZYNOWANIE ENERGII, INNE ZAGADNIENIA

OCENA MOŻLIWOŚCI MAGAZYNOWANIA ENERGII CIEPLNEJ W POZIOMACH WODONOŚNYCH NA OBSZARZE POLSKI: *M. KONIECZYŃSKA, M. WOŹNICKA, G. LEMOINE, M.R. KŁONOWSKI* ……...32

BADANIA TEMPERATURY PŁYTKIEJ PARTII GÓROTWORU W OTWORACH WIERTNICZYCH (TERMOPIEZOMETRACH) W WYBRANYCH LOKALIZACJACH W POLSCE: *M.R. KŁONOWSKI, A. KRZONKALIA, P. BRYTAN, L. CHUDZIK, B. JUDEK, T. GĄGULSKI, M. TOTT, K. PAWELEC, K. WCZELIK, P. WOJTASZEK, J. ZAWŁOCKI* ……...35

WSPOMAGANE SYSTEMY GEOTERMALNE – CZY W TYM JEST PRZYSZŁOŚĆ?: *A. SOWIŻDŻAŁ* ……...37

PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA SPRĘŻARKOWYCH POMP CIEPŁA DUŻEJ MOCY (SPCDM) MARKI YORK – FIRMY JOHANSON CONTROLS (USA) W LOKALNYCH CIEPŁOWNIACH GEOTERMALNYCH: *J. MIRKOWICZ, B. SZYMAŃSKI* ……...39

WODY I ENERGIA GEOTERMALNA – BADANIA, ZAGOSPODAROWANIE (cd.)

WPŁYW GEOTERMALNYCH SYSTEMÓW CIEPŁOWNICZYCH NA JAKOŚĆ POWIETRZA W OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH: *M. KACZMARCZYK, M. HAJTO* ……...41

PROPONOWANE PRZYKŁADY ZMIANY SPALANIA KOPALIN NA WYSOKODAJNE I EFEKTYWNE ENERGETYCZNIE GEOTERMALNE SYSTEMY CIEPŁOWNICZE GMIN POLSKI Z WYKORZYSTANIEM LOKALNYCH OZE: *M. STRUŚ, J. ZIMNY, K. SZCZOTKA, J. SZYMICZEK* ……...44

MONITORING I MODELOWANIE NUMERYCZNE JAKO KOMPLEMENTARNE NARZĘDZIE RACJONALNEJ GOSPODARKI ZASOBAMI GEOTERMALNYMI: *T. GĄGULSKI, M. MIECZNIK, J. SOKOŁOWSKI, B. KĘPIŃSKA* ……...46

EFEKT TERMICZNY W OTWORACH GEOTERMALNYCH – WYKORZYSTANIE JĘZYKA PYTHON DO AUTOMATYZACJI OBLICZEŃ: *M. MIECZNIK, K. PIERZCHAŁA, B. KĘPIŃSKA, L. PAJĄK, B. BIELEC* ……...50

OTWORY GEOTERMALNE – BADANIA, EKSPLOATACJA, ASPEKTY TECHNICZNE

RUROCIĄGI Z WŁÓKNA SZKLANEGO DLA PROJEKTÓW GEOTERMALNYCH: *M. SZATKO, L. TOTH* …….53

SIECI CIEPŁOWNICZO-CHŁODNICZE 5-EJ GENERACJI Z OTWOROWYMI WYMIENNIKAMI CIEPŁA: *A. SAPIŃSKA-ŚLIWA, T. ŚLIWA* …….56

STATYSTYCZNA ANALIZA DOBORU OPTYMALNEJ TECHNOLOGII WIERCENIA OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA METODĄ DTH: *A. GONET, P. BULIŃSKI, T. ŚLIWA* …….59

STRATY CIEPŁA W OTWORACH GEOTERMALNYCH ORAZ SPOSÓB ICH OGRANICZANIA: *T. ŚLIWA, M. CIEPIELOWSKA, T. KOWALSKI* …….61

SESJA POSTEROWA

SPECJALISTYCZNA WIEDZA I PRZYKŁADY DOBRYCH PRAKTYK – WKŁAD PROJEKTU FM EOG „KEYGEOTHERMAL" DO ROZWOJU CIEPŁOWNICTWA GEOTERMALNEGO W POLSCE: *B. KĘPIŃSKA, A. KASZTELEWICZ, M. MIECZNIK, L. PAJĄK, B. BIELEC, W. BUJAKOWSKI, K. PIERZCHAŁA, B. TOMASZEWSKA, M. TYSZER, G. MEISEL, D. WOLAŃSKA, B. PÉTURSSON* …….65

OCENA EKONOMICZNO-EKOLOGICZNA WPŁYWU CZYNNOŚCI OGRANICZAJĄCYCH ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ U ODBIORCY W GEOTERMALNYM SYSTEMIE CIEPŁOWNICZYM NA PODSTAWIE KALKULATORA U4GEcalc: *K. PIERZCHAŁA, L. PAJĄK, M. MIECZNIK, A. KASZTELEWICZ, D. WOLAŃSKA, O. HALÁS, T. MEDGYES, B. PÉTURSSON, K. MIDTTØMME, E. NORDGÅRD-HANSEN* …….67

INSTALACJA GEOTERMALNA W SOULTZ-SOUS-FORETS JAKO PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA ENERGII GORĄCYCH SUCHYCH SKAŁ: *M. STARCZEWSKA, A. SOWIŻDŻAŁ* …….70

GEOTERMALNE PŁYNY ROBOCZE – PORÓWNANIE I ANALIZA EFEKTYWNOŚCI W INSTALACJACH EGS: *M. SZYMANEK, A. SOWIŻDŻAŁ* …….72

ZNACZENIE BADAŃ SEJSMICZNYCH W PROJEKTOWANIU OTWORÓW GEOTERMALNYCH W NIECCE PODHALAŃSKIEJ NA PRZYKŁADZIE OTWORU WIERTNICZEGO BIAŁKA TATRZAŃSKA GT-2: *P.J. DŁUGOSZ, S. SZCZUREK, T. WOŹNIAK, K. BYSTROŃ, P. DŁUGOSZ* …….74

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METODY SEJSMICZNEJ I MAGNETOTELLURYCZNEJ DO ROZPOZNAWANIA PARAMETRÓW ZBIORNIKOWYCH WÓD GEOTERMALNYCH NA NIŻU POLSKIM: *A. WACHOWICZ-PYZIK, A. CYGAL, M. STEFANIUK, T. MAĆKOWSKI* …….76

WPŁYW WĘGLOWODORÓW NA EKSPLOATACJĘ OTWORÓW GEOTERMALNYCH NA PRZYKŁADZIE OTWORU WIERTNICZEGO KOŁO GT-1: *P.J. DŁUGOSZ, P. STASIAK, T. WOŹNIAK, S. SZCZUREK, K. BYSTROŃ, P. DŁUGOSZ* …….78

DOBÓR OPTYMALNYCH METOD TERENOWEGO I LABORATORYJNEGO OZNACZANIA PRZEWODNOŚCI TERMICZNEJ GRUNTÓW, SKAŁ I ZWIETRZELIN NA BAZIE DOŚWIADCZEŃ W REALIZACJI MAP POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ: *A. ŁUKAWSKA, E. JAGODA, K. WCZELIK* …….80

MAPY POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ (MPGN) JAKO NARZĘDZIE PLANISTYCZNE SŁUŻĄCE ILOŚCIOWEJ I JAKOŚCIOWEJ OCENIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-TERMICZNYCH: *G. RYŻYŃSKI, M. SZLASA, P. WOJTASZEK, M. ŻERUŃ, K. BONIEWSKA, W. KOZDRÓJ, M.R. KŁONOWSKI, U. WYRWALSKA, A. MYDŁOWSKI, A. KOWALSKI, J. KOCYŁA, M. TOTT, T. GĄGULSKI, Ł. NOWACKI, A. ŁUKAWSKA* …….84

OCENA MOŻLIWOŚCI MAGAZYNOWNIA ENERGII CIEPLNEJ W GÓROTWORZE ZA POMOCĄ SYSTEMÓW ZAMKNIĘTYCH (BTES, PTES/TTES, EF) W WYBRANYCH LOKALIZACJACH NA TERENIE POLSKI – ZADANIE PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ (PSG): *M. ŻERUŃ, E. JAGODA, E. MAJER* 88

MOŻLIWOŚCI MATEMATYCZNEGO MODELOWANIA PÓL OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA PRZY PRACY REWERSYJNEJ Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORA TOUGH3.0: *T. ŚLIWA, K. BADURA* 92

BADANIA ZACZYNÓW USZCZELNIAJĄCYCH DO OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA WRAZ Z ZALECENIAMI DOTYCZĄCYMI ICH PRAWIDŁOWEGO ZATŁACZANIA: *T. KOWALSKI, T. ŚLIWA* 94

PROJEKT HORYZONT EUROPA SAPHEA – WIĘCEJ GEOTERMII W SIECIACH CIEPŁOWNICZYCH!: *M. HAJTO, B. CIAPAŁA, E. HAŁAJ* 97

UKŁAD URZĄDZEŃ DO AKUMULACJI CIEPŁA NADMIAROWEGO W NATURALNEJ WARSTWIE WODOPRZEPUSZCZALNEJ ORAZ DO JEGO ODZYSKU: *M.L. SOLECKI, T. SOLECKI, J.M. STOPA, R. WIŚNIOWSKI, M. HAJTO, R. SMULSKI* 100

NAJNOWSZE TRENDY W GEOENERGETYCE Z OTWOROWYMI WYMIENNIKAMI CIEPŁA: *M. ASSADI, A. KALANTAR, T. ŚLIWA, M. SZCZYTOWSKI* 102

TECHNIKI WYKONYWANIA OTWORÓW GEOTERMALNYCH I OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA: *A. SAPIŃSKA-ŚLIWA, T. ŚLIWA, P. BULIŃSKI* 105

ROZWÓJ WYKORZYSTANIA ZASOBÓW PŁYTKIEJ GEOTERMII W POLSCE – STAN NA ROK 2022 WG DANYCH Z NAG: *K. BRONIEWSKA, G. RYŻYŃSKI, M. SZLASA, P. WOJTASZEK, M. ŻERUŃ, A. ŁUKAWSKA, E. JAGODA, K. WCZELIK* 108

STAN WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ NA ŚWIECIE I W EUROPIE W 2022-2023

Marek HAJTO[1,2], Beata KĘPIŃSKA[1,3]

[1]*Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne*
[2]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ); mhajto@agh.edu.pl;*
[3]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*

Słowa kluczowe: energia geotermalna, wykorzystanie, perspektywy rozwoju, świat, Europa, lata 2022–2023

Streszczenie

Ostatni Światowy Kongres Geotermalny 2023 odbył się w Chinach, na którym, ze względu na małą reprezentatywność publikowanych aktualizacji krajowych, zaprezentowano jedynie 12 referatów tematycznych, co nie pozwala na przygotowanie stosownych statystyk dotyczących wykorzystania energii geotermalnej w skali globalnej. Dlatego też podane dane odnoszą się głównie do statystyk prezentowanych podczas WGC2020+1 w Islandii, raportów agencji IRENA oraz materiałów Międzynarodowego Stowarzyszenia Geotermicznego (IGA), a także raportów EGEC, w tym „EGC 2022 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe" (EGEC, 2023) i innych.

W 2021 r. 88 krajów na świecie raportowało bezpośrednie wykorzystanie, a 29 produkcję energii elektrycznej z wykorzystaniem zasobów geotermalnych. Wszystkie źródła i statystyki odnotowują ciągły wzrost wykorzystania energii geotermalnej, zarówno w zakresie wytwarzania energii elektrycznej, jak i tzw. wykorzystania bezpośredniego (ogrzewanie i chłodzenie, rolnictwo, przemysł i inne zastosowania). Jednak w 2022 r. energia geotermalna stanowiła zaledwie 0,5% zainstalowanej mocy zainstalowanej w źródłach odnawialnych do wytwarzania energii elektrycznej i 0,3% źródeł energii w końcowym zużyciu energii do ogrzewania i chłodzenia na całym świecie (IRENA, 2023).

Całkowita zainstalowana moc w elektrowniach geotermalnych na świecie na koniec 2022 r. wyniosła około 16 GWe, co oznacza wzrost o 286 MWe w porównaniu z 2021 r. Lista 10 krajów o największej produkcji energii elektrycznej w systemach geotermalnych na koniec roku 2021 obejmuje: USA, Indonezję, Filipiny i Turcję, Nową Zelandię, Meksyk, Kenię, Włochy, Islandię i Japonię. W 2022 r. zainstalowano łącznie ok. 86,4 MWe mocy w elektrowniach geotermalnych (https://www.thinkgeoenergy.com). Najbardziej dynamicznie rozwijającym się rynkiem wykorzystania energii geotermalnej do produkcji energii elektrycznej jest Turcja, której łączna produkcja energii elektrycznej wynosi około 1 TWh/rok (prawie dwukrotnie więcej niż Islandia). Całkowita zainstalowana moc geotermalna w zakresie bezpośredniego wykorzystania, z wyłączeniem gruntowych pomp ciepła, wynosi obecnie ponad 30 GWt, a odpowiadające jej zużycie energii cieplnej przekracza 420 PJ/rok (Lund, Toth, 2020). Światowymi liderami w powyższej kategorii niezmiennie pozostają: Chiny, Turcja, Japonia, Islandia, Węgry i Nowa Zelandia. Zainstalowana moc geotermalna w Chinach, w zakresie bezpośredniego wykorzystania, osiągnęła 40,6 GWt (w tym 26 GWt w GSHP), co stanowi 38% wykorzystania energii geotermalnej na świecie w tej kategorii (Pang i in., 2023) – Fig. 1.

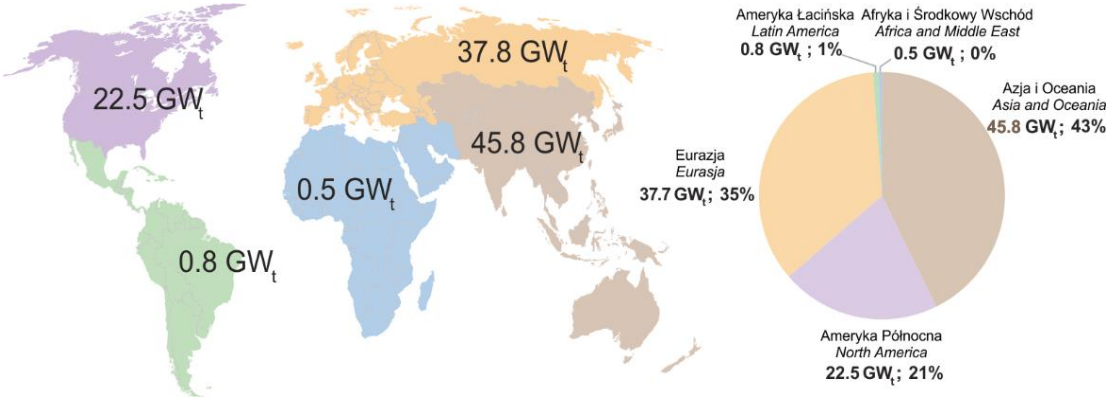


Fig. 1. *Zainstalowana moc cieplna w systemach ciepłowniczych i chłodniczych w poszczególnych regionach świata (na podstawie IRENA, 2023).*

W Europie, w 2022 roku, pracowały 142 elektrownie geotermalne o całkowitej zainstalowanej mocy około 3,5 GW_e, wytwarzające ponad 22 TWh/rok energii elektrycznej. Średni stopień wykorzystania zainstalowanej mocy wyniósł 79% (EGEC, 2023). Moc zainstalowana ciepłownictwa geotermalnego ze źródeł średnio- i niskotemperaturowych przekroczyła 11,6 GW_t, z czego około połowa wykorzystywana jest w ciepłownictwie. Jeśli chodzi o tzw. płytką geotermię, w tym gruntowe pompy ciepła, a także technologie magazynowanie ciepła w górotworze, nadal obserwuje się stały wzrost w tym zakresie.

Szacuje się, że do końca 2021 r. osiągnięto moc powyżej 30,3 GW_t w ponad 2,1 mln instalacji geotermalnych pomp ciepła. Zasoby płytkiej geotermii (wykorzystywane w układach solanka/woda oraz woda/woda) stanowią największy udział, tj. około 2/3 całej zainstalowanej mocy (Sanner i in., 2022).

Ogrzewanie i chłodzenie odpowiadają za prawie połowę całkowitego zużycia energii na świecie i odpowiadają za około 40% emisji gazów cieplarnianych w sektorze energetycznym (IRENA, 2020). Od 2019 r. energia ze źródeł odnawialnych stanowiła zaledwie 10,4% całkowitego światowego zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia, w tym 0,3% z ciepła geotermalnego. Niektóre kraje, w tym m.in. Chiny i Turcja, znacząco rozwinęły wykorzystanie zasobów geotermalnych w systemach ogrzewania i chłodzenia. W wielu krajach, w latach 2020-2023, wykorzystanie zasobów geotermalnych pozwoliło na dywersyfikację dostaw energii łagodząc skutki kryzysu energetycznego spowodowanego zachwianiem łańcucha dostaw wywołanych wojną w Ukrainie.

W Europie odnotowuje się regularny wzrost ilości geotermalnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych. Do końca 2022 roku funkcjonowało tutaj 395 systemów (261 w państwach członkowskich UE), co oznacza wzrost o 14 w stosunku do roku 2021 (Fig. 2). Dwanaście z tych nowych systemów zostało oddanych do użytku w krajach Unii Europejskiej (EGEC, 2023). W 14 nowych systemów geotermalnych zainstalowana moc wyniosła ok. 105 MW_t.

Całkowitą zainstalowaną moc w 29 krajach (21 to państwa członkowskie UE) w geotermalnych systemach ciepłowniczych i chłodniczych w Europie na koniec 2022 r. oszacowano na około 5,6 GW_t (EGEC, 2023). Według bieżącego raportu rynkowego EGEC w 2023 r. w fazie rozwoju znajdowało się 316 projektów, których sumaryczną moc oszacowano na dodatkowe ponad 744 MW.

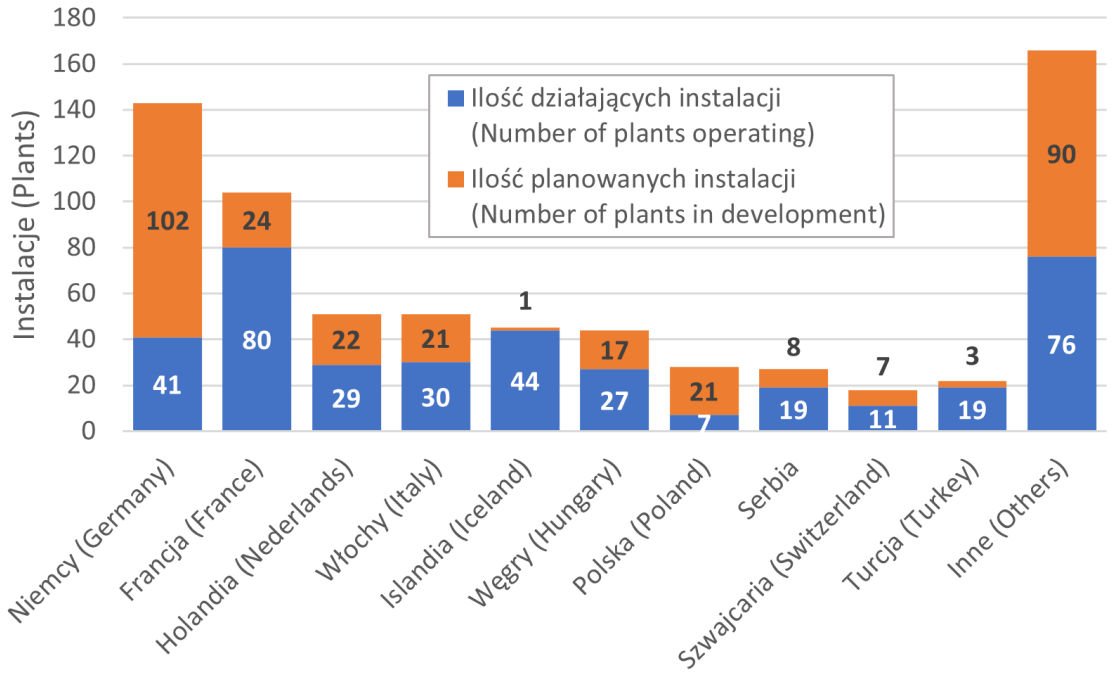


Fig. 2. *Ilość geotermalnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych działających oraz będących w trakcie realizacji (na podst. EGEC, 2023).*

Geotermalne pompy ciepła

Wykorzystanie zasobów płytkiej geotermii, obejmujące duże systemy typu solanka/woda oraz woda/woda, dostarczyły w 2022 r. ok. 78 TWh energii cieplnej. Zainstalowaną moc w systemach płytkiej geotermii w Europie oszacowano na ok. 35,6 GW_t. Statystyki EGEC wskazują, że na koniec 2022 r. pracowało ok. 2,2 mln sztuk wszystkich typów pomp ciepła (EGEC, 2023). Rok 2022 był jednocześnie rokiem największej

w historii ilości sprzedaży geotermalnych pomp ciepła w Europie – zainstalowano ponad 141 300 (+17% r/r). Dla porównania w 2021 roku sprzedano ok. 120 900 egzemplarzy.

W obliczu dynamicznie rozwijającego się europejskiego rynku pomp ciepła, Polska jako cały rynek odnotowała w 2022 roku najszybszy wzrost sprzedaży pomp ciepła na świecie. W sektorze płytkiej geotermii w 2022 roku sprzedano 7 200 pomp ciepła (5 650 sztuk w roku pandemicznym 2021) - dane PORT PC (https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pomp-ciepla-w-polsce/). Łączną ilość geotermalnych pomp ciepła zainstalowanych w Polsce szacuje się na około 85 000 sztuk. Ich łączna moc zainstalowana w 2022 roku wyniosła co najmniej 900 MW, a produkcja ciepła osiągnęła 4 600 TJ. Polska znalazła się na 7. miejscu w Europie pod względem liczby pracujących tego typu pomp ciepła w 2022 r. (EGEC, 2023).

Europejska Rada ds. Energii Geotermalnej (EGEC) zaapelowała do Komisji Europejskiej aby „uwolnić europejski potencjał zasobów energii geotermalnej" jako stabilnego źródła czystej, odnawialnej energii, mogącej stanowić źródło zasilania systemów ogrzewania, chłodzenia oraz wytwarzania energii elektrycznej, a także w celu pozyskania litu i innych surowców krytycznych. W powyższym zakresie EGEC wezwał Komisję Europejską do opracowania *strategii rozwoju energii geotermalnej i wydobycia „surowców odnawialnych" z płynów geotermalnych do 2023 r.* (EGEC, 2022).

Podsumowując należy podkreślić, że w skali globalnej rozwój wykorzystania energii geotermalnej jest nierównomierny – ma miejsce tylko w niektórych regionach i krajach, jednakże perspektywy wykorzystania w szerokim zakresie są obiecujące. Wynika to głównie z konieczności osiągnięcia celów związanych ze zmianami klimatycznymi, niestabilnymi cenami rynku energii oraz ciągłym rozwojem technologicznym zwiększającym skalowalność i konkurencyjność rozwiązań w zakresie wykorzystania energii geotermalnej.

W ostatnich latach na świecie, a zwłaszcza w Europie, można zauważyć znaczny wzrost zainteresowania odzyskiem pierwiastków krytycznych (CRM) z wód geotermalnych, głównie litu. Wstępnie zidentyfikowany potencjał wskazuje na możliwość pokrycia do ok. 25% zapotrzebowania krajów UE na lit z solanek geotermalnych do 2030 r.

W wielu krajach energia geotermalna jest jednym z najbardziej obiecujących źródeł energii odnawialnej, zwłaszcza jeśli chodzi o względy środowiskowe i ekonomiczne. W niektórych krajach świata energia geotermalna jest kluczowym elementem gospodarki, gwarantującym bezpieczeństwo energetyczne i umożliwiającym osiągnięcie celów neutralności klimatycznej. W innych, słabiej rozwiniętych krajach, energia geotermalna może stanowić podstawowe źródło energii, a czasem znaczące źródło dochodu narodowego, co warunkuje rozwój gospodarczy i zwiększa niezależność gospodarczą i energetyczną kraju.

Przykładem może być Kenia, gdzie udział energii elektrycznej wytwarzanej z energii geotermalnej wzrósł z 15% w 2010 r. do ponad 40% w 2021 r., a do 2030 r. planuje się podwoić zainstalowaną moc instalacji geotermalnych wytwarzających energię elektryczną do 1,6 GW_e (Burkardt i Herbling, 2021).

Przygotowano w ramach realizacji pracy statutowej AGH nr 16.16.140.315/05.

Literatura

Burkardt P., Herbling D., 2021. The world's no. 1 in geothermal electricity, Kenya aims to export its know-how. Bloomberg, www.bloomberg.com/news/features/2021-07-19/kenya-aims-to-double-geothermal-capacity-by-2030 (accessed 27.10.2023).

EGEC, 2022. Geothermal-strategy-letter: Europe's strategy on geothermal energy and sustainable raw materials extraction, by 2023 https://www.egec.org/wp-content/uploads/position_papers/2022-Geothermal-strategy-letter-FINAL-1.pdf (dostęp 27.10.2023).

EGEC, 2023. EGEC Geothermal Market Report 2022. Key Findings, https://www.egec.org/wp-content/uploads/2023/05/EGEC-Market-Report-2022_Key-Findings.pdf (dostęp 27.10.2023).

Garabetian T., 2021. Geothermal Lithium in Europe. An industrial strategy for the geothermal lithium battery value-chain. EGEC Report. https://www.egec.org/wp-content/uploads/2020/05/Geothermal-Lithium-paper_FINAL-Version.pdf (dostęp 27.10.2023).

https://www.thinkgeoenergy.com, https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2022-power-generation-capacity-mw/ (dostęp 27.10.2023).

Huttrer G.W., 2021. Geothermal Power Generation in the World 2015–2020 Update Report. Proceedings World Geothermal Congress 2020. Iceland, str. 17. https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01017.pdf (dostęp 27.10.2023).

IRENA, 2020. Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling, International Renewable Energy Agency, International Energy Agency and Renewable Energy Policy Network for the

21st Century, https://www.irena.org/publications/2018/apr/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition (dostęp 27.10.2023).
IRENA, 2023. Global geothermal market and technology assessment. Report of IRENA & IGA. ISBN: 978-92-9260-495-0. https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/Global-geothermal-market-and-technology-assessment (dostęp 27.10.2023).
Lund J.W., Toth A.N., 2021. Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. Proceedings World Geothermal Congress 2020. Iceland. pp. 39. https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2020/01018.pdf (dostęp 27.10.2023).
Pang Z., Yanlong Kong Y., Gong Y.,Wang J., 2023. An analysis of potential contribution by geothermal development to carbon neutrality: country update on technology and market in China. Proceedings World Geothermal Congress 2023. Beijing, China, April 17 – 21, 2023, https://www.geothermal-energy.org/cpdb/record_detail.php?id=35876 (dostęp 27.10.2023).

PRZEGLĄD WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W POLSCE W LATACH 2022–2023

Beata KĘPIŃSKA[1,2], Marek HAJTO[1,3]

[1]*Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne; bkepinska@interia.pl*
[2]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*
[3]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ)*

Słowa kluczowe: energia geotermalna, wykorzystanie, przegląd, Polska, 2022–2023

Streszczenie

Podano przegląd wykorzystania energii geotermalnej w Polsce w latach 2022–2023, tj. od poprzedniego VII Ogólnopolskiego Kongresu Geotermalnego 2021 (Kępińska 2021). Podobne okresowe przeglądy stanu wykorzystania energii geotermalnej w Polsce przedstawiono podczas Europejskiego Kongresu Geotermalnego 2022 (Kępińska, Hajto 2022) oraz Światowego Kongresu Geotermalnego 2023 (Kępińska, Hajto 2023). Dane liczbowe oraz niektóre informacje podano zgodnie z metodyką Europejskiej Rady Energii Geotermalnej i Międzynarodowej Asocjacji Geotermalnej.

Zastosowania energii i wód geotermalnych w Polsce obejmują głównie ciepłownictwo systemowe oraz balneoterapię i rekreację. W przypadku systemów c.o. z udziałem energii geotermalnej, od 2022 r. w Polsce pracuje ich siedem: na Podhalu (od 1993 r.), w Mszczonowie (od 2000 r.), Pyrzycach (1996 r.), Uniejowie (od 2000 r.), Stargardzie (od 2006 r., po renowacji od 2012 r.), Poddębicach (od 2013 r.) oraz w Toruniu (od jesieni 2022 r.). W końcu 2022 r. łączna zainstalowana cieplna moc geotermalna tych systemów wynosiła ok. 129 MW. Produkcja ciepła geotermalnego osiągnęła ok. 1122 TJ (tabela 1). Udział ciepła geotermalnego w produkcji i sprzedaży ciepła w poszczególnych systemach wahał się w zakresie 30–100%. Od kilku lat pojedyncze indywidualne geotermalne systemy grzewcze pracują w Kleszczowie, Cudzynowicach, Karpnikach.

W 2022 r. było w Polsce dwanaście uzdrowisk stosujących wody geotermalne. W sektorze rekreacji, spa i wellness działało co najmniej siedemnaście ośrodków stosujących wody geotermalne, a niekiedy także i ciepło. Najnowszy nich otwarto w początkach 2020 r. we Wręczy koło Mszczonowa i w samym Mszczonowie. Siedem takich ośrodków znajduje się na Podhalu i siedem (pracujących w 2022 r.) na Niżu Polskim, pozostałe w Sudetach (dwa) i w Karpatach zewnętrznych (jeden). Inne pojedyncze sposoby zagospodarowania wód i energii geotermalnej obejmowały:

- hodowlę łososia atlantyckiego (na dużą skalę) – w Janowie k/Trzęsacza,
- suszenie drewna – w obiektach IGSMiE PAN na Podhalu (instalacja pracuje od 1993 r.),
- podgrzewanie nawierzchni boiska piłkarskiego i ścieżek spacerowych – w Uniejowie, podgrzewanie kilku chodników na terenie AGH w Krakowie, podgrzewanie parkingu przy ośrodku rekreacyjnym (w Witowie k/Zakopanego),
- produkcję kosmetyków na bazie wody geotermalnej z ujęć w kilku miejscowościach,
- zastosowania w przetwórstwie rolno-spożywczym – w Pyrzycach, w Uniejowie,
- pilotażową hodowlę alg (biotechnologie) – w Poddębicach,
- stosowanie wody geotermalnej w celach pitnych – w Poddębicach, w Mszczonowie,
- stosowanie wody geotermalnej jako c.w.u. w obiektach mieszkalnych – w Uniejowie,
- odzyskiwanie soli mineralnych z wód geotermalnych – w Ciechocinku, w Iwoniczu Zdroju,
- odzyskiwanie dwutlenku węgla z wody geotermalnej (kryptogeotermalnej) – w Dusznikach Zdroju.

Instalacje geotermalne pracujące w Polsce w 2022 pokazuje figura 1, natomiast tabela 1 podaje główne dane ciepłowni geotermalnych.

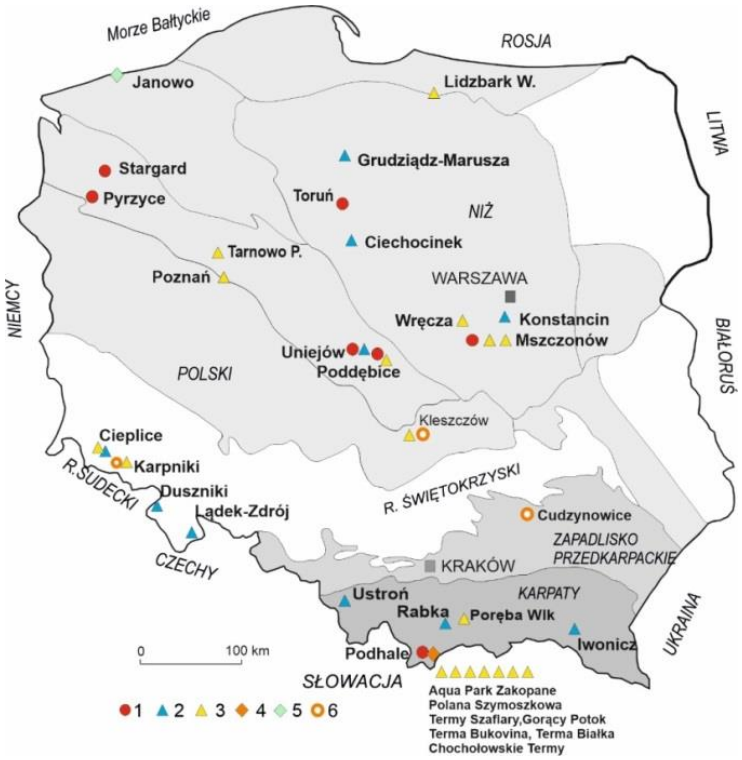


Fig. 1. *Instalacje geotermalne pracujące w Polsce w 2022 r.*
1 – systemy ciepłownicze c.o., 2 – uzdrowiska, 3 – ośrodki rekreacyjne, 4 – suszenie drewna, 5 – hodowla ryb, 6 – indywidualne instalacje grzewcze

Tabela 1. *Ciepłownie geotermalne w Polsce, 2022 r. (według informacji przekazanych przez operatorów)*

Miejscowość	Rok uruchomienia	Zainstalowana moc geotermalna [MW]	Całkowita moc zainstalowana MW]	Produkcja ciepła geotermalnego [TJ]
Mszczonów	2000	3,7	8,3	14,0
Poddębice	2013	10,0	10,0	51,2
Podhale	1993	70,0	109,1	652,8
Pyrzyce	1996	6,0	22,0	70,2
Stargard	2006/2012	18,5	18,5	284,2
Uniejów	2006	3,2	7,4	9,0
Toruń	2022	18,0*	bd	~40*
Razem		129,4	> 175,3	~1121,4

**po otwarciu w 2022, oszacowanie własne, możliwości produkcji ciepła większe (wg dostępnych informacji)*

W przypadku sektora płytkiej geotermii – w 2022 r. sprzedaż gruntowych pomp ciepła wyniosła 7200 sztuk (5650 sztuk w 2021 r. / rok pandemii); dane wg PORT PC (https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pomp-ciepla-w-polsce/).

Całkowitą liczbę zainstalowanych w Polsce geotermalnych pomp ciepła można oszacować na ok. 85 tys. sztuk, ich zainstalowaną całkowitą moc w 2022 r. na co najmniej 900 MW, a produkcję ciepła na 4600 TJ. Plasowało to nas pod względem liczby takich pomp na siódmym miejscu wśród krajów europejskich w 2022 r. (EGEC Geothermal Market Report 2022). Postęp w rozwoju wykorzystania tego rodzaju pomp ciepła jest częścią rozwoju całego sektora pomp ciepła w Polsce.

Udział energii geotermalnej w finalnym zużyciu energii w grupie OZE oraz energii ogółem w Polsce był nadal bardzo mały wynosząc poniżej 1% (głęboka geotermia, płytka geotermia –geotermalne pompy ciepła). W skali europejskiej Polska zajmowała w 2022 r. dziesiąte miejsce pod względem liczby geotermalnych

systemów grzewczych (Sanner i in., 2022, 2022 EGEC Geothermal Market Report). Pomimo, że jeszcze w 2023 r. i w latach następnych ciepło geotermalne będzie wprowadzone do kilku następnych sieci c.o. to dystans w stosunku do innych krajów może się utrzymywać, gdyż postęp w geotermalnym ciepłownictwie systemowym jest tam nadal szybszy niż w Polsce, o czym świadczą m.in. informacje z najnowszego przeglądu rynku energii geotermalnej w Europie (EGEC Market Report 2022).

W 2020–2022 r. wykonano lub też rozpoczęto wiercenie kilkunastu otworów geotermalnych (głównie badawczych). W przypadku pozytywnych wyników będą one służyć ciepłownictwu sieciowemu poprzez istniejące miejskie systemy c.o. Większość z nich została dofinansowana z rządowych programów wsparcia energetycznego wykorzystania geotermii. W grupie tych programów były m.in. „Polska Geotermia Plus", „Udostępnianie wód termalnych w Polsce". Wsparcie dla inwestycji z zakresu ciepłownictwa geotermalnego było również dostępne m.in. w Programie Operacyjnym Infrastruktura i Środowisko. Inwestycje dotyczyły także modernizacji i rozbudowy geotermalnych zakładów ciepłowniczych i innych instalacji, budowy powierzchniowej infrastruktury technicznej i ciepłowniczej dla kolejnych systemów c.o. z udziałem geotermii (w miejscowościach, w których uprzednio wykonano otwory).

Oprócz projektów inwestycyjnych opracowano wiele studiów i analiz wykonalności, propozycji innowacyjnych rozwiązań, wniosków o dofinansowanie kolejnych wierceń i nowych projektów. Wynikało to z dużego zainteresowania inwestorów (samorządów, innych podmiotów publicznych i prywatnych), zarówno tzw. głęboką, jak i płytką geotermią, czemu sprzyjały możliwości uzyskania dofinansowania, w tym zwłaszcza z programów rządowych. W kilku ośrodkach prowadzono badania, prace badawczo–rozwojowe i działania szkoleniowe finansowane ze środków krajowych i zagranicznych. Dotyczyły one różnych aspektów geotermii, i powiązanej tematyki. Powinny one przynieść efekty w następnych latach.

Pod koniec 2021 r. opublikowano „Wieloletni program rozwoju wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce do 2040 r." (z perspektywą do 2050 r.), opracowany z inicjatywy Ministerstwa Klimatu i Środowiska (https://www.gov.pl/web/klimat/mapa-drogowa-rozwoju-geotermii-w-polsce). Jest to ważny dokument strategiczny wytyczający kierunki i cele rozwoju branży na nadchodzące lata.

Trzeba podkreślić, że podstawową dziedziną energetycznego zagospodarowania geotermii w Polsce jest ciepłownictwo systemowe. Gwarantuje ono bowiem niskoemisyjność, a wśród wielu innych argumentów przemawiających na jego korzyść, jest i ten wskazujący na rolę w utrzymaniu stabilnych i akceptowalnych cen ciepła (czynnik coraz to bardziej istotny obecnie i w nadchodzących latach). W niektórych przypadkach można rozważać kogenerację. Inne perspektywiczne dziedziny (do tej pory jeszcze nie rozwijane praktycznie pomimo wcześniejszych udanych badań i prac wdrożeniowych), to m.in. rolnictwo, przetwórstwo rolno-spożywcze, akwakultury, zastosowania przemysłowe. Istotnymi branżami będą nadal lecznictwo i rekreacja. Spodziewany jest też dalszy rozwój tzw. płytkiej geotermii przy zastosowaniu pomp ciepła.

Wśród czynników decydujących o zrównoważonej eksploatacji zasobów geotermalnych jest m.in. zatłaczanie schłodzonych wód do ich zbiorników. Kolejnymi istotnymi problemami są zjawiska korozji i wytrącania wtórnych substancji (skaling), które mogą prowadzić do spadków produktywności, a zwłaszcza chłonności otworów i stref przyodwiertowych. Ewentualne wystąpienie tych zjawisk należy przewidywać już na etapie projektowania inwestycji, aby dobrać i zastosować odpowiednie materiały, metody, technologie i sposoby ograniczające te zjawiska na etapie eksploatacji, gdyż wody geotermalne (zwłaszcza w obszarze Niżu Polskiego) posiadają często zarówno wysoką mineralizację, jak i skład fizykochemiczny, które mogą sprzyjać rozwojowi wymienionych zjawisk. Zasygnalizowane kwestie powinni uwzględniać projektanci, a także operatorzy instalacji zarówno już pracujących, jak i następnych, które są obecnie w trakcie realizacji lub planowania.

W podsumowaniu – ostatnie lata przyniosły wiele istotnych działań ukierunkowanych na wzrost praktycznego zagospodarowania geotermii w Polsce, przede wszystkim w ciepłownictwie. Przejawiły się one poprzez realizację kolejnych otworów oraz innych inwestycji. Było to możliwe przede wszystkim dzięki rządowym programom wsparcia. Należy więc oczekiwać, że już wkrótce kilka kolejnych sieci c.o. w Polsce będzie dostarczać do odbiorców ciepło z udziałem geotermii. Rozwijała się także branża rekreacji z zastosowaniem wód i ciepła geotermalnego (z trudnościami, jakie zaistniały w latach 2020–2022 r. w związku z pandemią), realizowane były inne sposoby wykorzystania. Za szerszym rozwojem zastosowania geotermii w Polsce przemawia także m.in. potrzeba dekarbonizacji ciepłownictwa, wzrostu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego, dążenie do stabilizacji cen ciepła. Argumentów w tym zakresie dostarczają m.in. różnorodne pozytywne efekty już działających instalacji, stosunkowo wysoki poziom akceptacji społecznej, konkurencyjność ciepła geotermalnego w porównaniu z innymi źródłami. Istotnym czynnikiem jest przy tym współpraca różnych środowisk związanych z geotermią – praktyków, naukowców,

samorządowców, przedsiębiorców, podmiotów decyzyjnych i finansujących. Ważna jest także współpraca międzynarodowa, intensyfikacja działań edukacyjnych i promocyjnych, transfer i budowanie wiedzy wśród przedstawicieli różnych grup zaangażowanych w różnorodny sposób w geotermię, korzystanie z dobrych praktyk i doświadczeń wiodących krajów w zakresie geotermii.

Podziękowania

Podziękowania należą się wszystkim osobom i instytucjom, które udostępniły informacje zawarte w niniejszym abstrakcie: M. Balcerowi i A. Słowkowi (Geotermia Mazowiecka S.A.), A. Karskiej oraz A. Perajowi (Geotermia Poddębice Sp. z o.o.), W. Ignacokowi, M. Pelczarskiej, W. Wartakowi (PEC Geotermia Podhalańska S.A.), B. Zielińskiemu (Geotermia Pyrzyce Sp. z o.o.), A. Biedulskiemu (G–Term Energy Sp. z o.o.), J. Kurpikowi (Geotermia Uniejów Sp. z o.o.).

Literatura

Kępińska B., Hajto M., 2023. Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2020–2022. Proceedings, World Geothermal Congress 2023 Beijing, China, 2023. Paper 1406. https://www.lovegeothermal.org/cpdb/record_detail.php?id=35811.

Kępińska B., Hajto M., 2022. Geothermal Energy Use, Country Update for Poland, 2019–2021. Proceedings, European Geothermal Congress 2022. Berlin, Germany, 17-21 October 2022. Dostęp: https://www.researchgate.net/publication/369085462_Geothermal_Energy_Use_Country_Update_for_Poland_2019-2021.

Krajowy Plan na Rzecz Energii i Klimatu na lata 2021–2030. Ministerstwo Aktywów Państwowych. 2019. Dostęp: https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu.

EGEC Geothermal Market Report 2022. Key findings. Dostęp: www.egec.org.

Sanner B., Antics M., Baresi M., Urchueguía J.F., Dumas P., 2022. Summary of EGC 2022 Country Update Reports on Geothermal Energy in Europe. Proceedings, European Geothermal Congress 2022. Dostęp: https://geothermie-schweiz.ch/wp_live/wp-content/uploads/2022/12/00-EUROPEAN-SUMMARY-EGC-2022-country-updates.pdf.

Wieloletni program rozwoju wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce. Ministerstwo Klimatu i Środowiska. Warszawa. 30.12.2021. Dostęp: https://www.gov.pl/web/klimat/mapa-drogowa-rozwoju-geotermii-w-polsce.

PORT PC. https://portpc.pl/port-pc-2022-rok-pomp-ciepla-w-polsce/.

JUBILEUSZ 30-LECIA PEC GEOTERMIA PODHALAŃSKA S.A.

Wojciech IGNACOK[1], Robert WÓJCIAK[1], Wojciech WARTAK[1]

[1]*PEC Geotermia Podhalańska S.A*

Streszczenie

Przedsiębiorstwo Energetyki Cieplnej Geotermia Podhalańska S.A. – największa w Polsce „geotermia" obchodzi w 2023 roku jubileusz 30-lecia istnienia.

Spółka powstała w 1993 roku. Poprzedziła ją faza pilotażowa realizowana przez Doświadczalny Zakład Geotermalny PAN Bańska – Biały Dunajec. Od początku działalności Spółki głównym i zarazem największym akcjonariuszem Spółki jest Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie (który na dzisiaj posiada 90,99% akcji). Innymi akcjonariuszami są Miasto Zakopane, Miasto Nowy Targ, Gminy: Bukowina Tatrzańska, Kościelisko, Poronin, Szaflary, a także WFOŚiGW, IGSMiE PAN, Tatrzańska Komunalna Grupa Kapitałowa Sp. z o.o., osoby fizyczne.

W początkowym okresie działalności – jako pierwsza w Polsce – ogrzewana ze źródeł geotermalnych była wieś Bańska Niżna. Dzisiaj Spółka dostarcza ciepło i ciepłą wodę do 1870 obiektów w Zakopanem oraz w gminach: Szaflary, Biały Dunajec, Poronin. Większość ogrzewanych obiektów (ponad 1 tysiąc) stanowią domy jedno- i wielorodzinne. Na resztę składają się budynki usługowe i użyteczności publicznej oraz hotele i pensjonaty. Wśród instytucjonalnych odbiorców są m. in. Tatrzański Park Narodowy, Termy Zakopiańskie, kompleks rekreacyjny Termy Szaflary, zakopiański Zespół Szkół Hotelarsko-Turystycznych, Starostwo Powiatowe i inne obiekty. W Zakopanem, które leży kilkanaście kilometrów od odwiertów geotermalnych i jest położone o kilkaset metrów wyżej, geotermia zaspokaja aż 40% rynku ciepłowniczego.

Sprzedaż ciepła w 2022 roku wyniosła 533 tys. GJ przy mocy zamówionej ponad 78 MW. Łączna długość sieci i przyłączy ciepłowniczych wynosi ponad 118 km. Roczne wydobycie wody geotermalnej wynosi ok. 5 mln m^3.

Produkcja ciepła w Geotermii Podhalańskiej odbywa się dzięki trzem odwiertom produkcyjnym (Bańska IG-1, Bańska PGP-1 oraz Bańska PGP-3) i trzem chłonnym (Biały Dunajec PAN-1, Biały Dunajec PGP-2, Biały Dunajec PGP-5).

Nakłady inwestycyjne poniesione w latach 1998–2022 wynosiły 335 mln zł. Poza kapitałem własnym istotne były środki pozyskiwane z zewnątrz, jak choćby z Unii Europejskiej (PHARE, LSIF, MRPO, POIiŚ) oraz GEF, NFOŚiGW, USAID, EkoFunduszu, DEPA. Wartość środków otrzymanych z dotacji przekracza 132 miliony złotych. Tylko w ciągu ostatnich 7 lat wartość poniesionych nakładów inwestycyjnych wynosiła ponad 100 milionów, z tego ponad 29 milionów złotych pochodziło z dotacji.

Geotermalny system ciepłowniczy Geotermii Podhalańskiej zbudowany na bardzo wysokim poziomie technologicznym jest nowatorskim rozwiązaniem na skalę europejską. Projekt wykorzystania energii geotermalnej na Podhalu stał się początkiem rozwoju geotermii w Polsce. Geotermia jest wyjątkowo przyjazna dla środowiska naturalnego, a dla odbiorców ciepła jest komfortowa i bezpieczna.

Najważniejsze zalety energii geotermalnej to niezależność od warunków atmosferycznych, stabilność, bezpieczeństwo, bezemisyjna produkcja ciepła oraz to, że jest ona wytwarzana z lokalnych ujęć geotermalnych. Na Podhalu jest bardzo duże zainteresowanie podłączeniem do sieci ciepłowniczej, jest ono wynikiem tego, że cena ciepła oferowanego przez Spółkę jest dwa razy niższa niż cena energii z węgla.

Osiągnęliśmy konkurencyjny poziom cen tylko dlatego, że Spółka inwestowała w dwóch obszarach: dystrybucji – cały czas zwiększamy ilość podłączanych obiektów, jak również inwestujemy w samą produkcję. W wyniku inwestycji w źródła geotermalne obecnie blisko 99% ciepła, które sprzedajemy, pochodzi z energii wód geotermalnych.

W ten sposób Spółka przyczynia się w dużym stopniu do ograniczania emisji pyłów i gazów, które towarzyszą spalaniu paliw kopalnych. Według szacunków, dzięki podłączeniu odbiorców do sieci ciepłowniczej zasilanej ze źródła geotermalnego, w ciągu 30 lat funkcjonowania Spółki zredukowano emisję CO_2 do atmosfery o 731 tys. ton. W efekcie zużyto 398 tys. ton węgla mniej, co oznacza, że do Zakopanego przyjechało 6638 mniej wagonów z węglem o pojemności 60 ton każdy.

Wykorzystanie odnawialnych źródeł geotermalnych jest rozwiązaniem bardzo ekologicznym. Odgrywa szczególną rolę na terenie Podhala, ponieważ jest to region turystyczny, gdzie czyste powietrze oraz niezmienione zasoby przyrodnicze mają kluczowe znaczenie.

Działania proekologiczne i popularyzacja odnawialnych źródeł energii są jednym z kluczowych zadań, jakie stawia dziś przed sobą Geotermia Podhalańska. Spółka jest czynnie zaangażowana w propagowanie odnawialnych źródeł energii i w działalność edukacyjną. Od kilku lat organizuje Dni Otwarte z okazji Dnia Ziemi. Zapraszani są uczniowie i nauczyciele podhalańskich szkół. Oprócz zwiedzania obiektów ciepłowniczych młodzież bierze też udział w zajęciach edukacyjnych. Przy okazji tego cyklicznego wydarzenia, w każdym roku obiekty ciepłowni zwiedza ponad 1 000 osób.

Warto podkreślić, iż projekt geotermalny jest nie tylko nowoczesnym rozwiązaniem wykorzystania źródeł ciepłej wody o dużym znaczeniu dla środowiska naturalnego, ale również jest przedsięwzięciem broniącym się ekonomicznie, o czym świadczą wyniki finansowe. W efekcie podłączania coraz większej liczby odbiorców oraz optymalizacji wykorzystania źródła geotermalnego działalność Spółki przynosi zyski, a poziom rentowności jest wyższy niż średni w branży ciepłowniczej.

