

Maciej KŁONOWSKI
Wiesław KOZDRÓJ
Państwowy Instytut Geologiczny–
Państwowy Instytut Badawczy,
Oddział Dolnośląski
Program Bezpieczeństwo Energetyczne
al. Jaworowa 19
53-122 Wrocław
e-mail: maciej.klonowski@pgi.gov.pl;
wieslaw.kozdroj@pgi.gov.p

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2016

PLANOWANIE LOKALIZACJI I OPTIMALIZACJA WYDAJNOŚCI INSTALACJI GRUNTOWYCH POMP CIEPŁA W OBIEGU ZAMKNIĘTYM ZA POMOCĄ MAP GEOTERMICZNYCH. WYNIKI PROJEKTU TRANSGEOTHERM

STRESZCZENIE

Artykuł prezentuje wyniki badań projektu *TransGeoTherm* – Energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju regionu Nysy. Projekt pilotażowy, zrealizowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy oraz Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Celem projektu było wsparcie wykorzystania płytkiej, niskotemperaturowej energii geotermalnej za pomocą ogólnodostępnych map geotermicznych. Po analizie danych z 5146 otworów geologicznych i hydrogeologicznych oraz danych geofizycznych dla obszaru o powierzchni około 1000 km² położonego na pograniczu Polski i Saksonii, w rejonie Zgorzelca i Görlitz wykonano geologiczny model podłoża 3D w oprogramowaniu GOCAD® do głębokości około 200 m. W obrębie 75 jednostek wydzielonych na podstawie klasyfikacji litostratygraficznej i właściwości hydrogeologicznych obliczono wartości współczynnika przewodności cieplnej λ . W efekcie opracowano 12 map geotermicznych w cięciach głębokościowych do: 40, 70, 100 i 130 m, ukazujących rozkład przestrzenny średniej wartości współczynnika mocy cieplnej [W/m] i średniej wartości przewodności cieplnej skał λ [W/m·K], które stanowią pomoc w lokalizacji i optymalizacji wydajności instalacji gruntowych pomp ciepła.

SŁOWA KLUCZOWE

Geotermia niskotemperaturowa, modelowanie geologiczne 3D, kartowanie geotermiczne, gruntowe pompy ciepła, system zamknięty

* * *

WPROWADZENIE

Projekt *TransGeoTherm* – Energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju regionu Nysy. Projekt pilotażowy został realizowany w latach 2012–2014 wspólnie przez Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski (PIG–PIB OD), który był partnerem wiodącym, oraz Saksoński Urząd Krajowy do spraw Środowiska, Rolnictwa i Geologii z Freibergu (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, LfULG). Projekt był współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Polska–Saksonia 2007–2013. Celem projektu było upowszechnienie i zwiększenie wykorzystania niskotemperaturowej energii geotermalnej na pograniczu polsko-saksońskim w rejonie Zgorzelca i Görlitz za pomocą ogólnodostępnych map geotermicznych (Kozdrój i Kłonowski (red.) 2014).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (tzw. Dyrektywa OZE) jest częścią tzw. Pakietu klimatyczno-energetycznego UE do roku 2020, stanowiącego zestawienie regulacji dotyczących energii i zmian klimatycznych, który zakłada:

- ograniczenie o 20% emisji gazów cieplarnianych (w stosunku do poziomu z 1990 r.),
- zwiększenie do 20% udziału OZE w całkowitym zużyciu energii w UE,
- zwiększenie o 20% efektywności energetycznej (Komunikat Komisji EUROPA 2020).

Zmiana ta powinna nastąpić poprzez osiągnięcie indywidualnych celów wyznaczonych w Dyrektywie OZE dla każdego z krajów członkowskich UE – docelowego udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto, który w przypadku Polski powinien wynosić 15%.

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego (Berent-Kowalska i in. 2015) udział energii ze źródeł odnawialnych w energii pierwotnej ogółem w roku 2013 wynosił dla 28 krajów Unii Europejskiej (UE-28) 24,3%, a dla Polski 11,9%. W tym samym roku udział energii geotermalnej (wszystkie rodzaje ogółem) pośród wszystkich nośników energii odnawialnej wynosił 3,1 i 0,2%, odpowiednio dla UE-28 i Polski. Należy dodać, że według danych GUS (Berent-Kowalska i in. 2015), w latach 2010–2013 poziom pozyskania energii geotermalnej ogółem dla UE-28 zmalał z 3,4 do 3,1%, a w Polsce utrzymywał się na stałym poziomie 0,2%. Fakt ten można tłumaczyć intensywnym rozwojem technologii OZE związanych np. z pozyskaniem energii wiatrowej i słonecznej oraz wykorzystaniem biogazu, które w tym czasie zanotowały znaczny wzrost wykorzystania.