PROFESOR ANDRZEJ ZUBER – ZASŁUŻONY BADACZ WIEKU WÓD TERMALNYCH (GEOTERMALNYCH)

Józef CHOWANIEC[1,2]

[1]*Emerytowany pracownik Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB*
[2]*Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne; chowaniec.surowka@gmail.com*

Słowa kluczowe: wody termalne, znaczniki środowiskowe, skład izotopowy wody, zubery, wody dehydratacyjne

Streszczenie

Andrzej Zuber urodził się 28 listopada 1933 r. w Mediolanie, gdzie jego ojciec Kazimierz pracował od 1930 r. na stanowisku wicedyrektora państwowej firmy naftowej, będąc także oficerem działającym dla polskiego wywiadu. Profesor Rudolf Zuber, dobrze znany badacz fliszu karpackiego, był jego dziadkiem, zaś stryjem prof. Stanisław Zuber zwany ojcem geologii Albanii, zamordowany przez albańskie komunistyczne służby. Generał Tadeusz Rozwadowski, szef sztabu polskiej armii w bitwie zwanej „cudem nad Wisłą" był jego dziadkiem stryjecznym ze strony matki. Jego rodzice otrzymali medale za bohaterską obronę Lwowa w czasie polsko-ukraińskich walk o to miasto (Chowaniec i in., 2012).

Profesor Andrzej Zuber nie miał szczęśliwego dzieciństwa. W 1936 r., jako 3-letnie dziecko, razem z matką i o 4 lata starszym bratem Kazimierzem wyjechali z Mediolanu do Polski i zamieszkali we Lwowie. Trzy lata później, we wrześniu 1939 r., wraz z rodziną spędzał wakacje u swojej ciotki Zofii Grocholskiej w majątku dochodzącym do granicznej rzeki Zbrucz. W tym czasie, w dniu 16 września 1939 r., po raz ostatni w życiu widział swojego ojca wyjeżdżającego w kierunku Zaleszczyk. Dzień później władzę przejęli bolszewicy, ustanawiając swoje porządki, mordując i masowo wywożąc Polaków na Sybir. Dlatego następnego dnia członkowie rodziny Profesora wraz z 6-cioletnim wówczas Andrzejem musieli uciekać w kierunku Lwowa. Początkowo ukrywali się u rodziny żydowskiej mieszkającej w Tarnopolu, a po przybyciu do Lwowa zostali usunięci z ich własnego mieszkania znajdującego się na ul. Nad Jarem 1. Przez jakiś czas zamieszkali na ul. Dwernickiego Bocznej i niedługo potem rodziców matki Andrzeja bolszewicy wywieźli na Sybir i wszelki słuch do dziś po nich zaginął. Podobna wywózka dotknęła innych krewnych Profesora, co oczywiście miało związek z ich pokrewieństwem z generałem Tadeuszem Rozwadowskim. Życie swoje wraz z rodziną Profesor zawdzięcza znajomemu Ukraińcowi oraz rozpoczęciu przez Niemców wojny z bolszewikami, którzy w popłochu opuścili Lwów. Unikając dalszych prześladowań, tym razem niemiecko-ukraińskich, rodzina przeniosła się do Krakowa, gdzie zamieszkali u młodszej siostry matki – Wandy, na ul. Powiśle 12 u podnóża Wawelu, a potem ostatnie 2 lata wojny Profesor spędził w majątku Schützów we Włostowicach koło Koszyc.

W pierwszych latach po wojnie Profesor doświadczył wielkiej biedy i głodu. Pomieszkiwał w wynajętych pokojach i w końcu trafił do ośrodka dla sierot w Prusach koło Kocmyrzowa, gdzie bardzo chorował. Z sierocińca uciekł i w stanie ciężkim trafił do Krakowa, gdzie dzięki pomocy ofiarnych ludzi oraz ciotki Wandy Zachwiejowej zamieszkał znowu z matką, najpierw w 2-pokojowym mieszkaniu przy ul. Chopina 28, a potem w przydziałowym pokoju na ul. Grabowskiego 13 (Chowaniec i in., 2012).

Profesor ukończył liceum im. Jana Sobieskiego w 1951 r. i jeszcze przed zdaniem ustnej matury rozpoczął pracę jako technik w Laboratorium Mechaniki Gruntu przy Katedrze Górnictwa II na AGH. W następnym roku zdał egzamin wstępny na Wydział Geologiczno-Poszukiwawczy AGH. Przed ukończeniem studiów w 1957 roku został zatrudniony początkowo w charakterze wolontariusza, a następnie na etacie pomocnika asystenta w Katedrze Fizyki II. To wydarzenie miało decydujący wpływ na przyszłą karierę naukową Profesora ze względu na zainteresowanie fizyką jądrową.

Pracę doktorską z fizyki technicznej pod tytułem „Badanie pola neutronów termicznych w zastosowaniu do pomiaru wilgotności gruntów", obronił Profesor w 1965 r. na Wydziale Elektrycznym AGH, pod kierunkiem prof. Leopolda Jurkiewicza. Zanim obronił pracę doktorską, w 1963 r. został służbowo przeniesiony do Instytutu Badań Jądrowych, Zakładu VI Oddz. w Krakowie, który następnie został wcielony do Instytutu Fizyki Jądrowej. Tam do końca 2003 r. pracował jako kierownik Pracowni Fizyki Środowiska. Będąc pracownikiem Instytutu Fizyki Jądrowej, w 1971 r. Profesor zdał kolokwium habilitacyjne (Dyspersja znacznika przy przepływach przez ośrodki porowate) na Wydziale Geologiczno-Poszukiwawczym AGH. W 1980 r. został mianowany profesorem nauk technicznych.

Profesor Andrzej Zuber został zatrudniony w 2007 r. w Oddziale Karpackim Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego, po zakończeniu pracy na AGH w 2004 r. Wkrótce po rozpoczęciu przez Niego pracy w OK PIG-PIB, ukazały się 2 monograficzne pozycje, w których Profesor miał zasadniczy udział – Metody znacznikowe w badaniach wód podziemnych – poradnik metodyczny (Zuber, Różański, Ciężkowski, (red.), 2007) i Prowincja karpacka w: Hydrogeologia regionalna Polski, t. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane pod red. B. Paczyńskiego i A. Sadurskiego (Chowaniec i in., 2007).

Pracując w OK PIG-PIB Profesor czynnie uczestniczył w badaniach znaczników środowiskowych wód zwykłych, mineralnych i termalnych. Podkreślić należy, że prace związane z określeniem wieku i obszarów zasilania, na podstawie znaczników środowiskowych, odkrytych w 2008 r. solanek w Dobrowodzie koło Buska, zasługują na szczególną uwagę (Chowaniec i in., 2009), podobnie jak monograficzne opracowanie wód mineralnych rejonu Buska-Zdroju (Zuber i in., 2010). Profesor brał także udział w projekcie badawczym pt. Określenie wieku wód termalnych niecki podhalańskiej metodą helową oraz określenie wysokości obszaru zasilania i temperatury wody infiltrującej z kombinowanej interpretacji składu izotopowego wody i stężeń Ne i Kr. Istotnym osiągnięciem realizacji tego projektu było określenie wieku wód termalnych w niecce podhalańskiej oraz określenie obszarów zasilania, a także stwierdzenie, że wody termalne we wschodniej części niecki charakteryzują się starszymi wiekami w stosunku do zachodniej części niecki. Występują tam prawdopodobnie wody zasilane w zimniejszym klimacie u schyłku ostatniego zlodowacenia. Skład izotopowy wód ($\delta^{18}O$ i $\delta^{2}H$) wykazał, że zasilanie wód termalnych odbywa się na obszarze Tatr, głównie w najniżej położonych partiach wychodni utworów węglanowych, będących kolektorem wód termalnych. Wody opadowe infiltrujące w wyższych partiach wychodni są głównie drenowane przez wywierzyska, praktycznie nie zasilając systemu termalnego (Chowaniec i in., 2009a; 2009b).

W polu zainteresowania Profesora były również ultrafiltracja i diageneza jako ważne procesy formujące składy izotopowe i chemiczne wód niektórych basenów sedymentacyjnych. Geneza wielu wysoko zmineralizowanych wód podziemnych w dalszym ciągu budzi wątpliwości, stanowiąc przedmiot istotnych kontrowersji. W publikacjach zwrócono uwagę na dobrze znane procesy ultrafiltracji i diagenezy, zwłaszcza zachodzące przy kompakcji osadów ilastych, które często są pomijane przez wielu autorów rozpatrujących genezę wód wysoko zmineralizowanych. Wiele wód obszaru Polski, drenowanych poprzez przesiąkanie przez warstwy iłów i mających wartości wieku nie przekraczające dziesiątek tysięcy lat, nie wykazuje jednoznacznych objawów wzbogacenia ultrafiltracyjnego. Jednak w osadach badenu południowej Polski, miejscami występują syngenetyczne solanki morskie wyraźnie wzbogacone chemicznie w procesie ultrafiltracji, a w głębiej zalegających osadach przejawia się też obecność wody zmienionej wskutek przemian diagenetycznych minerałów ilastych. W innych utworach podłoża przypuszczalnie dominują przedbadeńskie wody paleoinfiltracyjne, których zasolenie jest wynikiem ługowania różnych sedymentów chemicznych z możliwym wtórnym wzbogaceniem ultrafiltracyjnym. Pochodzenie tych solanek jest jednak ogólnie słabo rozpoznane ze względu na brak oznaczeń izotopowych. Natomiast zasolone wody zawarte w utworach fliszu zachodniej części polskich Karpat najpierw podlegały procesowi ultrafiltracji, a następnie zostały zmienione przez diagenezę i ultrafiltrację, stając się w dominującym stopniu wodami diagenetycznymi, w których chlorki i szereg innych składników są reliktem morza fliszowego. (Zuber i Chowaniec, 2009a; Zuber i Chowaniec, 2009).

Wśród wielu problemów hydrogeologicznych, w jakie zaangażowany był Profesor, czołowe miejsce zajmuje określenie genezy i obszarów zasilania wód mineralnych Krynicy (szczawy zwykłe i szczawy chlorkowe), przede wszystkim zuberów, których nazwa pochodzi od Jego dziadka prof. Rudolfa Zubera, będącego ich odkrywcą (Zuber i in., 1987; Zuber i in., 1999). W Krynicy występuje specjalny typ szczaw chlorkowych, który na skutek znacznego wieku komponentów infiltracyjnych, rzędu co najmniej tysięcy lat, charakteryzuje się wysoką mineralizacją oraz dużą zawartością sodu i wodorowęglanów. Unikatowe wody tego typu zostały odkryte w Krynicy przez prof. Rudolfa Zubera w trakcie wykonywania wierceń za ropą naftową. Występowania tego typu wód można oczekiwać także w innych rejonach, zwłaszcza tam, gdzie zachodzi bardzo wolna penetracja wód meteorycznych na duże głębokości w obecności dopływu wgłębnego dwutlenku węgla i gdzie mogą dopływać wody dehydratacyjne (Chowaniec i in., 2012).

Profesor Andrzej Zuber wielokrotnie brał udział w badaniach prowadzonych za granicą. W 1968 r. był przez 6 miesięcy ekspertem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA), organizując laboratorium izotopowe w Nairobi, a w latach 1971-1973 przez 14 miesięcy prowadził wykłady i ćwiczenia na Uniwersytecie Federalnym i w Instytucie Inżynierii Jądrowej w Rio de Janeiro w Brazylii. Prócz tego Profesor prowadził kilkutygodniowe kursy zastosowań metod znacznikowych w Bangkoku, Porto Allegre, Meksyku

i Bombaju, zaś w latach 1989-1998 corocznie pracował od 1 do 3 miesięcy w Instytucie Hydrologii w Monachium. Rezultatem tej współpracy było kilka ważnych dla nauki publikacji (m. in. Małoszewski i Zuber, 1996),

Profesor wielokrotnie był powoływany do komitetów redakcyjnych tak prestiżowych czasopism jak Journal of Hydrology, Hydrogeological Journal i Hydrological Sciences Journal. W roku 2000 został wybrany na członka korespondenta PAU. Profesor wypromował 6-ciu doktorantów, w tym 4-ch w Polsce i 2-ch w Brazylii. Jego dorobek obejmuje ponad 220 publikowanych prac naukowych, 4 patenty i liczne opracowania archiwalne, w tym projekty badań geologicznych, dokumentacje hydrogeologiczne oraz recenzje prac doktorskich i habilitacyjnych a także opinie dotyczące nominacji profesorskich. Generalnie, jego działalność naukową można podzielić na zainteresowania pracami o charakterze podstawowym
i aplikacyjnym oraz na badania znacznikowe systemów wód podziemnych w Polsce.

Profesor Andrzej Zuber pełnił funkcję Przewodniczącego Komitetu Naukowego XXXVIII Kongresu IAH, który odbył się w 2010 r. w Krakowie.

Profesor Andrzej Zuber w pełni sił twórczych zmarł nagle w dniu 27 lutego 2011 r. Został pochowany na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie.

Literatura

Chowaniec J., Zuber A., Ciężkowski W., 2007. Prowincja karpacka. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski, t. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (red. B. Paczyński i A. Sadurski). PIG, Warszawa, s. 78–96.

Chowaniec J., Najman J., Olszewska B., Zuber A., 2009. Pochodzenie i wiek wody mineralnej w Dobrowodzie k. Buska Zdroju. Przegl. Geol., t 57, nr 4; s. 286–293.

Chowaniec J., Duliński M., Mochalski P., Najman J., Śliwka I., Zuber A., 2009a. Znaczniki środowiskowe w wodach termalnych niecki podhalańskiej. Przegląd Geologiczny, 57 (8), s. 685-693.

Chowaniec J., Duliński M., Mochalski P., Najman J., Śliwka I., Zuber A., 2009b. Gazy szlachetne w wodach termalnych niecki podhalańskiej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna. Wyd. SIGMA, Kraków. 9, s. 14–15.

Chowaniec J., Graniczny M., Urban H., 2012. Saga rodu Zuberów. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. Nr 448(2), s. 495–505.

Małoszewski P., Zuber A., 1996. Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data. [W:] Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrology.

Zuber A., 1987. O pochodzeniu wód typu zuber. [W:] 25 lat górnictwa uzdrowiskowego. Wyd. AGH, Kraków, s. 37–51.

Zuber A., Ciężkowski W., Duliński M., Grabczak J., 1999. Wieki i położenie obszarów zasilania wód mineralnych Krynicy oszacowane ze zmian czasowych stężeń trytu oraz wartości $\delta^{18}O$ i δD. Przegląd Geologiczny 47, 6: s. 57–583.

Zuber A., Chowaniec J., 2009a. Diagenetic and other mineral waters in the Polish Carpathians. *Applied Geochemistry*. 24: s. 1889–1900.

Zuber A., Chowaniec J., 2009b. Ultrafiltracja i diageneza jako ważne procesy formujące składy izotopowe i chemiczne wód niektórych basenów sedymentacyjnych. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. Hydrogeologia, z. IX/2. Nr 436, s. 575–582.

Zuber A., Różański K., Ciężkowski W., (red.) 2007. Metody znacznikowe w badaniach wód podziemnych – poradnik metodyczny. Wyd. Politechnika Wrocławska. Wrocław, ss. 402.

Zuber A., Chowaniec J., Porwisz B., Najman J., Mochalski P., Śliwka I., Duliński M., Mateńko T., 2010. Pochodzenie i wiek wód mineralnych rejonu Buska Zdroju, określone na podstawie znaczników środowiskowych. Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Praca zbiorowa pod redakcją Ryszarda Lisika. Wyd. XYZ. Kielce, ss. 362.

PIERWIASTKI ZIEM RZADKICH W WODACH MINERALNYCH I TERMALNYCH NIŻU POLSKIEGO

Dorota KACZOR-KURZAWA[1], Irena WYSOCKA[2], Adam POROWSKI[3], Przemysław DRZEWICZ[2]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Świętokrzyski; dkac@pgi.gov.pl*
[2]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*
[3]*Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa*

Słowa kluczowe: pierwiastki ziem rzadkich (REE), wody mineralne i termalne, Niż Polski

Wstęp

Wzrost zainteresowania pierwiastkami ziem rzadkich (REE – *Rare Earth Elements*) widoczny na światowych rynkach w ostatnich latach, spowodowany ich zastosowaniem w przemyśle wysokich technologii, przyczynił się do intensywnych poszukiwań ich alternatywnych źródeł, obejmujących także solanki i wody geotermalne. Pierwiastki ziem rzadkich [lantan (La), cer (Ce), prazeodym (Pr), neodym (Nd), samar (Sm), europ (Eu), gadolin (Gd), terb (Tb), dysproz (Dy), holm (Ho), erb (Er), tul (Tm), iterb (Yb), lutet (Lu) oraz itr (Y)], są także stosowane w badaniach procesów geochemicznych w środowiskach wodnych, obejmujących szeroko rozumiane procesy w układzie woda-skała. Ich użyteczność do śledzenia wielu procesów (rozpuszczanie/wytrącanie, adsorpcja/desorpcja, kompleksacja, utlenianie/redukcja) zachodzących w wodach podziemnych, wynika z unikalnych właściwości chemicznych REE (zjawiska „kontrakcji" lantanowców) i ich dużej wrażliwości nawet na niewielkie zmiany wartości pH i Eh. Procesy te powodują frakcjonację (rozdzielanie się) REE, w taki sposób, że poszczególne pierwiastki (zwłaszcza Ce i Eu) lub podgrupy REE określane jako lekkie (LREE: La-Nd), średnie (MREE: Sm-Dy) i ciężkie (HREE: Ho-Lu), mogą wykazywać wzbogacenie lub zubożenie w porównaniu do sąsiednich podgrup. Proces frakcjonacji jest odwzorowany w postaci różnych typów wykresów znormalizowanych wartości REE (*patterns*), które są powszechnie używane do interpretowania procesów geochemicznych w środowisku wodnym.

Cel badań

Podstawowymi celami pracy było określenie wcześniej nieznanych stężeń REE w mineralnych i termalnych wodach Niżu Polskiego, czynników kontrolujących stężenia REE, procesów frakcjonacji w oparciu o różne typy wykresów znormalizowanych wartości REE (*patterns*).

Materiały i metody

35 prób wód pobrano w 2018 roku, z czynnych głębokich otworów eksploatujących wody termalne i mineralne w zakładach geotermalnych (Pyrzyce, Stargard, Uniejów, Poddębice, Mszczonów), w uzdrowiskach (Świnoujście, Kołobrzeg, Kamień Pomorski, Połczyn-Zdrój, Ciechocinek, Inowrocław, Wieniec-Zdrój, Gołdap, Konstancin Jeziorna) oraz w centrach rekreacyjnych (Sopot, Ustka, Lidzbark Warmiński, Marusza, Poznań, Tarnowo Podgórne) i gospodarstwie hodowli ryb (Trzęsacz). Próby wody pochodzą z poziomów czwartorzędowych, mezozoicznych i permskich. Ponadto, 23 próbki skał pobrano z rdzeni otworów wiertniczych zgromadzonych w Narodowym Archiwum Geologicznym PIG-PIB, a także 2 próbki skał solnych z kopalni w Kłodawie. Analizy fizykochemiczne (PEW, pH, TOC, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, NO_3^-, Br^-, I^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Li^+, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ba^{2+}, B, Sr^{2+}, SiO_2) prób wody i stężeń REE w próbach skał wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG-PIB w Warszawie. Stężenia REE określono w Environmental Laboratories w International Atomic Energy Agency w Monaco oraz w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG-PIB. Do wszystkich pomiarów REE zastosowano kombinację zautomatyzowanego systemu seaFAST-pico do obróbki wstępnej i spektrometru masowego z plazmą indukcyjnie wzbudzoną (ICP-SFMS albo ICP-QMS) (Wysocka 2021; Wysocka i in., 2022). Aby ocenić proces frakcjonowania REE, wyniki znormalizowano do European Shale - EUS (łupków europejskich).

Rezultaty

Badane wody (głównie typu Na-Cl) charakteryzują się bardzo zróżnicowaną mineralizacją (TDS: od 0,44 do 340 g/L), temperaturą (9 do 89 °C) oraz pH (4,5-7,8). Stężenia rozpuszczonych (<0,45 µm) REE i Y w tych wodach są bardzo niskie, odpowiednio od 0,6 do 59,9 ng/L i od 1,6 do 54,5 ng/L (Kaczor-Kurzawa i in., 2022). Tylko w kwaśnych i wysoko zmineralizowanych solankach stężenia REE są dużo wyższe, osiągając

19103 ng/L. Stężenia REE w skałach zbiornikowych zmieniają się od 6,8 mg/kg (w drobnoziarnistych piaskowcach kwarcowych ze spoiwem krzemionkowym) do 192 mg/kg (w mułowcach). W solach permu (halit) zawartość REE była poniżej granicy oznaczalności. Głównym czynnikiem kontrolującym stężenia REE w wodach są: (i) rozpuszczanie skał zbiornikowych, zwłaszcza tych z domieszką minerałów akcesorycznych wzbogaconych w REE), oraz (ii) niskie pH wód (<4,5). Pierwiastki te po uwolnieniu ze skał dostają się do wody i wskutek różnorodnych procesów geochemicznych poddawane są dalszej frakcjonacji, odzwierciedlonej przez różne typy wykresów znormalizowanych wartości REE (*patterns*). Skały zbiornikowe generalnie odznaczają się wykresami o kształcie *płaskim* (LREE≈MREE≈HREE). W badanych wodach, wyznaczono trzy grupy takich wykresów: (i) wznoszący (LREE<MREE<HREE) opisujący wzbogacenie w HREE (dla 74% prób), (ii) wypukły (LREE<MREE>HREE) ze wzbogaceniem w MREE (20% prób), oraz (iii) prawie płaski (LREE≈MREE≥HREE) z lekkim zubożeniem w HREE (7% prób). Frakcjonacja REE w płytkich wodach wiąże się z adsorpcją LREE na cząsteczkach tlenków i wodorotlenków Fe/Mn oraz kompleksacją REE z jonami węglanowymi i wodorowęglanowymi. W wodach występującymi poniżej strefy ich aktywnej wymiany (w warunkach redukcyjnych), wykresy ze wzbogaceniem w HREE odzwierciedlają głównie rezultaty redukcyjnego rozpuszczania wcześniej zaadsorbowanych i/lub wytrąconych REE. Wypukły kształt wykresów ze wzbogaconymi MREE może odwzorowywać wyniki kilku procesów geochemicznych kontrolujących frakcjonowanie REE: (i) uwalniania łatwiej rozpuszczalnych MREE ze skał do wód w wysokich temperaturach (T>60 ºC), (ii) obecności materii organicznej wykazującej wyraźną zdolność do tworzenia kompleksów z REE, (iii) redukcyjnego uwalniania (rozpuszczania) wcześniej zaadsorbowanego REE na cząstkach mineralnych oraz (iv) rozpuszczanie skał przez kwaśne wody. Trzecia grupa wykresów (LREE≈MREE≥HREE) jest zapisem rozpuszczania skał macierzystych, o czym świadczy podobieństwo wykresów REE dla wód i skał.

Wyniki

Określono dotychczas nieznaną zawartość REE w wodach mineralnych i termalnych Niżu Polskiego. Nasze prace wykazały, że stężenie REE w nich jest zbyt niskie, aby w obecnych warunkach ekonomicznych i technologicznych planować ich opłacalną eksploatację, co jest zgodne z rezultatami podobnych badań przeprowadzonych w Niemczech i USA. REE w badanych wodach pochodzą z rozpuszczania skał macierzystych i przeszły dalsze frakcjonowanie, uczestnicząc w procesach geochemicznych (adsorpcja/desorpcja i kompleksacja), co zarejestrowane jest w opisanych różnych typach wykresów znormalizowanych REE.

Praca była finansowana przez Narodowe Centrum Nauki (NCN, Polska) w ramach grantu nr UMO-2015/17/B/ST10/03295 oraz Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego, projekty nr 61.8205.1701.00.0 i 61.6705.1803.00.0.

Literatura

Kaczor-Kurzawa D., Wysocka I., Porowski A., Drzewicz P., Vassileva E., 2022. The occurrence and distribution of rare earth elements in mineral and thermal waters in the Polish Lowlands. Journal of Geochemical Exploration, 237, 106984.

Wysocka I., 2021. Determination of rare earth elements concentrations in natural waters. A review of ICP-MS measurement approaches. Talanta 221, 121636.

Wysocka I., Kaczor-Kurzawa D., Porowski A., 2022. Development and validation of seaFAST-ICP-QMS method for determination of rare earth elements total concentrations in natural mineral waters. Food Chemistry 388, 133008.

WYSTĘPOWANIE I GEOCHEMIA PIERWIASTKÓW ZIEM RZADKICH (REE) W WODACH MINERALNYCH I TERMALNYCH KARPAT POLSKICH

Adam POROWSKI[1], Irena WYSOCKA[2], Dorota KACZOR-KURZAWA[3], Przemysław DRZEWICZ[2]

[1]*Instytut Nauk Geologicznych PAN, Warszawa; adamp@twarda.pan.pl*
[2]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*
[3]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Świętokrzyski*

Słowa kluczowe: wody termalne, REE-pattern, anomalie REE, pochodzenie wód, wskaźniki geochemiczne.

Wstęp

Pierwiastki ziem rzadkich (*REE – rare earth elements*) to tradycyjna nawa grupy lantanowców (Ln) w układzie okresowym pierwiastków, którą stanowi 15 metalicznych pierwiastków od lantanu (La) do lutetu (Lu). Pomimo, że w skorupie ziemskiej są one znacznie rozproszone i nie tworzą konwencjonalnych złóż mineralnych, to mają bardzo duże znaczenie zarówno gospodarcze, jak i naukowe. Unikalne znaczenie REE w badaniach naukowych wynika z podobieństwa ich właściwości fizycznych i chemicznych, które pozwalają wykorzystywać rozkład ich zawartości w skałach, minerałach, czy wodach podziemnych, jako wskaźnik wielu ważnych procesów geochemicznych, w tym i procesów związanych z oddziaływaniem woda-skała. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań zawartości i występowania REE w wodach mineralnych oraz wodach termalnych, występujących na obszarze Polskich Karpat Zewnętrznych i Wewnętrznych. Dla zdecydowanej większości omawianych wód oznaczenia zawartości REE były wykonane po raz pierwszy.

Cel badań

Głównym celem badań było określenie koncentracji pierwiastków ziem rzadkich (REE – *rare earth elements*) w wodach mineralnych i termalnych na obszarze Polskich Karpat oraz identyfikacja głównych czynników wpływających na ich rozkład w świetle procesów oddziaływania wód i macierzystych skał wodonośnych. Badania były ukierunkowane również na określenie możliwości wykorzystania pierwiastków ziem rzadkich jako wskaźników pochodzenia wód i ich składników.

Materiały i metody

Badaniami objęto wody mineralne i termalne z 31 ujęć na terenie Karpat Polskich zlokalizowanych w takich miejscowościach jak: Polańczyk, Rymanów, Iwonicz, Wysowa, Rabka, Szczawnica, Ustroń, Zakopane, Bańska, Szaflary i Chochołów. Analizy składu chemicznego wód odnośnie makro- i mikroelementów zostały wykonane w Laboratorium Chemicznym PIG-PIB w Warszawie. Zastosowano następujące metody: ICP-OES i ICP-MS dla oznaczenia kationów~~,~~ oraz HPLC dla oznaczenia anionów. Oznaczenia zawartości REE w wodach były wykonywane w dwóch laboratoriach: Environmental Laboratories IAEA w Monako oraz w Laboratorium Chemicznym PIG-PIB. W celu określenia zawartości REE zastosowano innowacyjną metodę polegającą na połączeniu automatycznego systemu prekoncentracji seaFAST-pico z ICP-MS (ISO 2005, Wysocka i Vassileva 2017, Wysocka 2021, Wysocka i in. 2022). Próbki wody były filtrowane i następnie zakwaszane podczas poboru, tak więc oznaczenia zawartości odnoszą się tylko do REE rozpuszczonych w wodzie.

Rezultaty i wnioski

REE należą do pierwiastków litofilnych, wykazujących tendencję do gromadzenia się w skałach. Jednakże w wyniku procesów oddziaływania woda-skała (np. wietrzeniowych czy diagenetycznych) REE są dość łatwo uruchamiane i przenoszone ze środowiska skalnego do wody. Zawartości REE we wszystkich rodzajach wód, od wód morskich po wody podziemne i powierzchniowe, są kilka rzędów wielkości mniejsze niż w skałach. W wodach objętych badaniami na terenie Karpat Polskich całkowite stężenia pierwiastków ziem rzadkich (jako suma REE) wahają się w szerokich granicach od 0,5 ng/L (otwór Polańczyk IG-2) do 1305,3 ng/L (otwór Jan w Szczawnicy). Badania pokazały wyraźną negatywną korelację stężenia REE z wartością pH i temperatury. Największe zawartości REE występują w wodach o najniższym pH i w wodach chłodnych w obszarze Wysowej, Szczawnicy i Rymanowa; najniższe zawartości REE stwierdzono w wodach termalnych Podhala, w wodach z niektórych otworów w rejonie Iwonicza, Rabki i Ustronia. Do lepszego rozpoznania

oddziaływania pomiędzy wodami podziemnymi a potencjalnymi skałami zbiornikowymi (macierzystymi) wykorzystano analizy frakcjonowania REE pomiędzy wodą i skałą – analizy porównawcze znormalizowanych charakterystycznych rozkładów REE w badanych wodach i skałach (tzw. *REE pattern*), przez które wody te przypływają. Analiza REE-pattern dla badanych wód pokazała, że w zależności od zawartości LREE (La-Nd), MREE (Sm-Ho) i HREE (Er-Lu) mamy do czynienia z dwiema głównymi grupami wód: (i) wody, dla których REE pattern wykazuje zależność LREE < MREE < HREE – dominująca grupa wód, z typowym rozkładem, wykazującym zubożenie w lekkie REE i wzbogacenie w ciężkie REE (Er-Lu); (ii) wody, dla których REE pattern wykazuje zależność LREE < MREE ≥ HREE – wody termalne na Podhalu (Zakopane IG-1, Zakopane IG-2, Chochołów PIG-1, Bańska PGP-1) oraz wody w rejonie Iwonicza (otwory Iwonicz II i Emma). REE-pattern dla wybranych skał fliszowych (piaskowce, łupki, mułowce) charakteryzuje się rozkładem charakterystycznym LREE ≤ MREE > HREE; niektóre skały wykazują obecność pierwotnych dodatnich anomalii Ce i/lub Eu. Przeprowadzona analiza porównawcza pokazała, że REE-pattern części badanych wód wykazuje wyraźne podobieństwo do rozkładu REE w skałach fliszowych. W wodach w rejonie Iwonicza, Rymanowa i Polańczyka występuje propagacja pierwotnych anomalii dodatnich Eu lub Ce charakterystycznych dla części skał zbiornikowych. Poza prostymi procesami ługowania faz mineralnych w skałach, zawartości REE w badanych wodach są kontrolowane przez dwa główne czynniki: (i) pH wody – ma zasadniczy wpływ na kompleksowanie lantanowców, specjacje jonów i w konsekwencji na ich rozpuszczanie w wodzie; (ii) procesy koagulacji, flokulacji i adsorpcji REE na cząstkach koloidalnych, głównie organicznych oraz bogatych w Fe czy Mn.

Niniejsza praca jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr UMO-2015/17/B/ST10/03295, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (NCN).

Literatura

Domżalski J., Górecki W., Mazurek A., Myśko A., Strzetelski W., Szamałek K., 2004. The prospects for petroleum exploration in the eastern sector of Southern Baltic as revealed by sea bottom geochemical survey correlated with seismic data. Geological Review, vol. 52, s. 792-799.

ISO, 2005. ISO/IEC 17025, International Organization for Standardization, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, Geneva, Switzerland, 2005.

Ulmishek G., 1991. Geologic evolution and petroleum resources of the Baltic Basin. [W:] Leighton M.W., Kolata D.R., Oltz D.F., Eidel J.J. (red.). Interior cratonic basins. AAPG Memoir, vol 51, s. 603-632.

Tissot B.P., Welte D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Second ed. Springer-Verlag, Berlin.

Weil W., 1990. The reservoir properties of the Middle Cambrian sandstone deposit in the Łeba-Żarnowiec area in the light of the statistic analysis. Geological Quaternary, vol 34, s. 37-50.

Wysocka I., Vassileva E., 2017. Method validation for high resolution sector field inductively coupled plasma mass spectrometry determination of the emerging contaminants in the open ocean: rare earth elements as a case study. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy. 128, 1–10.

Wysocka I., 2021. Determination of rare earth elements concentrations in natural waters – a review of ICP-MS measurement approaches. Talanta 221, 121636.

Wysocka I., Kaczor-Kurzawa D., Porowski A., 2022. Development and validation of seaFAST-ICP-QMS method for determination of rare earth elements total concentrations in natural mineral waters. Food Chemistry 388, 133008

POLSKIE DOŚWIADCZENIA Z BADAŃ Z WYKORZYSTANIEM WODY GEOTERMALNEJ DO NAWADNIANIA UPRAW – PROJEKT GEO4FOOD

Barbara TOMASZEWSKA[1,2], Magdalena TYSZER[2], Mentari MUKTI[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ); bts@agh.edu.pl*
[2]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; tomaszewska@meeri.pl*

Słowa kluczowe: odsalanie wód geotermalnych, geotermia dla rolnictwa, uprawy w szklarni

Wstęp

Systemy rolno-spożywcze zużywają około 30% światowej energii, która jest równocześnie odpowiedzialna za jedną trzecią emisji gazów cieplarnianych. Średnio, 70% światowego poboru słodkiej wody pochodzi z rolnictwa. FAO wskazuje, że produkcja żywności wzrosła o ponad 100 procent w ciągu ostatnich 30 lat i szacuje, że do 2050 r. potrzeba będzie około 60 procent więcej żywności, aby zaspokoić potrzeby żywnościowe rosnącej populacji globalnej (FAO 2017). Dlatego racjonalne gospodarowanie zasobami wody i energii, ma kluczowe znaczenie w ochronie zasobów wody słodkiej i jakości powietrza.

Cel badań

Celem projektu Geo4Food było między innymi zaprezentowanie innowacyjnego podejścia do wykorzystania zasobów geotermalnych jako źródła energii oraz wody do nawadniania upraw sałaty w szklarniach (Fig. 1). Badania były częścią projektu bilateralnego, badawczego finansowanego przez NCBiR (Polska) i Tübitak (Turcja). Badanie uprawy sałaty w glebie i w systemie hydroponicznym z wykorzystaniem wody geotermalnej przeprowadzono w szklarni w Laboratorium Geotermalnym IGSMiE PAN, w Bańskiej Niżnej.

Fig. 1. *Konfiguracja badania: 1) Instalacja odsalania wody geotermalnej, 2) Dezynfekcja szklarni, 3) System hydroponiczny, 4) Uprawa w glebie*

Materiały i metody

Przed rozpoczęciem badania przygotowano szklarnię do uprawy sałaty. Przeprowadzono jej dezynfekcję poprzez gazowanie siarką. Następnie zainstalowano siatkę zacieniającą aby ograniczyć zbyt duże nasłonecznienie, co jest szczególnie ważne przy uprawie sałaty. Badania realizowano w uprawach glebowych i hydroponice. Jako podłoże do uprawy sałaty w glebie zastosowano podłoże torfowe. Nawadnianie prowadzono metodą kropelkową. Do hydroponiki zastosowano kermzyt – granulat Plagron Euro Pebbles.

Woda geotermalna

W badaniach wykorzystano wodę z ujęcia geotermalnego Bańska IG-1. Jest to woda typu SO_4-Cl-Na-Ca, posiadająca mineralizację ok. 2,3 g/l. Ze względu na skład chemiczny woda ta wymaga odsolenia przed wykorzystaniem do nawadniania upraw. W tym celu zastosowano techniki membranowe - ultrafiltrację (UF) i odwróconą osmozę (RO).

Do nawadniania upraw zastosowano trzy rodzaje wody, odpowiednio do uprawy w glebie, jak i w systemie hydroponicznym: 1) 100% uzdatnionej wody geotermalnej (Typ 1), 2) mieszanina uzdatnionej wody geotermalnej z 10% surowej wody geotermalnej (Typ 2), 3) mieszanka uzdatnionej wody geotermalnej z 30% wodą wodociągową (Typ 3).

Uprawa sałaty – pomiary

Przed przystąpieniem do badań rozpoznano warunki uprawy sałaty oraz wskazano najważniejsze parametry wymagające monitorowania w warunkach szklarniowych. Należały do nich: temperatura, wilgotność, pH gleby i dostęp do światła (Adamicki i Nawrocka red. 2020). W trakcie badań trwających 32 dni cztery razy dziennie mierzono parametry fizyczne: pH, temperaturę i wilgotność gleby (uprawa w glebie), wilgotność i temperaturę pomieszczenia oraz dwa razy dziennie (poza dniami weekendowymi) przewodnictwo elektrolityczne wody (PEW), pH i temperaturę wody (Typ 1-3) w uprawie hydroponicznej. Po osiągnięciu oczekiwanego wzrostu sałaty (*Lactuca sativa var. crispa* (lollo rosa), *Lactuca sativa var. capitata* (masłowa Michalina), *Lactuca sativa var. capitata* (lodowa), *Lactuca sativa var. capitata* (masłowa Bona), *Lactuca sativa var. capitata* (masłowa Justyna)), próbki sałat poddano badaniom w akredytowanym laboratorium. Zakres badań obejmował stężenie: Hg, As, Pb, B, K, Cu, Mg, Mn, Na, Zn, P. Zakres badań wynikał z oceny przyswajalności metali przez rośliny. Jest to proces zróżnicowany, zależny od gatunku rośliny, stopnia wzrostu, kondycji i czynników środowiskowych – nasłonecznienia, pH gleby/wody oraz symbiozy z mikroorganizmami glebowymi (Hamid i in. 2016, Tanghipor i in. 2013). Największy potencjał gromadzenia nadmiernych ilości badanych wskaźników (Tab. 1) wykazują warzywa liściaste. Oznaczono wskaźnik bioakumulacji – współczynnik transferu (TF) (TF=Cplant/Csoil). Ocenę stopnia akumulacji w roślinach zielonych przeprowadzono zgodnie z zaleceniami Kabaty-Pendias i Pendias (1999), przyjmując następujące przedziały wartości TF: TF <0,01 – brak akumulacji, 0,01≤TF0,1 – słaba akumulacja, 0,1≤TF 1,0 – akumulacja umiarkowana i 1,0≤TF – akumulacja intensywna.

Wyniki

Pomiary fizyczne

Wskaźniki fizyczne pomierzone podczas badań uprawy sałaty w glebie i hydroponice przedstawiono na figurach 2-4.

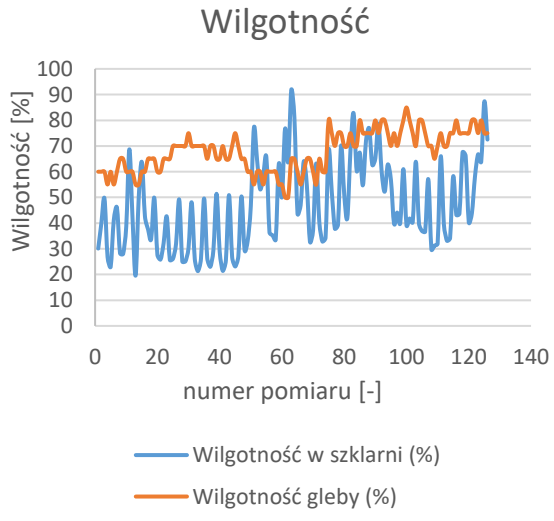


Fig. 2. *Wilgotność gleby oraz wilgotność w szklarni*

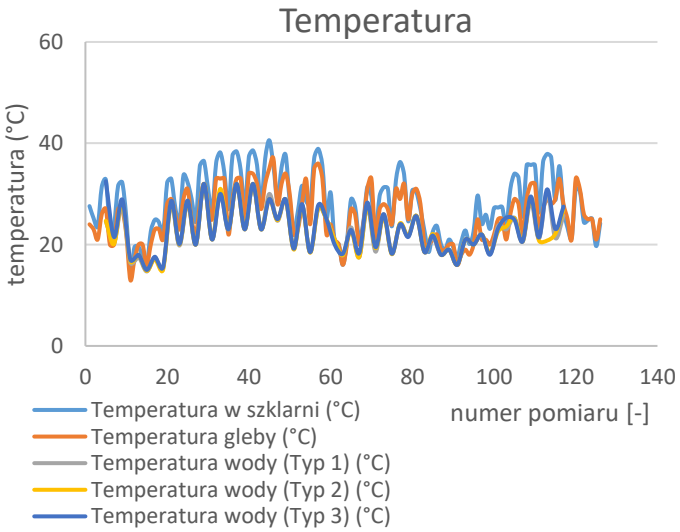


Fig. 3. *Temperatura wody (Typ 1-3), gleby oraz w szklarni.*

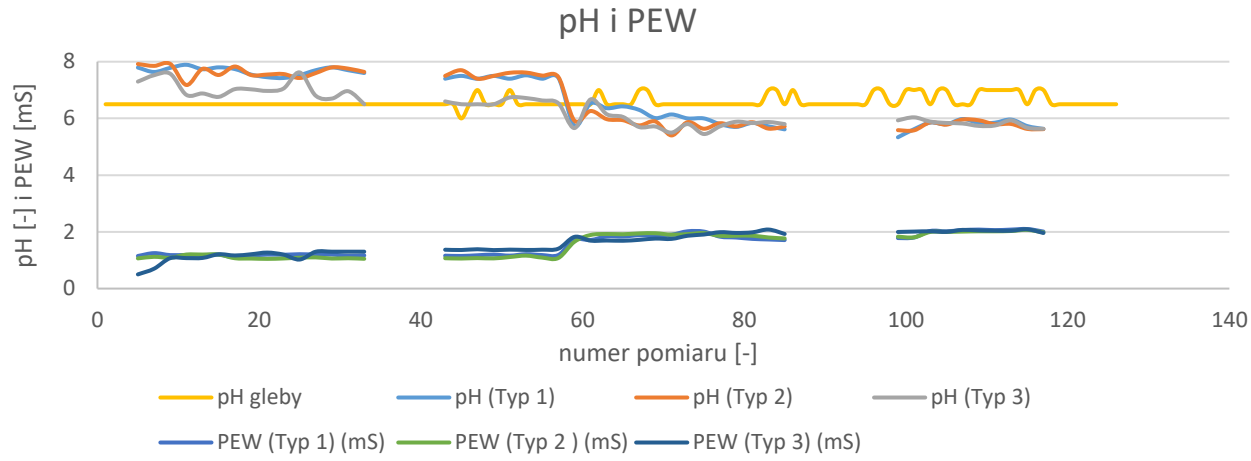


Fig. 4. *Wartości pH gleby i wody (Typ 1-3) oraz PEW wody (Typ 1-3).*

W badaniach wykorzystaliśmy 5 rodzajów sałaty. Jednak ze względu na podobieństwo uzyskanych wyników na wykresach przedstawiono uśrednione wartości z pomiarów różnych typów sałat. Jak można zauważyć, dobowe wahania temperatury w szklarni ściśle odpowiadają wahaniom temperatury gleby oraz temperatury wody w systemie hydroponicznym. Natomiast dobowe zmiany wilgotności gleby były mniejsze (w pożądanym zakresie) niż zmiany wilgotności w szklarni, co wskazuje na odpowiedni dobór sytemu nawadniania upraw w glebie. Wartości pH gleby prawie nie zmieniały się w trakcie trwania doświadczenia, rejestrowano wartości w oczekiwanym zakresie (6-7). Również wartości PEW i pH wody (Typ 1-3) w uprawie hydroponicznej ulegały nieznacznym zmianom (po 60 pomiarze) i pozostawały w oczekiwanym (w danej fazie wzrostu sałaty) zakresie wartości.

Analiza makro i mikroelementów zawartych w sałacie

Wyniki wskazują, że zarówno w liściach sałaty uprawianej w systemie hydroponicznym, jak i w glebie, stężenie makro- i mikroelementów stwierdzone zostało w dopuszczalnych zakresach zgodnie z US Department of Agriculture i Kabata-Pendias (Tab. 1).

Tabela 1. *Stężenie badanych wskaźników w liściach sałaty (HP - w hydroponice; SL - w glebie)*

Autorzy	**Wyniki badania**						**Kabata-Pendias**	**Dep. Rol. USA**
Typ	HP-Typ 1	HP-Typ 2	HP-Typ 3	SL-Typ 1	SL-Typ 2	SL-Typ 3	Liście sałaty	Liście sałaty
Wskaźnik	Zakres						Śr./zakres	Śr./zakres
Hg	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	-	-
As	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
Pb	0.237 - 0.745	0.349 - 1.15	0.37 - 1.15	0.359 - 1.67	0.458 - 1.74	0.965 - 2.7	0.7-3.6	-
B	1.48 - 2.35	1.41 - 2.76	1.06 - 1.96	0.938 - 2.11	1.36 - 2.56	0.795 - 1.42	-	-
K	3480 - 3870	2340 - 3370	2980 - 3460	2570 - 3900	3080 - 3870	2670 - 3550	-	13,647 - 30,941
Cu	0.299 - 0.51	0.213 - 0.36	0.23 - 0.44	0.34 - 0.47	0.31 - 0.39	0.31 - 6.14	-	-
Mg	131 - 319	145 - 231	153 - 262	165 - 274	158 - 288	149 - 248	-	706 - 2000
Mn	7.19 - 11.7	8.61 - 14.4	7.48 - 33.9	8.53 - 12.5	6.98 - 12.8	6.65 - 10.5	29	16.5 - 38.8
Na	68.5 - 170	166 - 220	57 - 95.9	125 - 199	151 - 304	63.3 - 97.9	-	-
Zn	4.52 - 56.1	2.43 - 20.5	8.27 - 31.6	5.03 - 19.1	4.15 - 7.09	3.43 - 8.37	44 - 77	14.1 - 27.1
P	332 - 490	288 - 457	318 - 496	326 - 486	321 - 462	306 - 443	-	2000 - 4235

Wskaźnik bioakumulacji – współczynnik przenoszenia

Wartości TF obliczono wyłącznie dla wyników badań sałaty w glebie (Fig. 5).

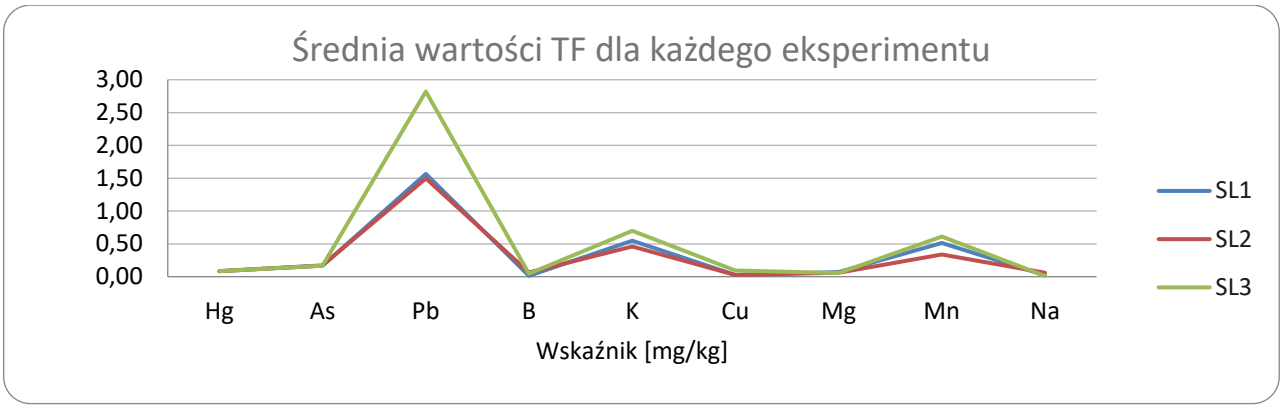


Fig. 5. *Średnie wartości TF sałaty nawadnianej uzdatnioną wodą geotermalną (Typ 1-3, oznaczony SL1-SL3).*

Obliczone wartości TF dla Hg, As, B wskazują na słabą ich akumulację w liściach sałaty. Z kolei uzyskane wartości TF dla K wskazują na umiarkowaną do intensywnej tendencji do akumulacji potasu. Koresponduje to z faktem, że jest on podstawowym makroskładnikiem sałaty, stąd jego wysoka akumulacja w jej liściach. Ponadto wartość wskaźnika TF dla Pb mieści się w granicach kategorii intensywnej akumulacji, jednak zawartość Pb w liściach sałaty mieści się w zalecanym zakresie wartości.

Wnioski

Z badań wynika, że zawartość badanych w liściach sałaty wskaźników chemicznych mieści się w zalecanych zakresach wartości.

Badania zrealizowano w ramach międzynarodowego projektu badawczego finansowanego przez NCBR (Projekt POLTUR3/Geo4Food/4/2019) i TÜBITAK (118Y490), 2019-2022.

Literatura

AeroFlo GHE. AeroFlo Hydroponic System GHE - https://www.terraaquatica.com/hydroponics-system/growstream-html/

Adamicki F., Nawrocka B., (red.), 2020. Metodyka integrowanej produkcji sałaty pod osłonami. Główny Inspektorat Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Warszawa, luty 2020.

FAO 2017. Water for sustainable food and agriculture. A report produced for the G20 Presidency of Germany. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. ISBN 978-92-5-109977-3.

U.S. Department of Agriculture. Food Database Central. Lettuce, Green Leaves, Raw. https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/ food-details/169249/nutrients

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1999. Biogeochemistry of Trace Elements (PWN Scientifc Publisher, Warsaw).

Langelier W.F., 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment. Journal American Water Works Association, vol 28 (10), s. 1500–1521.

Ryznar J.W., 1944. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. Journal American Water Works Association, vol 36 (4), s. 472–483.

Taghipour H., Mosaferi M., 2013. Heavy metals in the vegetables collected from production Sites. Health Promotion Persp., vol. 3 (2), s. 185–193, doi: 10.5681/hpp.2013.022.

Hamid A. i in., 2016. Heavy metal contamination in vegetables. Soil and water and potential health risk assessment, Amerucan-Eurasian Journal of Agricultural & Environment Sciences, s. 786–794, doi: 10.5829/idosi.aejaes.2016.16.4.103149.

OCENA MOŻLIWOŚCI MAGAZYNOWANIA ENERGII CIEPLNEJ W POZIOMACH WODONOŚNYCH NA OBSZARZE POLSKI

Monika KONIECZYŃSKA[1], Małgorzata WOŹNICKA[1], Gérard LEMOINE[2], Maciej R. KŁONOWSKI[3]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; mkon@pgi.gov.pl*
[2]*Polskie Stowarzyszenie Geotermiczne*
[3]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Dolnośląski*

Słowa kluczowe: energia cieplna**,** podziemne magazyny ciepła i chłodu, warstwy wodonośne

Wstęp

Wraz z intensywnym rozwojem technologii mających na celu pozyskanie i powszechne udostępnienie odnawialnych źródeł energii, kluczowym zagadnieniem staje się możliwość efektywnego magazynowania energii cieplnej. Sezonowe magazynowania energii cieplnej (*ang. STES – Seasonal Thermal Energy Storage*) pozwala wyrównać krzywą zapotrzebowania na moc grzewczą oraz chłodniczą. Energia zgromadzona dzięki kolektorom słonecznym, ciepło odpadowe z procesów przemysłowych lub instalacji wentylacyjnych, może zostać zmagazynowane w okresie letnim, a następnie wykorzystane w sezonie jesienno-zimowym do celów grzewczych. Odwrotnie, chłód pochodzący z zimowego powietrza może zostać zmagazynowany i wykorzystany w okresie letnim do chłodzenia pomieszczeń. Jednym z rozwiązań jest podziemne magazynowanie energii cieplnej w formacjach geologicznych (ang. *UTES – Underground Thermal Energy Storage*), w ramach którego szczególnej uwagi wymaga magazynowanie energii cieplnej w warstwach wodonośnych (ang. *ATES - Aquifer Thermal Energy Storage*). Takie systemy prawidłowo zaprojektowane i wykonane mogą być bardzo efektywne. Słowo „prawidłowo" jest tu jednak kluczowe i wskazuje na cały szereg działań obejmujących ocenę warunków hydrogeologicznych determinujących możliwość i sposób wykonania tego rodzaju instalacji, analizę zagrożeń środowiskowych związanych z działaniem takich systemów i dla działania takich systemów. To samo słowo w sposób naturalny wiąże zagadnienia techniczne ATES z aspektami formalno-prawnymi i potencjalnymi konfliktami pomiędzy magazynami energii w warstwach wodonośnych i tradycyjnym użytkowaniem wód podziemnych jako źródła wody, której zasoby muszą być w szczególny sposób chronione.

Cel badań

Celem badań projektu Państwowej Służby Geologicznej, prowadzonego wspólnie przez Państwowy Instytut Geologiczny-PIB, AGH i IGSMiE PAN jest ocena możliwości zastosowania w Polsce technologii magazynowania ciepła i chłodu w poziomach wodonośnych na podstawie kompleksowej analizy krajowych warunków geologicznych i hydrogeologicznych płytko występujących poziomów wodonośnych. Analizie poddane zostaną również uwarunkowania prawno-administracyjne procesu planowania, budowy i eksploatacji systemów pozyskania i magazynowania energii cieplnej z wykorzystaniem instalacji otwartych (ang. open-loop), tzn. takich, gdzie nośnikiem energii są wody podziemne wydobywane z warstwy wodonośnej i po oddaniu ciepła/chłodu na wymiennikach zatłaczane z powrotem do warstwy wodonośnej. Badania dotyczą wyłącznie magazynowania niskotemperaturowego ciepła i chłodu w zakresie od ok. 5°C do ok. 25°C i są realizowane dla obszaru całej Polski w zasięgu występowania poziomów wodonośnych, których strop znajduje się na głębokości nieprzekraczającej 200 m p.p.t.
Rozpoznanie potencjału naturalnego dla ciepłownictwa opartego na energii zgromadzonej i magazynowanej w warstwach wodonośnych oraz aspektów środowiskowych i formalno-prawnych takich instalacji, wpisuje się w cel nadrzędny jakim jest wsparcie rozwoju geotermii niskotemperaturowej w Polsce, w tym przede wszystkim wsparcie działań organów administracji rządowej i samorządowej oraz potencjalnych inwestorów. Komunikowanie wyników badań poprzez otwarty portal i aplikację internetową, jakie przewiduje projekt, będzie też miało charakter edukacyjny dla szerokiego grona odbiorców.

Materiały i metody

Realizowany projekt jest pierwszym tak szerokim spojrzeniem na potencjał magazynowania ciepła i chłodu w poziomach wodonośnych w Polsce. Ze względu na stosunkowo krótki czas realizacji (18 miesięcy) i to, że analizie poddany został obszar całego kraju, ocena potencjału energetycznego wykorzystania warstw wodonośnych siłą rzeczy wykonana zostanie w małej skali, pozwalającej raczej określić, gdzie można

prowadzić dalsze badania warunków pod małe, średnie lub duże instalacje energetyczne, a gdzie brak jest stosownych warunków przynajmniej w skali regionalnej. Wyniki analizy zostaną zaprezentowane na portalu https://geologia.pgi.gov.pl/ oraz w aplikacji mobilnej GeoLOG w postaci zwaloryzowanej mapy opartej na szerokiej bazie danych geologicznych i hydrogeologicznych pochodzących z różnych istniejących repozytoriów danych. Portal będzie też oferował bazę wiedzy w postaci słowników pojęć, definicji, opisów metodologii wykonanej waloryzacji oraz zaleceń co do sposobu przeprowadzenia szczegółowego rozpoznania warunków naturalnych dla projektowania systemów ciepłowniczych opartych na wykorzystaniu energii z wód podziemnych w połączeniu z magazynowaniem energii cieplnej.

Badania objęte projektem dotyczą zarówno systemów cyklicznych niskotemperaturowego magazynowania ciepła i chłodu w warstwie wodonośnej, jak i systemów pracujących w trybie ciągłym.

System cykliczny pracuje w oparciu o co najmniej jedną parę otworów udostępniających wytypowany poziom wodonośny, przy czym jeden z otworów pełni zawsze rolę otworu zimnego, służącego pozyskaniu/magazynowaniu chłodu, a drugi rolę otworu ciepłego – dla pozyskania/magazynowania ciepła. W sezonie letnim woda wydobywana z otworu zimnego odbiera ciepło z klimatyzowanego budynku i jest zatłaczana do otworu ciepłego, natomiast w sezonie zimowym następuje odwrócenie obiegu i woda z otworu ciepłego kierowana jest na wymiennik połączony ze sprężarkową pompą ciepła, skąd po oddaniu ciepła zatłoczona zostaje do otworu zimnego. Każdy z otworów jest zarazem otworem produkcyjnym, jak i chłonnym.

W systemie pracującym w trybie ciągłym każdy z otworów pełni ściśle określoną rolę – jest albo otworem produkcyjnym, albo chłonnym. Systemy takie mogą pracować w poziomach wodonośnych o wyższej naturalnej prędkości przepływu wody niż akceptowalna dla systemów cyklicznych. Systemy ciągłe pracują na niższej różnicy temperatur pomiędzy naturalną temperaturą warstwy wodonośnej a strefami wokół otworów produkcyjnych i chłonnych, przez co charakteryzują się mniejszą efektywnością energetyczną.

Prowadzone badania skupiają się na określeniu parametrów istotnych dla funkcjonowania systemów ATES w Polsce. Ilość energii, którą można zmagazynować w warstwie wodonośnej jest zależna od warunków lokalnych, takich jak ilość wody, możliwy zakres zmian temperatury, przewodność cieplna skały i prędkość przepływu wód podziemnych. Niekorzystny wpływ na efektywność i czas życia instalacji mogą mieć: niejednorodność składu chemicznego wód w obrębie magazynów, wysoka przewodność cieplna utworów otaczających eksploatowany poziom wodonośny, zbyt mała izolacja od różnego rodzaju wpływów z powierzchni terenu (zwłaszcza termicznych i chemicznych) i oczywiście błędy projektowe wynikające z niewystarczającego rozpoznania wszystkich istotnych parametrów środowiska gruntowo-wodnego.

Dla zobrazowania funkcjonowania magazynów energii w warstwach wodonośnych wykorzystane zostaną metody modelowania hydrodynamicznego i hydrotermicznego, zaś ocena ryzyka wynikającego z niekorzystnych parametrów geochemicznych lub niejednorodności chemizmu wód podziemnych wsparta będzie modelowaniem hydrochemicznym procesów mogących zachodzić w instalacjach ATES.

Analiza aspektów formalno-prawnych prowadzona jest we współpracy z licznym zespołem ekspertów z dziedziny prawa. Prace obejmują analizę prawa europejskiego oraz polskiego prawodawstwa i procedur administracyjnych pod kątem możliwości szeroko pojętego bezpieczeństwa oraz ułatwień projektowo-inwestycyjnych dla tworzenia i eksploatacji magazynów energii w poziomach wodonośnych. Wynikiem analiz ma być również wskazanie barier wynikających z obecnych przepisów i zaproponowanie zmian, tak, żeby inwestycje w magazynowanie energii w warstwach wodonośnych było możliwe w Polsce od strony formalno-prawnej. Pomóc mają w tym m.in. istniejące wzorce z krajów z wdrożoną technologią ATES.

Wyniki

Na obecnym etapie realizacji projektu zostały uzgodnione kryteria graniczne dla poziomów wodonośnych potencjalnie odpowiednich do tworzenia w nich magazynów energii cieplnej.

Warstwy szczelinowo-porowe i szczelinowe oraz systemy krasowe zostały wykluczone z dalszych analiz głównie ze względu na bardzo trudne określenie reżimu hydrodynamicznego w takich poziomach. Uznano, że warstwy takie mogą mieć zastosowanie dla instalacji opartych na systemach otwartych wykorzystujących naturalnie zgromadzoną energię cieplną w wodzie podziemnej, jednak ewentualne lokowanie w nich magazynów sezonowych musiałoby wiązać się z bardzo szczegółowymi badaniami i dedykowanym modelowaniem. Nie da się więc w skali całego kraju wskazać, które warstwy tych typów i gdzie mogą zostać potencjalnie wykorzystane jako magazyny energii.

Dla poziomów wodonośnych o charakterze porowym wartości parametrów granicznych dla ATES ustalone zostały dla minimalnej głębokość stropu warstwy wodonośnej, która wynosi 10 m p.p.t, miąższości poziomu

wodonośnego – co najmniej 10 m dla zwierciadła swobodnego i 5 m dla warstw o zwierciadle napiętym, wydajności potencjalnej pojedynczego otworu - nie mniej niż 10 m^3/h i przewodności hydraulicznej warstwy - co najmniej 100 m^2/d.

Bazując na danych z Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 (MHP) i z Centralnego Banku Danych Hydrogeologicznych (Bank HYDRO) wybrano te obszary kraju, w których występuje co najmniej jeden poziom wodonośny spełniający łącznie powyższe kryteria. Dalsze prace polegać będą na opracowaniu metodyki, która pozwoli na waloryzację tych obszarów pod względem potencjału dla zastosowania technologii ATES. Do waloryzacji wykorzystane zostaną ustalenia dotyczące wpływu naturalnej prędkości przepływu wód podziemnych na stabilność magazynów, zagrożeń dla pracy systemów ATES związanych z chemizmem wykorzystywanych jako nośnik energii wód, oddziaływań środowiskowych i ewentualnych ograniczeń formalno-prawnych.

Literatura

Bloemendal M., Olsthoorn T., van de Ven F., 2015. - Combining climatic and geo-hydrological preconditions as a method to determine world potential for aquifer thermal energy storage, Science of The Total Environment, vol 538, s. 621-633.

Bloemendal M., Jaxa-Rozen M., Olsthoorn T., 2018. Methods for planning of ATES systems. Applied Energy 2016 (2018), s. 534-557.

Garcia Gil A., Garrido Schneider E. A., Mejías Moreno M., Santamarta Cerezal J. C., 2022. Shallow Geothermal Energy. Theory and Applications. Springer Hydrogeology series, eBook ISBN 978-3-030-92258-0, https://doi.org/10.1007/978-3-030-92258-0.

Miecznik M., Skrzypczak R., 2019. - Initial assessment of the possibility of using ATES technology in Poland by low-temperature heat and cold consumers. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal. Volume 22. Issue 1: 39-58. DOI: 10.33223/epj/105366

Nordell B., Snijders A., Stiles A., 2015. The use of aquifers as thermal energy storage (TES) systems. Advances in Thermal Energy Storage System. 87-115. eBook ISBN: 9780128198889, https://doi.org/10.1533/9781782420965.1.87.

Ramos-Escudero A., Bloemendal M., 2022. Assessment of potential for Aquifer Thermal Energy Storage Systems for Spain. Sustainable Cities and Society, vol. 81, 103849. 1-18.

Stemmle R., Hammer V., Blum P., Menberg K, 2022. Potential of low-temperature aquifer thermal energy storage (LT-ATES) in Germany. Geothermal Energy. 2-25. https://doi.org/10.1186/s40517-022-00234-2.

BADANIA TEMPERATURY PŁYTKIEJ PARTII GÓROTWORU W OTWORACH WIERTNICZYCH (TERMOPIEZOMETRACH) W WYBRANYCH LOKALIZACJACH W POLSCE

Maciej R. KŁONOWSKI[1], Anna KRZONKALLA[1], Paweł BRYTAN[1], Linda CHUDZIK[1], Bolesław JUDEK[1], Tomasz GĄGULSKI[2], Małgorzata TOTT[2], Kamil PAWELEC[2], Kajetan WCZELIK[3], Przemysław WOJTASZEK[3], Jarosław ZAWŁOCKI[3]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Dolnośląski; maciej.klonowski@pgi.gov.pl*
[2] *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Karpacki*
[3] *Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*

Słowa kluczowe: termopiezometr, temperatura górotworu, właściwości termiczne górotworu, profilowania temperatury górotworu, geotermia niskiej entalpii

Wstęp

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB), w ramach realizacji zadania Państwowej Służby Geologicznej pn. „Ocena potencjału energetycznego i uwarunkowań środowiskowych dla wsparcia zrównoważonego rozwoju geotermii niskotemperaturowej”, wykonuje pomiary temperatury i badania właściwości termicznych płytkich partii górotworu w specjalnie do tego celu wykonanych otworach geologicznych nazywanych termopiezometrami. Obecnie trzy jednostki organizacyjne PIG-PIB zaangażowane są w realizację zadania. W niniejszym streszczeniu prezentowane są wyniki prac przeprowadzonych w latach 2021-2023.

Cel badań

Celem szczegółowym omawianych badań jest rozpoznanie reżimu temperaturowego górotworu w kontekście lokalnej budowy geologicznej, tektoniki i warunków hydrogeologicznych, a czasami także wpływów antropogenicznych, oraz dostarczenie danych do opracowywania Map Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej (MPGN) dla wybranych obszarów w Polsce. Nadrzędnym celem zadania Państwowej Służby Geologicznej jest wsparcie rozwoju i wykorzystania geotermii jako odnawialnego źródła energii.

Materiały i metody

Wiosną 2021 r., na podstawie zatwierdzonych projektów robót geologicznych, odwiercono pięć termopiezometrów w następujących miejscowościach: Bielsko-Biała, Budzów, Halinów, Wojcieszyce i Wrocław. Lokalizacje wybrano w różnych regionach Polski z powodu konieczności uwzględnienia odmiennych warunków naturalnych. W każdym otworze zabudowano otworowy wymiennik ciepła (OWC), tj. pojedynczą U-rurkę wypełnioną wodnym roztworem glikolu propylenowego, tzw. solanki. Termopiezometry nie służą do pozyskiwania energii cieplnej z górotworu i nie stanowią dolnych źródeł ciepła dla gruntowych pomp ciepła. Ich konstrukcja umożliwia prowadzenie punktowych pomiarów temperatury, profilowania temperaturowego i testów reakcji termicznej (TRT). U-rurka wykonana jest z dwóch odcinków rury PE o średnicy 40 mm połączonych na dole zgrzewaną mufą i stanowi hydrauliczny układ zamknięty. Końcówki wyprowadzone są do studzienki rewizyjnej i zamykane na zawory kulowe. Na jednej z rur zamontowany jest manometr. Średnica termopiezometrów wynosi 140 mm, a głębokość ostateczna ok. 99,5-99,9 m. Przestrzeń pomiędzy OWC, a ścianą każdego otworu na całej długości została wypełniona cementem o wysokim współczynniku przewodnictwa cieplnego tzw. termocementem. Cementacja ma na celu zamknięcie poziomów wodonośnych, uniemożliwienie mieszania się różnych typów wód i przemieszczania się płynów wzdłuż profilu otworu oraz migracji zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Głównym celem cementacji jest jednak zapewnienie jak najlepszego kontaktu termicznego pomiędzy roztworem w U-rurce, a górotworem (skałami i wodami podziemnymi).

Po zachowaniu kilkutygodniowej stójki w termopiezometrach w roku 2022 wykonano serię pomiarów testowych i wykonano testy TRT. Do profilowań temperatury w okresach: wiosna, lato, jesień i zima, przystąpiono w roku 2022. Początkowo wykorzystywano w tym celu termometry na taśmach mierniczych, jednak metoda ta ograniczała badania do pomiarów punktowych. Obecnie wykorzystywane są rejestratory temperatury i ciśnienia firmy Solinst umożliwiające pomiar o wysokiej rozdzielczości i dokładności.

Rezultaty

Wartości temperatury zmierzone we wszystkich otworach w roku 2022 wahały się w zakresie 5,20-15,92°C, odpowiednio dla zimy i lata. Ekstremalne wartości temperatury zanotowano w przypowierzchniowej strefie górotworu sięgającej do głębokości ok. 5 m p.p.t. Poniżej zaobserwowano tzw. strefę temperatur przejściowych, w której temperatura górotworu zbliżona jest do średniej temperatury rocznej powietrza atmosferycznego dla danej lokalizacji. W głębszej części profilu temperaturowego, dla większości badanych otworów, widoczny jest stały wzrost temperatury. Miąższości ww. stref różnią się w poszczególnych otworach.

Dyskusja wyników i podsumowanie

Wyniki pomiarów dla przypowierzchniowej partii górotworu wskazują na silny związek pomiędzy jego temperaturą, a warunkami klimatycznymi i pogodowymi, w tym głównie temperaturą powietrza atmosferycznego (Szewczyk, 2005; Banks, 2012). Istotną rolę może tu odgrywać również sposób zagospodarowania powierzchni terenu. Na większych głębokościach temperatura górotworu zależna jest od wartości gradientu geotermicznego (Plewa, 1994; Majorowicz i in., 2019). Należy podkreślić, że na kształt termogramów otrzymanych w wyniku przeprowadzonych badań, istotny wpływ mogą mieć różne czynniki geo- i antropogeniczne, m.in.: właściwości termiczne skał, np. przewodność termiczna, obecność poziomów wodonośnych, anomalie klimatyczne i obecność infrastruktury podziemnej.

Prowadzone przez PIG-PIB pomiary temperatury górotworu w termopiezometrach to badania pionierskie, które są przyczynkiem do rozwoju krajowej sieci obserwacyjno-badawczej. W najbliższych latach planowane jest odwiercenie kolejnych pięciu termopiezometrów w różnych regionach kraju, w tym na Dolnym Śląsku, Pomorzu, Podlasiu i Lubelszczyźnie.

Przedstawione badania są częścią zadania Państwowej Służby Geologicznej pn. „Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej Polski (MPGN) w skali 1:50 000. Etap I – zadanie ciągłe", które realizowane jest przez pracowników Państwowego Instytutu Geologicznego - Państwowego Instytutu Badawczego na podstawie zlecenia Ministerstwa Klimatu i Środowiska, a finansowane przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Literatura

Banks D., 2012. An Introduction to Thermogeology. Ground Source Heating and Cooling. 2nd edition, Wiley-Blackwell, Chichester.

Majorowicz J., Polkowski M., Grad M., 2019. Thermal properties of the crust and the lithosphere-atmosphere boundary in the area of Poland from the heat flow variability and seismic data, International Journal of Earth Sciences, 108: 649-672.

Plewa, S., 1994. Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków.

Szewczyk J., 2005. Wpływ zmian klimatycznych na temperaturę podpowierzchniową Ziemi, Przegląd Geologiczny, Volume 53, nr 1, ss. 77-86.

WSPOMAGANE SYSTEMY GEOTERMALNE – CZY W TYM JEST PRZYSZŁOŚĆ?

Anna SOWIŻDŻAŁ[1]

[1]*Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ); ansow@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: wspomagane systemy geotermalne, EGS, gorące suche skały, potencjał geotermalny

Wstęp

Wspomagane systemy geotermalne to tłumaczenie angielskiego pojęcia Enhanced Geothermal Systems, stosowanego na świecie do określania technologii pozyskiwania energii zakumulowanej na dużych głębokościach (powyżej 4 km) w skałach charakteryzujących się wysoki temperaturami (przekraczającymi 150°C) (Tester i in., 2006). Energia ta jest udostępniana poprzez sztuczne zwiększenie wydajności hydraulicznej zbiornika geotermalnego, a następnie wprowadzenie do zbiornika płynu roboczego przenoszącego energię do instalacji napowierzchniowej. Ze względu na konieczność szczelinowania zbiornika technologia ta niesie ze sobą wiele wyzwań, jednak umożliwia wykorzystanie energetyczne skał o niskiej przepuszczalności poprzez stymulację hydrauliczną, termiczną lub chemiczną (DiPippo. i in., 2016). Systemy te otwierają zatem nowe możliwości dla wykorzystania potencjału energetycznego skał, które ze względu na parametry petrofizyczne (niska porowatość i przepuszczalność) nie zawierają wystarczającej ilości wody, która stanowiłaby naturalny nośnik energii na powierzchnię, a tym samym nie są perspektywiczne w kontekście ich wykorzystania w systemach hydrogeotermalnych, Pomysł wykorzystania energii petrotermalnej zgromadzonej w gorących, zwartych skałach niezawierających wody powstał w 1970 roku w Stanach Zjednoczonych (Brown i in, 2012). W tym czasie opracowano koncepcję wykorzystania ciepła Ziemi we wspomaganych systemach geotermalnych poprzez sztuczne zwiększenie pojemności hydraulicznej zbiornika geotermalnego. Pomimo ogromnego potencjału zasobowego, technologia ta wdrażana jest powoli. Dotychczas na świecie działa kilkanaście instalacji EGS (Shyi-Min, 2018, Sowiżdżał i in., 2022a), a żadnej tego typu instalacji nie ma w Polsce.

Badania nad technologią wspomaganych systemów geotermalnych (EGS) w Polsce

W Polsce w ostatnich latach realizowane są prace badawcze zmierzające do rozpoznania potencjału dla zagospodarowania polskich zasobów gorących suchych skał. To zwrócenie uwagi na nową, perspektywiczną technologię, której zastosowanie mogłoby zwiększyć udział energii geotermalnej w bilansie energetycznym kraju. W latach 2010-2013 zrealizowano projekt badawczy *Ocena potencjału, bilansu cieplnego i perspektywicznych struktur geologicznych dla potrzeb zamkniętych systemów geotermicznych (Hot Dry Rocks) w Polsce* (Wójcicki i in. (red.), 2013), w którego rezultacie wskazano obszary perspektywiczne w Polsce dla tego typu systemów. Obecnie (2020-2024) realizowany jest projekt EnerGizerS (*Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu*), w którym polsko-norweskie konsorcjum prowadzi badania mające na celu analizę efektywności działania systemów EGS wykorzystujących dwutlenek węgla w stanie nadkrytycznym (sCO2) jako medium robocze. Prowadzone badania są ukierunkowane na identyfikację i szczegółową charakterystykę struktur geologicznych dla lokalizacji systemów CO_2-EGS w Polsce i Norwegii, łącząc wymagania technologii wspomaganych systemów geotermalnych (EGS) oraz sekwestracji CO_2 w skałach złożowych (CCS). Zespół badawczy z AGH w Krakowie prowadzi także badania w udziałem doktorantów dotyczące wielokryterialnej analizy cyklu życia instalacji geotermalnych, ze szczególnym uwzględnieniem wspomaganych systemów geotermalnych (Projekt IDUB).

Rezultaty

Rezultaty prac badawczych w zakresie wspomaganych systemów geotermalnych w Polsce można znaleźć w publikacjach (m.in. Sowiżdżał i in., 2021, 2022ab; Pająk i in, 2021; Gładysz i in. 2020 i in.), a wyniki projektu EnerGizerS także na stronie internetowej projektu – http://www.energizers.agh.edu.pl/.

Prace dotyczące projektu EnerGizerS zrealizowano w ramach polsko-norweskiego projektu: Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu, akronim EnerGizerS, numer rejestracyjny NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019 dofinansowanego z Funduszy Norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt z udziałem doktorantów to projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH.

Literatura

Brown D.W., Duchane D., Heiken G., Hriscu V.T., 2012. Mining the Earth's Heat: Hot Dry Rock Geothermal Energy; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, p. 657.

DiPippo i in., 2016. Geothermal Power Generation: Developments and Innovation. Woodhead Publishing Series in Energy. 1st Edition.

Gładysz P., Sowiżdżał A., Miecznik M., Pająk L., 2020. Carbon dioxide-enhanced geothermal systems for heat and electricity production: energy and economic analyses for central Poland, Energy Conversion and Management. ISSN 0196-8904. vol. 220, nr art. 113142, s. 1-17.

Moeck, I.S., 2014. Catalog of geothermal play types based on geologic controls. Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 37, s. 867–882.

Pająk L., Sowiżdżał A., Gładysz P., Tomaszewska B., Miecznik M., Andresen T., Frengstad B.S., Chmielowska A. 2021. Multi-Criteria Studies and Assessment Supporting the Selection of Locations and Technologies Used in CO2-EGS Systems. Energies, 14: 7683. https://doi.org/10.3390/en14227683.

Shyi-Min L., 2018. A global review of enhanced geothermal system (EGS), Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 81, s. 2902-2921.

Sowiżdżał A., Gładysz P., Andresen T., Miecznik M., Frengstad B.S., Liszka M., Chmielowska A., Gawron M., Løvseth S.W., Pająk L., Stenvik L.A., Tomaszewska B. 2021. CO2-Enhanced Geothermal Systems for Climate Neutral Energy Supply. TCCS-11 Trondheim Conference on CO_2-Capture, Transport and Storage, Trondheim, Norway, June 21-23, 2021.

Sowiżdżał A., Starczewska M., Papiernik B., 2022a. Future Technology Mix—Enhanced Geothermal System (EGS) and Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) - An Overview of Selected Projects as an Example for Future Investments in Poland. Energies, vol. 15 (10), 3505, https://doi.org/10.3390/en15103505.

Sowiżdżał A., Machowski G., Krzyżak A., Puskarczyk E., Krakowska-Madejska P., Chmielowska A., 2022b. Petrophysical evaluation of the Lower Permian formation as a potential reservoir for CO2 - EGS – case study from NW Poland; Journal of Cleaner Production ; ISSN 0959-6526, vol. 379 Pt. 2 art. no. 134768.

Tester J.W., Anderson B.J., Batchelor A.S., Blackwell D.D., Dipippo R., Drake E.M., Garnish J., Livesay B., Moore M.C., Nichols K., i in., 2006. The Future of Geothermal Energy Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. An Assessment by an MIT-Led Interdisciplinary Panel; Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA.

Wójcicki A., Sowiżdżał A., Bujakowski W. (red.), 2013. Ocena potencjału, bilansu cieplnego i perspektywicznych struktur geologicznych dla potrzeb zamkniętych systemów geotermicznych (Hot Dry Rocks) w Polsce. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA SPRĘŻARKOWYCH POMP CIEPŁA DUŻEJ MOCY (SPCDM) MARKI YORK – FIRMY JOHNSON CONTROLS (USA) W LOKALNYCH CIEPŁOWNICH GEOTERMALNYCH (MWt)

Jarosław MIRKOWICZ[1], Bartłomiej SZYMAŃSKI[2]

[1]*Johnson Controls International Sp. z o.o., Warszawa; jaroslaw.mirkowicz@jci.com*
[2]*Johnson Controls International Sp. z o.o., Warszawa; bartlomiej.szymanski@jci.com*

Słowa kluczowe: zasoby geotermalne, sprężarkowe pompy ciepła dużej mocy (SPCDM), ciepłownictwo sieciowe, miejskie systemy ciepłownicze, współczynnik sprawności Coefficient Of Performance COP

Wstęp

Wprowadzana w Unii Europejskiej strategia Zielonego Ładu mająca na celu osiągnięcie zerowej emisji gazów cieplarnianych netto do 2050 r. jest dużym wyzwaniem szczególnie dla energetyki cieplnej, opartej głównie na wykorzystaniu paliw kopalnych jako źródła energii. Jedną z możliwych dróg, pozwalających na radykalną redukcję negatywnej emisji jest zastosowanie jako źródła energii Odnawialnych Źródeł Energii (OZE), w tym w szczególności zasobów geotermalnych. Dzięki zastosowaniu urządzeń o wysokiej sprawności Coefficient Of Performance COP, najczęściej uzyskuje się także korzystną redukcję kosztów wytwarzania energii.

Cel opracowania

Celem opracowania jest przedstawienie praktycznych możliwości wykorzystania dużych zasobów energii geotermalnej w UE i Polsce, w ciepłowniach małych i dużych miast, zasilających lokalne sieci ciepłownicze. Aktualny stan nauki i techniki pozwala w pełni zastąpić spalanie na samowystarczalne energetycznie hybrydowe źródła dużej mocy (5-50MWt).

Materiały i metody

Zasoby geotermalne możliwe do wykorzystania w Europie, przedstawione na mapie (Fig.1), są stosunkowo dobrze rozpoznane. W wielu przypadkach ich lokalizacja pokrywa się z miejscami dobrze zurbanizowanymi, co ułatwia wykorzystanie tych źródeł właśnie w elektrociepłowniach do zasilania lokalnych sieci ciepłowniczych w małych i średnich miastach lub w dzielnicach większych miast (Berlin, Paryż, Bazylea, Wiedeń).

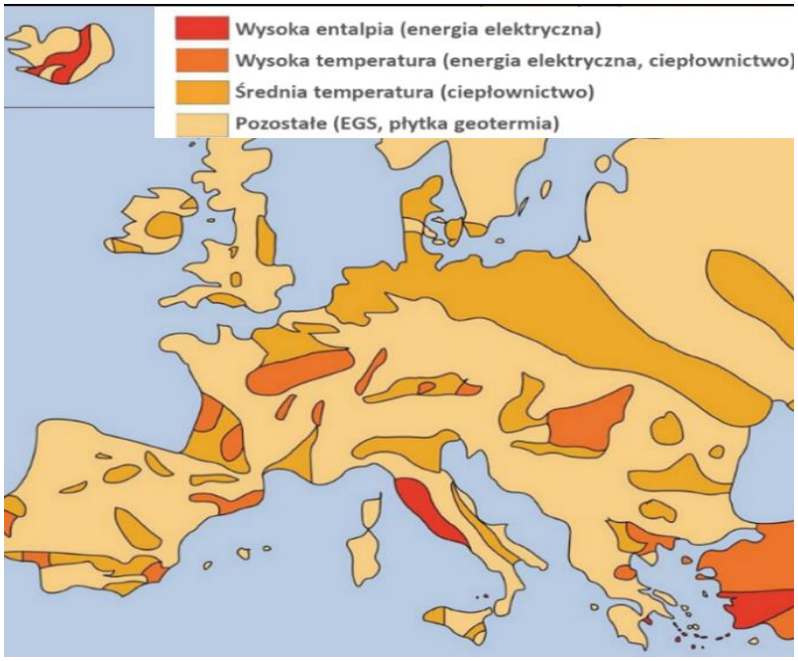


Fig. 1 *Mapa zasobów geotermalnych możliwych do wykorzystania w Europie (EGEC, 2009)*

Przy stosunkowo wysokich temperaturach zewnętrznych panujących w wielu regionach Europy w okresie grzewczym, temperatury wody uzyskiwane ze złóż geotermalnych umożliwiają ich bezpośrednie wykorzystywanie w ciepłownictwie. Natomiast w rejonach o niskich temperaturach zewnętrznych konieczne jest podwyższenie temperatury wody. W związku z powyższym niezbędne jest zastosowanie procesu termodynamicznego w celu podniesienia poziomu temperatury wody gorącej u odbiorcy (MPEC). Wszelkiego rodzaju kotły gazowe lub węglowe nie mogą tu mieć zastosowania, ze względu na dużą emisję CO_2 niedopuszczalną w założeniach strategii Zielonego Ładu. Dlatego za najkorzystniejsze rozwiązanie można uznać zastosowanie sprężarkowych pomp ciepła dużej mocy SPCDM, które z najwyższą sprawnością (Coefficient Of Performance COP= wynoszącą od 3 do 6) mogą osiągnąć temperatury grzania przekraczające 100°C (najnowsze rozwiązania techniczne, patenty polskie).

Rezultaty

Poniższe zdjęcia (Fig. 2) przedstawiają przykładową lokalną ciepłownię, we francuskiej miejscowości Villejuif, zlokalizowanej na południe od Paryża. Jest to jeden z wielu w Europie, przykład wykorzystania SPCDM produkcji amerykańskiej firmy Johnson Controls, wykorzystujący najnowsze technologie (Best Available Technologies BAT) w ciepłownictwie. Należy zwrócić uwagę na brak uciążliwości tego obiektu w stosunku do znajdujących się w bardzo małej odległości budynków mieszkalnych, który wynika właśnie z zastosowanego nieemisyjnego źródła energii cieplnej, jaką jest energia geotermalna.

Fig. 2. *Lokalna ciepłownia geotermalna we francuskiej miejscowości Villejuif (Johnson Controls International. 2023)*

Zastosowana jest tu wysokoefektywna sprężarkowa pompa ciepła dużej mocy typu YORK, o następujących parametrach:

Wydajność cieplna	-	4.5 MW
Dolne źródło geotermalne	-	55/34°C
Podgrzew wody gorącej	-	do 60°C w lato i do 85°C w zimie
Sprawność pracy COP	-	4,3

Wnioski

Pokazany powyżej pojedynczy przykład praktycznego zastosowania i opisane założenia użycia zasobów geotermalnych w ciepłownictwie, można z powodzeniem wykorzystać w małych, średnich i dużych miejscowościach zlokalizowanych w wybranych miejscach w Polsce, na terenach o korzystnej strukturze geotermalnej. Potwierdza to wieloletni dorobek naukowo-badawczy i wdrożeniowy Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Polska Geotermalna Asocjacja im. prof. J. Sokołowskiego w kształtowaniu i realizacji polityki energetycznej Polski 2004-2023.

Literatura

Johnson Controls International. 2023. Wewnętrzne materiały koncernu.

EGEC 2009. Heatroadmap.eu. Pan-European Thermal Atlas/ Heat Roadmap Europe 2050, European Geothermal Energy Council 2009, Geopower Europe 2009

WPŁYW GEOTERMALNYCH SYSTEMÓW CIEPŁOWNICZYCH NA JAKOŚĆ POWIETRZA W OBSZARACH ZURBANIZOWANYCH

Michał KACZMARCZYK[1], Marek HAJTO[1]

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ); mkz@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: jakość powietrza, emisja równoważna, systemy ciepłownicze

Wstęp

Energetyka geotermalna może odegrać znaczącą rolę w osiągnięciu celów polityki zrównoważonego rozwoju. W warunkach polskich, ze względu na udokumentowane zasoby geotermalne i ich potencjał energetyczny (Hajto, 2018), dotyczy to przede wszystkim sektora ciepłowniczego. Wykorzystanie energii geotermalnej jest szczególnie istotne w miastach i gminach, które borykają się z problemem złej jakości powietrza wynikającej z emisji produktów spalania do atmosfery, spowodowanej wykorzystaniem paliw stałych na cele grzewcze w gospodarstwach domowych (Kaczmarczyk, 2018; Kaczmarczyk i in., 2020). Sytuacja ta stanowi potencjał do implementacji rozwiązań energetycznych bazujących na wykorzystaniu zasobów geotermalnych, jako stabilnego i odnawialnego źródła energii. W tym kontekście modernizacja lub rozwój systemów ciepłowniczych w oparciu o źródło geotermalne, z uwzględnieniem przyłączenia nowych odbiorców, może być rozwiązaniem poprawiającym efektywność całego systemu w ujęciu energetycznym i środowiskowym. Określenie potencjalnych do osiągnięcia efektów ekologicznych w ujęciu liczbowym jest niezwykle istotne z punktu widzenia decyzyjności na poziomie regionalnym, krajowym i europejskim. Stanowi bowiem swoisty mechanizm wsparcia dla decydentów, a także pozwala na określenie precyzyjnych wskaźników osiągnięcia zakładanych celów.

Cel i metodyka badań

W powyższym kontekście zasadne jest wykorzystanie metodyki opartej o obliczenie emisji równoważnej, zakładając że rozkład zanieczyszczeń powietrza tworzy tzw. tło regionalne, a anomalie lokalne związane są głównie z warunkami lokalnymi wynikającymi z obecności i wielkości źródeł emisji oraz nakładającymi się warunkami topograficznymi i klimatycznymi (Wierzbińska, 2017; Godłowska, 2019; Hajto i Kaczmarczyk, 2022). W celu zbadania słuszności postawionej tezy, przeprowadzono analizę łączącą określenie potencjału geotermalnego z możliwymi do uzyskania efektami ekologicznymi. Na wstępie wybrano 43 miasta położone w centralnej Polsce, dla których podstawowym kryterium warunkującym wybór była lokalizacja w zasięgu obszaru o potwierdzonych, korzystnych warunkach geologicznych i termicznych, wskazujących na możliwości wykorzystania głębokich zasobów geotermalnych do celów grzewczych (Hajto i Górecki, 2008; Wiktorowicz, 2011; Kępińska (red.), 2017; Hałaj i Kępińska, 2019; Sowiżdżał i in., 2020). Drugi etap prac dotyczył inwentaryzacji lokalnego rynku ciepła w celu wstępnego określenia technicznych możliwości uruchomienia lub rozbudowy sieci ciepłowniczej wykorzystującej energię geotermalną. W trzecim etapie pozyskano i zinterpretowano dane Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska o stanie zanieczyszczenia powietrza w Polsce. W ramach analizy jakości danych wykonano obliczenia emisji równoważnej dla rozważanych lokalizacji (Z_rSO_2 [µg/m^3]), co przy założeniu braku emisji substancji zanieczyszczających na etapie eksploatacji ciepłowni geotermalnej, pozwoliło na określenie potencjalnych efektów ekologicznych, w ujęciu liczbowym (Z_rSO_2 Reduction [Mg/rok]).

Rezultaty i wnioski

Wyniki przeprowadzonej analizy, w odniesieniu do wybranych lokalizacji oraz emisji Z_rSO_2 i Z_rSO_2 Reduction przedstawione zostały na figurze 1. Biorąc pod uwagę średnią wartość emisji równoważnej dla rozpatrywanych lokalizacji, która wyniosła 65 194 µg/m^3, można zauważyć, że w 20 lokalizacjach (46,5%) wartości przekraczają wartość średnią, natomiast 23 (43,5%) z nich charakteryzuje się wartościami niższymi od średniej. Obserwując wyniki można precyzyjnie wskazać miejsca, w których jakość powietrza jest najgorsza, a możliwości ograniczenia emisji są stosunkowo największe. Są to Kcynia (105 095 µg/m^3 i 243 672 Mg/rok), Golub-Dobrzyń (90 864 µg/m^3 i 230 784 Mg/rok), Bieżuń (104 053 µg/m^3 i 202 277 Mg/rok), a także Stryków (112 460 µg/m^3 i 195 677 Mg/rok).

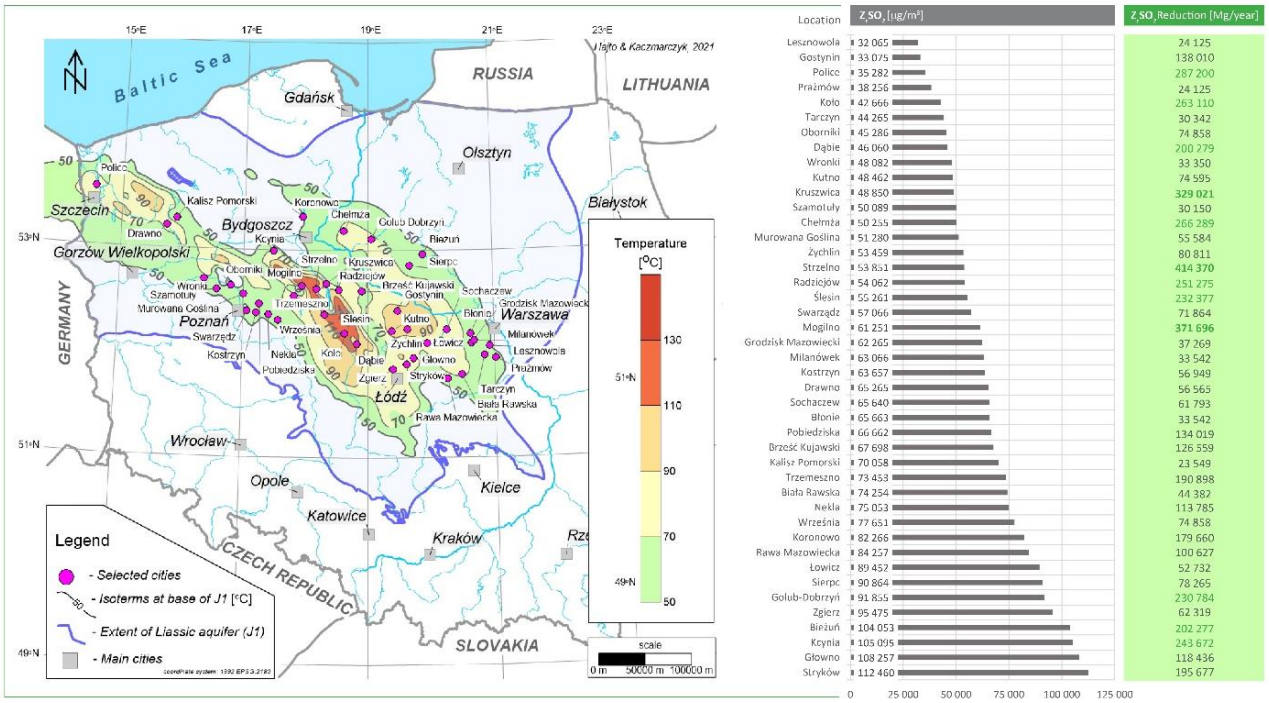


Fig. 1. *Wyniki analizy emisji równoważnej produktów spalania do atmosfery oraz potencjału jej redukcji w odniesieniu do wybranych lokalizacji oraz emisji równoważnej Z_rSO_2 oraz Z_rSO_2 Reduction (na podstawie Szewczyk i Hajto, 2006; Hajto i Kaczmarczyk, 2022).*

W kontekście uzyskanych wyników istotne jest zaplanowanie konkretnych działań na rzecz poprawy jakości środowiska i zwiększenia efektywności energetycznej w regionie. Metodologia przedstawiona w artykule może uzupełnić wiedzę o jakości powietrza na poziomie regionalnym, szczególnie w lokalizacjach, w których nie prowadzi się pomiarów jakości powietrza w sposób ciągły. Z pewnością wyzwaniem na przyszłość jest uwzględnienie w tej metodologii wpływu warunków topograficznych oraz meteorologicznych, co umożliwi dokładniejsze obliczenia, a dalsze prace należy skierować w stronę bardziej rozbudowanych modeli numerycznych. Jednakże na tym etapie zaawansowania, mając świadomość dalszych wyzwań, można stwierdzić, że zaproponowana metodologia wnosi wartość dodaną dla decydentów i interesariuszy w zrozumieniu stanu jakości lokalnego powietrza (Kaczmarczyk, 2018; Hajto i Kaczmarczyk, 2022).

Literatura

Godłowska J., 2019. Influence of meteorological conditions on air quality in Krakow. Comparative research and an attempt at a model approach. A series of Scientific and Research Publications of the Institute of Meteorology and Water Management-National Research Institute. Institute of Meteorology and Water Management-National Research Institute. ISBN: 978-83-64979-29-3.

Hajto M., Górecki W., 2008. Prospective localizations of new geothermal projects in the background of geothermal energy resources distribution in the Polish Lowlands. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 47, 252, s. 151-160.

Hałaj E., Kępińska B., 2019. Conjunctive uses of the geothermal water resources from lower cretaceous formations in the Mogilno–Łódź Trough, Poland. Sustain. Water Resour. Manag., vol. 5, s. 1479–1494.

Hajto M., 2018. Geothermal potential of Poland and the possibility of adapting the UNFC-2009 international classification of geothermal resources. Nafta-Gaz, LXXIV, nr 12/2018.

Hajto M., Kaczmarczyk M., 2022. The potential to improve air quality by increasing the use of deep geothermal energy. Geology, Geophysics & Environment. vol. 48 (2), s. 147–175.

Kaczmarczyk M., 2018. Potential of existing and newly designed geothermal heating plants in limiting of low emissions in Poland. E3S Web Conf. 44: 62.

Kaczmarczyk M., Sowiżdżał A., Tomaszewska B., 2020. Energetic and environmental aspects of individual heat generation for sustainable development at a local scale – A case study from Poland. Energies. 13: 454.

Kępińska, B. (red.), 2017. Geothermal energy – a basis for low-emission space heating improving living conditions and sustainable development – preliminary studies for selected areas in Poland Study Visits. Report 2017.

Sowiżdżał A., Hajto M., Hałaj E., 2020. Thermal waters of central Poland: a case study from Mogilno-Łódź Trough, Poland. Environ Earth Sci., vol. 79: 112.

Szewczyk J., Hajto M., 2006. Strumień cieplny a temperatury wgłębne na obszarze Niżu Polskiego. [W:] Górecki W. (red.), Hajto M., i in. 2006. Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Ministerstwo Środowiska, NFOŚiGW w Warszawie. ISBN 978-83-88927-13-3, s. 484.

Wierzbińska, M., 2017. Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń emitowanych z emitorów punktowych. Ecol. Eng. 18, 199–209.

Wiktorowicz, B., 2011. Occurrence of thermal waters of the basin of Lódź. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia, Zrównoważony Rozwój. 1–2.

PROPONOWANE PRZYKŁADY ZAMIANY SPALANIA KOPALIN NA WYSOKOWYDAJNE I EFEKTYWNE ENERGETYCZNIE GEOTERMALNE SYSTEMY CIEPŁOWNICZE GMIN POLSKI Z WYKORZYSTANIEM LOKALNYCH OZE

Mieczysław STRUŚ[1], Jacek ZIMNY[2], Krzysztof SZCZOTKA[3], Jakub SZYMICZEK[3]

[1]*Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Katedra Inżynierii Konwersji Energii; mieczyslaw.strus@pwr.edu.pl*
[2]*Polska Geotermalna Asocjacja im. prof. J. Sokołowskiego*
[3]*AGH Akademia Górniczo Hutnicza (WIMiR)*

Słowa kluczowe: zasoby geotermalne, sprężarkowe pompy ciepła dużej mocy, ciepłownictwo sieciowe

Wstęp

Postępujące zmiany klimatyczne wymagają podjęcia kroków mających na celu ich przeciwdziałaniu, jednym z obszarów takiego działania jest zamiana sieciowego ogrzewnictwa wykorzystującego paliwa kopalne na systemy wykorzystujące odnawialne źródła energii. Dla ogrzewnictwa jednym z najlepszych źródeł energii są zasoby geotermalne. Wykorzystanie ich w miejskich ciepłowniach pozwala nawet na całkowite odejście od spalania paliw kopalnych. Oprócz rezygnacji ze spalania i zmniejszenia emisyjności dwutlenku węgla i innych zanieczyszczeń, systemy geotermalne pozwalają również na ograniczenie kosztów wytwarzania energii, co w obecnej sytuacji światowej i politycznej jest niemniej ważnym zagadnieniem.

Cel i metody badań

Celem badań jest przedstawienie i analiza realizowanych projektów modernizacji systemów ciepłowniczych wykorzystujących zasoby geotermalne. W przedstawionych przypadkach odbiór ciepła jest wspomagany przez system sprężarkowych pomp ciepła dużej mocy pozwalający na zwiększenie wykorzystania zasobów geotermalnych.

Przedstawione materiały zostały opracowane na podstawie dokumentów projektowych: „Oceny zasobów energetycznych wód geotermalnych…" oraz „Projektów Robót Geologicznych" przygotowanych dla gmin zainteresowanych wykorzystaniem zasobów geotermalnych i będących w trakcie realizacji projektów geotermalnych.

Rezultaty

Przeprowadzone badania i ekspertyzy skutkują opracowaniem przekrojów geologicznych wraz z potencjalnymi możliwościami wykorzystania zasobów geotermalnych w analizowanych lokalizacjach (Nowy Tomyśl, Oława). W obu przypadkach planowane jest wydobycie niskotemperaturowych zasobów geotermalnych, które dla wykorzystania w systemie ciepłowniczym wymagają wspomagania odbioru ciepła przez sprężarkowe pompy ciepła dużej mocy. Oba analizowane miasta mają rozbudowaną sieć ciepłowniczą zasilaną paliwami kopalnymi. Wykorzystanie energii geotermalnej pozwoli w ich wypadku na obniżenie kosztów wytwarzania ciepła i zwiększenia wykorzystania odnawialnych źródeł energii w systemach.

Figura 1 przedstawia przekroje geologiczne analizowanych lokalizacji. W obu przypadkach najbardziej perspektywiczny zbiornik geotermalny jest związany z zasobami triasu dolnego. W przypadku Oławy jego strop znajduje się na głębokości 820 m p.p.t., natomiast w przypadku Nowego Tomyśla na głębokości 1500 m p.p.t. Ze względu na niskie głębokości zbiorników osiągane temperatury wynoszą odpowiednio 65°C i 31°C.