Ze względu na konieczność wdrażania Dyrektywy OZE oraz korzyści ekonomiczne i ekologiczne w ostatnich latach można zauważyć w Polsce zwiększone zainteresowanie inwestycjami w branży geotermalnej (Kępińska 2015), które obecnie mogą się jeszcze nie przekładać wprost na oficjalne dane statystyczne. Dalszy rozwój rynku usług związanych z geotermią może ulec zasadniczej zmianie wyłącznie poprzez znowelizowanie polityki państwa i Unii Europejskiej, umożliwiającej jej lepsze wykorzystanie dzięki np. wsparciu finansowemu, a tym samym zwiększeniu liczby instalacji GPC.

Technologia pomp ciepła stosowana jest do generowania energii cieplnej z tzw. ciepła otoczenia, inaczej nazywanego ciepłem środowiska naturalnego, czyli takich nośników jak: powietrze, wody powierzchniowe, wody podziemne, grunt i podłoże skalne, a nawet ścieki. Projekt *TransGeoTherm* dotyczył wyłącznie instalacji pomp ciepła przeznaczonych do generowania energii pozyskiwanej z gruntu i podłoża skalnego poprzez pionowe wymienniki ciepła (ang. *vertical heat exchanger*), nazywane również sondami geotermalnymi, które instaluje się w otworach wiertniczych. Instalacje te są zazwyczaj nazywane gruntowymi pompami ciepła (GPC). Energia pochodząca z niskotemperaturowych instalacji geotermalnych w postaci GPC jest często zaliczana do OZE (Kapuściński i Rodzoch 2006; Kapuściński i Rodzoch 2010) i w ten sposób zdefiniowana i ujmowana w zestawieniach statystycznych (Berent-Kowalska i in. 2015). Technologia GPC należy do jednej z czystszych form pozyskania energii, jednakże do działania GPC i utrzymania cyrkulacji medium grzewczego w obiegu zamkniętym niezbędne jest dostarczenie do układu energii elektrycznej z zewnątrz, pozyskiwanej zazwyczaj ze spalania paliw kopalnych. Często jest to powodem wątpliwości odnośnie klasyfikacji GPC jako jednego z OZE.

Instalacje GPC mogą działać w skojarzeniu z instalacjami OZE generującymi energię cieplną i/lub elektryczną, np. instalacjami geotermalnymi wysokotemperaturowymi, panelami fotowoltaicznymi, czy też turbinami wiatrowymi, co niewątpliwie pozytywnie wpływa na efektywność energetyczną całej instalacji oraz końcowy efekt ekologiczny. Dolne źródło ciepła niskotemperaturowego jest zazwyczaj odnawialne. W niektórych przypadkach długotrwałe wykorzystanie instalacji GPC wyłącznie do produkcji energii cieplnej może spowodować lokalne przemarzanie gruntu w sąsiedztwie wymiennika ciepła dolnego źródła. Sprawność technologiczną urządzenia GPC można zwiększyć, stosując je zarówno do ogrzewania zimą i chłodzenia latem oraz łącząc z technologią magazynowania energii cieplnej w gruncie (ang. *UTES – underground thermal energy storage*).

Proces rozwoju technologii GPC wiąże się niewątpliwie z potrzebą ujednoczenia i dostosowania polskiego prawodawstwa, rozwoju tzw. „dobrych praktyk”, opracowania metodyki i wytycznych wykonywania i odbioru instalacji oraz serwisu i monitoringu powykonawczego w celu zmniejszenia ryzyka ekologicznego, np. spowodowanego zwiększoną ilością wierceń i ewentualnymi wyciekami z nieszczelnych instalacji podziemnych (Lachman i in. 2013; Kozdrój i Kłonowski (red.) 2014; Hofmann (red.) 2014a). Dotyczy to instalacji GPC zarówno w systemach otwartych jak i zamkniętych. Istnieje również potrzeba opracowania narzędzi i metodyki wspomagających procedurę wykonywania badań niezbędnych do prawidłowego zlokalizowania i zaprojektowania instalacji geotermalnych (Ryżyński i Majer 2015). Rozwiązaniem zaproponowanym w wyniku realizacji projektu *TransGeoTherm* jest seria dwunastu map potencjału płytkiej geotermii, stanowiących narzędzie przydatne w lokalizacji i optymalizacji wydajności instalacji GPC systemu zamkniętego z wymiennikiem ciepła umieszczonym w pionowym otworze wiertniczym. Opracowane mapy geotermiczne przeznaczone są m.in. dla jednostek samorządu terytorialnego, inwestorów prywatnych, miejscowej społeczności oraz wszystkich zainteresowanych użytkowników i są dostępne nieodpłatnie na stronie internetowej projektu: www.transgeotherm.eu.

1. GROMADZENIE, ANALIZA I PRZETWARZANIE DANYCH

Realizacja projektu *TransGeoTherm* oparta była na analizie, przetworzeniu i interpretacji informacji geologicznych, hydrogeologicznych i geotermalnych. Transgraniczny zbiór analogowych i cyfrowych danych, których trzon stanowiło 5146 profili otworów wiertniczych, został poddany nowej klasyfikacji litostratygraficznej wydzieleni skalnych, ujętych w 75 tzw. jednostek hydrogeologiczno-geotermicznych (HGE). Metodyka analizy i interpretacji danych oraz wykonania map geotermicznych została przygotowana indywidualnie na potrzeby realizacji projektu *TransGeoTherm* (Riedel i in 2014), m.in. na podstawie metodologii opracowania „Atlasu Geotermicznego Saksonii” (Hofmann (red.) 2014b) oraz metodologii stosowanych w pracach Państwowego Instytutu Geologicznego–Państwowego Instytutu Badawczego. Po przeprowadzeniu dwuwymiarowej interpolacji danych przestrzennych wykonano trójwymiarowy model numeryczny podłoża skalnego z zastosowaniem oprogramowania GOCAD[®]. W trakcie dalszej analizy właściwości hydrogeologicznych i termicznych skał, poszczególnym typom petrograficznym występującym w otworach wiertniczych przypisano określone wartości przewodności cieplnej – współczynnika λ w stanie suchym i zawodnionym. Dla każdej jednostki HGE wyliczono średnią ważoną współczynnika λ . Otrzymane wyniki umożliwiły wykonanie dla całego obszaru badań interpolacji przestrzennej i wyliczeń średnich wartości przewodności cieplnej [W/m·K] i współczynnika mocy cieplnej [W/m] w siatce kwadratowej o wymiarach 25 × 25 m. W celu prawidłowej kalkulacji współczynnika przewodności cieplnej λ w stanie suchym i zawodnionym wykonano dwuwymiarowe odwzorowanie powierzchni zwierciadła wód podziemnych oparte na danych archiwalnych i ich aktualizacji dla wybranych otworów w trakcie pomiarów terenowych. Dodatkowo w dostępnych otworach hydrogeologicznych wykonano profilowanie temperaturowe. W wyniku przeprowadzonych badań powstała m.in. seria 12 map obrazujących warunki geotermiczne podłoża skalnego w przedziałach głębokościowych do 40, 70, 100 i 130 m.

2. UDOSTĘPNIANIE WYNIKÓW PROJEKTU

Ze względu na przyjętą metodykę prac mapy geotermiczne opracowane w projekcie *TransGeoTherm* przeznaczone są do planowania lokalizacji i optymalizacji wydajności instalacji gruntowych pomp ciepła wyłącznie w obiegu zamkniętym. Zostały one udostępnione poprzez stronę internetową projektu w dwóch wariantach: jako tzw. wersja publiczna, oraz jako wersja profesjonalna. Możliwości zastosowania obu wersji oraz różnice pomiędzy nimi przedstawione zostały w tabeli 1. Mapy opracowano w formie rastrowej w formacie .pdf oraz jako pliki cyfrowe zamieszczone na geoportalu GeoLOG Państwowego Instytutu Geologicznego–Państwowego Instytutu Badawczego.

Na mapach wersji publicznej pokazano rozkład przestrzenny średniej wartości współczynnika mocy cieplnej [W/m] dla czterech różnych poziomów głębokości, tj. do: 40, 70, 100 i 130 m i dla dwóch zakresów czasu pracy pompy ciepła w roku: 1800 roboczogodzin