Są to zbyt niskie wartości dla umożliwienia zasilania sieci ciepłowniczej. Dla wykorzystania wód termalnych wykorzystane zostaną sprężarkowe pompy ciepła dużej mocy o współczynniku COP odpowiednio 3,5 dla Oławy i 5,1 dla Nowego Tomyśla. Zastosowanie zabiegów intensyfikacji wypływu (kwasowanie, szczelinowanie) w obu odwiertach pozwoli na zwiększenie wypływu wód termalnych i uzyskanie mocy cieplnej systemu wynoszącej odpowiednio 4,07 MWt oraz 13,04 MWt.

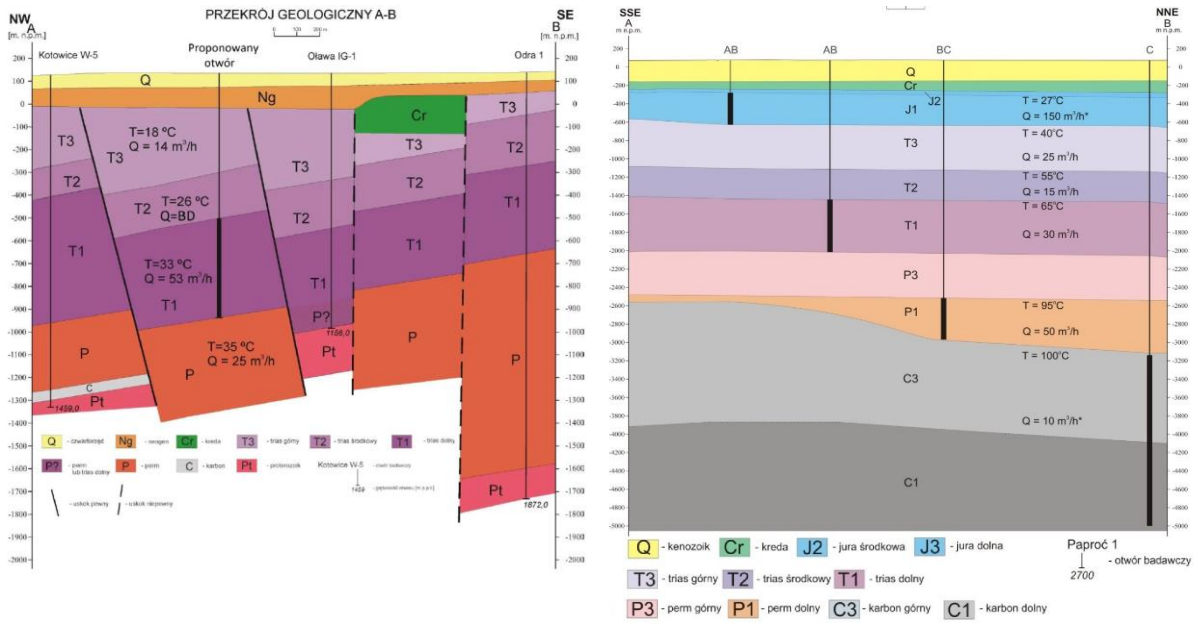


Fig. 1. *Przekroje geologiczne lokalizacji realizowanych projektów w Oławie i Nowym Tomyślu.*

Tabela 1. *Parametry zbiorników geotermalnych w analizowanych lokalizacjach*

Startygrafia zbiornika	Głębokość zbiornika [m p.p.m.]		Parametry zbiornika				Średnia moc termiczna dubletu [MWt]	
			Średnia wydajność dubletu [m^3/h]		Średnia temp. wód termalnych [°C]			
	Nowy Tomyśl	Oława	Nowy Tomyśl	Oława	Nowy Tomyśl	Oława	Nowy Tomyśl	Oława
Jura dolna	200-500	-	150	-	25	-	0,90	-
Trias środ.	-	-485	-	10**	-	26	-	0,19
Trias dolny	1500-1700	-820	30 (85)*	53 (530)*	65	31	1,62 (4,07)*	1,30 (13,04)*
Perm dolny	2500-2750	-1020	60	25	90 – 100	36	4,20	0,77
Karbon	2600-5000	-	BD (10)**	-	110 – 165	-	1,08	-

Literatura

Zimny J., Struś M., Szymiczek J., Szczotka K., Michalak P. 2022. Analiza techniczna i ekonomiczna wykorzystania ciepła geotermalnego w MZEC Oława. Rynek Energii, 2022 nr 5, s. 31–39.

Zimny J., Struś M., Kowalski W., Szymiczek J., Szczotka K., Michalak P Możliwości wykorzystania energii geotermalnej w Wielkopolsce - modernizacja systemu ciepłowniczego Nowego Tomyśla. Rynek Energii, 2021 nr 1, s. 26-37.

Górecki W. (red.), 2006a. Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, 2006. ISBN: 83-88927-12-2.

Górecki W. (red.), 2006b. Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, 2006. ISBN 83-88927-14-0.

MONITORING I MODELOWANIE NUMERYCZNE JAKO KOMPLEMENTARNE NARZĘDZIA RACJONALNEJ GOSPODARKI ZASOBAMI GEOTERMALNYMI

Tomasz GĄGULSKI[1], Maciej MIECZNIK[2], Jakub SOKOŁOWSKI[3], Beata KĘPIŃSKA[2]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Karpacki; tomasz.gagulski@pgi.gov.pl*
[2]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*
[3]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa*

Słowa kluczowe: wody geotermalne, monitoring, zbiorniki geotermalne, racjonalna gospodarka, modelowanie numeryczne, zasoby geotermalne

Wstęp

Monitoring wód podziemnych jest jednym z najważniejszych narzędzi stosowanych w badaniach hydrogeologicznych. Celem jego prowadzenia jest dostarczanie danych do badań niezbędnych zarówno dla oceny wpływów środowiskowych, jak i oddziaływania antropopresji na stan ilościowy i jakościowy wód podziemnych. Ogólnokrajowy monitoring zwykłych wód podziemnych, wprowadzony ustawą Prawo Wodne, jest realizowany przez państwową służbę geologiczną (psg) jako jedno z zadań Państwa w zakresie gospodarki i ochrony zasobów wodnych. Do wód geotermalnych, z racji zaliczenia ich do kopalin, nie stosuje się przepisów Prawa Wodnego, a zatem nie są one objęte państwową siecią obserwacji stacjonarnych, co może utrudniać racjonalne gospodarowanie ich zasobami. Równie istotnym narzędziem dla zrównoważonego zarządzania zasobami geotermalnymi są modele numeryczne zbiorników geotermalnych, pozwalające m.in. na wielowariantową symulację wydobycia, a w efekcie umożliwiające prognozowanie ewentualnych zagrożeń np. stanu ilościowego wód geotermalnych. Brak ze strony Państwa stałego monitoringu złóż wód geotermalnych objętych własnością górniczą, a także brak numerycznych modeli zbiorników geotermalnych sprawiają, iż w praktyce nie ma narzędzi do efektywnego zarządzania zasobami geotermalnymi, niezbędnych w warunkach wciąż rosnącego zainteresowania geotermią. Problem ten został dostrzeżony przez Ministra Klimatu i Środowiska, który zlecił jednostkom naukowo-badawczym realizację projektów zmierzających do usprawnienia zarządzania zasobami geotermalnymi w zbiornikach niskotemperaturowych w Polsce. W 2022 r. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB (PIG-PIB) opracował *„Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania”* (Sokołowski i in., 2022) prezentujący ideę utworzenia monitoringu wód geotermalnych, leczniczych i solanek. W tym samym roku Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (IGSMiE PAN) przystąpił do realizacji projektu *„Optymalne zarządzanie niskotemperaturowymi złożami geotermalnymi – współpraca polsko-islandzka w zakresie modelowania złóż (akronim GeoModel)”*. Oba projekty wzajemnie się uzupełniają, bowiem jednym z podstawowych ograniczeń w konstrukcji wiarygodnych modeli numerycznych jest brak odpowiednich danych do ich budowy i kalibracji. Wdrożenie monitoringu wód geotermalnych rozwiązywałoby problem dostępu do rzetelnych wyników obserwacji stacjonarnych wód geotermalnych. Tym bardziej, że jednym z celów projektu *GeoModel*, oprócz wykonania odpowiednich narzędzi numerycznych, jest promowanie zalet regularnego i skrupulatnego monitorowania zasobów geotermalnych.

Koncepcja monitoringu wód geotermalnych

Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) definiuje wody podziemne jako zbiorowisko wszystkich wód znajdujących się pod powierzchnią ziemi, bez względu na ich właściwości fizyczno-chemiczne i proponuje łączne ich traktowanie w aspekcie procedur zarządzania zasobami wodnymi i ich ochrony, w tym objęcie ich monitoringiem, analizą zagrożenia i oceną stanu (Woźnicka, Sadurski, 2020). Aktualne wyłączenie wód geotermalnych, a także wód leczniczych i solanek, spod zapisów Prawa Wodnego, implementującego na grunt krajowy RDW, skutkuje pominięciem tych wód w krajowej sieci monitoringu. Fakt ten legł u podstaw realizacji *„Programu…”*, będącego *de facto* projektem (koncepcją) organizacji i zasad funkcjonowania sieci monitoringu wód podziemnych zaliczonych do kopalin, w tym wód geotermalnych. Brak takiego monitoringu jest już odczuwalny, a w przyszłości stanie się jeszcze bardziej zauważalny z uwagi na obserwowany w ostatnich latach dynamiczny wzrost wydobycia wód geotermalnych (Sokołowski, 2021). Przygotowana koncepcja określa cele strategiczne monitoringu oraz przedstawia ogólne zasady i wskazania do organizacji sieci obserwacyjnej. Zawiera także propozycje kierunków działań formalno-prawnych zmierzających do jej

utworzenia. Za kluczowe elementy omawianej koncepcji uznać należy kwestię pozyskania danych oraz procedury i metodyki prowadzenia pomiarów i badań.

Przeprowadzone przez dra M. Kłonowskiego (2021) w wybranych krajach europejskich badania ankietowe dotyczące uwarunkowań formalno-prawnych i środowiskowych wydobywania wód będących odpowiednikiem wód określonych w Polsce jako lecznicze, termalne i solanki, wykazały, że formalne uznanie wód geotermalnych za kopaliny, tak jak ma to miejsce w Polsce, nie jest powszechne, a największa ilość regulacji odnośnie tego rodzaju wód wynika z dziedziny prawa dotyczącego wód podziemnych i powierzchniowych, nie geologii. W większości ankietowanych krajów wody geotermalne są przedmiotem monitoringu, lecz na ogół nie istnieje jednolita krajowa sieć obserwacyjno-pomiarowa. Okazało się jednak, iż społeczna świadomość potrzeby ochrony wód geotermalnych, odpowiedniego zarządzania ich zasobami i monitoringu, nie jest powszechna, mimo, że w przeważającej części ankietowanych krajów, w przeciągu ostatniej dekady rynek wód geotermalnych cechował się ewidentną tendencją wzrostową wielkości wydobycia. W celu poprawy sytuacji w większości państw opracowano na szczeblu krajowym strategie ochrony zasobów wód geotermalnych. Koncepcja monitoringu przygotowana przez PIG-PIB, z uwagi na określone w niej kierunki przyszłych działań w zakresie ochrony zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin, może pełnić rolę odpowiednika takiej strategii w Polsce.

Praktyka pokazuje, iż czas potrzebny na uruchomienie sieci obserwacyjnej liczony od momentu opracowania koncepcji, wynosi co najmniej kilka lat. Dlatego też w ramach *„Programu…”* zaproponowano realizację szeregu zadań poprzedzających właściwą organizację monitoringu, z których do najważniejszych należy zaliczyć opracowanie modeli koncepcyjnych złóż. Są one niezbędne w celu właściwej lokalizacji punktów obserwacyjnych sieci i monitorowania systemu krążenia wód podziemnych w poszczególnych złożach (Przybyłek, Hermanowski, 2016). Modele koncepcyjne stanowią podstawę modeli numerycznych, co jest jednym ze wspólnych elementów koncepcji monitoringu i projektu *„GeoModel”*.

Projekt GeoModel

Zasadniczym celem projektu GeoModel jest podniesienie jakości zarządzania niskotemperaturowymi zasobami geotermalnymi, poprzez ułatwienie dostępu do odpowiednich narzędzi modelowania złożowego oraz promowanie zalet wynikających z regularnego i skrupulatnego prowadzenia monitoringu zasobów. Narzędzia te, do kalibracji modelu potrzebują wysokiej jakości zapisów historycznych pomiarów z możliwie jak najdłuższego przedziału czasu – zwłaszcza ciśnienia / poziomu zwierciadła wód w otworach oraz wydajności ich poboru lub zatłaczania. Do celów kalibracji modeli użyteczne są też zapisy temperatury eksploatowanych wód oraz obserwacje zmian ich składu chemicznego. Odbiorcy projektu GeoModel będą zatem jednymi z głównym beneficjentów wdrożenia *„Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania”.*

Projekt GeoModel jest realizowany od stycznia 2023 r. jako projekt bilateralny pomiędzy Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN oraz islandzką służbą geologiczną (*Íslenskar orkurannsóknir, ang. Iceland GeoSurvey*, ÍSOR). W ramach projektu przewidziany jest rozwój 2 narzędzi służących prognozowaniu warunków eksploatacji:

- LUMPFIT: program ten poprzez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego (dopasowanie modelu systemu geotermalnego do danych obserwacyjnych) pozwala na kalibrację modelu, a następnie wykonanie prognoz dalszej eksploatacji (zmiany ciśnienia lub położenia zwierciadła wody w funkcji wydajności i czasu). Program Lumpfit jest programem o parametrach skupionych (ang. lumped parameter model). Nowa wersja programu będzie pozwalała na indywidualną reprezentację każdego otworu w systemie geotermalnym, dzięki czemu będzie możliwa jeszcze bardziej precyzyjna kalibracja modelu oraz tworzenie jeszcze bardziej wiarygodnych prognoz dalszej eksploatacji.
- WAIWERA: jest to program typu open-source, opracowany przez Geothermal Institute, University of Auckland (NZ) w celu tworzenia rozbudowanych modeli przestrzennych (3D) do kompleksowego obrazowania systemu geotermalnego oraz symulowania reakcji złoża podczas prowadzenia eksploatacji. Jako że jest to program do tworzenia modeli przestrzennych, w celu jego kalibracji wymagany jest rozkład przestrzenny parametrów złożowych oraz historia monitoringu analizowanego złoża. W ramach projektu GeoModel planujemy rozszerzyć możliwości projektu Waiwera tworząc integralne bądź niezależne od niego komponenty:
  - opracowanie nowego równania stanu dla wód silnie zmineralizowanych;
  - opracowanie skryptu służącego eliminacji wpływu wygrzewania otworu z danych obserwacyjnych;

- opracowanie skryptu służącego do wyznaczania parametrów fizycznych płynu podczas eksploatacji otworem wiertniczym;
- opracowanie algorytmu ułatwiającego w sposób zautomatyzowany lokalizację nowych otworów geotermalnych.

Opracowane narzędzia zostaną przetestowane na danych rzeczywistych, pochodzących z monitoringu wybranych niskotemperaturowych systemów geotermalnych w Polsce i Islandii. Dane te posłużą do sprawdzenia, czy opracowane narzędzia informatyczne pozwalają na tworzenie wiarygodnych prognoz eksploatacji dla różnych charakterów zbiorników (zbiorniki o charakterze porowym, bądź szczelinowym), wypełnionych płynem o różnej mineralizacji (wodą nisko- bądź silnie zmineralizowaną), przy zróżnicowanym zakresie dostępnej informacji geologicznej oraz pomiarowej. Narzędzia opracowane w projekcie GeoModel mają za zadanie służyć operatorom systemów geotermalnych, inżynierom złożowym, naukowcom i studentom oraz administracji publicznej do właściwego zarządzania niskotemperaturowymi systemami geotermalnymi, przez co rozumie się utrzymywanie eksploatacji na optymalnym poziomie przy braku negatywnego oddziaływania na środowisko podziemne.

Podsumowanie

Niskotemperaturowe zasoby geotermalne są coraz częściej wykorzystywane w Polsce do celów grzewczych. Ograniczenie presji na środowisko naturalne poprzez redukcję emisji CO_2 wymaga zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w miksie energetycznym. Generuje to wzrost wydobycia wód geotermalnych oraz potrzebę udostępniania nowych złóż. Zasady prowadzenia racjonalnej gospodarki złożowej będą wymagać odpowiednich narzędzi, takich jak cyfrowe modele zbiorników geotermalnych i ich monitoring. Pozwolą one spojrzeć na złoża wód geotermalnych w nieco inny sposób niż ma to miejsce obecnie, gdzie są traktowane niejako w oderwaniu od otaczającego je układu hydrodynamicznego. Należy je rozpatrywać jako część systemów wodonośnych ze zidentyfikowanymi strefami zasilania, przepływu i drenażu, w których wody geotermalne mogą współwystępować ze zwykłymi wodami podziemnymi (np. niecka łódzka) lub solankami ascendującymi z głębokiego podłoża. Kompleksowa ocena zbiorników geotermalnych, nie tylko z punktu widzenia pozyskania z nich energii, ale przede wszystkim z punktu widzenia ochrony tych zasobów przed degradacją, przy jednoczesnym zabezpieczeniu potrzeb wszystkich użytkowników wód podziemnych, staje się więc koniecznością, zwłaszcza iż coraz większą popularność zdobywają inne formy zagospodarowania struktur geologicznych, w których występują wody geotermalne, takie jak podziemne składowanie CO_2 i magazynowanie węglowodorów, a w przyszłości być może także wodoru i energii. Cel ten może być zrealizowany przede wszystkim przez monitoring, ale również w obszarze badań podstawowych i interdyscyplinarnych. Taki właśnie synergiczny charakter mają oba omówione projekty, które wykazują nie tylko ścisłe powiązanie zakresu tematycznego i wiele wspólnych elementów (np. schematyzacja warunków hydrogeologicznych), ale także wzajemnie się uzupełniają. Wdrożenie monitoringu wód geotermalnych pozwoli na wykorzystanie jego wyników przy tworzeniu modeli numerycznych zbiorników geotermalnych, a te z kolei umożliwią optymalizację liczebności i przestrzennego rozlokowania punktów pomiarowych oraz minimalizację kosztów eksploatacji planowanej sieci monitoringowej. Wnioski płynące z ustaleń badań modelowych powinny stanowić podstawę do określenia potrzeb poszczególnych złóż wód geotermalnych względem monitoringu. Koncepcja monitoringu zakłada, iż kompleksowe gromadzenie, przetwarzanie i udostępnienia danych o stanie ilościowym i chemicznym wód geotermalnych powinno być kompetencją państwowej służby geologicznej. Zgromadzone, wiarygodne dane byłyby udostępniane na potrzeby projektów badawczych, np. projektu *„GeoModel”*. Ważne jest aby opracowane modele numeryczne były stale doskonalone w miarę postępu rozpoznania badanej struktury hydrogeologicznej, a to powinien umożliwić dobrze zaprojektowany monitoring, pozwalający m.in. na określenie zmian poziomu zwierciadła wody, zmian kierunków przepływu wód do ujęć, stwierdzenie nowych dróg krążenia oraz ingresji lub ascenzji wód z innych poziomów wodonośnych, a także przemian hydrogeochemicznych zachodzących w poziomie wodonośnym. Zintegrowana realizacja obu projektów przyczyni się do optymalnego wykorzystania zasobów energetycznych zbiorników geotermalnych i wyjdzie naprzeciw społecznej potrzebie szerszego udostępniania danych i narzędzi.

Opracowanie *„Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania”* powstało w okresie od 1 lipca 2017 r. do 30 kwietnia 2022 r. w ramach przedsięwzięcia pn. *„Zadania państwa wykonywane przez państwową służbę geologiczną w zakresie rozpoznania budowy geologicznej kraju dla ustalenia zasobów złóż kopalin i odnowienia bazy surowcowej realizowane od 2017 roku (pgg art. 162, ust. 1, pkt 1)”* na podstawie umowy zawartej pomiędzy Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

(NFOŚiGW) jako dotującym a PIG-PIB, jako beneficjentem i wykonawcą, pod nadzorem ministra właściwego do spraw środowiska.

Projekt *„Optymalne zarządzanie niskotemperaturowymi zbiornikami geotermalnymi – polsko-islandzka współpraca w zakresie modelowania złóż”*, akronim *GeoModel*, jest finansowany ze środków Funduszu Współpracy Dwustronnej Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego i Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 w ramach Programu Środowisko, Energia i Zmiany klimatu, umowa nr 2/UoD/FWD/MKiŚ/2022.

Literatura

Kłonowski M., 2021. Opracowanie wyników badań ankietowych. W: Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania. PIG-PIB, Warszawa.

Przybyłek J., Hermanowski P., 2016. Metodyczne i interpretacyjne wady modeli numerycznych – czyli nie taki model dobry, jak go malują. [W:] Witczak S., Żurek A. (red.). Praktyczne metody modelowania przepływu wód podziemnych. Wydaw. AGH, Kraków, 263-270.

Sokołowski J., 2021. Poszukiwanie i dokumentowanie złóż wód termalnych w Polsce w latach 2010-2020 w aspekcie rozpoznania warunków hydrogeologicznych głębokich systemów wodonośnych. Przegląd Geologiczny, 69, 594-603.

Sokołowski J., Sadurski A., Skrzypczyk L., Sosnowska M., Kłonowski M., Filippovits E., Stożek J., Lasek-Woroszkiewicz D., Gryszkiewicz I., Wrzosek A., Socha M., 2022. Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania. PIG-PIB, Warszawa.

Woźnicka M., Sadurski A., 2020. Wczoraj, dziś i jutro hydrogeologii w Państwowym Instytucie Geologicznym. Przegląd Geologiczny, 68, 338-344.

EFEKT TERMICZNY W OTWORACH GEOTERMALNYCH – WYKORZYSTANIE JĘZYKA PYTHON DO AUTOMATYZACJI OBLICZEŃ

Maciej MIECZNIK[1], Karol PIERZCHAŁA[1], Beata KĘPIŃSKA[1], Leszek PAJĄK[1], Bogusław BIELEC[1]

[1]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; miecznik@min-pan.krakow.pl*

Słowa kluczowe: efekt termiczny, wygrzewanie otworu, otwory geotermalne, kalibracja, projekt GeoModel

Wstęp

Interpretacja testów otworowych, bądź wieloletnich obserwacji z monitoringu parametrów głowicowych, jest niezwykle cennym narzędziem w prawidłowej ocenie zasobów geotermalnych. Pomimo korzystania z tych samych zależności opisujących hydraulikę przepływu wód geotermalnych jak w przypadku wód zwykłych lub ropy naftowej, to istotnym czynnikiem, który wprowadza pewną korektę do interpretacji otrzymanych wyników, jest wpływ temperatury na gęstość wody. Duże wahania temperatury wody lub solanki podczas pompowania otworu w znaczący sposób zaburzają odczyt rejestrowanych danych – poziom zwierciadła dynamicznego lub ciśnienia głowicowego. Częstokroć, wobec braku obserwacji oczekiwanych kształtów krzywych depresji lub odbudowy zwierciadła, uniemożliwia to poprawną interpretację testów hydrodynamicznych. Koniecznością wtedy jest wykorzystanie tylko części danych, które charakteryzują się odpowiednią jakością, co niestety przekłada się na mniejszą wiarygodność otrzymanej w rezultacie obliczeń przewodności hydraulicznej.

Cel badań

Rozwiązaniem większości z wymienionych we Wstępie problemów jest zastosowanie korekty efektu termicznego, dzięki czemu zastosowanie klasycznych równań dynamiki płynów z przemysłu naftowego / hydrogeologii jest w pełni uzasadnione. Niniejszy abstrakt przedstawia narzędzie opracowane w języku programowania Python o nazwie THERMALIFT CALC, który usprawnia obliczenia i generuje odpowiednio przefiltrowane dane oraz wykresy, które mogą zostać wykorzystane w dalszej interpretacji. W rezultacie otrzymuje się taki poziom zwierciadła dynamicznego lub ciśnienia głowicowego, który umożliwia poprawne oszacowanie przewodności hydraulicznej zbiornika geotermalnego. Omawiane narzędzie zostało opracowane w ramach projektu *„Optymalne zarządzanie niskotemperaturowymi zbiornikami geotermalnymi – polsko-islandzka współpraca w zakresie modelowania złóż”*, akronim GeoModel.

Materiały i metody

Efekt termicznego wygrzewania otworu geotermalnego w trakcie eksploatacji jest zjawiskiem znanym (Kawecki 1995, Bielec i Miecznik 2012, Miecznik 2017), choć niestety dość często zaniedbywanym. Wskutek rozszerzalności cieplnej wody wraz ze wzrostem temperatury, obserwuje się wyższy poziom zwierciadła lub wyższą wartość ciśnienia głowicowego niż w przypadku, gdyby efekt ten nie zachodził. Obserwuje się zatem mniejszą depresję niż w sytuacji gdy ten efekt nie zachodzi, a mimo to, do interpretacji testów hydrodynamicznych stosuje się równania dla wód zwykłych. W rezultacie interpretacji tak zaburzonego odczytu, otrzymuje się wyższą przewodność hydrauliczną zbiornika niż jest w rzeczywistości. W skrajnych przypadkach może to prowadzić do nadmiernej eksploatacji zasobów, a zwłaszcza znaczącego spadku ciśnienia złożowego.

Na figurze 1 zaprezentowano rozkład temperatury w otworze w warunkach statycznych oraz w trakcie pompowania. W warunkach statycznych, rozkład temperatury w otworze jest tożsamy z rozkładem temperatury w górotworze. Oznacza to, że słup wody w otworze stojącym może charakteryzować się dużą zmiennością gęstości. W trakcie pompowania następuje stopniowe wygrzewanie otworu. Temperatura na głowicy jest tym bardziej zbliżona do temperatury dennej im dłużej trwa wydobycie lub im wyższy jest strumień eksploatowanego płynu. Różnica gęstości słupa wody w pompowanym otworze jest niewielka.

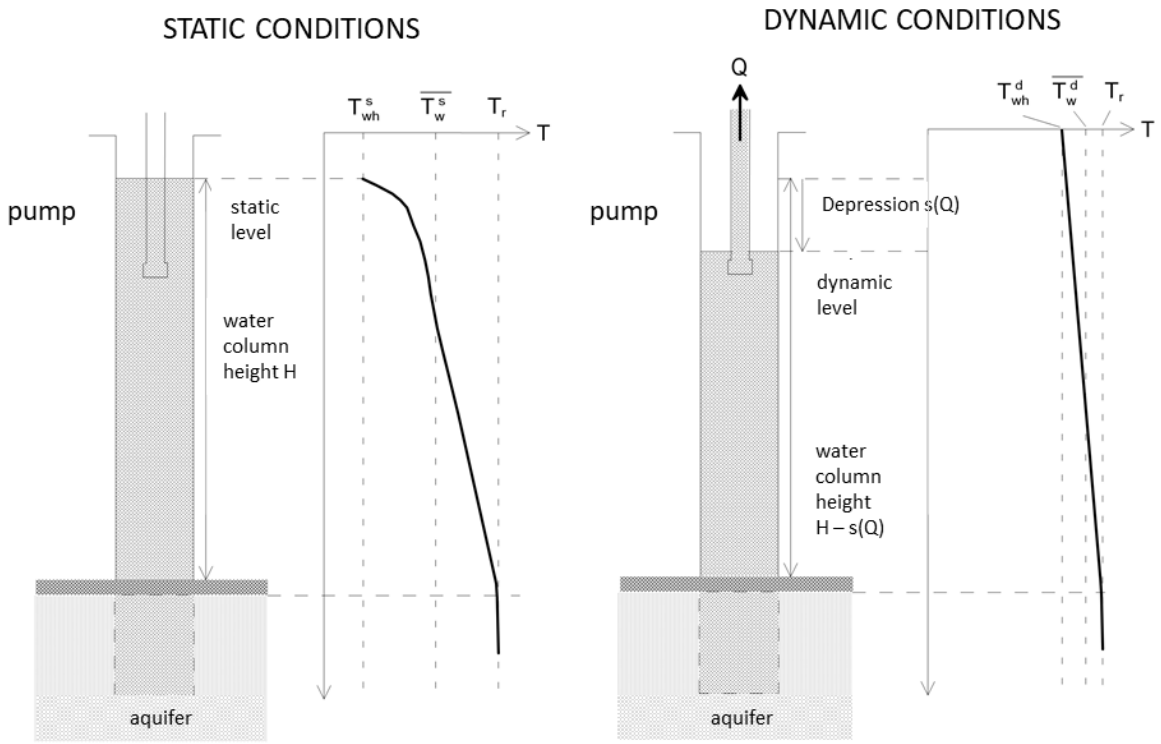


Fig. 1. *Schemat pokazujący rozkład temperatury w otworze w warunkach statycznych oraz dynamicznych (Miecznik, 2017)*

Wyprowadzenie zależności matematycznych prowadzących do równania na tzw. ciśnienie głowicowe zredukowane, zostało przedstawione w cytowanej literaturze. Jego ostateczna postać jest następująca:

$$p_{wh}^{red} = p_{wh,0} - s\left(\overline{T_w^s}\right) \cdot \rho_w\left(\overline{T_w^s}\right) \cdot g = p_{wh} - \left[1 - \frac{\rho_w\left(\overline{T_w^d}\right)}{\rho_w\left(\overline{T_w^s}\right)}\right] \cdot \rho_w\left(\overline{T_w^s}\right) \cdot L \cdot g$$

gdzie:

$p_{wh,0}$	–	ciśnienie głowicowe otworu w warunkach statycznych
p_{wh}	–	ciśnienie głowicowe otworu w warunkach dynamicznych
$s\left(\overline{T_w^s}\right)$	–	depresja w otworze, tj. różnica pomiędzy poziomem zwierciadła wody w warunkach statycznych i dynamicznych
$\rho_w\left(\overline{T_w^s}\right)$	–	gęstość wody dla średniej temperatury wody w warunkach statycznych
$\rho_w\left(\overline{T_w^d}\right)$	–	gęstość wody dla średniej temperatury wody w warunkach dynamicznych
L	–	długość otworu
g	–	przyspieszenie ziemskie (grawitacyjne)

Tym samym, rzeczywista depresja z pominięciem wpływu efektu wygrzewania otworu, znając jedynie statyczne i chwilowe ciśnienie głowicowe oraz oszacowaną średnią temperaturę słupa wody w warunkach statycznych i dynamicznych, wynosi (wyrażona w metrach słupa wody):

$$s\left(\overline{T_w^s}\right) = \frac{p_{wh,0} - p_{wh}}{\rho_w\left(\overline{T_w^s}\right) g} + \left[1 - \frac{\rho_w\left(\overline{T_w^d}\right)}{\rho_w\left(\overline{T_w^s}\right)}\right] \cdot L$$

Jak można zauważyć, efekt termicznego wygrzewania otworu jest tym bardziej istotny, im głębszy jest otwór oraz im większa jest różnica temperatur pomiędzy dnem a głowicą otworu. Dla takich otworów szczególnie istotne jest wykonanie korekty wyników pompowania ze względu wygrzewanie otworu.

W celu automatyzacji obliczeń opracowano skrypt THERMALIFT CALC, który umożliwia obliczenie zarówno rzeczywistej wartości depresji w otworze, jak i ciśnienie głowicowe zredukowane. Skrypt umożliwia analizę testów hydrodynamicznych oraz długoletniej historii eksploatacji zarówno dla wód zwykłych, jak i silnie zasolonych. Zasolenie może być podawane jako stężenie procentowe (kg_{NaCl}/kg płynu), jak i w

wartościach bezwzględnych, tj. g_{NaCl}/dm^3 płynu. Ponadto generowane są odpowiednie wykresy, a wyniki można wyeksportować do formatów txt, xlsx lub csv.

Rezultaty

Efekt zastosowania omawianego narzędzia został zaprezentowany na przykładzie jednego z otworów na Niżu Polskim, dla którego zostało wykonane 3-stopniowe pompowanie wraz z odbudową zwierciadła po pierwszym i trzecim stopniu (Fig. 2).

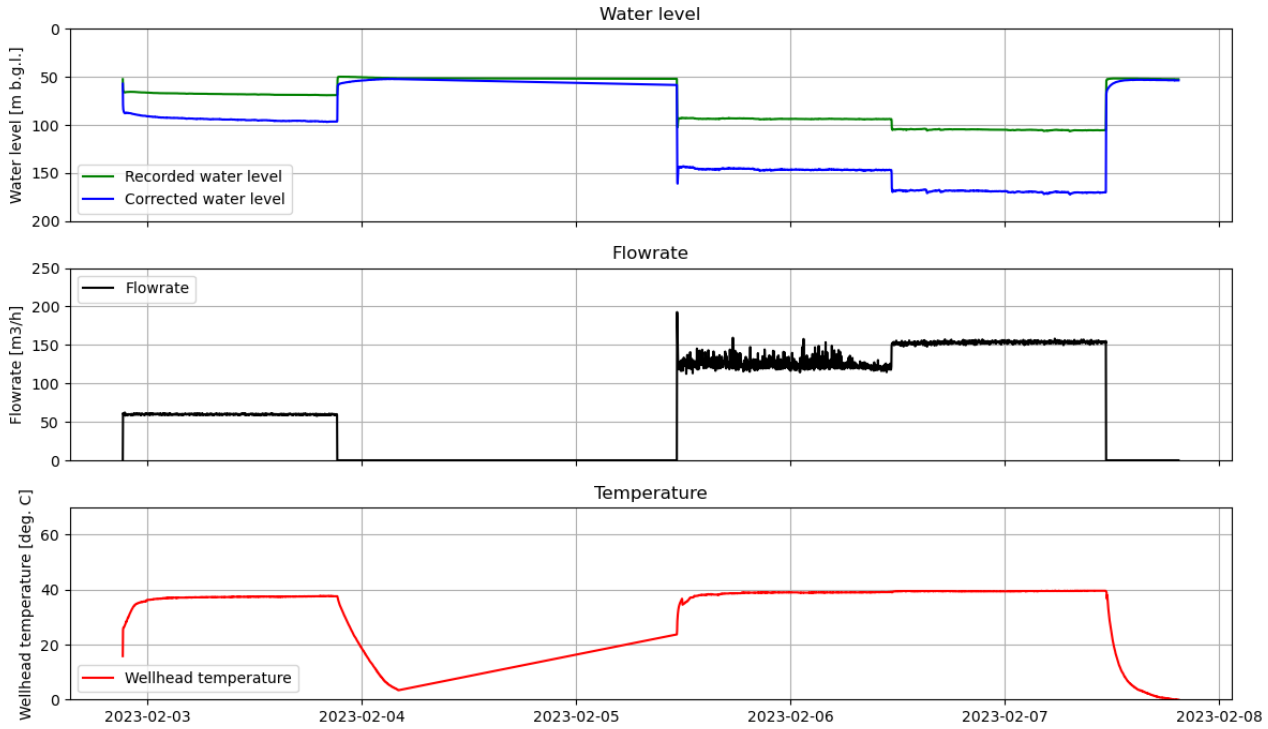


Fig. 2. *Efekt zastosowania skryptu THERMALIFT CALC dla testu hydrodynamicznego wykonanego w jednym z otworów na Niżu Polskim*

Kolorem zielonym na górnym wykresie zaznaczono zarejestrowany poziom lustra wody w trakcie testu. Charakter krzywych zarówno podczas pompowania, jak i odbudowy zwierciadła, odbiega od oczekiwanego. Po zastosowaniu opracowanego narzędzia, bardziej wyraźnie zaznacza się zależność pomiędzy wzrostem wydajności pompowania a spadkiem poziomu zwierciadła wody w otworze. W trakcie odbudowy zwierciadła widać natomiast bardziej wyraźnie stopniowy dopływ coraz większych mas wody do otworu (krzywa niebieska).

Narzędzie THERMALIFT CALC jest obecnie w fazie rozwoju. Jego pierwszą wersję będzie można pobrać całkowicie za darmo ze strony projektu GeoModel (www.geomodel.pl) prawdopodobnie pod koniec 2023 roku.

Abstrakt podaje niektóre wyniki prac realizowanych w ramach projektu *„Optymalne zarządzanie niskotemperaturowymi zbiornikami geotermalnymi – polsko-islandzka współpraca w zakresie modelowania złóż”*, akronim *GeoModel*, finansowanego ze środków Funduszu Współpracy Dwustronnej Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego i Norweskiego Mechanizmu Finansowego 2014-2021 w ramach Programu Środowisko, Energia i Zmiany klimatu, umowa nr 2/UoD/FWD/MKiŚ/2022.

Literatura

Kawecki M., 1995. Correction for temperature effect in the recovery of a pumped well. Ground Water, 33(6): 917–926

Bielec B., Miecznik M., 2012. Efekt termiczny w obliczeniach przewodności hydraulicznej w otworach ujmujących wodę termalną. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 51(2): 45–54.

Miecznik M, 2017. Model zrównoważonej eksploatacji zbiornika wód geotermalnych w centralnej części Podhala do produkcji energii cieplnej i elektryczne. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

RUROCIĄGI Z WŁÓKNA SZKLANEGO DLA PROJEKTÓW GEOTERMALNYCH

Mateusz SZATKO[1], Ladislav TOTH[2]

[1]*GWE POL-BUD Sp. z o.o., Łódź; mszatko@gwe-polbud.pl*
[2]*NOV Fiber Glass Systems, San Antonio TX, USA*

Słowa kluczowe: odwierty geotermalne, włókno szklane, rury

Wstęp

Wybór odpowiedniego materiału do wykonaniu otworów geotermalnych jest jednym z najistotniejszych zadań w trakcie prac projektowych. Materiałem oferującym znakomite parametry mechaniczne oraz wykluczającym powstanie korozji spowodowanej agresywnością środowiska jest tworzywo sztuczne wzmacniane włóknem szklanym („fiberglass"). Liderem w tym zakresie jest firma NOV Fiber Glass Systems (NOV FGS), która od ponad 60 lat opracowuje nowe materiały w oparciu o aktualną wiedzę z różnych dziedzin nauki i doświadczenia płynące z codziennej praktyki.

Rurociągi z tworzywa sztucznego wzmacniane włóknem szklanym łączą w sobie bardzo wysoką wytrzymałość na rozciąganie włókien szklanych oraz odporność żywicy na korozję i oddziaływanie mediów. Ze względu na warstwową strukturę zbudowaną z włókien szklanych i żywicy nie jest materiałem homogenicznym. Z tego powodu wartości elastyczności w kierunkach osiowych i promieniowych różnią się od siebie. Poprzez orientację włókien wzmacniających różnicują się również odkształcenia i proporcjonalnie granice elastyczności w obu kierunkach. Wybór systemu utwardzania ma wpływ na chemiczną wytrzymałość i zachowanie temperatury spoiwa matrycowego. Z wyboru typu szkła wynikają cechy mechaniczne takie jak wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie i moduł sprężystości.

Charakterystyka materiałów

Rurociągi z tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym są stosowane wszędzie tam gdzie występuje ryzyko powstania korozji spowodowanej agresywnością środowiska. Szeroka gama rur produkowanych przez NOV FSG zapewnia możliwość dokonania właściwego wyboru.

Średnice rurociągów produkowanych przez NOV FSG obejmują zakres od DN 25 do DN 900 dla rur stosowanych do ropy naftowej oraz gazu ziemnego oraz zakres od DN 25 do DN 1800 w przypadku rur stosowanych w branży chemicznej i wszędzie tam gdzie mamy do czynienia z niskimi ciśnieniami. Maksymalne ciśnienie pracy rur i złączek wynosi 275 barów (4000 psi), natomiast maksymalna temperatura wynosi 100 °C.

Na cechy charakterystyczne produktów wpływ mają składniki, z których powstaje rura. Istotne znaczenie ma żywica epoksydowa utwardzana aminami aromatycznymi, aminami alifatycznymi lub bezwodnikami. Każda kombinacja żywic posiada swoje cechy charakterystyczne wpływając decydująco na odporność chemiczną, właściwości mechaniczne rury, odporność na temperaturę lub ciśnienie. Cechy te decydują o zastosowaniu rurociągów w konkretnych warunkach.

Proces produkcji

Produkcja rur (Fig. 1) odbywa się w procesie nawijania włókien, których głównym składnikiem jest żywica epoksydowa, utwardzanych trzema różnymi systemami: aminami aromatycznymi, aminami alifatycznymi, bezwodnikami. Każda kombinacja żywic posiada swoje cechy charakterystyczne, np. odporność względem chemikaliów, właściwości mechaniczne, odporność na temperaturę lub ciśnienie.

Podczas procesu nawijania niedoprzędy z włókna szklanego przepuszczane są przez kąpiel impregnacyjną powodującą zwilżenie materiału matrycowego. Następnie zostają one mocno napięte i promieniowo nawinięte na obracający się trzpień. Na zakończenie przeprowadza się zabieg termicznego utwardzenia poprzez zastosowanie jednej z trzech możliwych reakcji wymienionych wyżej.

Taki proces produkcji pozwala na wytwarzanie rur o różnych warstwach, z możliwymi kątami nawijania 55° lub 0° + 70° (podwójny nawój). Proces 2-kątowego nawijania jest opatentowanym wynalazkiem NOV i jest stosowany przy wytwarzaniu produktów do zastosowań pionowych. Warstwy 70° gwarantują wewnętrzną i zewnętrzną wytrzymałość kolumny i zapobiegają ewentualnemu zapadnięciu się rury. Warstwy

0° zapobiegają nadmiernemu rozciąganiu, a tym samym deformacji rury, i gwarantują jej odporność na obciążenia osiowe spowodowane ciężarem własnym kolumny oraz występujących sił rozciągających.

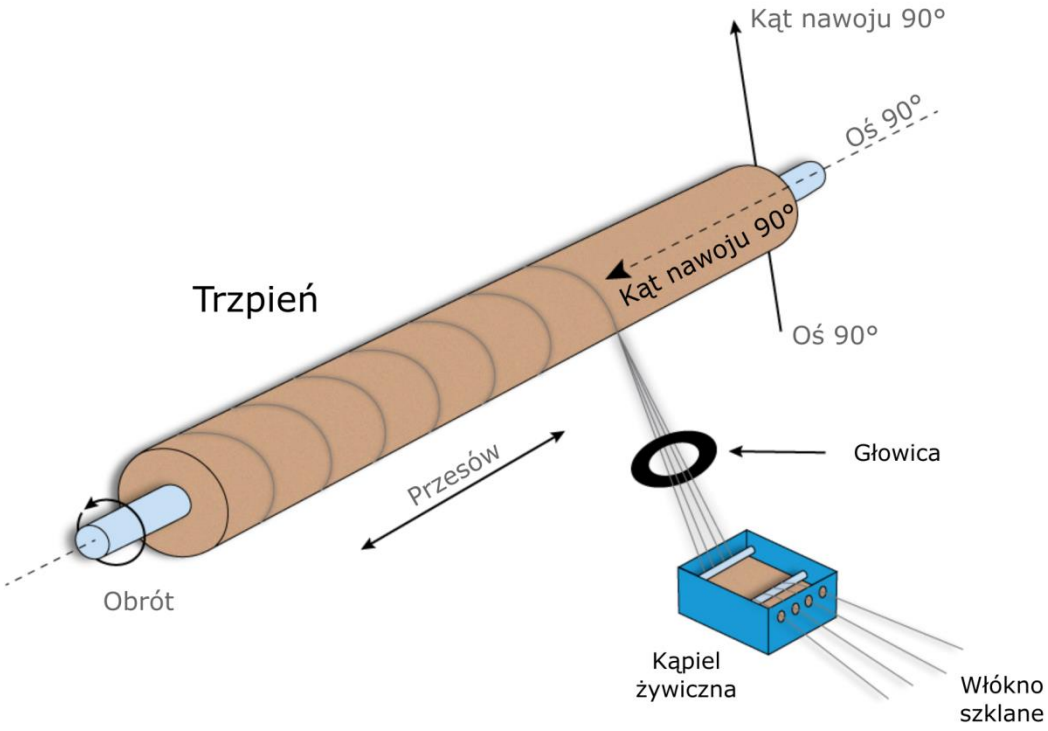


Fig. 1. *Proces produkcji rur z włókna szklanego.*

Zalety

Włókno szklane oraz wyprodukowane z niego rurociągi posiadają szereg właściwości, które w porównaniu z tradycyjnymi tworzywami wykazują znaczne zalety (Tab. 1). Do najważniejszych należą:

Tabela 1. *Właściwości oraz zalety rurociągów z tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym.*

Właściwości	**Zalety**
- całkowita odporność na korozję wywołaną przez CO_2 i H_2S przy eksploatacji ropy naftowej i gazu ziemnego oraz wód termalnych	- bardzo długa żywotność - redukcja kosztów - ochrona środowiska naturalnego - brak podatności na korozję
- niewielki ciężar (3-5 krotnie mniejszy niż stali)	- redukcja kosztów związanych z instalowaniem - łatwe i proste użycie - proste i szybkie łączenie
- gładkie powierzchnie wewnętrzne rury (współczynnik Hazen-Williamsa C=150) - niewielki współczynnik chropowatości	- poprawa prędkości przepływu - lepsze współczynniku hydrauliczne - minimalne straty ciśnienia - ograniczenie powstawania osadów wewnątrz rur
- połączenia zgodne z normami API	- łatwy i prosty montaż - wyższa odporność chemiczna połączeń - kompletny, mechaniczny system połączeń - stałe, wąskie tolerancje
- kąty nawijania włókien szklanych 0° + 70° dla rur typu Casing and Tubing	- możliwe stosowanie na dużych głębokościach i przy wysokim ciśnieniu

Rury osłonowe

Rury osłonowe cementowane są w otworach wiertniczych np. w celu ochrony górnych formacji, odcięciu i zabezpieczeniu przewiercanych poziomów wodonośnych. W przypadku konieczności wykonania kolumny rur osłonowych z rur z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym, istnieje ryzyko uszkodzenia przez obracający się wewnątrz przewód wiertniczy. W celu uniknięcia uszkodzeń należy możliwie jak najbardziej zminimalizować średnicę wierconego otworu aby zapobiegać odchyleniu rur osłonowych podczas cementowania. Zastosowanie nieobrotowych gumowych centralizatorów, które nie obracają się wewnątrz rur osłonowych, przyjmując większość ścierania wywołanego obracającymi się rurami wiertniczym oraz projektowanie otworu tak aby zminimalizować długość wiercenia w rurach osłonowych wykonanych z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym, pozwala dodatkowo na zredukowanie ryzyka uszkodzenia.

Podsumowanie

Rurociągi z tworzyw sztucznych wzmocnione włóknem szklanym należą do grupy materiałów kompozytowych. Charakteryzują się one przede wszystkim:

- wysokimi właściwościami mechanicznymi,
- małym ciężarem własnym,
- wysoką odpornością na czynniki agresywne.

Dzięki temu materiał ten może konkurować z metalami również w wypadku ekstremalnych obciążeń, umożliwiając nawet zmniejszenie ciężaru przy jednoczesnym zachowaniu trwałości i sztywności lub w wypadku niezmienionej wagi otrzymanie większej trwałości i sztywności.

Rury z włókna szklanego powstają przez nawinięcie włókien na specjalnie przygotowany trzpień dzięki czemu mają nadzwyczaj gładką powierzchnię zapewniając doskonałe właściwości hydrauliczne. Nieznaczna chropowatość i większy przekrój prowadzą do uzyskania wyższych wydajności w porównaniu z innymi materiałami. Dodając do tego również pierwszorzędne właściwości mechaniczne, wzmocnione włóknem szklanym rurociągi z tworzyw sztucznych są doskonałym wyborem w rożnych zastosowaniach jako rurociągi przesyłowe, rury pompowe czy rury osłonowe, wszędzie tam gdzie istnieje ryzyko wystąpienia korozji.

Literatura

NOV Fiber Glass Systems, materiały wewnętrzne firmy.
GWE POL-BUD Sp. z o.o., materiały wewnętrzne firmy

SIECI CIEPŁOWNICZO-CHŁODNICZE PIĄTEJ GENERACJI Z OTWOROWYMI WYMIENNIKAMI CIEPŁA

Tomasz ŚLIWA[1], Aneta SAPIŃSKA-ŚLIWA[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: straty ciepła, otworowe wymienniki ciepła, geotermia, geoenergetyka, geotermalne pompy ciepła, sieci inteligentne (*smart grids*)

Wstęp

Nowa koncepcja modernizacji sieci ciepłowniczej miasta Czechowice-Dziedzice jest następstwem wcześniejszych działań podejmowanych przez Gminę w ramach różnych inwestycji, w wyniku których przebudowano część istniejącej sieci. Dzięki temu uzyskano zmniejszoną emisję zanieczyszczeń oraz mniejsze zapotrzebowanie na energię cieplną. Jednak jak wynika z analizy inżynierskiej jednaj z firm, w dalszym ciągu 66% długości sieci wykonane jest w starej technologii i to na tych odcinkach następują największe straty podczas przesyłu czynnika wysokoparametrowego. Wg innego opracowania natomiast, może się okazać koniecznym zamknięcie najdłuższej części sieci doprowadzającej wodę z Elektrociepłowni Bielsko-Północ (EC2) z powodu stanu technicznego i przestawienie na zaopatrzenie z elektrociepłowni RCEkoenergia, w celu uniknięcia kilkukrotnie większych kosztów renowacji i utrzymania obecnej konfiguracji. Jest to możliwe w sieci magistralnej, jednak wymaga dobudowania odcinka rurociągu oraz dodatkowej modernizacji po stronach Przedsiębierstwa Inżynierii Miejskiej i RCE.

Powstała w Laboratorium Geoenergetyki AGH koncepcja uwzględnia dane z w/w materiałów oraz uwagi reprezentantów Gminy, obecne i przewidywane zapotrzebowanie na ciepło i ciepłą wodę użytkową, a także obecne działania i prace na terenie miasta i okolic. Jednym z etapów opracowania koncepcji była wizja terenowa, po uprzednim naniesieniu najważniejszych danych na mapy i wytypowaniu konkretnych lokalizacji. Następny w kolejności jest proponowany audyt obiektów przyłączonych i możliwych do podłączenia do sieci ciepłowniczej, którego wyniki określają możliwości użycia konkretnych wariantów proponowanych przez zespół Laboratorium Geoenergetyki AGH. Koncepcja powstała na bazie doświadczeń Zespołu Laboratorium z pracy hybrydowego systemu grzewczo-chłodniczego na AGH w Krakowie, którego tworzenie Zespół realizował w latach 2008-2011. Doświadczenia obejmują koncepcję, projektowanie oraz eksploatację systemu przez 14 lat. Do doświadczeń Zespołu należy zaliczyć także liczne badania na obszarze całej Polski w zakresie testowania otworowych wymienników ciepła oraz dobierania ich liczby na potrzeby ogrzewania i/lub klimatyzowania. Były wśród nich sklepy wielkopowierzchniowe (np. marki IKEA), galerie handlowe, szkoły i uczelnie wyższe, hotele, pływalnie, szpitale, zakłady produkcyjne i inne.

Inteligentne sieci DHC 5-tej generacji

Koncepcja sieciowego systemu grzewczego dla Czechowic-Dziedzic bazuje na znanych z literatury rozwiązaniach jednorurowego sieciowego systemu grzewczo-chłodniczego. Podobne rozwiązania są od lat stosowane w galeriach handlowych pod nazwą „pętli wodnej". W referacie opisano przyjęte rozwiązanie z wielu rozpatrywanych opcji.

Opracowana koncepcja, dostosowana do warunków miasta Czechowice-Dziedzice, zakłada docelowo zmianę funkcjonalności nośnika ciepła cyrkulującego w sieci ciepłowniczej. Będzie on pełnił zadanie tzw. dolnego źródła ciepła podczas sezonu grzewczego i (po przekwalifikowaniu chętnych odbiorców na pobór chłodu latem do klimatyzacji) tzw. górnego źródła ciepła w sezonie klimatyzacyjnym. W docelowym systemie możliwa będzie równoczesna praca sieci jako źródła ciepła i chłodu dla różnych odbiorców.

Temperatura nośnika ciepła (wody) w systemie sieciowym będzie się zawierać w granicach od 5 do 30°C (Fig. 1).

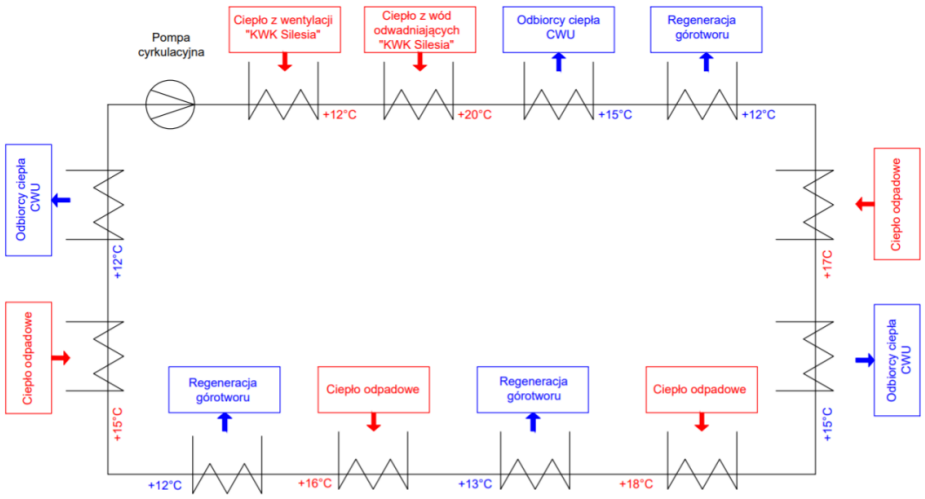


Fig. 1. *Schemat wykorzystania instalacji sieci ciepłowniczej w sezonie letnim z uwzględnieniem odbiorców ciepła i chłodu (Śliwa i in., 2022)*

Źródłami ciepła w systemie będą:
- producenci ciepła odpadowego, w tym urządzenia chłodnicze,
- otworowe wymienniki ciepła (w sezonie grzewczym pracujące w trybie źródła ciepła),
- obiekty klimatyzowane,
- kolektory słoneczne i panele fotowoltaiczne,
- dry coller`y,
- elektrociepłownia Bielsko-Północ (EC2) i/lub elektrociepłownia RCEkoenergia.

Źródłami chłodu w systemie będą (w miarę rozwoju tej opcji, oferowanej przez PIM Sp. z o.o.):
- otworowe wymienniki ciepła (w sezonie letnim pracujące w trybie źródła chłodu),
- obiekty ogrzewane (zwłaszcza potrzeby związane z ogrzewaniem wody użytkowej latem),
- dry coller`y,

Głównym elementem systemu geoenergetycznego będą dwa pola otworowych wymienników ciepła pełniące funkcję magazynowania ciepła i/lub chłodu w górotworze. Ponad otworami należy umieścić kolektory słoneczne i/lub panele fotowoltaiczne (rejon oczyszczalni ścieków) albo parking o ciemnej powierzchni, która intensyfikuje absorpcję promieniowania słonecznego latem. Ponadto w różnych częściach miasta należy wykorzystać działki będące w dyspozycji gminy lub PIM dla wykonania otworowych wymienników ciepła.

Piąta generacja sieci ciepłowniczych opiera się na rozprowadzaniu ciepła przy temperaturach zbliżonych do temperatur gruntu (Fig. 2), co zdecydowanie zmniejsza eksploatacyjne przesyłowe straty ciepła, a także zmniejsza inwestycyjne koszty związane z izolacją (Lund i inni 2021). Wprowadzana jest dwukierunkowa wymiana energii cieplnej, dostarczanie ciepła oznacza odbieranie chłodu od konsumentów i odwrotnie. Realizacja magazynów ciepła i chłodu w celu zbilansowania zapotrzebowania na ciepło i/lub chłód jest istotnym elementem działania inteligentnych sieci DHC (ang. *district heating cooling*). Równie ważne jest stosowanie algorytmów pobierających aktualne dane związane z zapotrzebowaniem i regulacja sieci i na ich podstawie optymalizacja gospodarowania energią – w tym strumieniami objętości nośnika ciepła w sieci (Buffa i in. 2019).

Wody podziemne, wody geotermalne oraz otworowe wymienniki ciepła wpisują się w inteligentne sieci ciepłownicze grzewczo-chłodnicze na wiele sposobów. Najważniejszą formą współpracy sieci DHC z górotworem są podziemne magazyny ciepła (UTES – *underground thermal energy storages*) w formie BTES (*borehole thermal energy storages*) i ATES (*aquifer thermal energy storages*). Działające już w Europie DHC oparte na instalacjach geoenergetycznych zwane są GDHC (*geothermal district heating and cooling*) (Zeh i in. 2021) lub 5GDHC (Carotenuto i in. 2017).

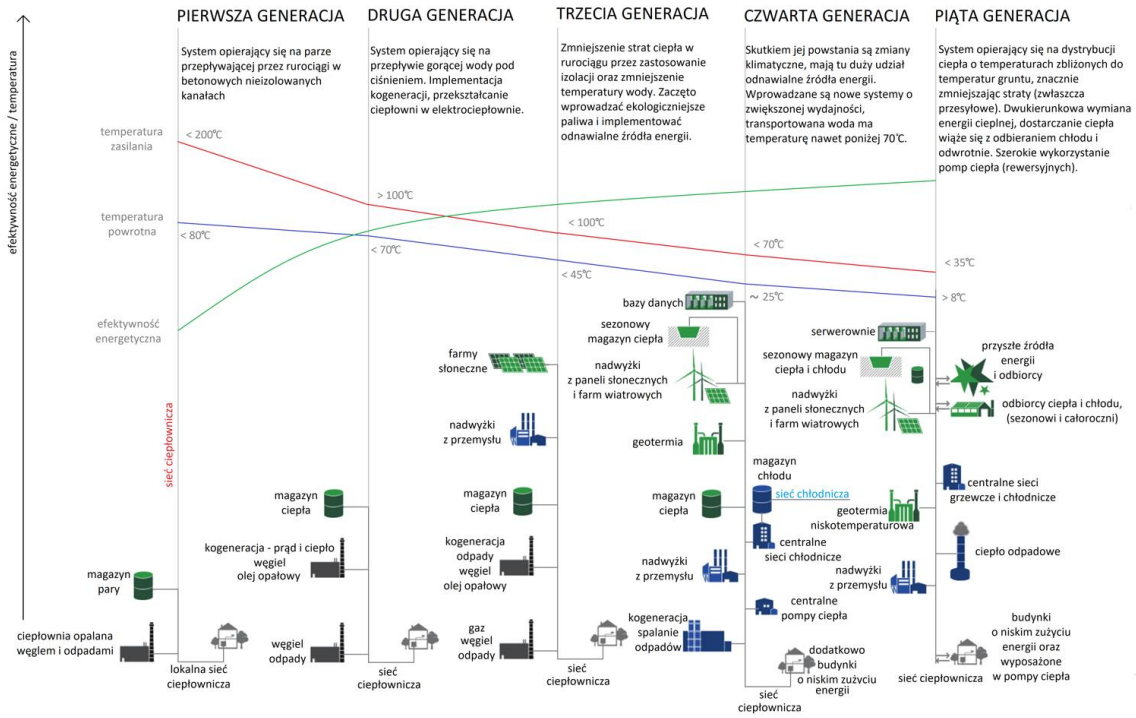


Fig. 2. *Graficzne przedstawienie generacji sieci ciepłowniczych (na podstawie: https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/articles/dhs/district-energy-generations-explained/; Fabiś 2023)*

Badania są finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

Literatura

Carotenuto A., Figaj R.D., Vanoli L., 2017. A novel solar-geothermal district heating, cooling and domestic hot water system: Dynamic simulation and energy-economic analysis, Energy, Volume 141, p. 2652-2669, https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.084.

Buffa S., Cozzini M., D'Antoni M., Baratieri M., Fedrizzi R., 2019. 5th generation district heating systems: A review of existing cases in Europe. Renewable and Sustinable Energy Reviews, vol. 104, p. 504-522. https:// doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.059.

Fabiś P., 2023. Techniczne zagadnienia przekształcania miejskich sieci ciepłowniczych na zasilanie energią geotermalną oraz magazynowanie ciepła w górotworze, praca dyplomowa magisterska pod kier. T. Śliwy, Kraków WWNiG AGH, 2023, s. 99.

Lund H., Østergaard P.A., Nielson T.B., Werner S., Thorsen J. E., Gudmundsson O., Arabkoochsar A., Mathiesen B. V., 2021. Perspectives on fourth and fifth generation district heating, Energy, vol. 227.

Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Jezuit Z., Koniszewski A., Szczytowski M., Bandura K., Rejman R., 2022. Wstępna koncepcja udostępnienia ciepła Ziemi na potrzeby miasta Czechowice-Dziedzice. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Laboratorium Geoenergetyki, Kraków (praca nie publikowana), s. 93

Zeh R., Ohlsen B., Philipp D., Bertermann D., Kotz T., Jocic N., Stockinger V., 2021. Large-Scale Geothermal Collector Systems for 5th Generation District Heating and Cooling Networks, Sustainability, 13, 6035, https://doi.org/10.3390/su13116035.

STATYSTYCZNA ANALIZA DOBORU OPTYMALNEJ TECHNOLOGII WIERCENIA OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA METODĄ DTH

Tomasz ŚLIWA[1], Piotr BULIŃSKI[2], Andrzej GONET[2]

[1] *AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: wiertnictwo, otworowe wymienniki ciepła, metoda udarowo-obrotowa, optymalizacja wiercenia, geoenergetyka

Wstęp

Gruntowe pompy ciepła cieszą się coraz większą popularnością. Tylko w Europie w 2022 roku sprzedano około 165 000 tego rodzaju pomp ciepła (Koczorowski, 2023). Liczba ta mogłaby być większa, gdyby nie wysokie koszty wykonania otworowych wymienników ciepła, które są niezbędne do działania takich pomp ciepła. Koszty realizacji otworów wiertniczych są wysokie, zwłaszcza w przypadku metody udarowo-obrotowej. Z tego powodu zespół Laboratorium Geoenergetyki AGH zajmuje się statystyczną metodą optymalizującą proces wiercenia otworowych wymienników ciepła pod kątem całkowitych i jednostkowych kosztów wiercenia, jak i w całości wykonywania wymienników.

Cel badań

Optymalizacja kosztów wiercenia otworowych wymienników ciepła swoje zastosowanie może znaleźć przede wszystkim w trakcie wykonywania instalacji składającej się z co najmniej kilkunastu otworów wiertniczych. W tego typu przypadku wiercenie pierwszych otworów poświęcone powinno być na badanie parametrów technologii wiercenia. Dane pobrane w trakcie „wierceń testowych" posłużą do wyznaczenia optymalnych parametrów technologii wiercenia. W metodyce zakłada się, że pozostałe otwory wiercone będą w takich samych warstwach geologicznych co pierwsze otwory (co zazwyczaj występuje w realizacji dużych pól otworowych wymienników ciepła).

Materiały i metody

Głównym miejscem badań nad optymalizacją wiercenia otworowych wymienników ciepła metodą udarowo-obrotową było pole C Laboratorium Geoenergetyki AGH przy Zespole Parkowo-Pałacowym w Młoszowej. Pod koniec 2022 roku wywiercono tam 23 otworowe wymienniki ciepła. W trakcie wiercenia 18 z nich zmierzono parametry wiercenia (czas wiercenia oraz zużycie energii) dla różnych kombinacji prędkości obrotowej oraz ciśnienia sprężonego powietrza. Badania obejmowały wiercenia na głębokości 65 – 71 m p.p.t. Przewiercaną formacją były wapienie zwięzłe zeszczelinowane. Podobne badania wykonywane były już wcześniej przez zespół Laboratorium Geoenergetyki AGH. Wiercenia te odbyły się w Lublinie oraz w Miechowie (Buliński i in., 2022). Istotną wadą wykonanych wcześniej badań był niestety brak pomiarów zużycia energii (Śliwa i in., 2021). Wyniki uzyskane w Młoszowej zawierały już ten bardzo istotny czynnik wpływający na koszty wierceń. Badano zużycie paliwa do napędu świdra i sprężarki. Wyniki zostały poddane analizie statystycznej i wykorzystano je do wyboru metod statystycznej analizy optymalizacji.

Regresja wieloraka

Zadaniem regresji wielorakiej jest wyznaczenie funkcji współzależności kilku zmiennych. Przy analizie wierceń w Lublinie oraz w Miechowie badano wpływ średnicy świdra, prędkości obrotowej oraz ciśnienia sprężonego powietrza na czas pracy tzw. dolnego młotka (metoda udarowo-obrotowa). W tych badaniach zmienną objaśnianą był czas pracy świdra (młotka), natomiast zmiennymi objaśniającymi były obroty oraz ciśnienie sprężonego powietrza. Wyznaczenie modelu statystycznego wiercenia otworowych wymienników ciepła rozpoczęto od wyliczenia współczynników regresji. Kolejnym krokiem było wyselekcjonowanie danych (odrzucenie danych odstających statystycznie). Po tym etapie możliwe było wyznaczenie modelu statystycznego wiercenia otworowych wymienników ciepła dla opisywanego przypadku.

W przypadku wierceń w Młoszowej (Fig. 1, 2, 3,) na terenie AGH zmienną objaśnianą był czas pracy świdra (młotka), a także ilość zużytej energii, natomiast zmiennymi objaśniającymi były obroty oraz ciśnienie sprężonego powietrza.

Fig. 1. *Wiercenia w Młoszowej (listopad 2022)*

Fig. 2. *Wiercenia w Młoszowej (grudzień 2022)*

Fig. 3. *Wiercenia w Młoszowej (grudzień 2022)*

Algorytm

W ramach prac nad obniżeniem kosztów wiercenia powstał prototyp programu optymalizacyjnego, który opiera się m.in. na regresji wielorakiej. Wyliczone dzięki niej parametry zostały podstawione do zmodyfikowanego na potrzeby programu wzoru:

$$K = Q_w \cdot \frac{T_{pm}}{S_t} + Q_p \cdot ZE$$

gdzie:
K – koszt wykonania otworu, zł;
Q_w – jednostkowy koszt wykonania otworu, zł/h;
T_{pm} – czas pracy młotka, h;
S_t – średnia procentowego udziału czasu pracy młotka w całkowitym czasie wiercenia,
Q_p – jednostkowy koszt paliwa, zł/ dm^3;
ZE – zużycie energii, dm^3.

Podsumowując, optymalizacja statystyczna wiercenia otworowych wymienników ciepła jest działaniem, które może zwiększyć rozwój geotermii niskotemperaturowej. Obecnie trwają pracę nad optymalizacją statystyczną przy zastosowaniu wielowymiarowej analizy wariancji. Uzyskany model obliczeniowy, skalibrowany danymi z wierceń w Młoszowej, posłuży do realizacji innych tego typu prac. Jego wprowadzenie do użycia odbędzie się najpierw przez promocję i prezentację na takich wydarzeniach jak Kongres Geotermalny w Polsce czy na świecie (kolejny światowy odbędzie się w Calgary w 2026 r.) i opracowanie specjalistycznego programu komputerowego.

Badania były finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez AGH Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

Literatura

Buliński P., Śliwa T., Olejarczyk M., Malmur K., 2022. Analiza technologii wiercenia otworowych wymienników ciepła w Miechowie, Inżynieria otworowa, element przekształceń energetycznych, Zeszyt Streszczeń II Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

Koczorowski J., 2023. Rozwój rynku gruntowych pomp ciepła w Polsce i Europie – stan aktualny oraz perspektywy, Zeszyt Streszczeń III Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Korzec M., Gonet A., Jaszczur M., Ciepielowska M., Gajdosz A., 2021. Investigation of Old Exploration Boreholes in the Lublin Basin with Regard to Potential Rotary-Percussion Drilling of Shale Gas Wells. Energies, 14(10), 2734

STRATY CIEPŁA W OTWORACH GEOTERMALNYCH ORAZ SPOSÓB ICH OGRANICZENIA

Tomasz ŚLIWA[1],Martyna CIEPIELOWSKA[1],Tomasz KOWALSKI[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: straty ciepła, otwory geotermalne, zaczyn cementowy izolacyjny, przewodnictwo cieplne

Wstęp

Obecnie w Polsce wierconych jest coraz więcej otworów geotermalnych. Dzięki nim możliwe jest pozyskiwanie wód geotermalnych . Otwory geotermalne mogą pracować w systemie jednootworowym, dwuotworowym (tzw. dublecie geotermalnym) lub w systemie wielootworowym. Schemat konstrukcji otworu geotermalnego (eksploatacyjnego) przedstawiono na figurze 1. Zwiększenie liczby wierceń należących do tzw. głębokiej geotermii prowadzi do licznych badań związanych z opisywanym tematem. Jednym z problemów występujących w otworach geotermalnych, oprócz zjawiska korozji, są straty ciepła na drodze przepływu wody geotermalnej ze złoża na powierzchnię.

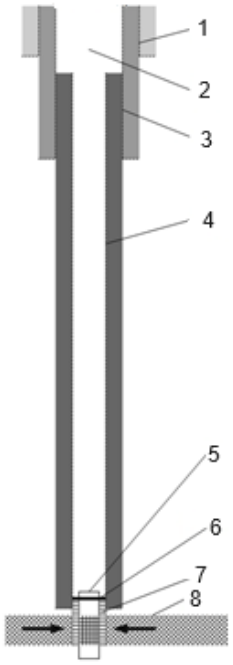


Fig. 1. *Schemat konstrukcji otworu geotermalnego (eksploatacyjnego): 1-kolumna wstępna, 2-komora pompowa, 3-kolumna prowadnikowa, 4-kolumna techniczna, 5-filtr, 6-paker z wieszakiem, 7-obsypka żwirowa, 8- warstwa geotermalna.*

Cel badań

Celem badań przeprowadzonych przez autorów referatu jest uwypuklenie problemu związanego z zagadnieniem dotyczącym strat ciepła występujących w otworach geotermalnych podczas przesyłu wody geotermalnej z warstwy złożonej na powierzchnię. Ponadto zaprezentowana zostanie metoda minimalizacji tych strat.

Straty ciepła w otworach geotermalnych

Eksploatacja wody geotermalnej wiąże się ściśle ze stratami ciepła na drodze jej przesyłu z warstwy złożowej na powierzchnię. Głębokości otworów geotermalnych (wraz z innymi danymi ich dotyczącymi) w Polsce zaprezentowane są w publikacjach m.in. Gonet i in. 2016, Sapińska-Śliwa i in. 2017, Śliwa i in. 2021b). Straty ciepła oraz traconą moc w wybranych otworach geotermalnych w Polsce przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.*Straty ciepła oraz tracona moc w wybranych otworach geotermalnych w Polsce*

Nr	Nazwa ciepłowni geotermalnej	Wydajność otworów, m^3/h	Temperatura w złożu, °C	Temperatura na głowicy, °C	Moc grzewcza z geotermii, MW	Straty ciepła w otworach, GJ/rok	Tracona moc w otworach, MW
1	Geotermia Podhalańska	960	92-95	82-86	75,71	136,478	4,33
2	Pyrzyce	200	64[1]	61[6]	12,8 + 20[7]	21,678	0,69
3	Mszczonów	60	45[2]	42	3,7 + 2,7[8]	6,563	0,21
4	Uniejów	120	70[3]	68	3,2	8,636	0,27
5	Stargard Szczeciński	200	95[4]	87	44,6	56,807	1,80
6	Poddębice	252	72[5]	68	10	36,270	1,15
7	Toruń	320	64	61	20,5	34,685	1,10

[1] *na podstawie http://geotermia.inet.pl/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=27&strona=1&sub=26*
[2] *na podstawie http://www.razemdlaklimatu.eu/images/dobre_praktyki/Mszczonow.pdf*
[3] *na podstawie https://instsani.pl/technik-urzadzen-i-systemow-energetyki-odnawialnej/vademecum-energetyki-odnawialnej/energia-geotermalna/elektrocieplownie-geotermalne/*
[4] *na podstawie https://globenergia.pl/jak-feniks-z-popiolow-czyli-krotka-historia-geotermii-stargard/*
[5] *na podstawie https://geotermia.poddebice.pl/*
[6] *na podstawie http://www.pnec.org.pl/smart/pdf/pyrzyce.pdf*
[7] *12,8 MW stanowi moc grzewczą z geotermii, a 20 MW moc dwóch pomp absorpcyjnych*
[8] *3,7 MW stanowi moc grzewczą z geotermii, a 2,7 MW moc pompy absorpcyjnej*

Ograniczenie strat ciepła w otworach geotermalnych

W celu minimalizacji strat ciepła w otworach geotermalnych autorzy referatu proponują zastosowanie zaczynów uszczelniających o obniżonym przewodnictwie. Jako dodatki obniżające przewodnictwo cieplne stwardniałych zaczynów uszczelniających proponowane są m.in. mikrosfery szklane (ang. *HGB – Hollow Glass Beads*), cenosfery popiołu lotnego (ang. *FAC – Fly Ash Cenospheres*) oraz wszelkiego rodzaju guma, m.in. z recyklingu opon, co zostało szerzej opisane w publikacji Śliwa i in. 2021a.

Wyniki badań przewodnictwa cieplnego dla próbek z mikrosferami szklanymi przedstawiono na figurze 2. Do badań przewodnictwa cieplnego wykorzystano próbki wykonane z cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R wraz z dodatkiem mikrosfer szklanych w ilościach 1,5%, 3% oraz 6% względem masy suchego cementu. Jako punkt odniesienia do wyników badań próbek z dodatkiem mikrosfer, sporządzono również próbkę wykonaną jedynie z cementu i wody. Jako ciecz zarobową wykorzystano wodę wodociągową. Zastosowano współczynnik wodno-cementowy wynoszący 0,6.

Fig. 2. *Zmiana przewodnictwa cieplnego próbek z dodatkiem mikrosfer szklanych: 1- próbka bazowa wykonana z cementu i wody, 2- próbka z dodatkiem 1,5 % mikrosfer, 3- próbka z dodatkiem 3% mikrosfer, 4- próbka z dodatkiem 6 % mikrosfer*

Analizując wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że dodatek mikrosfer szklanych powoduje spadek przewodnictwa cieplnego zaczynów uszczelniających wybranych receptur. Wraz ze wzrostem zawartości mikrosfer szklanych w próbce spada przewodnictwo cieplne próbek. W przypadku zastosowania 1,5% mikrosfer względem masy suchego cementu następuje spadek przewodnictwa cieplnego o około 6%, przy zastosowaniu 3% mikrosfer względem masy suchego cementu następuje spadek przewodnictwa cieplnego o około 18%, a przy zastosowaniu 6% mikrosfer względem masy suchego cementu następuje spadek przewodnictwa cieplnego o około 25 %.

Zaczyny o obniżonym przewodnictwie zalecane są również w głębokich otworowych wymiennikach ciepła. Schemat głębokiego wymiennika otworowego wraz z zaznaczeniem zaczynów uszczelniających o różnej funkcji przedstawiono na figurze 3.

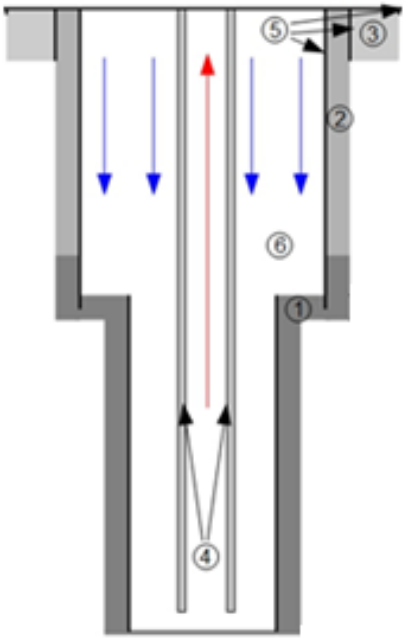


Fig. 3. *Głęboki otworowy wymiennik ciepła:1-zaczyn uszczelniający o podwyższonym przewodnictwie cieplnym, 2-zaczyn uszczelniający izolacyjny (o obniżonym przewodnictwie cieplnym), 3-klasyczny zaczyn uszczelniający, 4-rura z materiału o właściwościach izolacyjnych, 5-rury okładzinowe, 6-nośnik ciepła (Dijkshoorn i in. 2013).*

Wnioski

1. Straty ciepła w otworach geotermalnych są wynikiem m.in. braku zastosowania odpowiedniego zaczynu cementowego podczas wykonywania otworu. Ich ograniczenie można osiągnąć poprzez zastosowanie zaczynu cementowego o właściwościach izolacyjnych.
2. Autorzy referatu zalecają stosowanie zaczynu o obniżonym przewodnictwie cieplnym w stosunku do zaczynów klasycznych opartych na samym cemencie. Jako dodatek do receptur zaczynu uszczelniającego proponowane są mikrosfery szklane.
3. Autorzy referatu zalecają stosowanie zaczynu o obniżonym przewodnictwie cieplnym nie tylko w otworach geotermalnych ale również w głębokich otworowych wymiennikach ciepła.

Badania finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with BoreholeHeatExchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

Literatura

Dijkshoorn L., Speer S., Pechnig R., 2013. Measurements and design calculations for a deep coaxial borehole heat exchanger in Aachen, Germany. International Journal of Geophysics, 1-14.

Gonet A., Sapińska-Śliwa A., Kowalski T., Śliwa T., Bieda A., 2016. Drilling of geothermal boreholes and casing design in Poland. European Geothermal Congress 2016, Strasbourg, France.

Sapińska-Śliwa A., Wiglusz T., Kruszewski M., Śliwa T., Kowalski T., 2017. Wiercenia Geotermalne: Doświadczenia Techniczne i Technologiczne. Laboratory of Geoenergetics Book Series vol.3. Wydanie

pierwsze. Wydawnictwo Fundacji "Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje" oraz Laboratorium Geoenergetyki AGH, Kraków.

Śliwa T., Ciepielowska M., Buliński P., 2021a. Maksymalizacja mocy otworów geotermalnych z wykorzystaniem innowacyjnych receptur zaczynów uszczelniających. [W:] Danielewska A., Kalbarczyk K. (red.). Energetyka i ochrona środowiska – współczesne rozwiązania i perspektywy na przyszłość, 188-199.

Śliwa T., Sapińska-Śliwa A., Gonet A., Kowalski T., Sojczyńska A., 2021b.Geothermal boreholes in Poland – Overview of the current state of knowledge. Energies, 14, 325.

SPECJALISTYCZNA WIEDZA I PRZYKŁADY DOBRYCH PRAKTYK – WKŁAD PROJEKTU MF EOG „KEYGEOTHERMAL" DO ROZWOJU CIEPŁOWNICTWA GEOTERMALNEGO W POLSCE

Beata KĘPIŃSKA[1], Aleksandra KASZTELEWICZ[1], Maciej MIECZNIK[1], Leszek PAJĄK[1], Bogusław BIELEC[1], Wiesław BUJAKOWSKI[1], Baldur PETURSSON[2], Karol PIERZCHAŁA[1], Barbara TOMASZEWSKA[1], Magdalena TYSZER[1], Grażyna MEISEL[1], Dorota WOLAŃSKA[1]

[1]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; kepinska@min-pan.krakow.pl*
[2]*National Energy Authority of Iceland*

Słowa kluczowe: energia geotermalna, ciepłownictwo, MF EOG, KeyGeothermal, Islandia, Polska

Od kilku lat realizowanych jest w Polsce więcej niż poprzednio projektów geotermalnych, zwłaszcza tych, które są ukierunkowane na niskoemisyjne ciepłownictwo. Jest to możliwe dzięki kilku programom publicznego wsparcia finansowego. Do głównych czynników powodzenia tych projektów należy m.in. budowanie odpowiedniego poziomu wiedzy i akceptacji dla geotermii wśród kluczowych interesariuszy oraz korzystanie z odpowiednich doświadczeń i przykładów praktycznych.

Ważną rolę w tym zakresie odgrywa Projekt „Budowanie zdolności kluczowych zainteresowanych stron w dziedzinie energii geotermalnej" (KeyGeothermal; keygeothermal.pl) – jeden z trzech projektów predefiniowanych w Polsce w Programie „Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu" MF Europejskiego Obszaru Gospodarczego, 2014–2021. Projekt realizują zespoły Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN i Krajowej Agencji Energii Islandii w latach 2020–2024.

Głównym celem Projektu jest budowanie i pogłębianie wiedzy i wymiana najlepszych praktyk wśród kluczowych interesariuszy w Polsce z sektora geotermii. Są to samorządy, przedsiębiorstwa ciepłownicze, inwestorzy, beneficjenci programów wsparcia ciepłownictwa geotermalnego, administracja różnych szczebli, usługodawcy, inne podmioty.

Główne prace Projektu obejmują:

- Działania szkoleniowe w Polsce (2022, 2023) – z udziałem ponad 120 osób (!), około 15 wykładowców z Polski i Islandii,
- Wizyty studyjne na Islandii (2022, 2023) – z udziałem 51 osób z Polski (w seminarium, warsztatach, spotkaniach sieciujących wzięło też ponadto udział około 60 podmiotów z Islandii zainteresowanych współpracą ze stroną polską),
- Eksperckie wizyty studyjne w czterech wybranych miejscowościach perspektywicznych dla rozwoju geotermii w Polsce (2022, 2023),
- Raporty z Eksperckich wizyt studyjnych z propozycjami i rekomendacjami optymalnych rozwiązań,
- Informacja nt. Projektu podczas najważniejszych międzynarodowych i krajowych wydarzeń branżowych, w tym kongresów geotermalnych: Ogólnopolskiego (2021, 2023), Europejskiego (2022), Światowego (2023). Projekt był przedstawiony także podczas Seminarium nt. współpracy islandzko – polskiej (zorganizowanego przez Ambasadora Islandii w Polsce – 2023), in. Wielu uczestników tego spotkania to adresaci Projektu KeyGeothermal.

Dzięki Projektowi opracowano wiele bardzo przydatnych dla polskich interesariuszy materiałów szkoleniowych i informacyjnych (m.in. obszerny podręcznik) i specjalistycznych raportów. Przekazano wiedzę i doświadczenia islandzkie i polskie, nawiązano kontakty, zapoznano się z wybranymi ciepłowniczymi systemami geotermalnymi adekwatnymi dla warunków polskich. Wymaga to podkreślenia tym bardziej, że jest to unikalny jak dotąd w Polsce szkoleniowy projekt „geotermalny" adresowany do kluczowych podmiotów (co więcej – realizowany podczas pandemii oraz w wyjątkowo trudnej sytuacji międzynarodowej). Dzięki determinacji oraz współpracy partnerów i operatorów projektu udało się już wiele osiągnąć i mamy nadzieję, że tak też będzie nadal.

Więcej informacji nt. Projektu znajduje się na stronie keygeothermal.pl

W publikacji przedstawiono Projekt *„Budowanie zdolności kluczowych zainteresowanych stron w dziedzinie energii geotermalnej”* współfinansowany przez Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego 2014-2021 w ramach Programu Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu, Obszar Programowy Energia. Umowa projektowa nr 2023/2020/Wn10/OA-XN-12-pp/D.

Iceland Liechtenstein Norway grants

Mechanizm Finansowy Europejskiego Obszaru Gospodarczego i Norweski Mechanizm Finansowy (Fundusze norweskie i EOG) na lata 2014–2021 finansują projekty w 15 krajach Unii Europejskiej. Celem tych Funduszy jest przyczynianie się do zmniejszania różnic ekonomicznych i społecznych w obrębie EOG oraz wzmacnianie stosunków dwustronnych pomiędzy państwami–darczyńcami i państwem–beneficjentem. Porozumienie między państwami–darczyńcami i UE w sprawie III edycji Mechanizmu Finansowego EOG oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego na lata 2014–2021 podpisano 3 maja 2016 r.

Polska podpisała umowy międzyrządowe w sprawie III edycji funduszy norweskich i EOG 20 grudnia 2017 r. Na ich mocy otrzymała 809,3 mln EUR (z łącznej puli ponad 2,8 mld EUR). Środki te są przeznaczone na realizację 11 programów zarządzanych przez operatorów krajowych. Wśród nich jest Program „Środowisko, Energia i Zmiany Klimatu”, którego operatorem jest Ministerstwo Klimatu i Środowiska z Narodowym Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Partnerami Programu są Norweska Dyrekcja ds. Zasobów Wodnych i Energii, Norweska Agencja Środowiska oraz Krajowa Agencja ds. Energii Islandii. W ramach tego Programu, w Obszarze „Energia Odnawialna, Efektywność Energetyczna i Bezpieczeństwo Energetyczne”, realizowany jest m.in. Projekt „Budowanie zdolności kluczowych zainteresowanych stron w dziedzinie energii geotermalnej”. Wdrażanie Funduszy norweskich i EOG w Polsce koordynuje Ministerstwo Inwestycji i Rozwoju. Programy w ramach III edycji Funduszy norweskich i EOG będą trwały zasadniczo do 2024 r.

Więcej informacji o Funduszach EOG i Norweskich: https://www.eog.gov.pl, https://eeagrants.org.

OCENA EKONOMICZNO EKOLOGICZNA WPŁYWU CZYNNOŚCI OGRANICZAJĄCYCH ZUŻYCIE ENERGII CIEPLNEJ U ODBIORCY W GEOTERMALNYM SYSTEMIE CIEPŁOWNICZYM NA PODSTAWIE KALKULATORA U4GEcalc

Karol PIERZCHAŁA[1], Leszek PAJĄK[1], Maciej MIECZNIK[1],Aleksandra KASZTELEWICZ[1], Dorota WOLAŃSKA[1], Oto HALÁS[2], Tamás MEDGYES[3], Baldur PÉTURSSON[4], Kirsti MIDTTØMME[5], Ellen NORDGÅRD-HANSEN[5]

[1]*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; kpierzchala@meeri.pl*
[2]*SLOVGEOTERM a.s.*
[3]*InnoGeo Research and Service Nonprofit Public-benefit Ltd*
[4]*National Energy Authority*
[5]*NORCE Norwegian Research Centre AS*

Słowa kluczowe: termomodernizacja, sieć ciepłownicza, geotermia, kalkulator online,

Wstęp

Wszechobecnie działania mające na celu ograniczenie zużywania energii szczególnie pozytywnie wpływają na wykorzystywanie odnawialnych źródeł. Energia cieplna stanowi ponad 80% całkowitej energii zużywanej przez gospodarstwa domowe w Polsce (GUS, 2021), dlatego ten obszar najczęściej poddawany jest modernizacji. Chcąc wykorzystywać energie geotermalną w większym stopniu trzeba jednak zwrócić uwagę na kilka kwestii. W przypadku Polski temperatury zasobów geotermalnych wahają się od około 20 do 97°C (Kępińska, 2021) do głębokości ok. 3,7 km. Jednocześnie, większość działających sieci ciepłowniczych zostało zaprojektowane na temperatury 110/70°C lub wyższych. Przez to, konieczne staje się stosowanie źródeł szczytowych w ciepłowniach chcących korzystać z energii geotermalnej. Zmniejszone zapotrzebowanie na energię po stronie odbiorcy, przy braku zmian w instalacjach grzewczych, przyczynia się do redukcji mocy maksymalnej, a także wymagań w zakresie temperatury niezbędnej zasilania i osiąganej temperatury powrotu. Dzięki temu, ogranicza się lub całkowicie eliminuje działanie szczytowego źródła energii, obniżając przy tym szkodliwą emisję pochodząca z paliw konwencjonalnych.

Cel badań

Jednym z głównych zadań w projekcie User4GeoEnergy było opracowanie interaktywnego kalkulatora energetycznego U4GEcalc. Kalkulator ten pozwala zarówno odbiorcom, jak i wytwórcom ciepła, oszacowanie trendów zmian wynikających z przeprowadzanych czynności termomodernizacyjnych. Dzięki dopasowaniu nowych parametrów instalacji ciepłowniczej do temperatury zasobów źródła geotermalnego udział źródła geotermalnego w strukturze wytwarzania energii ciepłowni wzrasta. Dodatkowo wzrastarównież sprawność wykorzystywania źródła energii (dotyczy to również źródeł szczytowych na paliwa konwencjonalne).

Materiały i metody

Interaktywny kalkulator został opracowany na podstawie narzędzia bardziej rozbudowanego i ogólnego, opracowanego dla celów realizacji założeń projektu User4GeoEnergy. Kalkulator opiera się na wielu założeniach, upraszczających jego obsługę. Użytkownik ma w nim możliwość ręcznego wprowadzenia parametrów systemu, bądź skorzystać z danych zaimplementowanych domyślnie dla danej lokalizacji. Zrzuty ekranu z interfejsu kalkulatora zaprezentowano na figurze 1.

Kalkulator korzysta z odpowiednio przetworzonych danych pogodowych (Typical Meteorological Year) pochodzących z fotowoltaicznego systemu informacji geograficznej wspieranej przez Komisje Europejską (EC, 2023). Do przykładowej analizy wybrano miejscowość Koluszki. Przyjęto następujące założenia: maksymalna moc cieplna systemu jako suma mocy na potrzeby centralnego ogrzewania, ciepła woda użytkowa równa 11 MW, temperatura głowicowa równa 42°C oraz wydajność źródła geotermalnego 70m^3/h. Ciepłownia jest wyposażona w rurociągi zasilające i powrotne sieci ciepłowniczej, oraz źródło szczytowe na węgiel kamienny. Projektowe parametry sieci ciepłowniczej dla C.O to 130/70°C oraz dla przygotowania C.W.U – 70/50°C (wszystkie powyższe dane oraz wiele innych użytkownik może wprowadzić sam).

Fig. 1. *Widok z sekcji wprowadzania danych oraz wyników (charakterystyk odbiorcy) w kalkulatorze dla miejscowości Koluszki (user4geoenergy.net)*

W modelu założono jednakową strukturę procentową strat ciepła dla wszystkich odbiorców typową dla budynków jednorodzinnych. Podobnie postąpiono z założeniami dotyczącymi np. wymienników ciepła (wszyscy użytkownicy systemu posiadają jednakowe). Po przeprowadzonych pracach termomodernizacyjnych parametry pracy instalacji są odpowiednio dopasowywane do zredukowanego zapotrzebowania na moc i energię.

Przedstawiając możliwości i funkcjonalność kalkulatora przeprowadzono porównanie opłacalności oraz wpływ na środowisko dla 3 różnych wariantów czynności termomodernizacyjnych w lokalizacji korzystającej ze źródła geotermalnego w sieci ciepłowniczej.

Wariant 1 – ograniczenie strat ciepła przez wentylacje o 25% przez odbiorców ciepła w stosunku do stanu wyjściowego.

Wariant 2 – ograniczenie strat ciepła przez ściany zewnętrzne 15% przez odbiorców ciepła w stosunku do stanu wyjściowego.

Wariant 3 – ograniczenie strat ciepła przez stolarkę okienną o 15% przez odbiorców ciepła w stosunku do stanu wyjściowego.

Kalkulator posiada wiele funkcji pozwalających oszacować czy kierunek zmian jest opłacalny. Ze względu na dużą ilość uproszczeń w stosunku do pierwotnego programu, nie zaleca się ściśle skupiać się na konkretnych liczbowych wynikach kalkulatora, ale raczej na wskazywaniu przez niego kierunku efektywności oraz opłacalności przeprowadzanych zmian.

Rezultaty

Jako rezultat symulacji w kalkulatorze otrzymywane jest wiele przydatnych danych zarówno dla operatora sieci ciepłowniczej, jak i odbiorcy ciepła. W przedstawionej pracy efektami szacunków kalkulatora jest prosty czas zwrotu dla dodatkowych nakładów inwestycyjnych poniesionych na dane przedsięwzięcie termomodernizacyjne wyrażone w latach. Ponadto kalkulator jest w stanie oszacować o ile może ulec obniżeniu cena wytworzenia i dostawy jednostki energii (1 GJ) w systemie dla odbiorcy końcowego. Określanym efektem ekologicznym jest zmniejszona ilość emisji związków CO_2, SO_2, NO_x, oraz pyłu całkowitego na skutek redukcji ilości zużywanych surowców energetycznych, wykorzystywanych jako paliwo do napędu szczytowego źródła ciepła. Dane z przeprowadzonej symulacji 3 wariantów zostały zaprezentowane w Tabeli 1.

Tabela 1. *Wybrane parametry obliczeń kalkulatora energetycznego*

Wariant	SPBT [lat]	Obniżka ceny za energię dla odbiorcy końcowego [€/GJ]	Redukcja emisji CO_2 [ton/rok]	Redukcja emisji SO_2 [kg/rok]	Redukcja emisji NO_x [kg/rok]	Redukcja emisji pyłu całkowitego [kg/rok]
1	2,6	3,01	1 107	6 437	1 954	55 171
2	16,2	0,36	145	843	256	7 223
3	25,6	0,38	153	890	270	7 624

Wyniki

Czynności ograniczające zapotrzebowanie na energię mają zróżnicowaną opłacalność i czas zwrotu. Zależy to od wielu czynników, takich jak dostępne zasoby geotermalne, parametry odbiorcy ciepła, czy aktualne ceny paliw konwencjonalnych lub materiałów budowalnych. Wszystkie przedsięwzięcia redukujące zapotrzebowanie na energię są obecnie pożądane, jednak aby przekonać odbiorcę końcowego do zmian poprzez inwestowanie własnych środków pieniężnych należy przewidzieć jak zainwestowane środki zwrócą się w czasie. Wpływ na to może mieć dodatkowo koszt wytworzenia energii w źródle, pod warunkiem współpracy odbiorcy i operatora systemu ciepłowniczego. Warto również wspomnieć, że zabiegi te przyczyniają się do znacznego obniżenia temperatur pracy sieci ciepłowniczej. Dla przykładu w wariancie nr 1 po termomodernizacji wynosić będą ok. 116/65°C (obecnie 130/70°C). Sugerowane zmiany są oczywiście możliwe pod warunkiem, że wszyscy użytkownicy sieci zastosują się do przeprowadzanych zmian. Jest to jedno z założeń odróżniających kalkulator U4GEcalc od pełnego modelu systemu ciepłowniczego opracowanego w projekcie User4GeoEnergy. Podczas interpretacji wyników istotna jest także struktura założonych strat ciepła, która dla wszystkich użytkowników sieci jest identyczna (w rzeczywistym systemie tak nie jest, model pełny ma możliwość dowolnej zmiany tego założenia).

Efekt ekologiczny jest ważny w każdym przypadku niezależnie od stopnia zainwestowanych środków. Zmniejszająca się emisja ze wspomagającego źródła szczytowego, bądź całkowita jej eliminacja wpływa na stan środowiska naturalnego w bezpośrednim sąsiedztwie ciepłowni, a więc i odbiorców energii. Ponadto redukcja emisji np. CO_2 może przyczynić się do mniejszych opłat za emisję, co przełożyło by się na finalną cenę energii dla odbiorcy końcowego.

Kalkulator U4GEcalc może być pomocny dla operatów źródła ciepła, sieci ciepłowniczej dla zwrócenia uwagi odbiorcy na jego znaczenie dla kosztów i efektów ekonomicznych pokrycia potrzeb cieplnych. Jego celem jest zachęcenie do współpracy wyżej wymienionych grup i pokazanie, że ich współpraca każdemu może się opłacać. Odbiorca energii poprzez zainwestowane środki jest w stanie obniżyć zapotrzebowanie na moc i energię, a w konsekwencji wymagane temperatury zasilania i powrotu instalacji grzewczej. Z perspektywy źródła ciepła, oznacza to sprawniejszą pracę, zrównoważone wykorzystywanie źródła geotermalnego oraz oszczędzanie zasobów, a także redukcje strat ciepła w sieci.

W artykule przedstawiono wyniki projektu "Poprawa efektywności wykorzystania energii geotermalnej poprzez dostosowanie charakterystyki odbiorcy". Project User4GeoEnergy (No 2018-1-0502) is funded by Iceland, Liechtenstein and Norway through the EEA and Nor-way Grants Found for Regional Cooperation

Literatura

Kępińska B, 2021. Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2015 – 2019, Proceedings World Geothermal Congress 2020+1, Reykjavik, Iceland.

GUS (Główny urząd statystyczny). Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2021 r. Link: https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/zuzycie-energii-w-gospodarstwach-domowych-w-2021-roku,12,2.html.

User4GeoEnergy. Link: http://user4geoenergy.net/ zakładka Online calculator, dostęp 25.09.2023.

European Commission: Photovoltaic Geographical Information System. Link: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#TMY , dostęp 20.09.2023.

INSTALACJA GEOTERMALNA W SOULTZ-SOUS-FORÊTS JAKO PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA ENERGII GORĄCYCH SUCHYCH SKAŁ

Magdalena STARCZEWSKA[1], Anna SOWIŻDŻAŁ[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo Hutnicza; magdalena.starczewska@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: EGS, gorące suche skały, Soultz-sous-Forêts, instalacja geotermalna

Wstęp

Energia geotermalna jest ekologicznym i odnawialnym źródłem energii, powszechnie wykorzystywanym w systemach hydrotermalnych, o bardzo dużym potencjale użytkowym. W przeciwieństwie do systemów hydrotermalnych, technologia wspomaganych systemów geotermalnych (EGS – Enhanced Geothermal System) umożliwia pozyskiwanie energii z suchych skał, które zawierają niewiele wody lub nie zawierają jej wcale. Odbywa się to poprzez sztuczne zwiększenie wydajności hydraulicznej zbiornika geotermalnego, a następnie wprowadzenie do niego płynu roboczego, który jest nośnikiem energii na powierzchnię. Wspomagane systemy geotermalne bazują na gorących, suchych lub prawie suchych skałach, dlatego technologia ta może być stosowana na całym świecie. W Polsce EGS nie zostały jeszcze zastosowane, choć prowadzone są prace badawcze w tym zakresie pod kątem budowy instalacji pilotażowej (Pająk i in., 2021, Sowiżdżał i in. 2022, www.energizers.agh.edu.pl). Doskonałym przykładem wykorzystania energii gorących suchych skał jest instalacja w Soultz-sous-Forêts we Francji (DiPippo, 2016, Cuenot i in., 2008, Baria i in., 1999).

Niniejszy artykuł przedstawia rezultaty wizyty studyjnej zrealizowanej w ośrodku badawczym w Soultz-sous-Forêts we Francji i stanowi bazę do realizacji pracy doktorskiej pt: Ocena środowiskowa funkcjonowania niekonwencjonalnych systemów geotermalnych EGS. W trakcie wizyty zapoznano się z zasadą funkcjonowania systemu EGS, historią elektrociepłowni oraz aktualnie prowadzonymi pracami. Pozyskane dane posłużą do przeprowadzenia analizy cyklu życia (LCA) w specjalistycznym oprogramowaniu SimaPro. Doświadczenia światowe wskazują, że w branży energetyki geotermalnej w systemach EGS LCA wykonywana jest rzadko (Lacirignola i in., 2014, Pratiwi i in., 2018, Kaczmarczyk, 2018 Sigurjonsson i in., 2021).

Instalacja Soultz - sous- Forêts - ogólna charakterystyka

Europejski projekt EGS zlokalizowany jest w Soultz - sous- Forêts, w Alzacji we Francji. Badania rozpoczęto w 1987 roku na zlecenie Komisji Europejskiej w celu poszukiwania nowych źródeł do produkcji energii. Miejsce badań znajduje się w pasie Rowu Dolnego Renu, która jest częścią Europejskiej strefy ryftowej, rozciągającej się od miasta Mainz (środkowe Niemcy), aż po Bazyleę (Szwajcaria). Gradient geotermiczny na tym obszarze wynosi około 110°C/km. Moc zainstalowana elektrowni wynosi 1,7 MW. System geotermalny w Soultz opiera się na trzech otworach: produkcyjnym – GPK 2 oraz zatłaczających GPK 3 i GPK 4, natomiast istnieją także inne otwory: GPK – 1 (nieużywany obecnie pierwszy odwiert zatłaczający) oraz EPS 1 (badawczy). Gorąca solanka dopływa do głowicy otworu uzyskując temperaturę około 150 °C przy ciśnieniu 23 bar i przepływie 30 kg/s. Uzyskanie takich parametrów przepływu jest możliwe przy zastosowaniu pompy. Po przefiltrowaniu (filtr 150µm) trafia do systemu wymienników rurowych, a następnie do jednostki ORC (Organiczny Cykl Rankina). Z względu na duże zasolenie płynu geotermalnego zdecydowano o użyciu wtórnego obiegu roboczego z czynnikiem roboczym o niskiej temperaturze wrzenia. W instalacji zastosowano ORC, w którym czynnikiem roboczym jest izobutan. Po schłodzeniu do temperatury około 60-80 °C (w zależności od pory roku), solanka kierowana jest do otworów zatłaczających GPK 4 i GPK 3. Ze względu na niewielką dostępność warstw wodonośnych w okolicy elektrowni jednostka ORC chłodzona jest powietrzem. Od 2016 elektrownia wytwarza energię elektryczną na skalę przemysłową, roczna produkcja to około 8 000 MWh, wytworzona energia elektryczna trafia do lokalnej sieci energetycznej (Ledesert i Hebert., 2012).