tylko dla trybu ogrzewania oraz 2400 roboczogodzin w przypadku ogrzewania i przygotowania ciepłej wody. Instalacja GPC nie działa w sposób ciągły – najczęściej jest automatycznie włączana i wyłączana zgodnie z zadaniem programem pracy. Średni dobowy czas pracy przydomowej instalacji GPC jest zależny od wielu czynników, takich jak: parametry techniczne budynku i samej pompy ciepła, temperatury zewnętrznej powietrza, warunków geotermicznych podłoża, zapotrzebowania na energię itd. (Lachman i in. 2013). Z tego względu całkowity czas pracy urządzenia przyjęty w metodyce opracowania opisywanych map geotermicznych w trybie ogrzewania, tj. 1800 godzin rocznie, wynosi – przy założeniu 8 godzin pracy na dobę – 225 dób rocznie, czyli średni okres trwania sezonu grzewczego w Polsce i Saksonii. Czas pracy GPC dla trybu ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej jest, zgodnie z przyjętą metodyką, odpowiednio większy (Hofmann (red.) 2014a; Kozdrój i Kłonowski (red.) 2014). Mapy te, oprócz porównań dotyczących samej lokalizacji pod względem warunków geotermicznych, dają możliwość samodzielnej oceny i wyboru różnych wariantów głębokości wiercenia przeznaczonych dla instalacji sond geotermalnych w celu zapewnienia określonej wydajności pompy ciepła. Porównanie map pokazuje, na jakiej głębokości panują najkorzystniejsze warunki termiczne dla uzyskania odpowiedniej mocy pompy ciepła. Wersja ta jest szczególnie przydatna dla indywidualnych inwestorów

Tabela 1

Porównanie „wersji publicznej” i „wersji profesjonalnej” map geotermicznych projektu TransGeoTherm (Hofmann 2014)

Table 1

Comparison of the „public version” and „professional version” of the geothermal maps of the TransGeoThermproject (Hofmann 2014)

	Wersja publiczna	Wersja profesjonalna
Prezentowane wyniki	wartość współczynnika mocy cieplnej w watach na metr (W/m) dla 4 cięć głębokościowych (poziomów geotermicznych), tj. do: 40, 70, 100 i 130 m	przewodność cieplna w watach na metr i kelwin (W/m·K) dla 4 cięć głębokościowych (poziomów geotermicznych), tj. do: 40, 70, 100 i 130 m
Możliwość stosowania	do obliczenia mocy/wydajności pompy ciepła – o mocy maksymalnie do 30 kW (np. dla domów jednorodzinnych), ocena szacunkowa dla standardowego typu domu	projektowanie instalacji pomp ciepła o wydajności (mocy) mniejszej jak i większej niż 30 kW
Cel stosowania	ocena szacunkowa niezbędnych głębokości wierceń dla montażu gruntowych sond ciepła i liczby otworów, porównanie lokalizacji, wykonalność inwestycji dla standardowego typu domu	techniczne planowanie i wymiarowanie gruntowych sond ciepła za pomocą ustalonych danych projektowych każdej budowli (planowana wydajność/moc instalacji grzewczej, własne dane techniczne pompy cieplnej), obliczanie głębokości wierceń i liczby otworów
Użytkownicy	mieszkańcy, urzędy, planiści przestrzenni	planiści, biura inżynierskie, przedsiębiorstwa wiertnicze, urzędy