Podsumowanie

Wizyta studyjna w ośrodku badawczym w Soultz-sous-Forêts umożliwiła zapoznanie się z technologią EGS oraz pozyskanie danych do realizacji rozprawy doktorskiej. Instalacja ta to jedyny europejski przykład systemu EGS produkujący energię elektryczną na skalę komercyjną. Lokalizacja ta jest dużym poligonem badawczym,

który sukcesywnie wykorzystywany jest do realizacji prac naukowych. Projekt Soultz-sous-Forêts wyraźnie wskazuje, że produkcja energii elektrycznej jest możliwa przy wykorzystaniu energii geotermalnej zakumulowanej w obrębie nisko przepuszczalnego zbiornika. Przeprowadzenie analizy cyklu życia przy wykorzystaniu danych i doświadczeń z wizyty studyjnej pozwoli na określenie wpływu na środowisko instalacji EGS.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH. Prace zrealizowano w ramach polsko-norweskiego projektu: Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO_2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu, akronim EnerGizerS, numer rejestracyjny NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019 dofinansowanego z Funduszy Norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

Baria R., Baugmartner J., Gerard A., Jung R., Garnish J., 1999. European HDR research programme at Soultz-sous- Forêts (France) 1987-1996. Geothermics 28 (1999) 655-669.

Cuenot N., Faucher J. P., Fritsch D., Genter A., Szabliński D., 2008. The European EGS project at Soultz-sous-Forêts: from extensive exploration to power production.

DiPippo R., 2016. Geothermal Power Plants. Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact. Elsesevier.

Kaczmarczyk, M., 2019. Methodology and impact categories of environmental life cycle assessment in geothermal energy sector. E3S Web of Conferences 100, 00032 (2019).

Lacirignola, M., Meany, B.H., Padey, P., Blanc I., 2014. A simplified model for the estimation of life-cycle greenhouse gas emissions of enhanced geothermal systems. Geotherm Energy 2, 8, https://doi.org/10.1186/s40517-014-0008-y

Ledesert B. A., Hebert R. L., 2012. The Soultz – sous – Forêts Enhanced Geothermal System: A Granit Basement Used as a Heat Exchanger to Produce Electricity. Heat Exchangers. Basic Design Applications. ISBN: 978-953-51-0278-6.

Pająk L., Sowiżdżał A., Gładysz P., Tomaszewska B., Miecznik M., Andresen T., Frengstad B.S., Chmielowska A. 2021. Multi- Criteria Studies and Assessment Supporting the Selection of Locations and Technologies Used in CO_2–EGS Systems. Energies 14, 7683.

Pratiwi A., Ravier G., Genter A., 2018. Life-cycle climate-change impact assessment of enhanced geothermal system plants in the Upper Rhine Valley. Geothermics, Volume 75, Pages 26-39, ISSN 0375-6505, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2018.03.012

Sigurjónsson H.E., Cook D., Davíðsdóttir B., Bogason S.G., 2022. An environmental life cycle cost assessment of the costs of deep enhanced geothermal systems – The case studies of Reykjanes, Iceland and Vendenheim, France. Geothermics, Volume 103, 102425, ISSN 0375-6505, https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102425.

Sowiżdżał A., Machowski G., Krzyżak A., Puskarczyk E., Krakowska-Madejska P., Chmielowska A., 2022. Petrophysical Evaluation of the Lower Permian Formation as a Potential Reservoir for CO2 - EGS – Case Study from NW Poland. J Clean Prod, 379, 134768, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.134768.

Tester J.W., Anderson B.J., Batchelor A.S., Blackwell D.D., DiPippo R., Drake E.M., i in., 2006. The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal system (EGS) on the United States in the 21st century. Massachusetts Institute of Technology; 2006.

Strony internetowe. https://energizers.agh.edu.pl/pl/; dostęp: wrzesień 2023 r.

GEOTERMALNE PŁYNY ROBOCZE – PORÓWNANIE I ANALIZA EFEKTYWNOŚCI W INSTALACJACH EGS

Maciej SZYMANEK[1], Anna SOWIŻDŻAŁ[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; maszyman@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: płyny robocze, woda, dwutlenek węgla, wspomagane systemy geotermalne

Wstęp

Postępujące zmiany klimatu i konieczność odchodzenia od paliw kopalnych sprzyja rozwojowi technologicznemu w energetyce geotermalnej. Powstaje coraz więcej publikacji naukowych (np. Huenges, 2016; Song i in., 2020; Habibollahzade i in., 2022) oraz badań dotyczących wspomaganych systemów geotermalnych EGS (ang. *Enhanced Geothermal System*). Głęboko położone, słabo przepuszczalne, lecz gorące skały są niezbędnym elementem do budowy systemu EGS. Chcąc eksploatować energię cieplną potrzebne jest szczelinowanie takiego złoża i wprowadzenie czynnika roboczego. Przykładami instalacji EGS pracującymi obecnie są instalacje w Soultz-sous-Forets, Groß Schönebeck czy Habanero (Lu, 2018). Potencjalną lokalizacją dla instalacji EGS w Polsce jest Blok Gorzowa (Pająk et al. 2021), gdzie zbiornikiem są dolnopermskie skały wulkaniczne i osadowe (Sowiżdżał i in., 2022).

Cel badań

Głównym płynem roboczym stosowanym w instalacjach EGS jest woda, coraz więcej badań dotyczy możliwości wykorzystania innych płynów roboczych, np. dwutlenku węgla (np. Pruess, 2006; Olasolo et al. 2018, Kumari i Ranjith, 2019). Celem badań jest analiza porównawcza geotermalnych płynów roboczych (dwutlenku węgla i wody) i wskazanie efektywniejszego z nich dla konkretnego przypadku. Za wykorzystaniem dwutlenku węgla przemawiają jego właściwości termodynamiczne. Dzięki zjawisku większego gradientu ciśnienia między otworem produkcyjnym i chłonnym i wytworzenia się między nimi siły ułatwiającej przepływ (efekty termo-syfonu), umożliwia on stosowanie pomp obiegowych mniejszych mocy. Na to zjawisko wpływa również ściśliwość CO_2, która jest znacznie większa niż ściśliwość wody. CO_2 dzięki niższej lepkości jest bardziej mobilny, głębiej penetruje skałę, co umożliwia także jego sekwestrację geologiczną (Olasolo i in., 2016).

Materiały i metody

Do badań wykorzystywana jest metoda symulacji komputerowej wykorzystująca oprogramowanie IPSEpro, dzięki której możliwe jest wykonanie modelu instalacji EGS, wskazanie płynu roboczego oraz analiza funkcjonowania pracy systemu. Analizowana będzie potencjalna instalacja EGS w Bloku Gorzowa. Dodatkowo wspomagano się materiałami źródłowymi dot. instalacji EGS na świecie oraz analiz płynów roboczych (np. Olasolo i in., 2018; Kumari i Ranjith 2019; Song i in., 2020).

Rezultaty i wyniki

Na potrzeby badań stworzono w oprogramowaniu IPSEpro dwa proste modele instalacji EGS, których składowymi są złoże (otwór produkcyjny i chłonny), turbina, generator, kondenser (w przypadku 1), wymiennik ciepła (w przypadku 2) oraz zasilanie i powrót wody dostarczanej z zewnątrz (kogeneracja). Modele zostały zaprojektowane dla bezpośredniego obiegu wody, jak i bezpośredniego obiegu CO_2 do turbiny. Przyjęto temperaturę złoża na poziomie 150°C, ciśnienie 41 MPa i przepływ 40 kg/s zarówno dla wody, jak i CO_2. Woda do celów kogeneracji charakteryzuje się parametrami przepływu równemu 30kg/s, temperaturze początkowej 4°C i ciśnieniu 1 bar.

Wstępne wyniki symulacji dla pierwszego przypadku pokazują, że sprawność układu pracującego na CO_2 jest o 84% wyższa niż sprawność układu wykorzystującego wodę, jednakże wygenerowana moc elektryczna jest o 37% niższa. Dodatkowo, temperatura wyjściowa wody dla kogeneracji jest dwukrotnie wyższa niż w przypadku układu CO_2.

Wstępne wyniki symulacji dla drugiego przypadku pokazują, że sprawność układu CO_2 jest większa ponad pięciokrotnie. Co więcej, wytworzona moc elektryczna jest niemal dwukrotnie większa niż w układzie pracującym na wodzie. Parametry wody dla kogeneracji są niemal identyczne jak dla pierwszego przypadku. Należy mieć na uwadze, że są to wstępne wyniki, które stanowią bazę do dalszych analiz.

Prace zrealizowano w ramach polsko-norweskiego projektu: Niekonwencjonalne systemy geotermalne CO2-EGS jako systemy energetyczne neutralne dla klimatu, akronim EnerGizerS, numer rejestracyjny NOR/POLNOR/EnerGizerS/0036/2019 dofinansowanego z Funduszy Norweskich 2014-2021 za pośrednictwem Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt badawczy finansowany ze środków programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" w AGH.

Literatura

Huenges E., 2016. Enhanced geothermal systems: Review and status of research and development. Geothermal Power Generation. Developments and Innovation, pp. 743-761.

Song W., Wang C., Du Y., Shen B., Chen S., Jiang Y., 2020. Comparative analysis on the heat transfer efficiency of supercritical CO_2 and H_2O in the production well of enhanced geothermal system. Energy vol. 205, s. 118071.

Habibollahzade A., Petersen K.J., Aliahmadi M., Fakhari I., Brinkerhoff J.R., 2022. Comparative thermoeconomic analysis of geothermal energy recovery via super/transcritical CO_2 and subcritical organic Rankine cycles. Energy Conversion and Management vol. 251, s. 115008.

Lu S.M., 2018. A global review of enhanced geothermal system (EGS). Renewable and Sustainable Energy Reviews vol. 81, s. 2902-2921.

Pająk L., Sowiżdżał A., Gładysz P., Tomaszewska B., Miecznik M., Andresen T., Frengstad B.S., Chmielowska A., 2021. Multi-Criteria Studies and Assessment Supporting the Selection of Locations and Technologies Used in CO_2-EGS Systems. Energies vol. 14 (22), s. 7683.

Sowiżdżał A., Machowski G., Krzyżak A., Puskarczyk E., Krakowska-Madejska P., Chmielowska A., 2022. Pertophysical formation as a potential reservoir for CO_2-EGS – Case study from NW Poland. Journal of Cleaner Production vol 379, cz. 2, 15, s. 134768.

Pruess K., 2006. Enhanced geothermal systems (EGS) using CO2 as working fluid – A novel approach for generating renewable energy with simultaneous sequestration of carbon. Geothermics 35, s. 351-367.

Olasolo P., Juarez M.C., Morales M.P., Olasolo A., Agius M.R., 2018. Analysis of working fluids applicable in Enhanced Geothermal Systems: Nitrous oxide as an alternative working fluids. Energy 157, s. 150-161.

Kumari W.G.P., Ranjith P.G., 2019. Sustainable development of enhanced geothermal systems based on geotechnical research – A review. Earth-Science Reviews 199, s. 102955.

Olasolo P., Juarez M.C., Morales M.P., D'Amico S., Liarte I. A., 2016. Enhanced Geothermal Systems (EGS): A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, s. 133-144.

ZNACZENIE BADAŃ SEJSMICZNYCH W PROJEKTOWANIU OTWORÓW GEOTERMALNYCH W NIECCE PODHALAŃSKIEJ NA PRZYKŁADZIE OTWORU BIAŁKA TATRZAŃSKA GT-2

Piotr Jan DŁUGOSZ[1], Stanisław SZCZUREK[1], Tomasz WOŹNIAK[1], Katarzyna BYSTROŃ[1], Józef WIECZOREK[1], Paweł DZIUBASIK[2]

[1]*PROINSOL Sp. z o.o., Kraków; pdlugosz@proinsol.pl*
[2]*Park Wodny Bania S.A., Białka Tatrzańska*

Słowa kluczowe: badania sejsmiczne, geotermia, niecka podhalańska

Wstęp

Metody sejsmiczne należą do najczęściej stosowanych metod badawczych, które dzięki wykorzystaniu sztucznie wygenerowanych fal sejsmicznych pozwalają na sprawne i wiarygodne zbadanie rozległego obszaru dostarczając informacji o wgłębnej budowie badanych struktur geologicznych. Dzięki temu znajdują powszechne zastosowanie w badaniach geotermalnych.

Dotychczasowe rozpoznanie podłoża niecki podhalańskiej opiera się na wierceniach (m.in. Bańska IG-1, Bańska PGP-1, Bańska PGP-3, Biały Dunajec PGP-2, Biały Dunajec PGP-5, Biały Dunajec PAN-1) oraz sejsmicznych badaniach geofizycznych. Najlepszym stopniem rozpoznania cechuje się strefa doliny Białego Dunajca oraz strefa położona bezpośrednio przy brzegu Tatr. Słaby stopień rozpoznania w niecce obejmuje natomiast dolinę Czarnego Dunajca oraz dolinę Białki.

Przez obszar niecki przebiegają dotychczas wykonane profile sejsmiczne 2D: 8-III-75K, 24-V-87K, 24A-V-87K, 25-V-87K, 4-III-75K i 26-V-87K, a także rejon Białego Dunajca – Bańskiej (obszar około 27, 5 km) pokryty jest zdjęciem sejsmicznym 3D (Wieczorek i Barbacki, 1997).

W rejonie Białki Tatrzańskiej rozpoznanie budowy geologicznej niecki podhalańskiej i jej podłoża opierało się dotychczas na podstawie uzyskanych danych z wiercenia otworu geotermalnego Białka Tatrzańska GT-1, dla którego nie przewidziano badań sejsmicznych na etapie projektowania otworu.

Cel badań

Zadaniem projektowanego dla inwestycji Białka Tatrzańska GT-2 profilu sejsmicznego było wyznaczenie stropu utworów podfliszowych, stropu utworów kredy oraz stref uskokowych.

Materiały i metody

W ramach prac terenowych wykonano badania sejsmiczne 2D wzdłuż profilu sejsmicznego o długości 5800 metrów. Pomiary wykonano z krokiem 20 m dla punktów odbioru oraz 40 m dla punktów wzbudzania (łącznie 284 PO oraz 133 PW wzdłuż profilu). Do przetwarzania danych użyto licencjonowanego oprogramowania SeisSpace2D/3D (Promax) firmy Halliburton. Interpretację wykonano przy użyciu platformy interpretacyjnej Petrel firmy Schlumberger. Wyniki prac obliczeniowych i interpretacyjnych przedstawiono w postaci przekroju sejsmicznego w domenie czasu i głębokości.

Rezultaty

Wykonane prace geofizyczne pozwoliły na ogólne rozpoznanie budowy geologicznej na terenie obszaru górniczego „Białka" oraz umożliwiły przybliżenie założeń tektonicznych, przebiegu stref uskokowych, jak i wydzielenie głównych kompleksów skalnych czyli fliszu podhalańskiego oraz mezozoicznych warstw podłoża. Korelacja z otworem Białka Tatrzańska GT-1 umożliwiła wyznaczenie na sekcji sejsmicznej głównych horyzontów (m.in. strop utworów podfliszowych i strop utworów kredy jednostki Bańskiej) oraz ważniejszych dyslokacji. Duże zaangażowanie tektoniczne widoczne w rejonie Białki oraz niewystarczająca ilość danych otworowych, nie pozwoliły na jednoznaczne wydzielenie na sekcji sejsmicznej drobnych jednostek triasowych nawierconych w otworze Białka Tatrzańska GT-1. Niemniej jednak, pozyskane dane sejsmiczne pozwoliły na optymalne wybranie lokalizacji i trajektorii otworu Białka Tatrzańska GT-2.

Projekt wiercenia Białka Tatrzańska GT-2 zakładał wykonanie otworu kierunkowego zlokalizowanego w odległości około 50 m w kierunku SSW od istniejącego otworu Białka Tatrzańska GT-1. Otwór Białka Tatrzańska GT-2 zaprojektowano jako kierunkowy o trajektorii „J", do głębokości pionowej 2665 m TVD (TVD z ang. *true vertical depth* tj. rzeczywista głębokość pionowa otworu) od powierzchni terenu i długości

2761 m MD (MD z ang. *measured depth* tj. głębokość otworu wiertniczego mierzona wzdłuż osi otworu) od powierzchni terenu. Tak zaprojektowany otwór miał przewiercić utwory węglanowe jednostki Białki Tatrzańskiej i zakończyć wiercenie w kredowych marglistych utworach jednostki Bańskiej.

Wyniki

Finalnie otwór Białka Tatrzańska GT-2 został odwiercony do głębokości 2930 m MD i 2824,7 m MD. W odwierconym profilu otworu nie stwierdzono utworów jednostki Bańskiej, a wiercenie zakończono w jednostce Białki Tatrzańskiej, składającej się z dwóch łusek tektonicznych zbudowanych z utworów węglanowych triasu, rozdzielonych cienkim pakietem utworów kajpru karpackiego (brekcje węglanowe, czerwone iły). Skomplikowanie budowy tektonicznej podłoża niecki miało wpływ na pewne różnice między planowanym, a przewierconym profilem geologicznym otworu Białka Tatrzańska GT-2 ale otwór spełnił w pełni założony cel geologiczny, który udało się z dużą dokładnością zaprojektować dzięki zastosowaniu badań sejsmicznych. Różnice głębokości wydzieleń geologicznych projektowanych względem odwierconych nie przekroczyły 60 m, co w przypadku braku siatki otworów wiertniczych jest bardzo dobrym rezultatem.

W otworze Białka Tatrzańska GT-2 udokumentowano zasoby eksploatacyjne w wysokości 220 m^3/h, przy temperaturze wody na wypływie osiągającej 80,5°C. Stwierdzono wody typu Cl-SO_4-Na-Ca, S, F, H_2SiO_3 o mineralizacji w przedziale 3335–3393 mg/l i wykładniku gazowym 0,1913 dmn^3/dm^3 (Kukuła i in., 2022). Natomiast w udokumentowanym w 2008 roku otworze Białka Tatrzańska GT-1 (Wątor i in., 2008) stwierdzono zasoby dyspozycyjne wód termalnych na poziomie 35 m^3/h przy depresji 355 m oraz temperaturze na wypływie 73°C. Mineralizacja wód typu SO_4–Cl–Na–Ca osiągnęła 1786 mg/l. W obydwóch otworach ujęto wapienie i dolomity triasu środkowego jednostki reglowej.

Dzięki zastosowaniu badań sejsmicznych możliwe było zoptymalizowanie lokalizacji i w konsekwencji konstrukcji otworu Białka Tatrzańska GT-2, dzięki czemu osiągnięto cel geologiczny oraz uzyskano lepsze parametry hydrogeologiczne względem ówcześnie pionierskiego otworu Białka Tatrzańska GT-1. W efekcie uzyskania tak dobrych parametrów wód termalnych w odwiercie Białka Tatrzańska GT-2 zaistniała konieczność odwiercenia następnego otworu Białka Tatrzańska GT-3 jako otworu chłonnego, którego trajektoria oraz azymut zostaną wyznaczone w oparciu o kolejne badania sejsmiczne umożliwiające szczegółowe lokalne rozpoznanie budowy geologicznej.

Literatura

Kukuła, M., Bystroń, K., Szczurek, S., Kosiek, K., Długosz, P., Wieczorek, J., 2022. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód termalnych Białka Tatrzańska GT-2 z utworów podfliszowych niecki podhalańskiej w miejscowości Białka Tatrzańska, gmina Bukowina Tatrzańska. Kraków, 116 pp.

Wątor, L., Spinczyk, A., Wieczorek, J., Bystroń, K., Długosz, P., 2008. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód termalnych z otworu Białka Tatrzańska GT-1 w miejscowości Białka Tatrzańska. Wyciągi Narciarskie – Wierch Bania Józef Dziubasik, 124 pp.

Wieczorek, J., Barbacki, A., 1997. Przekrój geologiczny przez nieckę podhalańską i jej podłoże na podstawie danych sejsmicznych i wiertniczych; implikacje dla geotermii. Przegląd Geologiczny, 46(7), 715-720.

PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METOD SEJSMICZNEJ I MAGNETOTTELURYCZNEJ DO ROZPOZNAWANIA ZBIORNIKÓW GEOTERMALNYCH NA NIŻU POLSKIM

Anna WACHOWICZ-PYZIK[1], Adam CYGAL[2], Michał STEFANIUK[3], Tomasz MAĆKOWSKI[4]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; amwachow@agh.edu.pl*
[2]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; cygal@agh.edu.pl*
[3]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; stefaniu@agh.edu.pl*
[4]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; mackowsk@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: metody geofizyczne, zbiorniki geotermalne, sejsmika, magnetotelluryka, Niż Polski

Wstęp

Zbiorniki geotermalne w Polsce związane są z zasobami niskotemperaturowymi, które w większości zakumulowane są w czterech prowincjach geotermalnych obejmujących: Niż Polski, Karpaty, Zapadlisko Przedkarpackie i Sudety. Każda z nich charakteryzuje się odmiennymi warunkami geologicznymi i parametrami fizycznymi wód termalnych. Wyznaczanie tych parametrów z powodzeniem można wspomóc metodami geofizycznymi, które są często stosowane w celu rozpoznawania budowy geologicznej, jak również znajdują szerokie stosowanie w przemyśle naftowym. W przypadku metod niesejsmicznych, takich jak megnetotelluryka, znajdują one zastosowanie przy rozpoznawaniu basenów sedymentacyjnych oraz spękanych skał krystalicznych tworzących zbiorniki geotermalne. Metoda ta jest w szczególności predysponowana do tego typu badań, podczas gdy w innych dziedzinach używana jest jako uzupełniająca dla badań sejsmicznych.

Cel badań

W artykule przedstawiono zastosowanie metod geofizycznych, w tym metody sejsmicznej i magnetotellurycznej, w celu rozpoznania struktur geologicznych związanych ze złożami geotermalnymi na Niżu Polskim. Zaprezentowane przykłady badań hydrogeotermalnych dotyczą kompleksów osadowych Niżu Polskiego związanych głównie z utworami kredy dolnej i jury dolnej. W oparciu o wyniki kompleksowej interpretacji danych otworowych, sejsmicznych i magnetotellurycznych przeprowadzono analizę zbiornikową osadów mezozoiku w rejonie niecki mogileńsko-łódzkiej, pod kątem oceny potencjału i możliwości wykorzystania zasobów wód geotermalnych.

Materiały i metody

Sejsmiczną interpretację strukturalną i inwersję sejsmiczną wykorzystano w celu określenia parametrów hydrogeotermicznych poziomów wodonośnych dolnej kredy i dolnej jury, zlokalizowanych w niecce mogileńsko-łódzkiej (centralna część Niżu Polskiego). Niezależnie od otrzymanych wyników, interpretacja danych magnetotellurycznych, zarejestrowanych w tym obszarze, pozwoliła na opracowanie metodologii ich wykorzystania w celu rozpoznania zbiorników geotermalnych. Wynika to z faktu, że metoda ta, bazując na propagacji fal elektromagnetycznych w ośrodku geologicznym, dostarcza różnych i niezależnych informacji o parametrach fizycznych skał. Parametrem uzyskiwanym podczas inwersji jest oporność, która umożliwia ocenę składu litologicznego osadów tworzących zbiorniki wód termalnych oraz pośrednio wspomaga ocenę nasycenia i zasolenia wody.

Rezultaty

Metody sejsmiczne mogą być z powodzeniem stosowane w badaniach i ocenie potencjału geotermalnego w celu określenia parametrów złożowych, takich jak głębokość do stropu zbiornika, jego miąższość i porowatość. Ponadto dane sejsmiczne mogą pomóc w wyborze optymalnych obszarów pod przyszłe inwestycje geotermalne. Metody magnetotelluryczne, oparte na analizie zróżnicowania oporności ośrodka geologicznego, z wykorzystaniem szerokiego zakresu częstotliwości naturalnego lub sztucznego pola elektromagnetycznego, mogą być z powodzeniem stosowane do wyznaczania stref filtrowanych przez wodę gorącą i zmineralizowaną. Strefy takie charakteryzują się względnymi obniżeniami oporności na tle dominującej, wysokiej oporności skał zbiornikowych.

Jednym z przykładów wykorzystania metody sejsmicznej, w celu lokalizacji i rozpoznania stref perspektywicznych, pod kątem możliwości wykorzystania energii geotermalnej, jest rejon Malanowa zlokalizowanego w obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej. W rejonie tym na podstawie danych sejsmicznych możliwa była identyfikacja horyzontów zbiornikowych oraz ich analiza, w tym weryfikacja geometrii wydzielonych poziomów. Innym przykładem wykorzystania kompleksowej interpretacji danych geofizycznych jest rejon Obrzycka, w którym wykorzystano metodykę obrazowania struktur mezozoicznych do oceny możliwości występowania niskotemperaturowych złóż geotermalnych.

Wyniki

Badania sejsmiczne, które w Polsce są rzadko wykorzystywane w ramach realizacji projektów geotermalnych, z powodzeniem można wykorzystać w celu określenia parametrów złożowych (porowatość, zawartość iłów). Zastosowanie kompleksowej interpretacji z wykorzystaniem dwóch niezależnych metod geofizycznych, tj. sejsmicznej i magnetotellurycznej, stanowi cenne narzędzie do oceny skał zbiornikowych i zbiorników geotermalnych. W oparciu o wysoką rozdzielczość jaką zapewnia interpretacja danych sejsmicznych oraz informacje przestrzenne dotyczące rozkładu oporności, możliwe było opracowanie uzupełniającego modelu strukturalnego potencjalnych obszarów zarówno dla zbiorników termicznych o wysokiej, jak i niskiej temperaturze.

Artykuł powstał w ramach grantu badawczego statutowego AGH nr 16.16.140.315/05.

WPŁYW WĘGLOWODORÓW NA EKSPLOATACJĘ OTWORÓW GEOTERMALNYCH NA PRZYKŁADZIE OTWORU WIERTNICZEGO KOŁO GT-1

Piotr Jan DŁUGOSZ[1], Przemysław STASIAK[2], Tomasz WOŹNIAK[1], Stanisław SZCZUREK[1], Katarzyna BYSTROŃ[1], Piotr DŁUGOSZ[1]

[1]*PROINSOL Sp. z o.o., Kraków; pdlugosz@proinsol.pl*
[2]*Geotermia Koło Sp. z o.o., Koło; prezes@geotermiakolo.pl*

Słowa kluczowe: węglowodory, geotermia, niecka łódzka

Wstęp

W trakcie wiercenia otworu Koło GT-1, w interwale głębokościowym 2931,0–2955,0 m, aparatura kontrolno-pomiarowa zarejestrowała wzrost obecności węglowodorów. Podniesione zgazowanie zarejestrowano w obrębie szarych margli z materią organiczną i wkładkami ciemnoszarych i czarnych mułowców bogatych w materię organiczną, opisanych w dokumentacji geologicznej jako utwory najwyższej jury górnej tj. nieformalnej jednostki tzw. formacji kcyńskiej (Kukuła i in., 2018). Analiza próbek okruchowych w tym interwale wykazała intensywny zapach węglowodorów, wyraźne jasnożółto-pomarańczowe ślady ropy na zwiercinach oraz bladoniebieską fluorescencję zwiercin pod lampą UV. Odnotowano również wyraźny wzrost zgazowania płuczki z maksymalnym wskazaniem na głębokości 2934,3 m wynoszącym 29,0 % C_1 (metan), 52,5% TG. Zarejestrowano ponadto występowanie całego spektrum rejestrowanych węglowodorów (zakres pomiarowy chromatografu od C_1–nC_5 tj. metan – n-pentan) (Kukuła i in., 2018).

Ze względu na brak dopływów wód termalnych w interwale dolnej jury w otworze Koło GT-1 podjęto decyzję o częściowej likwidacji otworu w całym interwale dolnej jury (korki cementowe w interwałach 3905-3873m, 3873-3655m i 3070-2815m) oraz powrocie do udostępnienia piaskowców kredy dolnej, zgodnie z projektem robót geologicznych (Tott i in., 2019). Otwór Koło GT-1 został odwiercony w roku (2019) i udokumentowany (2019). Otwór ten ma stanowić dublet geotermalny wraz z odwierconym w (2022) otworem Koło GT-2. Podczas prac związanych z otworem Koło GT-2 pomierzono kontrolnie zwierciadło wody w odwiercie Koło GT-1 i stwierdzono występowanie ropopodobnej cieczy na listwie taśmy mierniczej świstawki. W trakcie prowadzonych badań hydrogeologicznych po odwierceniu otworu Koło GT-1 tj. w trakcie pompowania oczyszczającego oraz pomiarowego nie zaobserwowano dopływu węglowodorów do otworu wiertniczego.

Dotychczas podjęte działania w otworze Koło GT-1 po stwierdzeniu ropopodobnej substancji:

- Wykonanie (przez wykonawcę wiercenia) analizy płynu z odwiertu Koło GT-1 wraz z określeniem źródła jego pochodzenia w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii na Wydziale Wiertnictwa Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (Wiśniowski i in., 2023).
- W lutym 2023 roku Serwis Slickline przystąpił do prac w odwiercie Koło GT 1. Za pomocą warsztatu slickline ustalono głębokość lustra płynu na głębokości ok. 111 m. Stwierdzono drożność kolumny rur 13 $^3/_8$" x 9 $^5/_8$" x 6 $^5/_8$" na całej długości, aż do spodu rur filtracyjnych 2809 m/w. Na powierzchni stwierdzono oblepienie narzędzi wgłębnych oleistą substancją ropopodobną. Przystąpiono do operacji oczyszczania odwiertu za pomocą łyżki przelewowej zapuszczanej do odwiertu za pomocą wyciągu drutowego. W pierwszym marszu łyżka o średnicy 120 mm wyniosła samą substancje oleistą ropopodobną. W kolejnych próbach wyciągano wodną mieszaninę tej substancji.
- Wykonanie ekspertyzy badawczej w odwiercie Koło GT-1w Laboratorium Geochemii Organicznej i Analiz Środowiskowych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Celem ekspertyzy było określenie źródła (skały macierzystej) ropy naftowej, która pojawiła się w odwiercie powyżej korka cementowego wykonanego w interwale 3070-2815.

Wyniki ekspertyz:

Analiza I

Według Wiśniowskiego i in. (2023) zidentyfikowana w otworze substancja ma cechy lekkiej ropy naftowej, a jej objętość w odwiercie (ok. 100 cm^3) wskazuje na nietypowe źródło pochodzenia. Zdaniem autorów ekspertyzy, poprawnie wykonany korek cementowy powinien wystarczająco izolować interwał z dopływami

węglowodorów, ponadto nagromadzenie się tak małej ilość ropopochodnych nie wskazuje na jego wadliwe wykonanie (okres dopływu 3 lata). Autorzy wskazują także na możliwość migracji węglowodorów do warstw położonych powyżej, które są udostępnione odwiertem Koło GT-1. Wiśniowski i in. (2023). Wskazują także, że powierzchnia rur okładzinowych pokryta jest warstwą antykorozyjną o lepiszczu bitumicznym. Materiał ten ma zwiększone powinowactwo do adsorpcji lekkich węglowodorów, które w perspektywie długiego czasu i temperatury mogą się uwalniać i migrować ku górze.

Analiza II

Według Więcław i in. (2023) wykonane badania Rock-Eval udowodniły, że w próbkach pobranych z tytonu górnego dominuje ropotwórczy kerogen II typu, którego dojrzałość termiczna odpowiada początkowej fazie „okna ropnego". Wartości wskaźników geochemicznych próbek dolnokredowych są charakterystyczne dla obecności gazotwórczego kerogenu typu III o bardzo niskim potencjale generowania, co dyskwalifikuje skały dolnokredowe jako potencjalne źródło węglowodorów ciekłych, tj. ropy naftowej (Więcław i in., 2023).

Niska wartość stosunku węglowodorów nasyconych do aromatycznych oraz podwyższona zawartość asfaltenów wskazuje, że droga migracji ropy była dość krótka, a brak toluenu w ropie sugeruje znaczne przemywanie wodą termalną w kolumnie otworu. Z analizy wynika, że badana ropa naftowa nie miała styczności ze skałami dolnokredowymi. Wniosek ten popiera brak biomarkerów pochodzenia lądowego, które występują obficie w poziomach dolnokredowych. Przeprowadzone analizy ujawniły brak tych związków chemicznych, co świadczy o tym, że badana ropa naftowa pochodzi bezpośrednio z poziomu górnojurajskiego (Więcław i in., 2023).

Planowane przedsięwzięcia przed uruchomieniem dubletu geotermalnego:

W celu umożliwienia przeprowadzenia pompowania oczyszczającego w odwiercie Koło GT-1 w pierwszym kroku zostanie wykonany zabieg oczyszczenia otworu z ropy naftowej wymieszanej z solanką, poprzez wypompowanie całej objętości wewnętrznej rur w otworze. Omawiany krok umożliwi ocenę skali dopływu ropy naftowej w czasie oraz pozwoli przystąpić do planowanego pompowania oczyszczającego poprzedzającego pompowanie eksploatacyjno-zatłaczające dubletu geotermalnego Koło GT-2 i Koło GT-1 (Bystroń i in., 2020).

Literatura

Bystroń, K., Długosz, P., Guty, Ł., 2020. Projekt Robót Geologicznych na wykonanie otworu geotermalnego Koło GT-2 wraz z określeniem warunków hydrogeologicznych w związku z wtłaczaniem wód do górotworu. PRO-INVEST SOLUTIONS Sp. z o.o. Spółka komandytowa, Kraków, s. 49.

Kukuła, M., Bystroń, K., Guty, Ł, Kosiek, K, Długosz, P, 2019. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód termalnych z otworu Koło GT-1 w miejscowości Chojny, gmina Koło. UOS Drilling S.A/PROINSOL Sp. z o.o. Spółka komandytowa, Kraków, s. 115.

Tott M., Bystroń K., Długosz P., 2016. Projekt robót geologicznych na wykonanie otworu poszukiwawczo-rozpoznawczego Koło GT-1 w celu ujęcia wód termalnych w miejscowości Chojny, gmina Koło, powiat kolski, województwo wielkopolskie. Pro-Invest Solutions Sp. z o.o. Spółka komandytowa. Kraków.

Wiśniowski, R., Chruszcz-Lipska, K., Knapik, E., Złotkowski, A., 2023. Analiza płynu z odwiertu Koło GT-1 wraz z określeniem źródła jej pochodzenia. Akademia Górniczo-Hutnicza. Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu. Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, s. 18.

Więcław, D., Kowalski, A., Zakrzewski, A., Jurek, K., Kowalski, T., Zych, H., 2023. Wykonanie ekspertyzy badawczej w odwiercie Koło GT-1. Akademia Górniczo-Hutnicza. Wydział Geologii, Geofizyki i ochrony Środowiska, s. 25.

DOBÓR OPTYMALNYCH METOD TERENOWEGO I LABORATORYJNEGO OZNACZANIA PRZEWODNOŚCI TERMICZNEJ GRUNTÓW, SKAŁ I ZWIETRZELIN NA BAZIE DOŚWIADCZEŃ W REALIZACJI MAP POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ

Aleksandra ŁUKAWSKA[1], Ewa JAGODA[1], Kajetan WCZELIK[1]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; aleksandra.lukawska@pgi.gov.pl*

Słowa kluczowe: właściwości termiczne gruntów i skał, badania laboratoryjne, badania terenowe, geotermia niskotemperaturowa, mapy potencjału geotermii niskotemperaturowej

Wstęp

W publikacji przedstawiono zestawienie rekomendowanych metod badawczych w zakresie oznaczania przewodności termicznej różnych typów litologicznych gruntów, skał oraz zwietrzelin. Zaproponowane zestawienie opiera się na doświadczeniach zdobytych w latach 2017 – 2022 podczas realizacji krajowych i międzynarodowych projektów takich, jak *Geoplasma-CE* (www.portal.geoplasma-ce.eu), TransGeotherm (www.transgeotherm.eu) oraz zadań Państwowej Służby Geologicznej p.n. *„Ocena potencjału energetycznego i uwarunkowań środowiskowych dla wsparcia zrównoważonego rozwoju geotermii niskotemperaturowej*".

Parametry termiczne gruntów i skał stanowią podstawę do zrozumienia i wykorzystania potencjału geotermii niskotemperaturowej w Polsce. Badania pozwalają na dokładne określenie właściwości termicznych płytkich warstw górotworu, co jest kluczowe do odpowiedniego zaprojektowania instalacji gruntowych pomp ciepła, które będą w stanie pokryć zapotrzebowanie użytkownika na moc grzewczą i chłodniczą.

Cel badań

Celem prowadzonych badań jest dostarczenie wytycznych dotyczących wyboru metod badawczych stosowanych w pomiarach właściwości termicznych podłoża gruntowego. Z uwagi na duże zróżnicowanie środowiska geologicznego, indywidualny dobór metody badawczej dla różnych typów litologicznych gruntów i skał jest warunkiem koniecznym do uzyskania wysokiej jakości, wiarygodnych parametrów, które następnie mogą być wykorzystywane do prawidłowego scharakteryzowania regionalnego potencjału termicznego poszczególnych warstw profilu geologicznego. W Państwowym Instytucie Geologicznym -PIB wyniki tych badań stanowią podstawę do opracowywania Map Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej (MPGN) dla wybranych obszarów w Polsce.

Materiały i metody

W toku realizacji projektów przeanalizowane zostały próby gruntów i skał z różnych obszarów kraju. Na potrzeby realizacji zadania PSG pobrane zostały próby z odrębnych pod względem budowy geologicznej obszarów kraju: Niżu Polskiego (aglomeracja warszawska), Niziny Śląskiej (aglomeracja wrocławska), Beskidów Zachodnich (Bielsko-Biała, Żywiec, Sucha Beskidzka, Rabka - Zdrój) i Środkowych (Piwniczna - Zdrój, Muszyna - Zdrój) oraz Sudetów i Pogórza Sudeckiego (Jelenia Góra).

Parametryzacja termiczna gruntów i skał w Państwowym Instytucie Geologicznym - PIB prowadzona jest w ramach działalności laboratorium geotermalnego w Centrum Badań Gruntów i Skał. Laboratorium dysponuje szerokim spektrum aparatury badawczej, dzięki któremu możliwe jest wykonywanie oznaczeń przewodności termicznej różnych typów litologicznych gruntów, skał i zwietrzelin. Pomiary w laboratorium są prowadzone metodą igły termicznej w stanie nieustalonym *(non-steady state)* oraz w stanie ustalonego przepływu ciepła *(steady-state)*. Znajdujący się na wyposażeniu laboratorium sprzęt umożliwia wykonywanie pomiarów zarówno in situ (analizatory właściwości termicznych KD2 Pro i Tempos, miernik przewodności termicznej Hukseflux), jak i w laboratorium (analizatory właściwości termicznych KD2 Pro i Tempos, miernik przewodności termicznej TK04, sonda stacjonarna FOX50).

W doborze metod rekomendowanych dla poszczególnych typów litologicznych wzięto pod uwagę szereg czynników, w tym: możliwość poboru reprezentatywnej próby oraz jej transportu do badań laboratoryjnych, wielkość i jakość pobranej próby, możliwości techniczne przygotowania próby do badań, specyfikacja techniczna oraz zakres pomiarowy dostępnej aparatury do pomiaru przewodności termicznej, a w przypadku

prób skał – właściwości mechaniczne i stopień zwietrzenia masywu. W procesie klasyfikacji gruntów i skał posiłkowano się aktualnie obowiązującymi normami ISO o statusie norm krajowych w zakresie rozpoznania i badań geotechnicznych. Materiał skalny do badań przewodności termicznej sklasyfikowano pod względem wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wg PN-EN ISO 14689:2018-05. Opis stopnia zwietrzenia masywu skalnego bazuje na proporcjach świeżego materiału skalnego i produktów jego wietrzenia w badanej próbce zgodnie z wytycznymi ww. normy. Wobec gruntów zastosowano podział na grupy pod względem rozkładu ich uziarnienia zgodnie z PN-EN ISO 14688-2:2018-05.

Rezultaty

Wytyczne względem doboru optymalnych metod oznaczania przewodności termicznej gruntów, skał i zwietrzelin zestawiono w formie tabel. Tabela 1 zawiera zestawienie rekomendowanych metod badawczych i aparatury pomiarowej w zależności od litologii badanego wydzielenia. Tabela 2 zawiera metody proponowane w zależności od stwierdzonego stopnia zwietrzenia masywu skalnego. Dla poszczególnych typów litologicznych wyróżniono zalecane metody badawcze (+), metody użyteczne w wybranych przypadkach (+/-) oraz metody niezalecane (-). Proponowane zestawienia rekomendowanych badań zostały zawarte w *Instrukcji wykonywania map potencjału i uwarunkowań środowiskowych geotermii niskotemperaturowej*.

Przedstawione badania są częścią zadania PSG pn. „Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej Polski (MPGN) w skali 1:50 00. Etap I – zadanie ciągłe", które jest finansowane ze środków Narodowego Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Literatura

Instrukcja wykonywania map potencjału i uwarunkowań środowiskowych geotermii niskotemperaturowej, Państwowy Instytut Geologiczny - PIB, 2022;

PN-EN ISO 14688-2:2018-05 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów - Część 2: Zasady klasyfikowania;

PN-EN ISO 14689:2018-05 Rozpoznanie i badania geotechniczne - Oznaczanie, opis i klasyfikowanie skał.

Tabela 1 Zalecane metody wyznaczania przewodności termicznej gruntów i skał w zależności od litologii i rodzaju badania

Rodzaj badań	Litologia		Zalecane metody badawcze					
			Metoda igły termicznej w stanie nieustalonym (non-steady state)					Pomiar przewodności termicznej w stanie ustalonym *(steady state)*
			analizator właściwości termicznych **KD2 Pro, Tempos**		miernik przewodności termicznej **TK04**		miernik przewodności termicznej **Hukseflux**	sonda stacjonarna **FOX50**
			sonda igłowa typu TR	sonda igłowa typu RK	sondy dyskowe typu HLQ	sonda igłowa typu VLQ		
Badania terenowe *(in situ)*	**wytrzymałość materiału skalnego na jednoosiowe ściskanie** wg PN-EN ISO 14689:2018-05	skrajnie słaba bardzo słaba słaba umiarkowanie słaba	-	+	n/d	n/d	-	n/d
		średnio mocna mocna bardzo mocna skrajnie mocna	-	+	n/d	n/d	-	n/d
	grupa gruntów wg PN-EN ISO 14688-2:2018-05	grunty drobnoziarniste	+	-	n/d	n/d	+	n/d
		grunty gruboziarniste	+	+/-	n/d	n/d	+	n/d
Badania laboratoryjne	**wytrzymałość materiału skalnego na jednoosiowe ściskanie** wg PN-EN ISO 14689:2018-05	skrajnie słaba bardzo słaba słaba umiarkowanie słaba	-	+	+/-	-	n/d	-
		średnio mocna mocna bardzo mocna skrajnie mocna	-	+	+	-	n/d	+
	grupa gruntów wg PN-EN ISO 14688-2:2018-05	grunty drobnoziarniste	+	-	-	+	n/d	+
		grunty gruboziarniste	+	+	-	+	n/d	-

Objaśnienia:

\+ *zalecana metoda wyznaczania przewodności termicznej;* - *metoda niezalecana* +/- *metoda użyteczna w wybranych przypadkach*

n/d *nie dotyczy*

Tabela 2 Zalecane metody oznaczania wartości przewodności termicznej gruntów i skał na próbkach zwietrzałych i spękanych

Rodzaj badania	Stopień zwietrzenia masywu skalnego wg PN-EN ISO 14689:2018-05		Zalecane metody badawcze					
	Określenie	Stopień	Metoda igły termicznej w stanie nieustalonym *(non-steady state)*					Pomiar przewodności termicznej w stanie ustalonym *(steady state)*
			analizator właściwości termicznych **KD2 Pro, Tempos**		miernik przewodności termicznej **TK04**		miernik przewodności termicznej **Hukseflux**	sonda stacjonarna **FOX50**
			sonda igłowa typu TR	sonda igłowa typu RK	sondy dyskowe typu HLQ	sonda igłowa typu VLQ		
Terenowe *(in situ)*	świeży	0	–	+	n/d	n/d	–	n/d
	słabo zwietrzały	1	–	+	n/d	n/d	–	n/d
	średnio zwietrzały	2	–	+	n/d	n/d	–	n/d
	silnie zwietrzały	3	+	–	n/d	n/d	+	n/d
	całkowicie zwietrzały	4	+	–	n/d	n/d	+	n/d
	grunt rezydualny	5	+	–	n/d	n/d	+	n/d
Laboratoryjne	świeży	0	–	+	+	–	n/d	+
	słabo zwietrzały	1	–	+	+	–	n/d	+
	średnio zwietrzały	2	–	+	+	–	n/d	+
	silnie zwietrzały	3	+	–	–	+	n/d	–
	całkowicie zwietrzały	4	+	–	–	+	n/d	–
	grunt rezydualny	5	+	–	–	+	n/d	–

Objaśnienia:

\+ *zalecana metoda wyznaczania przewodności termicznej;* – *metoda niezalecana* n/d *nie dotyczy*

MAPY POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ (MPGN) JAKO NARZĘDZIE PLANISTYCZNE SŁUŻĄCE ILOŚCIOWEJ I JAKOŚCIOWEJ OCENIE WARUNKÓW GEOLOGICZNO-TERMICZNYCH

Grzegorz RYŻYŃSKI[1], Marta SZLASA[1], Przemysław WOJTASZEK[1],Mateusz ŻERUŃ[1], Katarzyna BONIEWSKA[1], Wiesław KOZDRÓJ[2], Maciej KŁONOWSKI[2], Urszula WYRWALSKA[2], Adam MYDŁOWSKI[2], Aleksander KOWALSKI[2],Jacek KOCYŁA[1], Małgorzata TOTT[3], Tomasz GĄGULSKI[3], Łukasz NOWACKI[1], Aleksandra ŁUKAWSKA[1]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; marta.szlasa@pgi.gov.pl*
[2]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Dolnośląski*
[3]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Oddział Karpacki*

Słowa kluczowe: geotermia niskotemperaturowa, gruntowe pompy ciepła, otworowe wymienniki ciepła, model 3D, OZE, odnawialne źródła energii

Wstęp

W publikacji przedstawiono wynik prac prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) w ramach zadania Państwowej Służby Geologicznej (PSG) pn. „Ocena potencjału energetycznego i uwarunkowań środowiskowych dla wsparcia zrównoważonego rozwoju geotermii niskotemperaturowej". Opracowanie to było pierwszym ogólnopolskim podejściem do problematyki sporządzania seryjnych Map Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej (MPGN), mających na celu optymalizacje planowania systemów gruntowych pomp ciepła oraz ich bezpiecznej dla środowiska instalacji i eksploatacji.

Cel badań

Celem prowadzonych badań było wykonanie pilotażowych warstwy informacyjnych GIS obejmujących: Mapy Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej oraz Mapy możliwości wykonania otworowych wymienników ciepła z uwzględnieniem uwarunkowań środowiskowych. Mapy wykonywano w cięciu arkuszowym Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000 oraz w cięciu arkuszowym mapy topograficznej w skali 1:10 000 dla obszarów aglomeracji miejskich. Analizą objęto obszary: Warszawy, Wrocławia (skala 1:10 000) oraz okolic Jeleniej-Góry, Bielsko-Białej, Rabki-Zdroju, Krynicy-Zdroju (cięcie arkuszowe 1:50 000).

Celem opracowania było dostarczenie specjalistycznych narzędzi planistycznych służących ilościowej i jakościowej ocenie warunków geologiczno-termicznych. Uzupełnieniem map potencjału geotermalnego są mapy przedstawiające miejsca występowania potencjalnych konfliktów geośrodowiskowych, gdzie wykonywanie otworów wiertniczych dla wymienników ciepła (OWC), a więc i montaż gruntowych pomp ciepła (GPC), jest możliwy bez przeciwwskazań, warunkowo, bądź istnieją ewidentne przeciwwskazania do ich instalacji. Mapy tego typu są więc pomocne przy efektywnym projektowaniu indywidualnych instalacji GPC, jak i do określenia, np. przez władze lokalne, w jakim stopniu geotermia niskotemperaturowa może zaspokoić zapotrzebowanie na energię cieplną danego regionu lub aglomeracji miejskiej.

Powstałe mapy tematyczne mogą stanowić istotną pomoc dla:

- podmiotów gospodarczych i inwestorów indywidualnych wstępnie szacujących efektywność GPC,
- organów administracji geologicznej w podejmowaniu decyzji urzędowych dotyczących projektów robót geologicznych sporządzonych w celu wykorzystania ciepła Ziemi,
- władz samorządowych w tworzeniu lokalnych strategii rozwoju odnawialnych źródeł energii, bądź planów ograniczania niskiej emisji.

Uzupełnieniem map jest ogólnopolska baza danych GIS dla geotermii niskotemperaturowej, w ramach której zcyfrowano inne dokumentacje geologiczne wykonywane na potrzeby pozyskania ciepła Ziemi, zgromadzone w zasobach Narodowego Archiwum Geologicznego. Ponadto w ramach realizacji zadania przeliczono na potencjał geotermalny wybrane otwory z Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych (14 011 otworów, o głębokości powyżej 100 m), dla których wyznaczono efektywną przewodność termiczną λ_{eff} [W/m*K] w przedziale głębokościowym 0÷100m. Efektem jest mapa punktowa potencjału geotermii

niskotemperaturowej dla obszaru Polski. Parametryzację przeprowadzono na podstawie tabel przeliczeniowych przewodności cieplnej z Wytycznych PORT PC, 2021.

Powyższe działania są pierwszym krokiem do oszacowania zasobów płytkiej geotermii pod względem zastosowania optymalnych technologii oraz bilansu zasobów energetycznych Polski.