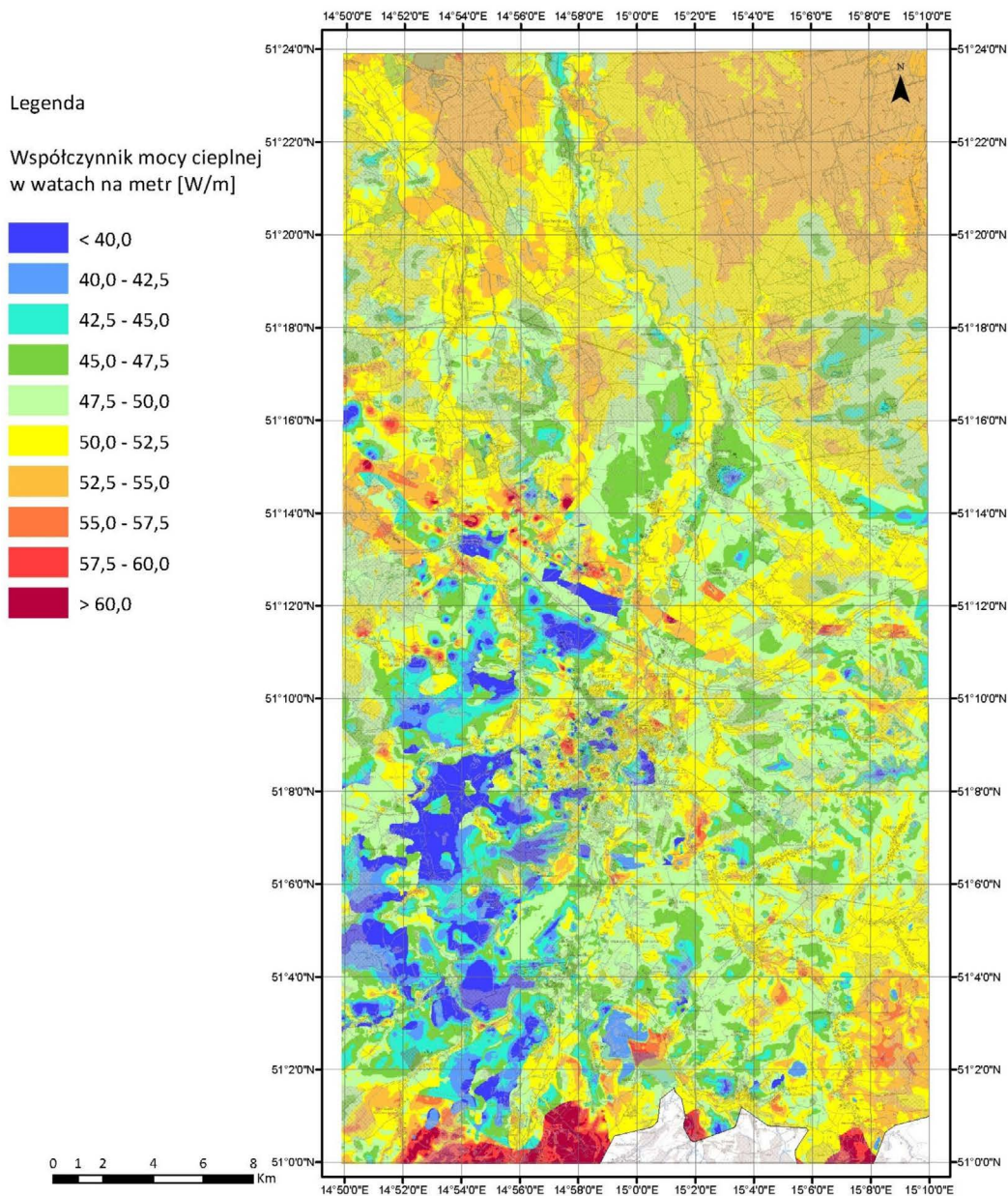
planujących budowę lub termomodernizację domów jednorodzinnych z zastosowaniem GPC o mocy do 30 kW. Zastosowanie mapy jest ograniczone. Wersja ta może być wykorzystywana tylko do szacunkowej oceny instalacji pompy ciepła, gdyż zaprezentowane wartości współczynnika mocy cieplnej odnoszą się tylko do standardowego typu domu jednorodzinnego o powierzchni użytkowej około 120–150 m². W przypadku budynków o większych powierzchniach należy wykonać indywidualne obliczenia, wykorzystując ich dane techniczne, parametry wybranej pompy oraz możliwie dokładne dane geologiczne, hydrogeologiczne i geotermiczne danej lokalizacji.

W celu dokonania właściwej analizy warunków do zainstalowania pompy ciepła należy odnaleźć na podkładzie topograficznym mapy w wersji publicznej lokalizację danej działki lub planowane miejsce instalacji. Następnie należy dokonać wyboru żądanej liczby roboczogodzin pompy ciepła – 1800 godzin rocznie tylko dla trybu ogrzewania lub 2400 godzin rocznie w trybie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Po wyborze żądanego trybu z mapy można odczytać kolor w punkcie dla każdego z czterech różnych poziomów głębokości, któremu odpowiada określony zakres współczynnika mocy cieplnej wyrażony w [W/m]. W legendzie wydzielono 10 klas współczynnika mocy cieplnej od < 40,00 do > 60,00 [W/m], którym umownie przyporządkowano odpowiednią kolorystykę. Kolorami ciepłymi oznaczono warunki korzystne – od 50,00 do > 60,00 [W/m], kolorami zimnymi – warunki pośrednie i mniej korzystne – od 50,00 do > 40,00 [W/m]. Przykład mapy geotermicznej w „wersji publicznej” ilustrującej rozkład przestrzenny średniej wartości współczynnika mocy cieplnej [W/m] dla przedziału głębokości do 40 m pokazany jest na rysunku 1.