Materiały i metody

Metodyka tworzenia warstw informacyjnych potencjału geotermii niskotemperaturowej i uwarunkowań środowiskowych zaczerpnięta została z projektów międzynarodowych – TransGeoTherm, GeoPLASMA-CE Geothermal4PL oraz MUSE (w ramach pakietu projektów EuroGeoSurveys - GeoERA) realizowanych przez PIG-PIB nieprzerwanie od 2012 r. Tok prowadzenia prac wymagał dostosowania metodyki do specyfiki warunków geologicznych na terenie Polski, zasobów baz danych dostępnych w ramach Narodowego Archiwum Geologicznego, infrastruktury GIS w PIG-PIB, a także lokalnych uwarunkowań prawnych związanych z instalacją systemów gruntowych pomp ciepła.

Podstawą metodyki tworzenia Map Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej są geologiczne modele 3D, wykonywane na podstawie dostępnych i zweryfikowanych archiwalnych danych geologicznych i hydrogeologicznych, a także na podstawie realizowanych na potrzeby zadania prac terenowych, w tym geofizycznych (elektrooporowych oraz sejsmicznych). Warunki geologiczne (zgeneralizowane na potrzeby opracowania modelu strukturalnego) na analizowanych obszarach zostały odwzorowane w postaci serii geologiczno-termalnych (SGT) wydzielonych na podstawie zagregowania wydzieleń litologiczno-stratygraficzno-genetycznych pod kątem ich właściwości geologiczno-termalnych (głównie przewodności cieplnej λ_{eff} [W/m*K])

Kolejnym etapem było określenie właściwości termicznych podłoża w ramach wydzielonych SGT na badanych obszarach. W tym celu wykorzystano archiwalne badania, jak również przeprowadzono opróbowanie gruntów i skał w naturalnych lub sztucznych odsłonięciach (w razie dostępności także rdzeni wiertniczych), a następnie dokonano nowych pomiarów przewodności termicznej in-situ oraz w laboratorium w stanie suchym i zawodnionym. Pomiary prowadzono w stanie nieustalonym (*non-steady state*), a w warunkach laboratoryjnych również w stanie ustalonym (*steady state*). Pomiary prowadzono przy użyciu analizatorów właściwości termicznych (tzw. igieł termicznych), mierników przewodności termicznej (tzw. dysków termicznych) oraz przy użyciu sondy stacjonarnej typu FOX50.

Istotnym czynnikiem wpływającym na przewodność termiczną jest zawodnienie górotworu, które było również przedmiotem analizy. Opracowano siatki odległości zwierciadła wód podziemnych od powierzchni terenu na bazie ujednolicenia danych z warstw MHP PPW oraz z informacji o położeniu zwierciadła wód podziemnych z profili otworów z Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych. Położenie i miąższość warstw wodonośnych zostały uwzględnione w modelu parametrycznym na etapie konstrukcji rastrowych siatek GRID oraz modelowania rozkładu parametru λ w stanie „suchym" i „mokrym". Jako algorytm interpolacyjny zastosowano narzędzie IDW (*Inverse Distance Weighting*) z rozszerzenia ArcGIS Pro Spatial Analyst.

Ostatnim etapem było numeryczne wyliczenie map rozkładu średniej przewodności termicznej λ_{eff} skał i gruntów dla objętych projektem obszarów i w określonych przedziałach głębokości (odpowiednio 0÷40, 0÷70, 0÷100 i 0÷130 m - zgodnie z metodyką projektów TransGeoTherm oraz GeoPLASMA-CE). Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu skryptów Python, w komórce obliczeniowej rastrów GRID o wymiarach 25x25m. Przykładową finalną mapę potencjału pokazano na figurze 1.

Mapy możliwości wykonania otworowych wymienników ciepła z uwzględnieniem uwarunkowań środowiskowych, to opracowania o charakterze informacyjnym, przedstawiające przyszłemu inwestorowi elementy na jakie musi zwrócić uwagę przed planowaniem wykonania OWC. Informacja dotycząca istnienia ewentualnych niekorzystnych uwarunkowań środowiskowych pozwala odbiorcom indywidulanym (inwestorom), wykonawcom oraz organom administracji geologicznej na efektywniejsze prowadzenie procesu inwestycyjnego. W ramach map możliwości wykonywania OWC przeanalizowano wybrane, posiadające warstwy ciągłe dla całego kraju, czynniki środowiskowe, geologiczne i formalno-prawne. Na podstawie ich intersekcji wydzielono obszary, które podzielono na 3 klasy, opisane poniżej:

- **klasa I – instalacja bez przeciwskazań** – obszary, na których nie zidentyfikowano przeciwskazań do instalacji OWC
- **klasy II – instalacja warunkowa** – obszary w których zidentyfikowane czynniki należy szczegółowo przeanalizować w Projekcie Robót Geologicznych (PRG) i uwzględnić w projekcie technicznym OWC.

- **Do klasy III** – instalacja z ewidentnymi przeciwskazaniami - obszary, na których zidentyfikowane czynniki należy szczegółowo przeanalizować w PRG i uwzględnić je w projekcie technicznym OWC. Mogą one powodować brak możliwości wykonania OWC.

Każdej klasie przypisano odrębne oznaczanie kolorystyczne. Przykładową mapę zredagowaną kartograficznie do gotowego do wydruku pliku *.pdf przedstawiono na figurze 2.

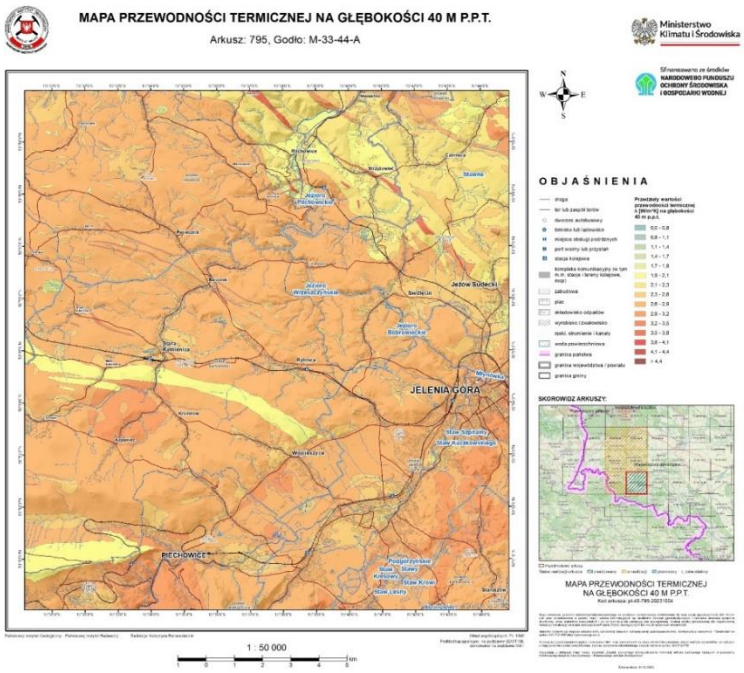


Fig. 1. *Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej dla obszaru pilotażowego Jelenia Góra przedstawiająca średnie wartości przewodności termiczne skał w W/(m*K) dla interwału głębokości 0-40 m.*

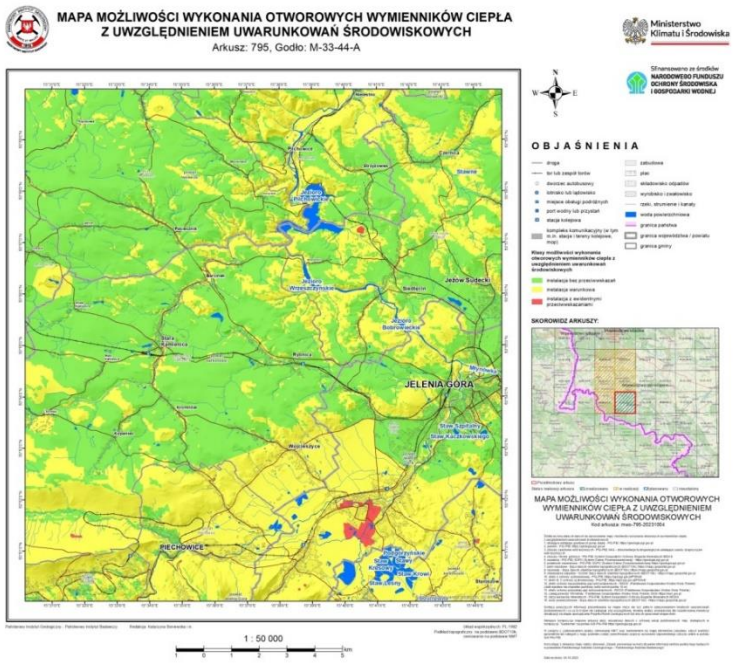


Fig. 2. *Wynikowa „Mapa możliwości wykonania otworowych wymienników ciepła z uwzględnieniem uwarunkowań środowiskowych" w skali 1:50 000 dla obszaru pilotażowego Jelenia Góra*

Rezultaty

W ramach zadania wykonano 1781 arkuszy map w skali 1:10 000 oraz 117 arkuszy map w skali 1:50 000, prezentujących warstwy informacyjne zawierające dane o potencjale geotermii niskotemperaturowej oraz o możliwościach wykonania otworowych wymienników ciepła z uwzględnieniem uwarunkowań

środowiskowych. Scyfrowano 1795 dokumentacji z Narodowego Archiwum Geologicznego oraz przeliczono na potencjał geotermalny 14011 otworów z bazy danych CBDH. Wykonano 5 otworów badawczo-monitoringowych (termopiezometrów). Opracowano metodykę sporządzania regionalnych map potencjału geotermii niskotemperaturowej.

W ramach zadania została utworzona również ogólnokrajowa baza danych GIS dla geotermii niskotemperaturowej obejmująca dane o obecnie funkcjonujących i udokumentowanych instalacjach gruntowych pomp ciepła.

Proponowana seryjna Mapa Potencjału Geotermii Niskotemperaturowej (MPGN) w skali 1:50 000 będzie początkiem oszacowania zasobów płytkiej geotermii pod względem zastosowania optymalnych technologii oraz bilansu zasobów energetycznych Polski.

Wyniki

Dane zgromadzone w bazie danych GIS oraz te przetworzone do postaci modeli geologicznych 3D, zostały finalnie przedstawione na mapach potencjału geotermii niskotemperaturowej. Mapy te, w postaci dostępnych online warstw informacyjnych zamieszczonych pod adresem geoportali GIS prowadzonych przez PIG – PIB https://geologia.pgi.gov.pl oraz https://geolog.pgi.gov.pl (kompozycja tematyczna „Geotermia"), pozwalają w szybki i prosty sposób oszacować potencjał geotermii niskotemperaturowej dla gruntów i skał w podłożu w przedziałach głębokości do odpowiednio 0÷40, 0÷70, 0÷100 i 0÷130 m.

Przewiduje się, że gruntowe pompy ciepła odegrają ważną rolę w transformacji energetycznej Polski, dlatego ważne jest aby inwestorzy i instytucje zainteresowane wykorzystaniem ciepła ziemi otrzymały narzędzie które pozwoli na optymalizacje projektowanych systemów gruntowych pomp ciepła oraz ich bezpieczną dla środowiska instalację i eksploatację.

Przedstawione badania są częścią zadania PSG pn. „Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej Polski (MPGN) w skali 1:50 00. Etap I – zadanie ciągłe", które jest finansowane ze środków Narodowego Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Literatura

Görz I., Heiermann M., Götzl G., Steiner C., Ciapała B., Hofmann K., & the GeoPLASMA-CE team, 2019. Wytyczne GeoPLASMA CE (Evaluated Guidelines on Harmonized Workflows and Methods for Urban and Non-Urban Areas

Kapuściński J., Rodzoch A., 2010. Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Ministerstwo Środowiska, Warszawa

Kępińska B., 2021. Wykorzystanie energii geotermalnej w Polsce w latach 2019–2021, Przegląd Geologiczny, vol. 69, nr 9, 559-565

Kozdrój W., Kłonowski M., 2014. TransGeoTherm. Energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju regionu Nysy – Projekt pilotażowy. Broszura informacyjna na temat stosowania geotermii niskotemperaturowej. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy we współpracy z Ladesamt Für Umwelt, Landwirschaft Und Geologie Freistaat Sachsen, Wrocław

Łukawska, A. Ryżyński, G. Żeruń M., 2020. Serial Laboratory Effective Thermal Conductivity Measurements of Cohesive and Non-cohesive Soils for the Purpose of Shallow Geothermal Potential Mapping and Databases — Methodology and Testing Procedure Recommendations. Energies, 13, 914

Łukawska, A.; Żeruń M. Ryżyński, G., 2021. Wpływ wilgotności gruntów mineralnych na wartość efektywnej przewodności termicznej na podstawie wyników pomiarów laboratoryjnych. Przegląd Geologiczny, vol. 69, nr 9, 604-610

PORT PC, 2013. Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła. Część 1. Dolne źródła do pomp ciepła. Wydanie pierwsze 01/2013, Kraków

PORT PC, 2021. Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła Część 1 Dolne źródła do pomp ciepła, Wydanie drugie 09/2021, Kraków

Ryżyński G., Kozdrój W., Szlasa M., (red), 2023. Instrukcja wykonywania map potencjału i uwarunkowań środowiskowych geotermii niskotemperaturowej, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

Ryżyński G., Majer E., 2015. Geotermia niskotemperaturowa – informacja geologiczna i procedury prawne. Przegląd Geologiczny vol. 63, nr 12/1, s. 1388–1396.

OCENA MOŻLIWOŚCI MAGAZYNOWANIA ENERGII CIEPLNEJ W GÓROTWORZE ZA POMOCĄ SYSTEMÓW ZAMKNIĘTYCH (BTES, PTES/TTES, EF) W WYBRANYCH LOKALIZACJACH NA TERENIE POLSKI – ZADANIE PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ (PSG)

Mateusz ŻERUŃ[1], Ewa JAGODA[2], Edyta MAJER[3]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; mateusz.zerun@pgi.gov.pl*
[2]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; ewa.jagoda@pgi.gov.pl*
[3]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; edyta.majer@pgi.gov.pl*

Słowa kluczowe: podziemne magazynowanie energii cieplnej, termoaktywne konstrukcje inżynierskie, BTES, PTES, TTES, EF

Wstęp

Realizacja krajowych, unijnych oraz międzynarodowych regulacji i wymagań związanych z zapobieganiem negatywnych zmian klimatycznych wymaga znacznego zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w ogólnym miksie energetycznym Polski. Geotermia płytka idealnie wpisuje się w strategię stopniowego ograniczania emisji dwutlenku węgla (CO_2). Energia cieplna pozyskiwana za pośrednictwem gruntowych pomp ciepła (GPC) stanowi efektywną i stabilną opcję zaspokajania potrzeb związanych z ogrzewaniem pomieszczeń, klimatyzacją oraz sezonowym gospodarowaniem i magazynowaniem nadwyżkami energii cieplnej. Wykorzystanie ośrodka gruntowo-skalnego jako źródła, bądź magazynu energii cieplnej, wpływa pozytywnie na redukcję niskiej emisji i polepszanie jakości powietrza, co przekłada się na poprawę stanu naturalnego środowiska i zdrowia ludności.

Aby sprostać potrzebom odbiorców i wykonawców instalacji geotermalnych Ministerstwo Klimatu i Środowiska opracowało „Wieloletni Program Rozwoju Wykorzystania Zasobów Geotermalnych w Polsce" [https://www.gov.pl/web/klimat/mapa-drogowa-rozwoju-geotermii-w-polsce]. Koncepcja przedstawiona w „Wieloletnim Programie…" jest prognozą rozwoju szeroko rozumianej geotermii w Polsce w latach 2022–2040 z perspektywą do roku 2050 (MKiŚ, 2022). W oparciu o ww. dokument, od 1.01.2023 r. Państwowa Służba Geologiczna (PSG) realizuje zadanie pn. „Ocena możliwości magazynowania energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF) w wybranych lokalizacjach na terenie Polski".

Cel badań

Merytoryczny obszar projektu dotyczy technologii sezonowego magazynowania energii cieplnej w górotworze (STES – *Seasonal Thermal Energy Stoarge*) za pomocą systemów zamkniętych, tj. wykorzystujących wymienniki ciepła (BTES – *Borehole Thermal Energy Storage* i EF – *Energy Foundations*, Fig. 1. i 2.), bądź sztuczne zbiorniki wypełnione wodą lub mieszaniną wody i żwiru (TTES – *Tank Thermal Energy Storage* i PTES – *Pit Thermal Energy Storage*, Fig 3.). Systemy te nie wykorzystują w sposób bezpośredni energii cieplnej zmagazynowanej w warstwach wodonośnych, tak jak ma to miejsce w przypadku technologii ATES (Aquifer Thermal Energy Storage).

Celem głównym przedsięwzięcia jest opracowanie kryteriów i metodyki oceny wyboru lokalizacji magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF), przeprowadzenie oceny wskazanych lokalizacji pod kątem możliwości budowy magazynów energii cieplnej z wykorzystaniem wypracowanej metodyki oraz stworzenie rankingu potencjalnych lokalizacji. Celem zadania jest również opracowanie podstaw do wdrażania systemów zamkniętych jako jednego z potencjalnie możliwych do zastosowania w kraju na szeroką skalę systemów grzania i chłodzenia oraz magazynowania nadwyżek energii z innych systemów

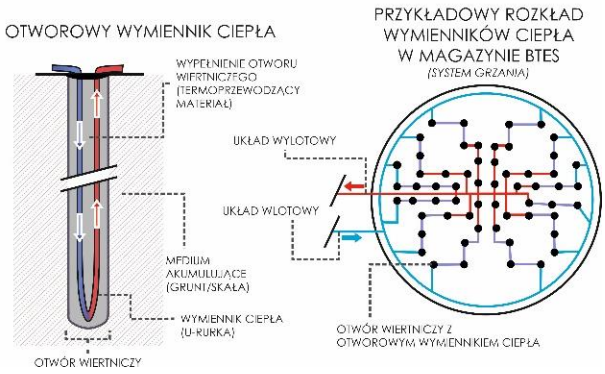


Fig. 1. *Schemat otworowego magazynu ciepła BTES wymiennikiem*

OZE np. z farm fotowoltaicznych, farm wiatrowych i innych.

W celu popularyzacji i udostępnienia danych przewiduje się umieszczenie wyników prac w serwisie internetowym o geotermii płytkiej oraz na portalach internetowych PIG-PIB udostępniających dane geologiczne. Pozwoli to w sposób interaktywny na przeglądanie danych, umożliwiając wszystkim interesariuszom łatwe, szybkie i bezpłatne sprawdzenie przydatności danego obszaru do wykonania podziemnych instalacji magazynujących energię cieplną w systemach zamkniętych.

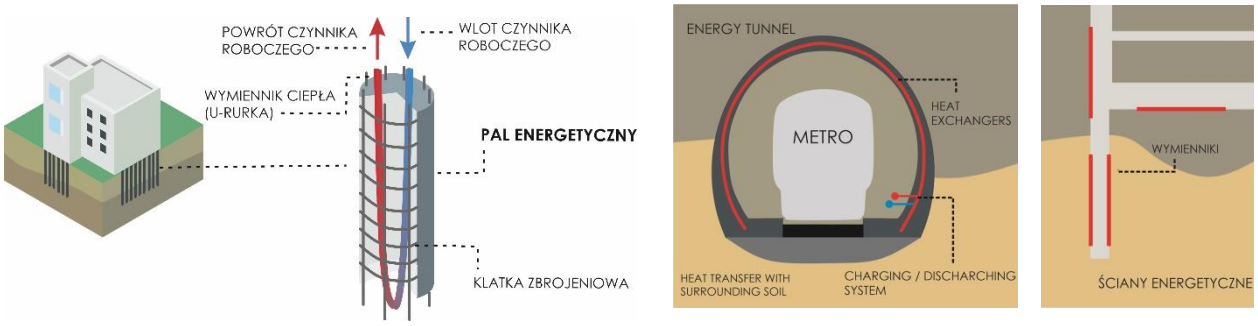


Fig. 2. *Schematy termoaktywnych konstrukcji inżynierskich EF. Kolejno pal energetyczny, tunel energetyczny i ściany energetyczne.*

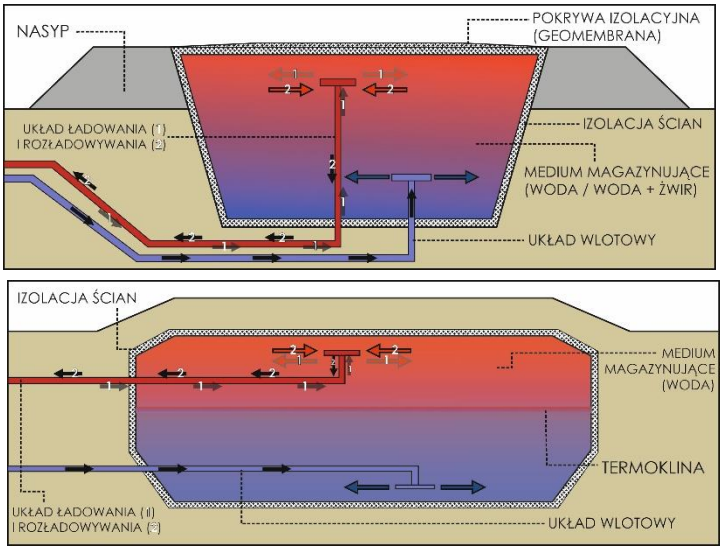


Fig. 3. *Schemat magazynów zbiornikowych. Kolejno technologia TTES i PTES.*

Materiały i metody

Efektywność podziemnych magazynów energii cieplnej oraz fundamentów energetycznych jest w dużym stopniu zdeterminowana lokalnymi warunkami geologicznym, dlatego identyfikacja naturalnych właściwości termicznych podłoża (ośrodka gruntowo-skalnego) ma kluczowe znaczenie dla prawidłowego projektowania i późniejszej eksploatacji instalacji. Realizacja projektu PSG wymaga osiągnięcia założeń poszczególnych kamieni milowych, stanowiących jednocześnie część efektów rzeczowych zadania. Prace zostały podzielone na część dotyczącą analizy danych zastanych (tzw. *desk study*), część analityczną oraz publikację wyników badań.

Część *desk study* obejmuje:

- przegląd i analizę stanu wiedzy oraz rozwiązań technologicznych stosowanych w systemach zamkniętych w Polsce, Europie i na świecie,
- opracowanie dokumentu pn. „Ocena możliwości lokalizowania magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF)", zawierającego kryteria i metodykę oceny lokalizowania magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych,
- zebranie dostępnych danych dotyczących wskazanych lokalizacji produkujących nadwyżki energii pochodzących z baz danych projektów europejskich, takich jak ReUseHeat (https://www.reuseheat.eu/) oraz Heat Roadmap Europe (https://www.heatroadmap.eu/),

- analizę istniejących uwarunkowań prawnych w Polsce w kontekście wdrożenia technologii BTES, PTES, TTES, EF, identyfikacja braków i opracowanie wytycznych dla optymalizacji uwarunkowań formalno-prawnych.

Na część analityczną składa się:

- przeprowadzenie oceny wskazanych lokalizacji pod kątem możliwości budowy magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych z wykorzystaniem dokumentu pn. „Ocena możliwości lokalizowania magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES, TTES, EF)" oraz opracowanie rankingu lokalizacji,
- opracowanie bazy danych zawierającej warstwy informacyjne GIS w zakresie oceny wskazanych lokalizacji pod kątem możliwości budowy magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych na podstawie przeprowadzonej oceny wskazanych lokalizacji.

Publikacja wyników badań obejmuje:

- zaktualizowanie serwisu internetowego o geotermii płytkiej w zakresie magazynów energii cieplnej w technologii BTES, PTES, TTES, EF oraz udostępnienie warstw informacyjnych na portalach internetowych PIG-PIB (geologia.pgi.gov.pl i geolog.pgi.gov.pl),
- działania mające na celu upowszechnianie wiedzy, popularyzację i podnoszenie świadomości społeczeństwa w zakresie magazynowania energii cieplnej za pomocą systemów zamkniętych w technologiach BTES, PTES, TTES, EF.

Rezultaty

Na chwilę obecną autorzy przygotowują dokument „Ocena możliwości lokalizowania magazynów energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF)", który ma być swojego rodzaju kompendium wiedzy na temat lokalizowania magazynów energii cieplnej w Polsce przy uwzględnianiu różnych kryteriów. Opracowanie zawiera obszerny przegląd literatury oraz charakterystykę poszczególnych technologii magazynowania energii cieplnej w systemach BTES, EF, PTES i TTES.

Zespół projektowy prowadzi intensywne prace nad zidentyfikowaniem kryteriów geologicznych, technicznych, ekonomicznych, środowiskowych, społecznych, oraz administracyjno-prawnych związanych z wykorzystaniem technologii podziemnego magazynowania energii cieplej przy wykorzystaniu systemów zamkniętych.

Dodatkowo wytypowano obiekty do wstępnej analizy możliwości magazynowania nadwyżek energii cieplnej, takie jak fabryki i zakłady przetwórstwa związane przemysłem spożywczym, obiekty przemysłowe generujące duże ilości ciepła odpadowego oraz elektrociepłownie posiadające nadwyżki energii cieplnej (Fig. 4.). Obiekty te zlokalizowane są w zasięgach sieci ciepłowniczych umożliwiających przesył energii cieplnej z teoretycznie rozważanych możliwych do zaprojektowania magazynów.

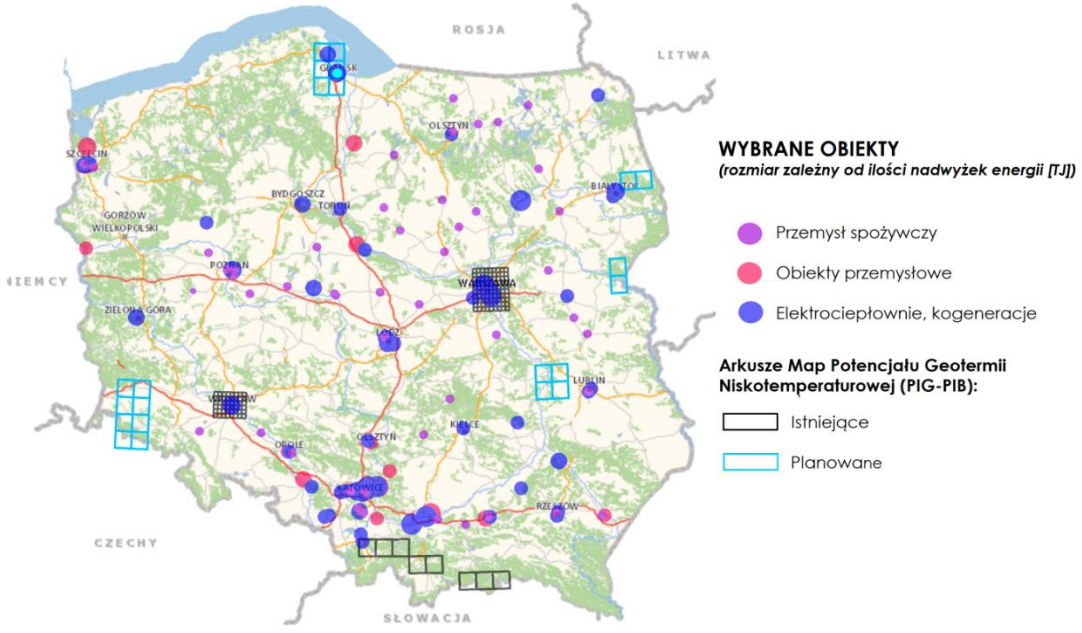


***Fig. 4**. Mapa wytypowanych lokalizacji dysponujących sieciami ciepłowniczymi i nadwyżkami energii cieplnej.*

Prace sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach realizacji zadania PSG pn. „Ocena możliwości magazynowania energii cieplnej w górotworze za pomocą systemów zamkniętych (BTES, PTES/TTES, EF) w wybranych lokalizacjach na terenie Polski”.

Literatura

Strona internetowa projektu Heat Roadmap Europe ://www.heatroadmap.eu/. Dostęp: 29.09.2023 r.

Strona internetowa projektu ReUseHeat https://www.reuseheat.eu. Dostęp: 29.09.2023 r.

Wieloletni Program Rozwoju Wykorzystania Zasobów Geotermalnych w Polsce” Ministerstwo Klimatu i Środowiska, https://www.gov.pl/web/klimat/mapa-drogowa-rozwoju-geotermii-w-polsce. Dostęp 29.09.2023 r

MOŻLIWOŚCI MATEMATYCZNEGO MODELOWANIA PÓL OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA PRZY PRACY REWERSYJNEJ Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORA NUMERYCZNEGO TOUGH3.0

Tomasz ŚLIWA[1], Kamil BANDURA[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, geoenergetyka, TOUGH3.0, klimatyzacja, rewersyjne pompy ciepła, geotermalne/gruntowe pompy ciepła

Streszczenie

Referat skupia się na możliwościach matematycznego modelowania pól otworowych wymienników ciepła przy pracy rewersyjnej (klimatyzacja) z wykorzystaniem TOUGH3.0. Celem jest zaprezentowanie kluczowych aspektów związanych z matematycznym modelowaniem instalacji BTES (*Borehole Thermal Energy Storage*) przy pracy grzewczo-chłodniczej, z naciskiem na wykorzystanie programu TOUGH3.0. Program TOUGH3.0. umożliwia przeprowadzenie zaawansowanych symulacji procesów tak jak program EED (Earth Energy Designer), ale w sposób znacznie bardziej rozbudowany oraz lepiej obrazując proces wymiany ciepła między górotworem a cyrkulującym nośnikiem ciepła w wymienniku oraz zmiany temperatur rezerwuaru ciepła (górotworu) na przestrzeni lat pracy całej instalacji. Modelowanie przedstawiono dla wybranego obiektu budowlanego lub obiektów budowlanych. W przeciwieństwie do EDD symulator TOUGH3.0 umożliwia tworzenie trójwymiarowych modeli, które uwzględniają różnorodne warunki geologiczne i hydrodynamiczne warstw skalnych.

W referacie przedstawione zostaną parametry wpływające na efektywność energetyczną oraz ekonomiczną systemu pracy rewersyjnej otworowych wymienników ciepła, które zostały uwzględnione przy symulacji w programie TOUGH3.0. Otworowe wymienniki ciepła odbierają ciepło zgromadzone w górotworze za pomocą krążącego nośnika ciepła, który później oddaje ciepło czynnikowi roboczemu o niskiej temperaturze wrzenia krążącemu w pompie ciepła. Niskotemperaturowe ciepło przede wszystkim wykorzystywane jest głównie zimą do ogrzewanie obiektów. Ponadto przy takim rozwiązaniu zimą „wtłaczany" jest chłód do górotworu przy pomocy wymienników, który to z kolei jest wykorzystywany w okresie letnim do chłodzenia pomieszczeń. W takim przypadku ciepło jest „wtłaczane" do górotworu, w zamian odbierany jest chłód. Takie rozwiązanie powoduje regeneracje wychłodzonej części górotworu, co powoduje wydłużenie żywotność działania systemu otworowych wymienników ciepła. Wymiennik w takim przypadku pracuje w systemie grzewczo-chłodniczym, czyli rewersyjnym. Jest to jeden z parametrów wpływających na wzrost efektywności energetycznej systemów otworowych wymienników ciepła.

Dodatkowo umożliwia to wywiercenie większej liczby otworowych wymienników ciepła na danej powierzchni. Rewersyjna praca daje możliwość zmniejszenia odległości pomiędzy otworami. Dzięki temu system posiadać może większą niskotemperaturową moc grzewczą. Przy pracy rewersyjnej minimalna odległość między wymiennikami powinna wynosić 6 m, w przypadku pracy wymienników wyłącznie w trybie grzewczym odległość ta wynosi 10 m.

W kolejnej części przedstawione zostanie matematyczne modelowanie pracy rewersyjnej w otworowym wymienniku ciepła. Przedstawiony zostanie proces tworzenia modelu geologicznego, parametry górotworu, przewodnictwo cieplne, pojemność cieplna, przepuszczalność itp. Dodatkowo przedstawiona zostanie zastosowana konstrukcja otworowych wymienników ciepła, głębokość, średnica otworu, rur i grubość ich ścianek, odległość między wymiennikami, rodzaj nośnika ciepła. Poza tym przedstawione będą parametry eksploatacyjne obiektu budowlanego, tj. roczne obciążenie cieplne, wartości obciążeń szczytowych, czas ich trwania, strumień objętościowy nośnika ciepła, temperatura nośnika ciepła. Wyjaśnione zostanie jak TOUGH3.0 pozwala na symulację zarówno procesu ogrzewania, jak i chłodzenia z wykorzystaniem otworowych wymienników ciepła, umożliwiając precyzyjną analizę efektywności systemu grzewczo-chłodniczego.

W dalszej części przedstawione zostaną wyniki symulacji pól otworowych wymienników ciepła przy pracy grzewczo-chłodniczej przy użyciu TOUGH3.0. Pokazane zostaną rozkłady pól temperatur, zmiany temperatur w czasie pracy wymienników, odległości, informacje uzyskane z modelowania, jak temperatury otaczających

skał, wydajność systemu oraz parametry, które można dostosować aby zoptymalizować wydajność podziemnego magazynu ciepła i chłodu.

W podsumowaniu przedstawione zostaną główne wnioski z symulacji oraz badań i opisane potencjalne perspektywy dalszych badań w zakresie matematycznego modelowania pól otworowych wymienników ciepła przy pracy grzewczo-chłodniczej oraz porównane z wynikami uzyskiwanymi przy zastosowaniu programu EDD. Zaznaczone zostanie znaczenie TOUGH3.0 jako narzędzia do analizy i optymalizacji systemów podziemnego magazynowanie ciepła i chłodu oraz wskazana zostanie konieczność dalszych badań w tej dziedzinie w kontekście różnych konstrukcji wymienników oraz innych czynników wpływających na działanie pojedynczego wymiennika i ich zespołu.

Matematyczne modelowanie pól otworowych wymienników ciepła przy pracy rewersyjnej z wykorzystaniem TOUGH3.0 jest procedurą do analizy i optymalizacji wydajności oraz doboru liczby otworowych wymienników ciepła w złożonych warunkach pracy. Oprogramowanie TOUGH3.0 umożliwia elastyczne dostosowanie modelu do różnych konstrukcji wymiennika oraz warunków pracy i pozwala na uwzględnienie czynników wpływających na efektywność energetyczną i ekonomiczną otworowych wymienników ciepła. Dzięki temu projektanci i badacze będą mogli projektować bardziej efektywne i zrównoważone systemy podziemnych magazynów ciepła, co ma istotne znaczenie dla budownictwa, przemysłu i środowiska naturalnego, szczególnie w przypadku pól z dużą liczbą wymienników otworowych.

BADANIA ZACZYNÓW USZCZELNIAJĄCYCH DO OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA WRAZ Z ZALECENIAMI DOTYCZĄCYMI ICH PRAWIDŁOWEGO ZATŁACZANIA

Tomasz KOWALSKI[1], Tomasz ŚLIWA[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

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

Wstęp

Dobór zaczynów uszczelniających (najczęściej cementowych) o odpowiednich parametrach do uszczelnienia otworowych wymienników ciepła jest jednym z najważniejszych etapów projektowania otworów. Natomiast na etapie wykonawczym bardzo ważne jest, aby etap zatłaczania został wykonany prawidłowo. W przypadku klasycznych otworów wiertniczych, do których zalicza się otwory geotermalne, istnieje wiele publikacji opisujących metody oraz algorytmy zabiegu cementowania (Nelson i Guillot 2006, Stryczek i in. 2017). Nie ma natomiast jednoznacznego toku postępowania w przypadku procesu cementowania otworowych wymienników ciepła współpracujących z geotermalnymi pompami ciepła. Jedne z pierwszych wytycznych powstały na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, zostały one zaprezentowane podczas II Seminarium "Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła" na temat: Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce w 2022 (Sapińska-Śliwa i in. 2022) odbywającego się w Uniejowie oraz podczas Światowego Kongresu Geotermalnego w Pekinie w 2023. Obecnie trwają prace nad ich uszczegółowieniem oraz rozwinięciem, co będzie zaprezentowane w niniejszym referacie.

Cel badań

Celem referatu jest opis badań laboratoryjnych, które powinny być wykonane przed zabiegiem cementowania otworowych wymienników ciepła. Ponadto autorzy niniejszej pracy przedstawiają zalecenia dotyczące prawidłowego wykonania procesu zatłaczania zaczynu do otworowych wymienników ciepła.

Badania laboratoryjne

W celu określenia parametrów zaczynów uszczelniających niezbędne jest wykonanie badań laboratoryjnych. W zakresie receptur zaczynów uszczelniających do zastosowań w geoenergetyce, a w szczególności w otworowych wymiennikach ciepła, najważniejsze są parametry termiczne stwardniałych próbek zaczynu, do których należy przewodnictwo cieplne. Przewodność cieplna mierzona jest za pomocą dedykowanego do tego celu sprzętu laboratoryjnego (Fig. 1). W otworowych wymiennikach dąży się, aby zaczyn uszczelniający cechował się jak najwyższym przewodnictwem cieplnym w celu optymalizacji wymiany ciepła (bądź „wymiany chłodu") pomiędzy nośnikiem ciepła znajdującym się w rurach wymiennika a górotworem. W innym typie wymienników otworowych, do których zalicza się termopale, najważniejsze są parametry wytrzymałościowe (Śliwa i in. 2021), mierzone laboratoryjnie z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu (Fig. 2), a dopiero w drugiej kolejności termiczne.

a) ***b)*** ***c)*** ***d)***

Fig. 1. *Przyrząd do pomiaru przewodnictwa cieplnego stwardniałych zaczynów uszczelniających FOX 50: a) moduł główny, b) miejsce do umieszczania próbek, c) moduł chłodzący d) sprężarka*

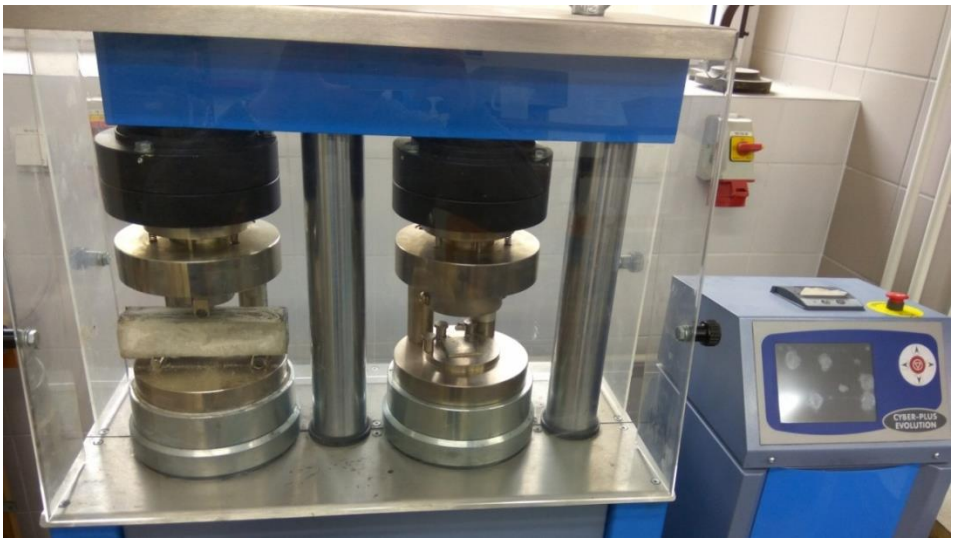


Fig. 2. *Przyrząd do pomiaru parametrów wytrzymałościowych Servo-Plus Evolution E183*

Nie należy jednak zapominać o parametrach świeżych zaczynów uszczelniających, gdyż to od nich głównie zależy powodzenie procesu cementowania. Parametry świeżych oraz stwardniałych zaczynów uszczelniających zebrano w tabeli 1.

Tabela 1.*Parametry świeżych oraz stwardniałych zaczynów uszczelniających (Rzepka i Stryczek 2008, Stryczek i in. 2015, Śliwa i in. 2021)*

Stan zaczynu, w którym powinien być on badany	Nazwa parametru	Sposób pomiaru
zaczyn świeży	gęstość	za pomocą wagi typu Baroid
zaczyn świeży	rozlewność	za pomocą ściętego stożka oraz płyty z koncentrycznie naniesionymi okręgami
zaczyn świeży	parametry reologiczne	za pomocą lepkościomierza obrotowego
zaczyn świeży	filtracja	za pomocą prasy filtracyjnej
zaczyn stwardniały	przewodność cieplna	za pomocą lambdametru, np. miernika przewodności cieplnej FOX50 (z normami ISO)
zaczyn stwardniały	wytrzymałość mechaniczna	za pomocą maszyny wytrzymałościowej (najczęściej prasy)

Zabieg cementowania otworowych wymienników ciepła

Podczas przygotowania zabiegu cementowania otworowych wymienników ciepła, jednym z najważniejszych etapów jest obliczenie objętości zaczynu (w tym cementu), niezbędnej do zatłoczenia. Ilość zaczynu będzie różnić się w zależności od typu konstrukcji wymiennika, średnicy otworu wiertniczego oraz rur wymiennika, a także głębokości, zarówno otworu, jak i głębokości zapuszczenia rur, ilość cementu jeszcze od wartości wskaźnika wodno-cementowego (w/c) i wodno-mieszaninowego (w/m).

Kolejnym więc krokiem jest obliczenie masy i objętości składników receptury oraz ilości cieczy zarobowej. Całość oczywiście zależy od ilości cementu oraz dodatków/domieszek względem masy suchego cementu oraz współczynników w/c i/lub w/m.

Zalecane jest również obliczenie oporów przepływu zaczynu cementowego w celu doboru odpowiedniego agregatu cementacyjnego. Końcowym etapem jest obliczenie czasu zabiegu cementowania otworowego wymiennika ciepła. Punkt ten jest bardzo ważny ze względu na różny czas wiązania poszczególnych cementów. Zbyt długi czas cementowania może doprowadzić do stwardnienia zaczynu w rurze iniekcyjnej.

Wnioski

1. Prawidłowy przebieg procesu cementowania i dobre uszczelnienie wymiennika otworowego zwiększa efektywność wymiany ciepła pomiędzy nośnikiem ciepła w rurach wymiennika a górotworem.
2. Badania laboratoryjne świeżych zaczynów uszczelniających oraz odpowiedni dobór lub modyfikacja receptur zaczynów minimalizuje komplikacje podczas zabiegu cementowania wymienników otworowych.

3. Rozpatrując otworowe wymienniki ciepła najważniejszym parametrem stwardniałych zaczynów uszczelniających jest przewodnictwo cieplne.

Badania finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

Literatura

Nelson E.B., Guillot D., 2006. Well Cementing. Second ed. Schlumberger, Texas.

Rzepka M., Stryczek S., 2008. Laboratoryjne metody określania parametrów technologicznych świeżych zaczynów uszczelniających przez zabiegiem związanym z procesem uszczelnienia kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych. Wiertnictwo Nafta Gaz, 25, 625-636.

Sapińska-Śliwa A., Rejman R., Złotkowski A., Mulawa H., Toczek P., Kowalski T., 2022. Algorytm zatłaczania zaczynów uszczelniających do otworowych wymienników ciepła. [W:] II Seminarium "Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła" na temat: Inżynieria otworowa dla przekształceń energetycznych w Polsce, 24-26 maja 2022, Uniejów.

Stryczek S., Bieda A., Bielewicz D., Druzgała A., Dudek A., Formela M., Goc A., Gonet A., Herman Z., Knez D., Kowalski T., Kowalska-Kubsik I., Pikłowska A., Rzyczniak M., Sapińska-Śliwa A., Śliwa T., Wiśniowski R., Zapiór P., Złotkowski A., 2015. Poradnik Górnika Naftowego – Wiertnictwo. Pierwsza edycja. Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, Kraków.

Stryczek S., Gonet A., Rzyczniak M., 2017. Projektowanie głębokich otworów wiertniczych. Pierwsza edycja. Wydawnictwa AGH, Kraków.

Śliwa T., Kowalski T., Cekus D., Sapińska-Śliwa A., 2021. Research on fresh and hardened sealing slurries with the addition of magnesium regarding thermal conductivity for energy piles and borehole heat exchangers. Energies, 14, 5119.

PROJEKT HORYZONT EUROPA SAPHEA – WIĘCEJ GEOTERMII W SIECIACH CIEPŁOWNICZYCH!

Marek HAJTO[1], Bartłomiej CIAPAŁA[1], Elżbieta HAŁAJ[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ); mhajto@agh.edu.pl;*

Słowa kluczowe: SAPHEA, geotermalne sieci ciepłownicze, GeoHC, głęboka geotermia, płytka geotermia

Wstęp

Ogrzewanie i chłodzenie odpowiadają za prawie połowę całkowitego zużycia energii na świecie i odpowiadają za około 40% emisji gazów cieplarnianych w sektorze energetycznym (IRENA, 2020). W 2019 r. energia ze źródeł odnawialnych pokrywała zaledwie 10,4% całkowitego światowego zużycia energii do ogrzewania i chłodzenia. W 2022 r. energia geotermalna stanowiła zaledwie 0,5% mocy zainstalowanej w źródłach odnawialnych do wytwarzania energii elektrycznej i 0,3% w końcowym zużyciu energii do ogrzewania i chłodzenia na całym świecie (IRENA, 2023).

W Europie odnotowuje się regularny wzrost ilości geotermalnych systemów ciepłowniczych i chłodniczych. Do końca 2022 roku funkcjonowało tutaj 395 systemów, z czego 261 w państwach członkowskich UE (EGEC, 2023).

Projekt SAPHEA ma na celu promowanie stosowania geotermii poprzez wprowadzenie i upowszechnienie nowoczesnych narzędzi internetowych wspomagających decyzje w zakresie zrównoważonych rozwiązań energetycznych w sieciach grzewczych i chłodniczych w Europie z wykorzystaniem energii geotermalnej. Sieci te tworzą realne możliwości wykorzystania potencjału zasobów geotermalnych jako podstawowego źródła ciepła sieciowego, które wraz z m magazynowaniem ciepła powinno doprowadzić do znacznego obniżenia zużycia energii pierwotnej pochodzącej z paliw kopalnych.

Projekt obejmuje kompleksowe podejście do promocji sieci grzewczych i chłodniczych. Skupia się nie tylko na tworzeniu nowych sieci, ale także na sposobach modernizacji istniejących systemów, które obecnie są zasilane paliwami kopalnymi. Dzięki wykorzystaniu i dostosowaniu istniejących narzędzi i metod, konsorcjum projektu opracuje strategie i plany działań mające na celu wskazanie możliwości wykorzystania potencjału geotermalnego w różnych regionach Europy i różnych konfiguracjach źródeł ciepła, uwzględniających geotermię nisko- i wysokotemperaturową, systemy magazynowania ciepła, systemy suchych gorących skał (HDR), wspomagane systemy geotermalne (EGS), a także nowatorskie rozwiązania wykorzystujące głębokie zasoby geotermalne (AGS) – Fig.1.

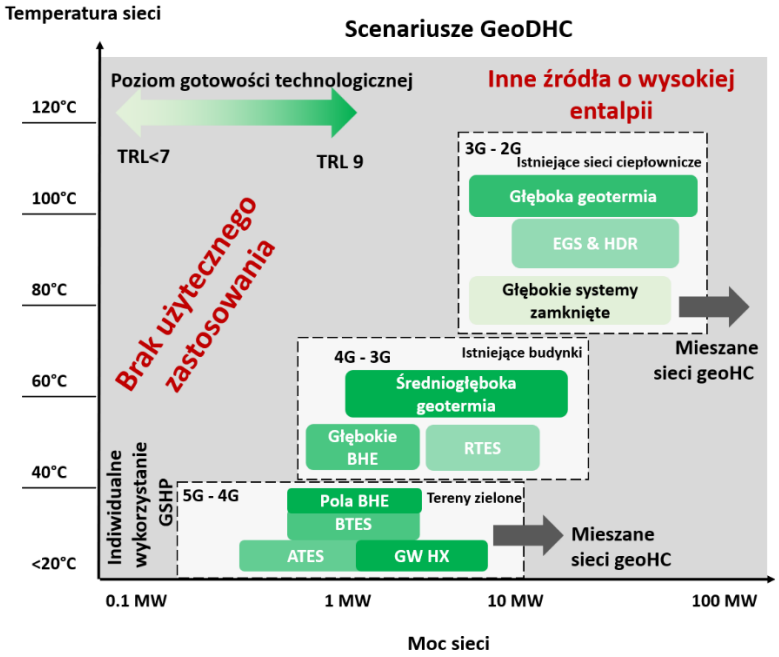


Fig. 1. *Możliwe scenariusze funkcjonowania geotermalnych sieci ciepłowniczych w odniesieniu do temperatury zasilania oraz zapotrzebowania na ciepło.*

Opracowane narzędzia dostępne online będą wskazywały optymalne rozwiązania technologiczne zagospodarowania lokalnych zasobów geotermalnych w krajach UE, wraz z oszacowaniem kosztów ich udostępnienia. Koncepcje systemów ciepłowniczych wykorzystujących geotermię będą uwzględniały specyfikę lokalnego rynku ciepłowniczego, charakter dotychczasowego źródła ciepła, istniejącą infrastrukturę ciepłowniczą oraz – w mniejszym stopniu, uwarunkowania planistyczne związane z zagospodarowaniem terenu oraz innymi uwarunkowaniami środowiskowymi i formalno-prawnymi.

Odbiorcy projektu (beneficjenci i interesariusze)

Celem projektu jest także utworzenie trwałej sieci bezpośrednich kontaktów, która będzie składała się z przedstawicieli następujących grup docelowych:

- władze publiczne: kreatorzy polityki i decydenci na poziomie krajowym, europejskim i międzynarodowym, włączając w to przedstawicieli krajów trzecich;
- przedstawiciele branży geotermalnej: operatorzy instalacji, deweloperzy projektów, firmy wiertnicze, firmy inżynieryjne i usługowe, grupy interesów oraz sieci badawcze związane z sektorem ciepłownictwa i chłodnictwa, a także ośrodki akademickie i instytucje badawcze;
- instytucje finansowe: krajowe i międzynarodowe, banki, firmy ubezpieczeniowe, dostawcy energii oraz dostawcy usług związanych z energią, agencje pomocy rozwojowej, dostawcy usług finansowych i realizatorzy projektów z dziedziny ciepłownictwa;
- media i prasa branżowa, specjalizująca się w zagadnieniach związanych z energią i finansami.

Aby osiągnąć zakładany poziom interakcji, SAPHEA będzie przeprowadzać swoje działania w wybranych lokalizacjach w: Austrii, Niemczech, Włoszech, Danii, Polsce, Wielkiej Brytanii i Francji.

Planowane rezultaty

SAPHEA to złożony projekt, a realizacja wszystkich jego celów merytorycznych potrwa do połowy roku 2025. Dotychczas w ramach pakietu 4. Zidentyfikowano szereg funkcjonujących w Europie modeli biznesowych i organizacyjnych, które zostaną zaprezentowane w czasie Kongresu:

1. Projekty finansowane ze środków publicznych,
2. Partnerstwa publiczno-prywatne,
3. Projekty prowadzone i finansowane częściowo przez podmioty publiczne (np. sieć ciepłownicza) i firmy (np. ciepłownia geotermalna),
4. Prywatno-publiczne spółki celowe,
5. Indywidualne i grupowe inwestycje prywatne na potrzeby własne,
6. Sprzedaż surowca – wody geotermalnej publicznym dostawcom ciepła sieciowego,
7. Nabycie uruchomionej instalacji geotermalnej.

Podstawowe informacje o projekcie:

- Finansowanie: HORIZON-CL5-2021-D3-02-03
- Okres realizacji: 10/2022 to 06/2025
- Konsorcjum: Geological Survey of Austria (AT), e-think (AT), AGH University of Krakow (PL), University of Turin (IT), European Geothermal Energy Council (BE), VIA University College (DK), Technical University of Vienna (AT), Technical University of Munich (DE), ENGIE (FR), Geothermal Engineering Ltd. (Associated Partner, UK).
- Strona internetowa: https://www.saphea.eu/

Przygotowano w ramach realizacji pracy statutowej AGH nr 16.16.140.315/05.

Literatura

EGEC, 2022. Geothermal-strategy-letter: Europe's strategy on geothermal energy and sustainable raw materials extraction, by 2023 https://www.egec.org/wp-content/uploads/position_papers/2022-Geothermal-strategy-letter-FINAL-1.pdf (dostęp 27.10.2023).

EGEC, 2023. EGEC Geothermal Market Report 2022. Key Findings, https://www.egec.org/wp-content/uploads/2023/05/EGEC-Market-Report-2022_Key-Findings.pdf (dostęp 27.10.2023).

IRENA, 2020. Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling, International Renewable Energy Agency, International Energy Agency and Renewable Energy Policy Network for the

21st Century, https://www.irena.org/publications/2018/apr/renewable-energy-policies-in-a-time-of-transition (dostęp 27.10.2023).
https://www.saphea.eu/
https://kse.agh.edu.pl/saphea-2022/

UKŁAD URZĄDZEŃ DO AKUMULACJI CIEPŁA NADMIAROWEGO W NATURALNEJ WARSTWIE WODOPRZEPUSZCZALNEJ ORAZ DO JEGO ODZYSKU

Marek L. SOLECKI[1], Tadeusz SOLECKI[1], Jerzy M. STOPA[1], Rafał WIŚNIOWSKI[1], Marek HAJTO[2], Rafał SMULSKI[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WWNiG); marek.solecki@agh.edu.pl*
[2]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (WGGiOŚ)*

Słowa kluczowe: ciepło nadmiarowe, warstwa wodoprzepuszczalna, ATES

Wstęp

Przedstawiono układ urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku, mającego zastosowanie w podziemnym magazynowaniu ciepła, zwłaszcza w jego efektywnym wykorzystaniu. Układ ten zapewnia dużą wydajność i małą bezwładność cieplną, jednocześnie likwiduje wadę znanego sposobu magazynowania ciepła w naturalnych warstwach wodoprzepuszczalnych – *Aquifer Thermal Energy Storage* (ATES), polegającą na braku możliwości jego zastosowania w warstwach wodoprzepuszczalnych o małym zawodnieniu lub przy znaczącej dynamice przepływu wody w obszarze wyznaczonym na magazyn ciepła.

Istota wynalazku

Układ urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku stanowi napełniony wodą akumulator ciepła, który jest zamkniętym obszarem, wydzielonym z warstwy wodoprzepuszczalnej za pomocą ścian przeciwfiltracyjnych, będących również przegrodą izolującą termicznie. Schematyczny widok z góry przedstawiono na figurze 1. Schematyczny przekrój pionowy przedstawiono na figurze 2.

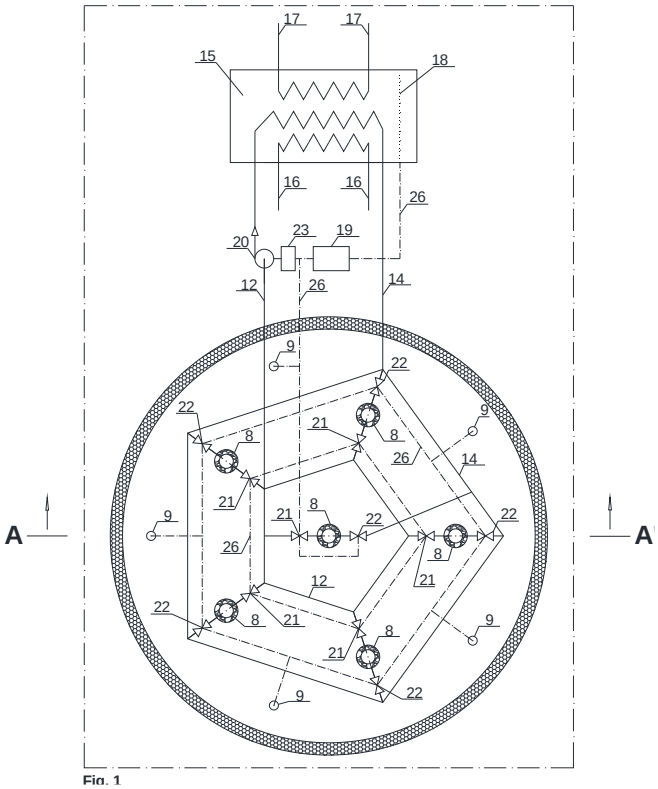


Fig. 1. *Schematyczny widok z góry na podziemny akumulator ciepła wraz ze schematem instalacji napowierzchniowej (Solecki i in. 2022a, 2022b)*

Układ zawiera napowierzchniowy wymiennik ciepła oraz usytuowane w obszarze akumulatora studnie wydobywczo-zrzutowe, służące do akumulacji i odbioru ciepła, wyposażone w pompy głębinowe. W studniach wydobywczo-zrzutowych znajdują się również wielopoziomowe sondy pomiarowe temperatury oraz poziomu wody, połączone sygnałowo z aparaturą kontrolno-pomiarowo-sterującą, która steruje pracą pomp głębinowych oraz zaworów sterowalnych usytuowanych na przewodach hydraulicznych łączących układ studzien z wymiennikiem ciepła.

Rozwiązanie może mieć zastosowanie jako sezonowy magazyn ciepła i/lub chłodu wykorzystujący konstrukcje geotechniczne typu ścianki szczelne, jak również jako dedykowane rozwiązanie magazynowania nadmiarowaego ciepła/chłodu wspomagające funkcjonujące miejskie systemy ciepłownicze.

Koncepcja urządzenia uzyskała zarówno patent krajowy PL437388A1, jak i Europejski EP4063780A1.

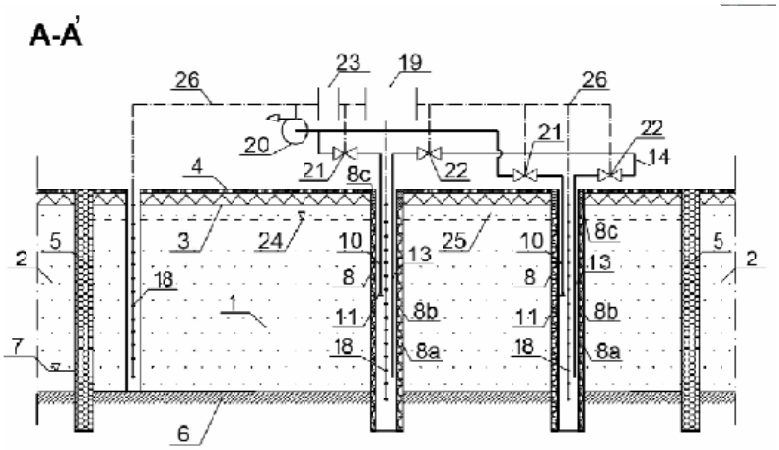


Fig. 2. *Schematyczny przekrój pionowy, poprowadzony przez środek wydzielonego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej podziemnego akumulatora ciepła nadmiarowego, wraz z instalacją na powierzchni (Solecki 2022a, 2022b)*

(1) akumulator (ciepła), (2) naturalna warstwa wodoprzepuszczalna, (3) pozioma przegroda, (4) warstwa gleby, (5) ściana przeciwfiltracyjna, (6), naturalna warstwa nieprzepuszczalna, (7) naturalne zwierciadło wody, (8) studnia, (8a) kolumna rur filtrowych, (8b) obsypka żwirowa, (8c) uszczelnienie, (9) otwór kontrolno-pomiarowy, (10) rurociąg wydobywczy, (11) kosz ssawny, (12) kolektor wydobywczy, (13) rurociąg zrzutowy (14) kolektor zrzutowy, (15) wymiennik ciepła, (16) instalacja dostawy ciepła, (17) instalacja odbioru ciepła, (18) wielopoziomowe sondy pomiarowe, (19) aparatura kontrolno-pomiarowo-sterująca, (20) pompa lub zestaw pomp, (21) sterowalny zawór, (22) sterowalny zawór, (23) przemiennik częstotliwości, (24) poziom zwierciadła wody, (25) bezwodna przestrzeń, (26) przewód sygnałowy

Prezentowane w pracy wyniki uzyskano w ramach realizacji prac badawczych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH (nr 16.16.190.779) oraz Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH (nr 16.16.140.315).

Literatura

Solecki M., Solecki T., Stopa J., Wiśniowski R., Hajto M., Smulski R., 2022. Układ urządzeń do akumulacji ciepła nadmiarowego w naturalnej warstwie wodoprzepuszczalnej oraz do jego odzysku. PL437388A1. https://patenty.bg.agh.edu.pl/pelneteksty/PL437388A1.pdf.

Solecki M., Solecki T., Stopa J., Wiśniowski R., Hajto M., Smulski R., 2022. Device arrangement for accumulating excess heat in a natural water-permeable layer and for its recovery. EP4063780A1.

NAJNOWSZE TRENDY W GEOENERGETYCE Z OTWOROWYMI WYMIENNIKAMI CIEPŁA

Mohsen ASSADI[1], Adib KALANTAR[2], Tomasz ŚLIWA[3], Michał SZCZYTOWSKI[4]

[1]*University of Stavanger, Norway; mohsen.assadi@uis.no*
[2]*MuoviTech AB, Brämhult, Sweden; Adib.Kalantar@muovitech.com*
[3]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*
[4]*MuoviTech Polska Sp. z o.o., Niepołomice; michal.szczytowski@muovitech.com*

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

Wprowadzenie

Szybki rozwój rynku gruntowych pomp ciepła stawia nowe wyzwania przed dostawcami i wykonawcami systemów tzw. dolnych źródeł zasilania w energię cieplną. Gruntowe (geotermalne) pompy ciepła za pomocą otworowych wymienników ciepła pozwalają pozyskać energię znajdująca się w górotworze i przekształcić ją na energię użytkową na potrzeby grzewcze lub chłodnicze. Otworowe wymienniki wykonywane są zarówno dla nowo budowanych budynków, ale też (np. przy okazji termomodernizacji) w już istniejących. W wielu przypadkach, ze względu na ograniczoną ilość miejsca (np. gęstą zabudowę i występowanie sieci infrastruktury miejskiej), nie jest możliwe wykonanie instalacji dolnego źródła o odpowiedniej mocy. Zastosowanie nowego typu otworowego wymiennika ciepła zaprojektowanego w Szwecji i wykonanego w Młoszowej (na terenie AGH) przez firmę MuoviTech w otworze wiertniczym pozwala, przy ograniczonej ilości dostępnego miejsca, przezwyciężyć wyżej wymienione problemy i umożliwia wykonanie instalacji o odpowiedniej mocy dzięki zwiększeniu głębokości otworów. To z kolei uzyskano dzięki zwiększonej wytrzymałości mechanicznej w nowej konstrukcji.

Referat przedstawia nowy typ wymiennika otworowego (wyposażenie otworowe), zaprojektowany przy współpracy uczelni badawczych AGH – Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Uniwersytetu Stavanger z Norwegii–oraz firmy MuoviTech. Szwedzka firma MuoviTech jest promotorem, producentem i dostawcą nowoczesnych, przyjaznych środowisku rozwiązań dedykowanych technikom gruntowych pomp ciepła. Dzięki funduszom norweskim, oraz dofinasowaniu z innych źródeł, powstał projekt „POLNOR" o akronimie BHEsINNO. W projekcie realizowano kila założeń badawczych. Głównym z nich było zaprojektowanie i wykonanie unikalnego na skale światową nowego typu konstrukcji otworowego wymiennika ciepła.

Produkcja wyposażenia do wymienników otworowych

Obecnie Grupa MuoviTech posiada 6 fabryk na świecie: w Szwecji, Norwegii, Finlandii, Holandii, Wielkiej Brytanii oraz Polsce. MuoviTech eksportuje swoje systemy geotermalne do ponad 50 krajów świata. Polski oddział MuoviTech działa na krajowym rynku już od ponad 13 lat. Produkcja obejmuje elementy instalacji dolnego źródła gruntowych pomp ciepła, od wyposażenia odwiertu do połączenia z pompą ciepła. MuoviTech gwarantuje najwyższe z dostępnych na rynku standardy i sprawności pracy swoich systemów. Firma nieustannie pracuje nad udoskonaleniem swoich systemów. Jednym z topowych rozwiązań jest *TurboCollector*. Jest to rura wyposażona w wewnętrzne skrętne lamele. Unikalna, opatentowana konstrukcja wymiennika z wewnętrznymi lamelami, pozwala obniżyć opór termiczny odwiertu, jak i opór hydrauliczny w porównaniu ze standardowymi gładkimi rurami w konstrukcjach wymienników otworowych.

W Polsce produkuje się kilka typów rur wymienników, które mają szereg zastosowań. Standardowe wymienniki wykonane są materiału PE100RC. W polskich warunkach geologicznych mogą być instalowane do głębokości 300 m. Te same wymienniki w Skandynawii mogą być instalowane bez trudu do głębokości 850 m (Fig. 1). Podyktowane jest to różnicą w budowie geologicznej. W Polsce jest ona bardzo zróżnicowana, często z tendencją do zaciskania ściany otworu, w przeciwieństwie do geologicznych warunków w krajach skandynawskich, gdzie poniżej warstwy gleby, płytko, występują skały krystaliczne (tarcza skandynawska), które są stabilne. Otwory po wykonaniu nie wymagają obudowy i zabezpieczenia ich średnicy. W Skandynawii średnia głębokość odwiertu geotermalnego wykorzystywanego na potrzeby geotermalnych pomp ciepła to około 400 m. Dla takiej głębokości doskonale sprawdzają się dwa nowe typy rur do otworowych wymienników ciepła – Turbocollector TC55 oraz E-Turbo. Taki rodzaj wymiennika ma za zadanie zwiększyć odbiór ciepła z górotworu (strumień ciepła – moc grzewczą), jak i obniżyć znacząco hydrauliczne opory przepływu nośnika

ciepła. Dzięki środkom norweskim, współpracy uczelnianej oraz firmie MuoviTech, wykonano w Laboratorium Geoenergetyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie nowe pole doświadczalne (pole C w Młoszowej) z wykorzystaniem nowych typów konstrukcji wymienników (Fig. 2).

Fig. 1. *Wykonanie otworowego wymiennika ciepła o głębokości 850 metrów*

Fig. 2. *Pole C Laboratorium Geoenergetyki w Młoszowej na terenie Zespołu Pałacowo-Parkowego*

W Młoszowej zostało wykonane nowe pole badawcze wymienników otworowych. Prawie każdy ze zrealizowanych 23 wymienników był o innej konstrukcji. Nowym zastosowanym typem wymiennika był centryczny otworowy wymiennik ciepła wg konstrukcji MuoviTech. Rura zewnętrzna wykonana została z kompozytu wzmacnianego włóknami szklanymi, natomiast rura wewnętrzna z PCV. Centryczna konstrukcja otworowego wymiennika ciepła znana jest już od wielu lat, jeden wymiennik o takiej konstrukcji został wykonany w Laboratorium Geoenergetyki w Krakowie w 2008 roku, na polu A. Zastosowanie rury zewnętrznej wykonanej z kompozytów z włóknami szklanymi (Tabela 1) charakteryzuje się zwiększoną powierzchnią wymiany ciepła, oraz w porównaniu do rury wykonanej z PE100 RC z prawie dwukrotnie zwiększonym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Natomiast rura wewnętrza została wykonana z polichlorku winylu pełniącego funkcję izolatora ograniczającego wymianę ciepła między przestrzenią pierścieniową i kolumną wewnętrzną, gdzie występuje przeciwbieżna wymiana ciepła przepływającego nośnika.

W Młoszowej wykonano 4 centryczne wymienniki o nowej konstrukcji (Fig. 3) z różnymi modyfikacjami, takimi jak rodzaj wypełnienia zaczynem uszczelniającym, oraz zastosowanych centralizatorów utrzymujących rurę wewnętrzną w osi wymiennika lub bezpośrednio przy rurze zewnętrznej. Na powierzchni odwiertu zamontowano studzienki rewizyjne umożliwiające łatwy dostęp do wymiennika i jego dalsze badania, tj. przeprowadzenie testów reakcji termicznej z różnymi parametrami technologicznymi pozwalającymi zweryfikować wpływ poszczególnych modyfikacji na oporność termiczną i efektywną przewodność termiczną w otworowych wymiennikach ciepła.

Fig. 3. *Wykonywanie centrycznych otworowych wymienników ciepła na polu C Laboratorium Geoenergetyki w Młoszowej*

Tabela 1. *Parametry techniczne centrycznego otworowego wymiennika ciepła w Młoszowej*

	Rura zewnętrzna	Rura wewnętrzna
Średnica zewnętrzna	90 mm	63 mm
Grubość ściany	2,7 mm	5,8 mm
Materiał	Kompozyt wzmacniany włóknami szklanymi	PVC
Przewodność termiczna	0,7 W/(mK)	0,15 W/(mK)
Głębokość wymiennika	100 metrów	

Wnioski

Dzięki zastosowaniu centrycznego otworowego wymiennika ciepła, można uzyskać większe temperatury dolnego źródła, jak też zminimalizować opory hydrauliczne, a co za tym idzie zmniejszyć koszty ekonomiczne potrzebne na obsługę urządzeń elektrycznych. Zazwyczaj każde rozwiązanie posiada wiele zalet, jak też wad. Jedną z zalet zastosowaniu centrycznego otworowego wymiennika ciepła jest możliwość wykonania wymienników w terenie o niewystarczającej ilość terenu na wiercenia. Zredukować to może koszty ekonomiczne inwestycyjne (mniejsza działka), a zwłaszcza eksploatacyjna. Natomiast wady tego rozwiązania, to wysoki koszt materiałów i zwiększone trudności w wykonaniu takiej konstrukcji.

Badania były finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez AGH Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

TECHNIKI WYKONYWANIA OTWORÓW GEOTERMALNYCH I OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

Aneta SAPIŃSKA-ŚLIWA[1], Tomasz ŚLIWA[1], Piotr BULIŃSKI[1]

[1]*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza (Laboratorium Geoenergetyki); sliwa@agh.edu.pl*

Słowa kluczowe: otworowe wymienniki ciepła, metoda obrotowa, metoda udarowo-obrotowa, HDD, GRD, termopale

Wstęp

Górnictwo otworowe to dział górnictwa zajmujący się poszukiwaniem i pozyskiwaniem energii oraz surowców za pomocą otworów wiertniczych. Otwory wiertnicze można klasyfikować w zależności od przeznaczenia, głębokości, metody wiercenia, średnicy czy kierunku wiercenia. W geotermii wyróżnia się dwa główne typy odwiertów. Pierwszym rodzajem odwiertów są otwory geotermalne, które pozyskują (lub zatłaczają) wody termalne (według prawa GiG wody o temperaturze powyżej 20°C na głowicy). Drugim rodzajem odwiertów geotermalnych są otworowe wymienniki ciepła. Zarówno pierwsze jak i drugie odwierty realizuje się za pomocą trzech technik wiertniczych, tj: okrętnej, obrotowej i udarowo-obrotowej. Nie jest stosowana jedynie technika udarowa.

Otwory geotermalne i otworowe wymienniki ciepła

W ramach podstawowych technik wiercenia stosuje się różne technologie, które prezentować będzie niniejszy referat. Otwory geotermalne (poszukiwawcze, produkcyjne i chłonne) wierci się metodą obrotową (głównie w skałach osadowych i metamorficznych) oraz, zwłaszcza przy realizacji elektrowni i/lub ciepłowni typu EGS, metodą udarowo-obrotową (w skałach magmowych i metamorficznych).

Wiercone otworowe wymienniki ciepła to płytkie otwory wiertnicze, których zadaniem jest pobranie ciepła z górotworu na potrzeby centralnego ogrzewania oraz ogrzewania wody użytkowej lub też wprowadzanie ciepła do górotworu podczas procesów chłodniczych (najczęściej przy klimatyzacji wnętrz). Obecnie otworowe wymienniki ciepła wykonywane są za pomocą trzech technik: metody obrotowej, metody udarowo-obrotowej oraz metody okrętnej. W ich ramach wyróżnia się wiercenia stosowane przy różnych sposobach realizacji wymiany ciepła z górotworem. Są to: pionowe, ukośne (GRD) i poziome wymienniki (np. horyzontalne przewierty sterowane – HDD oraz wymienniki spiralne i termopale). Jedyny wiercony dotychczas głęboki otworowy wymiennik ciepła został zrealizowany w Niemczech, w Akwizgranie.

Metoda okrętna

Metoda okrętna jest stosowana przy wierceniu przypowierzchniowych utworów słabozwięzłych. Mechaniczna metoda wierceń okrętnych umożliwia przede wszystkim szybkie realizowanie pali nośnych przewiercających utwory słabonośne, sięgających do warstw stabilnych. Urządzenia takie zwane są palownicami. Realizacje otworowych wymienników ciepła z zastosowaniem metody okrętnej, stosującej świdry skrawające i ślimacznice, to przede wszystkim termopale, czyli pale nośne wyposażone w rurki wymienników ciepła oraz wymienniki spiralne.

Metoda obrotowa

Metoda obrotowa to najbardziej powszechna, a przez to również najlepiej przebadana metoda wiercenia. Metodą obrotową wykonuje się zarówno normalnośrednicowe, głębokie (często o głębokości kilku kilometrów) otwory za węglowodorami czy wodami geotermalnymi (np. otwór Bańska PGP-4), otwory wielkośrednicowe w postaci szybów kopalnianych i/lub tuneli, jak również płytsze otwory, jak studnie głębinowe czy otworowe wymienniki ciepła. Metoda obrotowa nazywana niekiedy metodą płuczkową lub na płuczkę, polega na zwiercaniu skał dzięki obracającemu się narzędziu wiertniczemu oraz pracy płuczki wiertniczej, która pełni szereg ról w trakcie wiercenia, z których najważniejszą jest oczyszczanie otworu ze zwiercin i ich wynoszenie na powierzchnię. Przy wierceniu otworowych wymienników ciepła stosuje się tzw. prawy obieg płuczki, który polega na wtłoczeniu płuczki przewodem wiertniczym oraz powrocie na powierzchnię (wraz z urobkiem) między przewodem wiertniczym a ścianą otworu, czyli przestrzenią pierścieniową (Stryczek i Złotkowski, 2015).

Metoda udarowo-obrotowa

Przy wyborze metody wiercenia należy wziąć pod uwagę rodzaj przewiercanej formacji. W przypadku wiercenia w skałach twardych oraz porowatych zaleca się stosowanie metody udarowo-obrotowej. Jest to metoda stosowana przede wszystkim w wierceniach hydrogeologicznych, geoinżynieryjnych oraz geotechnicznych w twardszych utworach. W metodzie udarowo-obrotowej kluczową rolę odgrywa młotek wgłębny DTH (ang. *down the hole*), który wykonując ruch obrotowy uderza o świder, który z kolei odpowiada za urabianie skały. W tej metodzie bardzo istotne jest także sprężone powietrze, które napędza młotek wgłębny oraz oczyszcza dno otworu ze zwiercin – pełni tym samym rolę płuczki wiertniczej (Śliwa i in, 2015). Metoda udarowo-obrotowa ze względu na wyższą cenę jest metodą rzadziej wybieraną niż metoda obrotowa.

Horyzontalne przewierty sterowane

Otworowe wymienniki ciepła to głównie pionowe (rzadziej ukośne) otwory wiertnicze. Jednak coraz częściej rozważa się wykonywanie poziomych otworowych wymienników ciepła. Tego typu otwory wykonywać należy metodą horyzontalnych przewiertów sterowanych, częściej nazywaną metodą HDD (ang. *horizontal directional drilling*). Standardowo HDD stosuje się przy wierceniach pod różnego typu przeszkodami takimi jak budynki, drogi, rzeki. Proces przewiertu sterowanego można podzielić na trzy etapy: wiercenie pilotażowe, poszerzenie otworu, instalacje rurociągu (wymiennika). W przypadku wiercenia poziomego wymiennika ciepła, ze względu na małą średnicę rur wymiennika można pominąć etap drugi (Ziaja, 2022). Poziome otworowe wymienniki ciepła mogłyby wykorzystywać tzw. miejskie wyspy ciepła, czyli zasoby ciepła pochodzenia antropogenicznego i słonecznego, które zlokalizowane są m.in. pod budynkami, drogami, przy sieci kanalizacyjnej itp. Pilotażowa instalacja poziomych otworowych wymienników ciepła powstała w 2023 roku na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w ramach działalności Laboratorium Geoenergetyki AGH.

Fig. 1. *Wiertnica HDD w czasie wiercenia poziomego otworowego wymiennika ciepła na terenie AGH*

GRD

Metoda GRD (ang. *geothermal radial drilling*) polega na wierceniu otworów ukośnych z jednego miejsca. Dzięki otworom wierconym metodą GRD możliwe jest pobieranie ciepła z górotworu w sytuacji, gdy brakuje miejsca do wykonania pionowych lub poziomych wymienników ciepła. GRD umożliwia również wykonywanie otworów wewnątrz budynków, np. w piwnicach, co ma szczególne znaczenie w miejscach wysoko zurbanizowanych (Kucper, 2021). Dzięki temu, podobnie jak w przypadku horyzontalnych (poziomych) wymienników ciepła, możliwe jest pobieranie energii z „miejskich wysp ciepła".

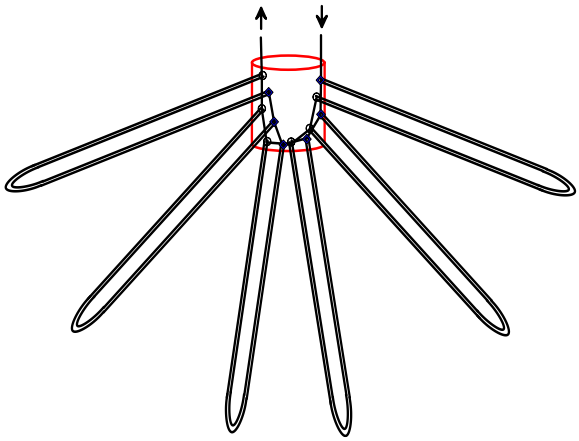


Fig. 2. *Schemat GRD*

Fig. 3. *Wiertnica GRD*
(źródło: www.angers-soehne.com/?page_id=4771&lang=en)

Badania były finansowane w ramach projektu „Innovation in Underground Thermal Energy Storages with Borehole Heat Exchangers (BHEsINNO)" uzyskanego przez AGH Akademię Górniczo-Hutniczą w ramach konkursu „POLNOR 2019" z tzw. funduszy norweskich za pośrednictwem NCBiR w Warszawie.

Literatura

Stryczek S., Złotkowski A., 2015. Poradnik górnika naftowego, t. 2: Wiertnictwo. Rozdział 1. Wydawnictwo Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, Kraków.

Śliwa T., Kowalski T., Bieda A., 2015. Poradnik górnika naftowego, t. 2: Wiertnictwo. Rozdział 10. Wydawnictwo Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, Kraków

Jarosz K., Śliwa T., 2021. Istniejące oraz potencjalne źródła ciepła i chłodu antropogenicznego w górotworze, Materiały poseminaryjne I Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

Śliwa T., Buliński P., Jarosz K., 2021. Optymalizacja wiercenia otworowych wymienników ciepła metodą udarowo-obrotową. Materiały poseminaryjne I Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

Kucper M., 2021. Potencjał otworowych wymienników ciepła GRD w Polsce. Materiały poseminaryjne I Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

Ziaja J., 2022. Wykorzystanie technologii bezwykopowych do realizacji horyzontalnych otworowych wymienników ciepła. Zeszyt Streszczeń II Seminarium Geoenergetyka i geotermalne pompy ciepła.

ROZWÓJ WYKORZYSTANIA ZASOBÓW PŁYTKIEJ GEOTERMII W POLSCE – STAN NA ROK 2022 WG DANYCH Z NAG

Katarzyna BONIEWSKA[1], Grzegorz RYŻYŃSKI[1], Marta SZLASA[1], Przemysław WOJTASZEK[1], Mateusz ŻERUŃ[1], Aleksandra ŁUKAWSKA[1], Ewa JAGODA[1], Kajetan WCZELIK[1]

[1]*Państwowy Instytut Geologiczny – PIB, Warszawa; katarzyna.boniewska@pgi.gov.pl*

Słowa kluczowe: gruntowe pompy ciepła, OZE, geotermia niskotemperaturowa, ciepło Ziemi, dane geologiczne

Wstęp

W publikacji przedstawiono wyniki prac prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) w ramach zadania Państwowej Służby Geologicznej (PSG) pn. Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej Polski (MPGN) w skali 1:50 000. Etap I – zadanie ciągłe.

Jednym z celów w powyższym projekcie jest aktualizacja i bieżące prowadzenie Ogólnokrajowej bazy danych GIS dla geotermii niskotemperaturowej (BDGNT). W ramach tego zadania gromadzone są dane zamieszczone w dokumentacjach geologicznych innych (DGI) wykonywanych na potrzeby pozyskiwania ciepła Ziemi. Dokumentacje te dotyczą wyłącznie obiektów z zainstalowanymi gruntowymi pompami ciepła (GPC). Zgodnie z Prawem geologicznym i górniczym (Dz.U. 2023 poz. 633 z późn. zm.) DGI powinna zostać opracowana po zakończeniu prac geologicznych, a następnie zostać złożona do właściwego starostwa powiatowego. Starostwa te powinny przekazać je do Narodowego Archiwum Geologicznego (NAG), który jest największym zbiorem danych geologicznych w Polsce.

Systemy GPC montowane są w budynkach o różnym przeznaczeniu i wielkości, w tym głównie w zabudowie jednorodzinnej, ale także w obiektach biurowych, komercyjnych, użyteczności publicznej i przemysłowych.

Cel badań

Celem tego przedsięwzięcia jest opublikowanie wiarygodnych statystyk opartych na faktycznie wykonanych instalacjach gruntowych pomp ciepła za rok 2022. Statystyki te będą podzielone ze względu na moc instalacji (poniżej oraz powyżej 20kW), co umożliwi analizę rozwoju rynku GPC nie tylko pod kątem liczby instalacji, lecz przede wszystkim ich mocy. Jest to istotne z punktu widzenia rozwoju rynku GPC, ponieważ dane dotyczące mocy instalacji są bardziej miarodajne jako składowa do miksu energetycznego kraju niż jedynie liczba sprzedanych urządzeń.

Aby zrealizować ten cel konieczne było zebranie, zcyfrowanie oraz analiza dostępnych danych z DGI, z roku 2022, które znajdują się w Państwowym Archiwum Geologicznym (NAG), wykonanych na potrzeby pozyskiwania ciepła Ziemi i opracowanych dla zrealizowanych instalacji gruntowych pomp ciepła.

Zakłada się, że dane z dokumentacji gromadzonych w NAG będą publikowane w analogiczny sposób w kolejnych latach i będą użyteczne jako uzupełnienie rocznych raportów rynkowych publikowanych przez Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC).

Materiały i metody

W ramach prac przeanalizowano 396 powykonawczych DGI wykonanych na potrzeby inwestycji budowlanych wyposażonych w GPC z otworowymi wymiennikami ciepła. Dokumentacje te zostały przekazane do NAG w latach 2022 i 2023 (stan na 05.06.2023) i dotyczą instalacji wykonanych w 2022 roku. Mając na uwadze czas na opracowanie dokumentacji oraz jej późniejszy proces obiegu (w tym: starostwo powiatowe, NAG, zespół odpowiedzialny za cyfrowanie dokumentacji) należy mieć świadomość, że ostateczna ilość dokumentacji zebranych na 2022 rok może się różnić od tej podanej w niniejszej publikacji. Położenie geograficzne instalacji GPC z dokumentacji z 2022 r. w skali całego kraju przedstawiono na Fig 1.

Po porównaniu liczby 396 dokumentacji zdeponowanych w NAG ze statystykami sprzedaży GPC przedstawionymi przez PORT PC w informacji prasowej, szacującymi liczbę sprzedanych urządzeń GPC, na 7200 widzimy, że GPC zarejestrowane zgodnie z obowiązującym przepisami prawa geologicznego i górniczego (PGG) wraz z towarzyszącymi rozporządzeniami (na chwilę obecną) stanowią zaledwie 5,4 % ogólnej liczby. Choć jest to próba istotna statystycznie, należy brać pod uwagę, że może być nie całkowicie reprezentatywna dla populacji generalnej (wszystkich 7200 dokumentacji).

Podstawowymi danymi uzyskiwanymi z dokumentacji są: ilość instalacji GPC, moc cieplna i chłodnicza instalacji GPC w kW, rodzaj budynku zasilanego pompą ciepła, ilość i głębokość otworowych wymienników ciepła, rodzaj czynnika roboczego używanego w instalacji GPC, a także warunki geologiczne w podłożu budowlanym.

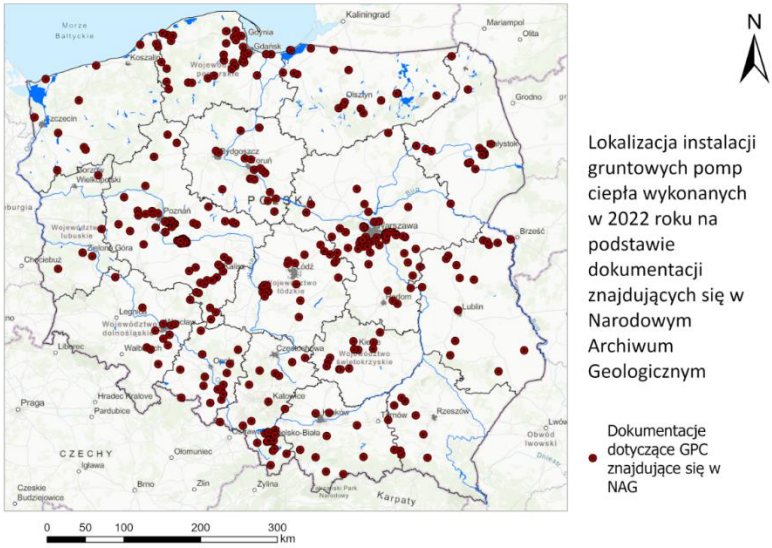


Fig. 1. *Lokalizacja instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG, w skali kraju.*

Rezultaty

Efektem prac jest zasilenie Ogólnokrajowej bazy danych GIS dla geotermii niskotemperaturowej o dane z 2022 roku. Baza ta daje możliwość porównywania ilości instalacji GPC wraz z ich mocą w podziale na regiony kraju (Fig. 2) oraz w przedziałach klas mocy GPC.

W ramach zebranych danych przedstawiono przestrzenny rozkład obiektów z zainstalowanymi gruntowymi pompami ciepła na obszarze Polski (Fig. 1) oraz poszczególnych województw (Fig 2). Dodatkowo w formie graficznej przedstawiono w podziale na rodzaje obiektów budowlanych liczbę instalacji GPC (Fig. 3) oraz ich moc cieplną (Fig. 4). Przedstawiono również sumaryczną liczbę instalacji (Fig. 5) oraz łączną moc cieplną (Fig. 6) w klasach mocy ≤20 kW i >20 kW

Całkowita moc cieplna wszystkich instalacji znajdujących się w bazie danych NAG z roku 2022 wynosi 8 402,85 kW (dla 396 obiektów).

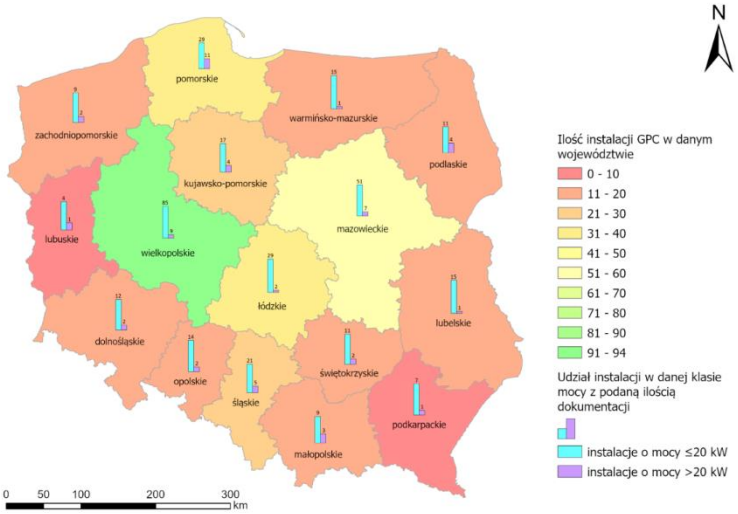


Fig. 2. *Lokalizacja instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG w podziale na województwa oraz ze względu na wielkość instalacji*

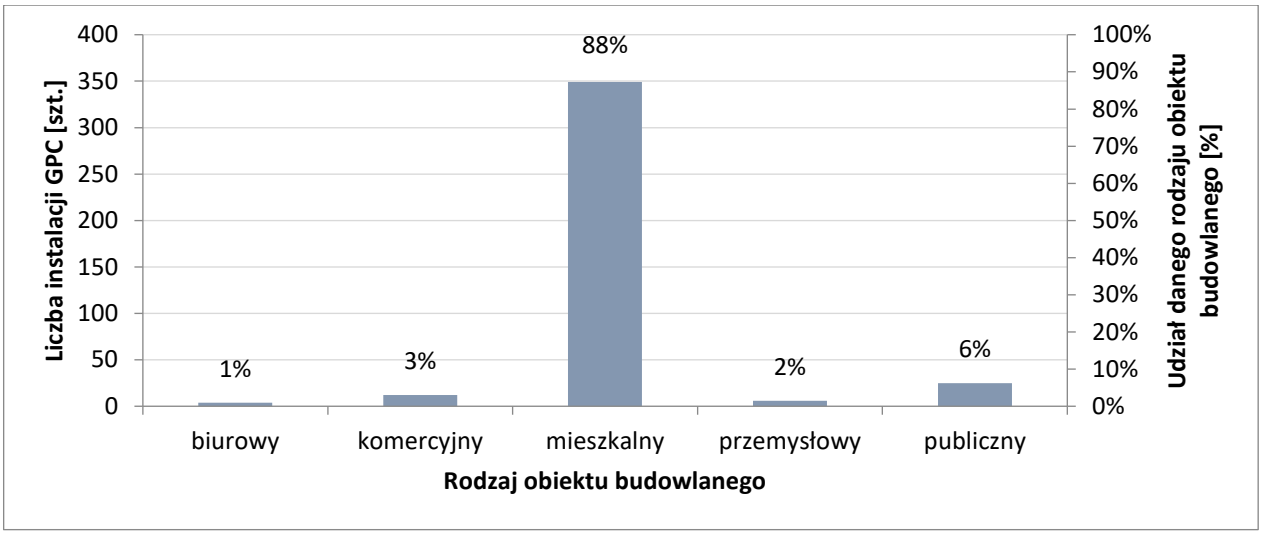


Fig. 3. *Liczba instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG w podziale na rodzaje obiektów budowlanych*

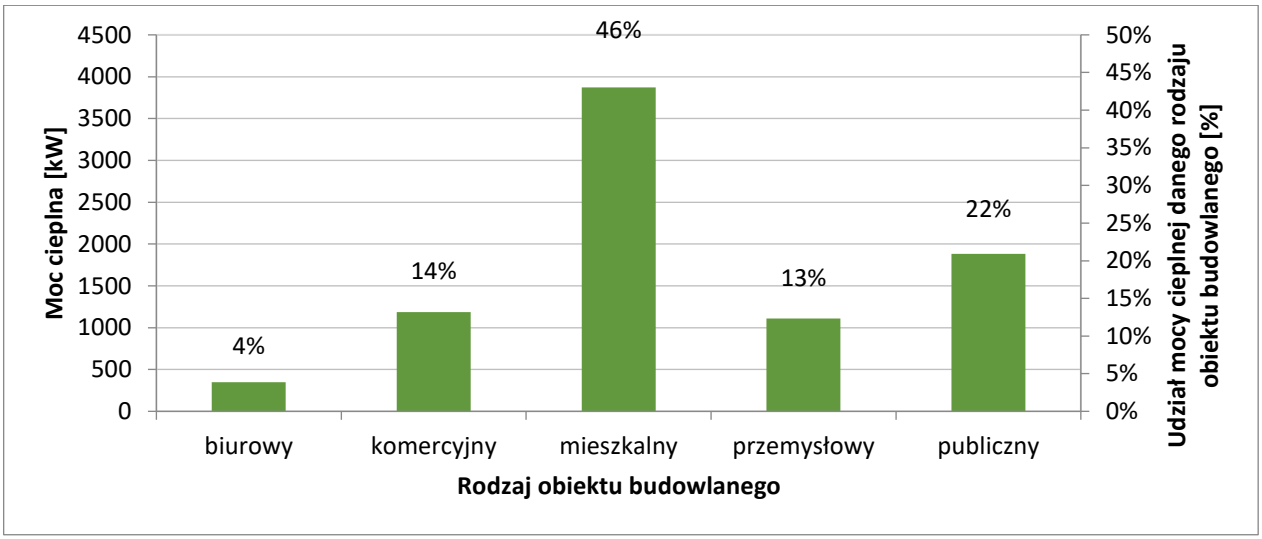


Fig. 4. *Moc cieplna instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG w podziale na rodzaje obiektów budowlanych*

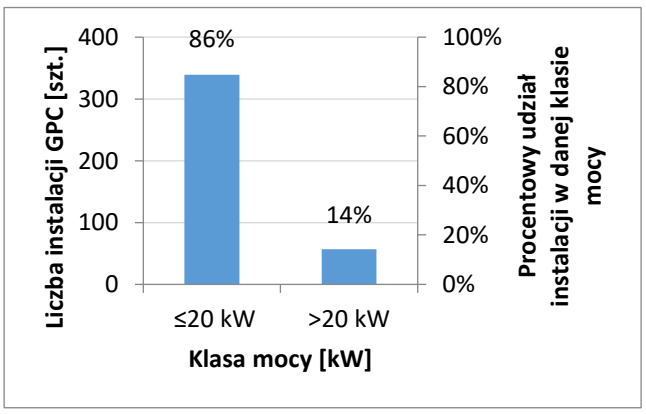


Fig. 5. *Liczba instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG w podziale na klasy mocy*

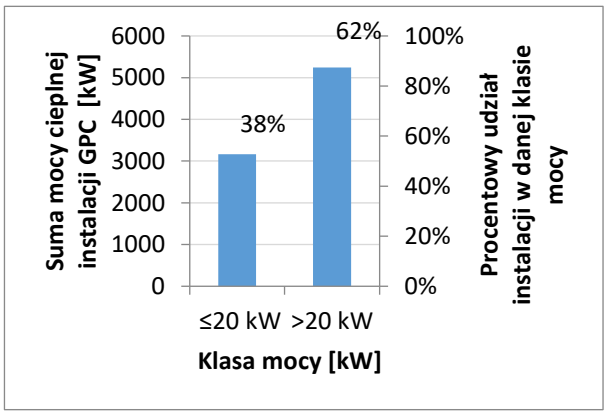


Fig. 6. *Zainstalowana moc cieplna instalacji GPC wykonanych w 2022 roku na podstawie dokumentacji znajdujących się w NAG w podziale na klasy mocy*

Wyniki

Analiza danych o gruntowych pompach ciepła z Narodowego Archiwum Geologicznym (NAG) wskazuje na konieczność prowadzenia statystyk mocy cieplnej instalacji, z uwagi na znaczący udział w niej budynków o mocy <20kW. Pomimo iż budynki mieszkalne (co do zasady o mocy ≤20kW) stanowią większość pod względem liczby, to nie generują największej części mocy cieplnej.

Należy zauważyć znaczące różnice w liczbie i mocy instalacji GPC między poszczególnymi województwami Polski Zgodnie z figurą 2 najwięcej instalacji wykonano w województwie wielkopolskim (94 instalacje), zaś najmniej w województwie lubuskim (5 instalacji). We wszystkich województwach przeważają instalacje małe (w klasie mocy ≤20 kW). Najwięcej instalacji o mocy ≤20 kW znajduje się w województwie wielkopolskim (85 instalacji), a najmniej w województwie lubuskim (4 instalacje). Najwięcej instalacji dużych (o mocy >20 kW) występuje w województwie pomorskim (11 instalacji), a najmniejsza ich ilość (po 1 instalacji) występuje w województwach lubelskim, lubuskim, podkarpackim oraz warmińsko-mazurskim.

Całkowita moc cieplna wszystkich instalacji znajdujących się w bazie danych NAG to 8 402,85 kW (dla 396 obiektów). Analizując dane zgromadzone w NAG pod kątem mocy cieplnej instalacji (Fig. 3 i Fig. 4) widoczne jest, że budynki mieszkalne generują 46% całkowitej mocy cieplnej (przy 88% udziału liczności). Pozostałe rodzaje obiektów budowlanych to 53% całkowitej mocy. Należy zauważyć, że budynki publiczne, które stanowią 6% całkowitej liczności instalacji, wytwarzają 22% całkowitej mocy, a budynki komercyjne i przemysłowe, które obejmują kolejno 3% i 2% całkowitej ilości instalacji generują aż 14% i 13% całkowitej mocy cieplnej. Tak więc budynki mieszkalne, które są najliczniejszym rodzajem obiektów budowlanych wyposażonych w gruntowe pompy ciepła nie generują największego wkładu mocy cieplnej.

Figury 5 i 6 przedstawiają odpowiednio sumaryczną liczbę instalacji oraz sumaryczną moc cieplną w klasach mocy ≤20 kW i >20 kW. Analiza tych figur pozwala na stwierdzenie, że klasa mocy >20 kW, która stanowi 14% całkowitej liczby instalacji (57 obiektów), daje aż 62% wkład do całkowitej mocy cieplnej (wynoszący 5 241,25 kW). Średnia moc dla instalacji o klasie mocy ≤20 kW wynosi 9,3 kW (339 obiektów), a dla instalacji o klasie mocy >20 kW wynosi 92,0 kW (57 obiektów).

Uwagę zwraca mała liczba dokumentacji zgormadzonych w NAG (396 sztuk) względem statystyk publikowanych przez PORT PC (7200 sztuk). Z dużą dozą prawdopodobieństwa wynika ona z niedoskonałości obowiązującego systemu prawnego, który pomimo, że zobowiązuje inwestorów do składania dokumentacji w NAG, to nie przewiduje żadnych sankcji w przypadku niedopełnienia tych formalności, a organy lokalnej administracji geologicznej (geolodzy powiatowi) często nie upominają się o ich dostarczenie. Należy w tym miejscu wspomnieć, że same projekty robót geologicznych w celu wykorzystania ciepła Ziemi nie zawsze są tożsame w opisie z rzeczywiście wykonaną instalacją GPC (zdarzają się zmiany techniczne lub też zaniechania realizacji). Stąd tak ważne są dane zawarte w końcowych dokumentacjach geologicznych, które mogą być odpowiednio przetwarzane i służyć dalszym działaniom służącym monitorowaniu rozwoju rynku GPC oraz ich roli w sektorze ciepłownictwa i chłodnictwa w Polsce.

Niemniej jednak, potraktowano zasób danych zgromadzony w NAG jako próbę reprezentatywną i na tej podstawie wyciągnięto wnioski mające zastosowanie do całości rynku GPC. Przyjmując jako reprezentatywne oszacowanie średnią moc małych instalacji GPC ≤20 kW na 9,3 kW i ich udział w całkowitej liczbie z 2022 r na 85% (6120 sztuk) oraz średnią moc dużych instalacji >20 kW na 92 kW i ich udział na 15% (1080 sztuk) oszacowano całkowitą zainstalowaną moc gruntowych pomp ciepła w Polsce na odpowiednio **56 916 kW w klasie ≤20 kW** i **99 360 kW w klasie >20 kW**. Daje to razem około **156 MW** zainstalowanej mocy cieplnej i stanowi istotny wkład w krajowy miks energetyczny OZE.

Przedstawione badania są częścią zadania PSG pn. „Mapa potencjału geotermii niskotemperaturowej Polski (MPGN) w skali 1:50 00. Etap I – zadanie ciągłe”, które jest finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Literatura

Lachman P., Rączka J., Schnell Ch., Wróbel P., 2020. Scenariusze elektryfikacji ogrzewania w budynkach jednorodzinnych w Polsce do 2030 roku. Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła, s. 70.

PORT PC, 2019.Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010–2018. Perspektywy rozwoju rynku pomp ciepła do 2030 roku, Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła.

VIII

29 XI – 1 XII 2023

Ogólnopolski Kongres Geotermalny