„Wersja profesjonalna” przeznaczona jest głównie dla biur projektowych, architektonicznych, inżynierskich, przedsiębiorstw wiertniczych i urzędów. W wersji tej podstawę dla oceny potencjału geotermicznego danej lokalizacji stanowi średnia wartość przewodności cieplnej skał podłoża wyrażona w watach na metr i kelwin [W/m·K] dla czterech wyżej wspomnianych poziomów głębokości. Wartość ta służy do planowania lub projektowania instalacji GPC za pomocą innych szczegółowych parametrów, jak np. bilansu energetycznego budynku lub danych technicznych pompy cieplnej i może być wykorzystywana do obliczeń za pomocą specjalistycznego oprogramowania, np. EED – *Earth Energy Designer*. Dzięki mapie szacunków tych można dokonać jeszcze przed wierceniem i precyzyjnym obliczeniem wartości przewodności cieplnej za pomocą tzw. testu reakcji termalnej (ang. *Thermal Response Test* – TRT).

Na czterech planszach mapy w wersji profesjonalnej, odpowiadającym czterem zakresom głębokości, wydzielono 11 klas średniej wartości przewodności cieplnej skał λ [W/m·K], tj. od 0,0 do > 3,0 [W/m·K], którym umownie przyporządkowano odpowiednią kolorystykę. Kolorami ciepłymi oznaczono warunki korzystne – od > 3,0 do 1,8 [W/m·K], natomiast kolorami zimnymi – warunki pośrednie i mniej korzystne – od 1,8 do < 3,0 [W/m·K]. Przykład mapy geotermicznej w wersji profesjonalnej, ilustrującej rozkład przestrzenny średniej wartości przewodności cieplnej skał λ [W/m·K] dla przedziału głębokości do 40 m, pokazany jest na rysunku 2.



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



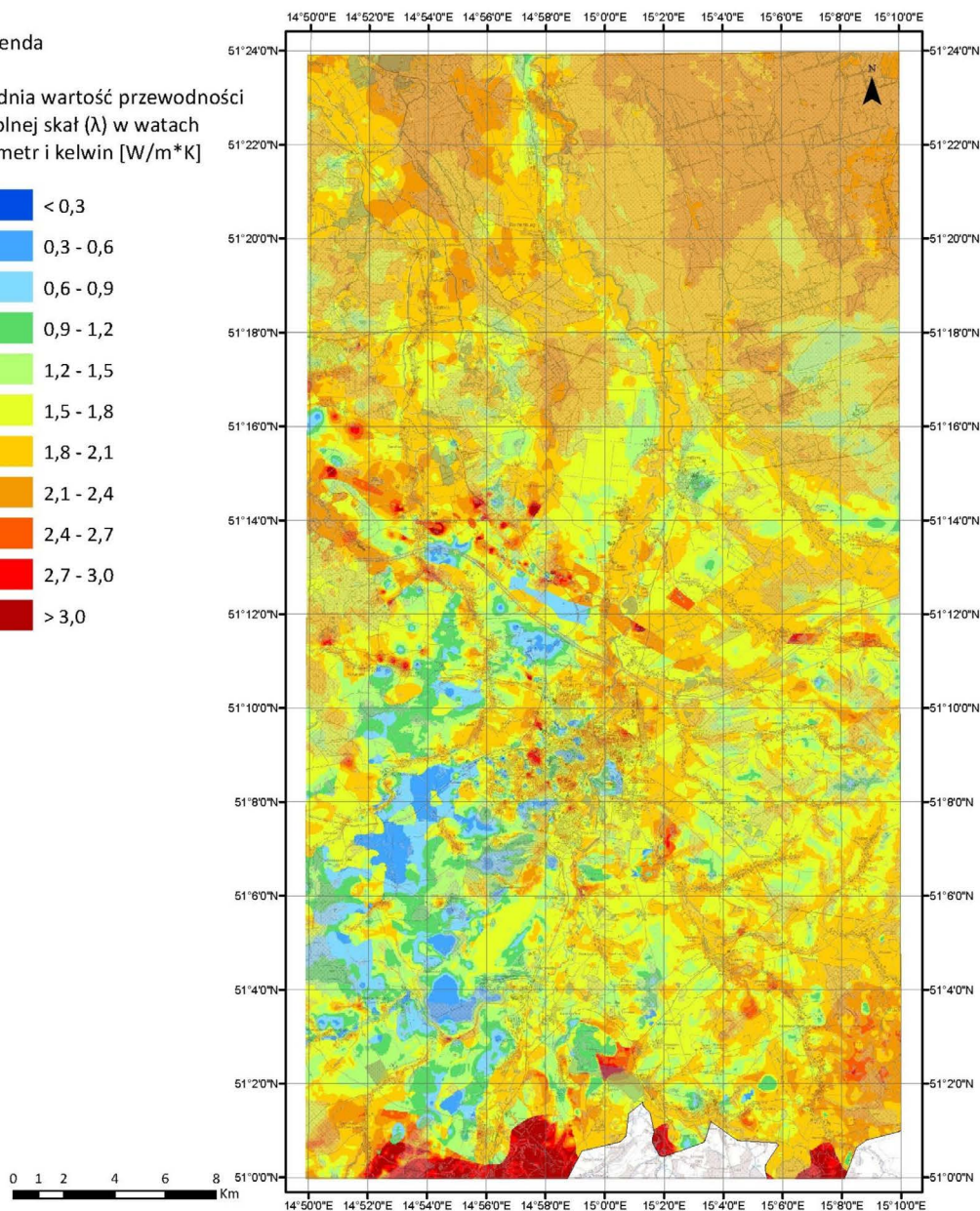
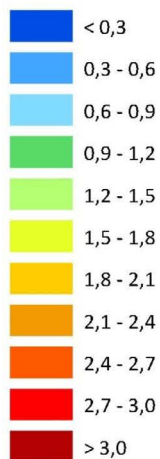
Unia Europejska. Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego. Inwestujemy w waszą przyszłość./
Europäische Union. Europäischer Fonds für regionale Entwicklung. Investition in Ihre Zukunft

Rys. 1. Przykład mapy geotermicznej w „wersji publicznej” ilustrującej rozkład przestrzenny średniej wartości współczynnika mocy cieplnej [W/m] dla przedziału głębokości do 40 m

Fig. 1. An example of the „public version” of a geothermal map showing the spatial distribution of an average heat extraction rate (thermal power coefficient) [W/m] for the depth interval up to 40 m

Legenda

Średnia wartość przewodności
ciepłej skał (λ) w watach
na metr i kelwin [$W/m \cdot K$]



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Unia Europejska. Europejski Fundusz Rozwoju
Regionalnego: Inwestujemy w waszą przyszłość/
Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre Zukunft

Rys. 2. Przykład mapy geotermicznej w „wersji profesjonalnej” ilustrującej rozkład przestrzenny średniej wartości przewodności ciepłej skał λ [$W/m \cdot K$] dla przedziału głębokości do 40 m

Fig. 2. An example of the „professional version” of a geothermal map showing the spatial distribution of an average value of thermal conductivity of the rocks λ [$W/m \cdot K$]

- W ramach projektu opracowano i udostępniono
- broszurę informacyjną o wykorzystaniu energii geotermalnej w instalacjach GPC (Kozdrój i Kłonowski (red.) 2014),
 - podręcznik instruktażowy wykonywania map geotermicznych na bazie modelu 3D,
 - uproszczony model geologiczny 3D obszaru badań,
 - mapę zalegania zwierciadła wód podziemnych.

3. EFEKT PRAKTYCZNY

Wyniki projektu w postaci map geotermicznych stanowią specjalistyczną informację geologiczną. Upowszechnienie wiedzy dotyczącej warunków termicznych podłoża skalnego na wybranym obszarze pogranicza polsko-saksońskiego oraz zwiększenie przez to możliwości efektywnego wykorzystania niskotemperaturowej energii geotermalnej na danym terenie było celem projektu, który został tym samym osiągnięty. Odczytane z map wartości wskaźników termicznych umożliwiają osobom zainteresowanym zakupem i montażem GPC optymalizację ich parametrów pod względem mocy oraz zaplanowania głębokości otworów wiertniczych niezbędnych do ich montażu.

W trakcie projektu przeprowadzono szereg działań informacyjno-promocyjnych oraz edukacyjno-szkoleniowych na obszarze jego realizacji, w tym cztery seminaria projektowe – dwa w Zgorzelsku i dwa w Görlitz, połączone z wizytami studyjnymi w obiektach ogrzewanych pompami ciepła. Bieżącą informację o działaniach projektu prowadzono za pomocą strony internetowej oraz poprzez publikacje ulotek i ogłoszeń prasowych. Ponadto zespół projektowy opracował i wydał m.in.: „Broszurę informacyjną na temat stosowania płytkiej geotermii” oraz „Podręcznik opracowywania map geotermicznych na bazie transgranicznego trójwymiarowego (3D) modelu podłoża”. Wykonawcy projektu wzięli też udział w konferencjach międzynarodowych i krajowych poświęconych wykorzystaniu energii geotermalnej w celu prezentacji osiągnięć projektu w formie wykładów i posterów.

Projekt *TransGeoTherm* został zrealizowany jako projekt nr 100114097 dofinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Współpracy Transgranicznej Polska–Saksonia 2007–2013.

LITERATURA

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- BERENT-KOWALSKA G., KACPROWSKA J., MOSKAL I., JURGAŚ A., 2015 — Energia ze źródeł odnawialnych w 2014 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.

- HOFMANN K. (red.), 2014a — Erdwärmesonden. Informationsbroschüre zur Nutzung oberflächennaher Geothermie. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Geologie, Projektgruppe Geothermie. Dresden.
- HOFMANN K. (red.), 2014b — Geothermieatlas Sachsen Allgemeine Erläuterungen zum Kartenwerk der geothermischen Entzugsleistungen im Maßstab 1 : 50 000 GTK 50. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Geologie, Projektgruppe Geothermie. Dresden.
- HOFMANN K., 2014 — Geothermische Karten – Die praktische Anwendung für Jedermann. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Geologie, Projektgruppe Geothermie. Dresden (materiały niepublikowane).
- KAPUŚCIŃSKI J., RODZUCH A., 2006 — Geotermia niskotemperaturowa w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- KAPUŚCIŃSKI J., RODZUCH A., 2010 — Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- KĘPIŃSKA B., 2015 — Geothermal Energy Country Update Report from Poland, 2010–2014 [W:] Proceedings of World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19–25 April 2015.
- Komunikat Komisji EUROPA 2020 — Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu, Bruksela, 3.3.2010 KOM(2010) 2020, wersja ostateczna.
- KOZDRÓJ W., KLONOWSKI M. (red.), 2014 — TransGeoTherm – Energia geotermalna dla transgranicznego rozwoju regionu Nysy. Projekt pilotażowy. Broszura informacyjna na temat stosowania płytkiej geotermii. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie i Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, Dresden.
- KRENTZ O., RIEDEL P., REINHARDT S., BRETSCHNEIDER M., HOFMANN K., 2015 — *TransGeoTherm* – Erdwärmepotenzial in der Neiße-Region [W:] Schriftenreihe, Heft 10/2015, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- LACHMANN P., MIROWSKI A., OCZOŚ A., KARCZMARZYK A., SAWICKI C., KOCZOROWSKI J., SMUCZYŃSKA M., FRANKE M., ZBROJKIEWICZ S., 2013 — Wytoczne projektowania wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła. Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła PORT PC, Kraków.
- Podręcznik opracowywania map geotermicznych na bazie transgranicznego trójwymiarowego (3D) modelu podłoża. Materiał niepublikowany powstały w efekcie realizacji projektu *TransGeoTherm*, dostępny bezpłatnie na stronie internetowej projektu: [www.transgeothrm.eu].
- RIEDEL P., REINHARDT S., HOFMANN K., KOZDRÓJ W., KLONOWSKI M., ZIÓŁKOWSKA-KOZDRÓJ M., MYDŁOWSKI A., DOMAŃSKA U., 2014 — Podręcznik opracowywania map geotermicznych na bazie transgranicznego trójwymiarowego (3D) modelu podłoża. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie i Państwowy Instytut Geologiczny–Państwowy Instytut Badawczy, Dresden.
- RYŻYŃSKI G., MAJER E., 2015 — Geotermia niskotemperaturowa – informacja geologiczna i procedury prawne. Przegląd Geologiczny R. 63, nr 12/1, s. 1388–1396.

PLANNING THE LOCATION AND OPTIMIZATION OF PERFORMANCE OF GROUND HEAT PUMPS INSTALLATION IN CLOSED-LOOP SYSTEMS WITH THE SUPPORT OF GEOTHERMAL MAPPING. RESULTS OF THE TRANSGEOTHERM PROJECT

ABSTRACT

This paper presents the results of the *TransGeoTherm* – Geothermal Energy for transboundary development of the Nysa Region. Pilot project, implemented by the Polish Geological Institute–National Research Institute and the Saxon State Agency for Environment, Agriculture and Geology for the area of about 1000 km², within the Polish-Saxon transboundary region nearby Zgorzelec and Görlitz. This aimed at enhancing the use of shallow geothermal energy with the support of publically available geothermal maps. The analysis of geological and hydrogeological data of 5,146 boreholes and geophysical data allowed, for the construction of a 3D geological model up to the depth of about 200 m with help of the GOCAD[®] software. The values of the thermal conductivity λ were determined for 75 units based on their lithostratigraphic classification and hydrogeological parameters. In effect 12 geothermal maps for the depths up to 40, 70, 100 and 130 meters, showing spatial variation of an average heat extraction rate (thermal power coefficient) [W/m] and an average value of thermal conductivity of the rocks λ [W/m·K] were produced. Those provide valuable support to place and optimize performance of the ground source heat pumps.

KEYWORDS

Low temperature geothermal energy, 3D geological modelling, geothermal mapping, ground source heat pumps, closed-loop systems

