

Petr Bujok*, Martin Klempa*, Jiří Koziorek,
Robert Rado***, Michal Porzer***

**OCENA WPŁYWU WARUNKÓW KLIMATYCZNYCH
NA BILANS ENERGETYCZNY GÓROTWORU
NA OBSZARZE POLIGONU BADAWCZEGO VŠB –
TU OSTRAVA******

1. WPROWADZENIE

Budowa poligonu badawczego na obszarze VŠB – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie została zainicjowana w ramach projektu badawczego: „Badanie zmian cieplnych górotworu w układzie ochładzanie-podgrzewanie przy stosowaniu pomp ciepła w rejonie Nowego Auditorium oraz Centrum Technologii Informatycznych VŠB-TU Ostrava”. Projekt ten otrzymał dotację z budżetu województwa Morawsko-Śląskiego Rep. Czeskiej w latach 2007–2009.

Wynikiem projektu, kontynuowanego do dziś, ma być ocena znaczenia wpływu zewnętrznych i wewnętrznych źródeł energii na bilans cieplny górotworu oraz szybkości jego odbudowy dla niskoenergetycznego systemu eksploatowanego w układzie odbieranie-dostarczanie energii. Oraz określenie zmian w strukturze przepływu ciepła na obszarze badań w niejednorodnym środowisku geologicznym (miocen, karbon) w rejonie odwiertów do poboru energii z górotworu.

Aby ocenić indywidualny udział zewnętrznych i wewnętrznych źródeł energii w ogólnym bilansie cieplnym i weryfikacji zaprojektowanego systemu długoterminowego monitorowania zachowania górotworu w strefie odwiertów do poboru energii z górotworu oraz

* VŠB – Technická univerzita Ostrava, Hornicko – geologická fakulta, Institut geologického inženýrství, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava Poruba

** VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava Poruba

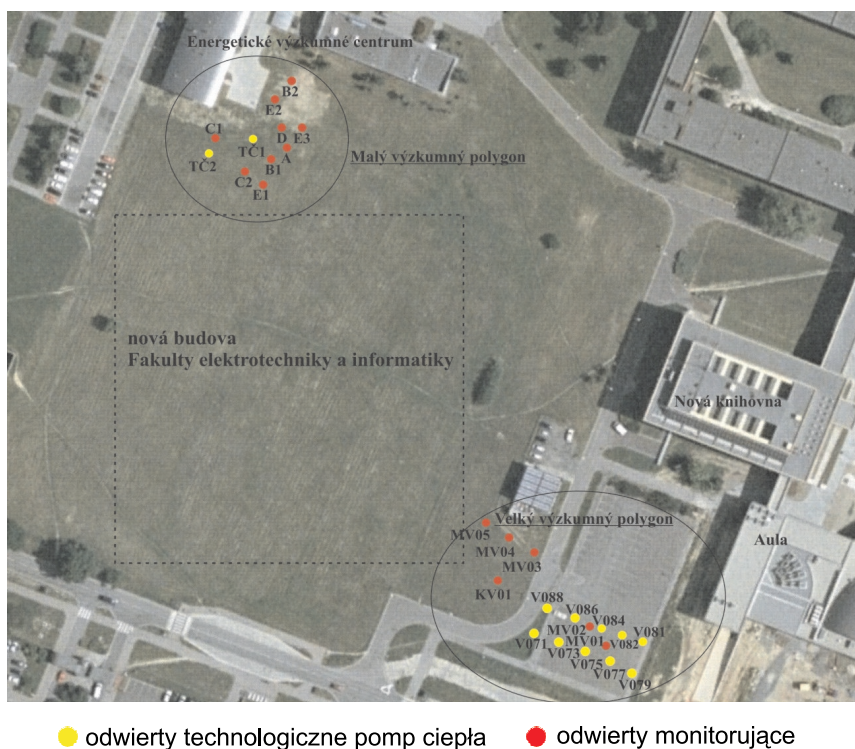
*** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

**** Część pracy została zrealizowany przy wsparciu dotacji Projekt nr. TAČR TA01020932 oraz badań statutowych WWiG 11.11.190.555

możliwości jej akumulowania zostały zaprojektowane i stopniowo wdrażane dwa doświadczalne poligony badawcze. Poligony te oznaczono, jako wielki poligon badawczy (VVP) oraz mały poligon badawczy (MVP) [1].

Duży poligon badawczy (przeznaczony głównie do monitorowania wpływu masowego pozyskiwania ciepła z górotworu) znajduje się w pobliżu Nowego Audytorium oraz Centrum Technologii Informatycznych VSB-TU Ostrawa.

Mały poligon badawczy (zaprojektowany do badania zachowania się masywu skalnego podczas ogrzewania, akumulowania i przechowywania ciepła oraz jego odbudowy energetycznej w rejonie odwiertów pobierających energię z górotworu dla małych obiektów) znajduje się nieopodal Centrum Badań Energii VŠB-TU Ostrawa. Oba wymienione poligony badawcze zlokalizowane są na terenie uczelni w Ostrawie-Porubie (rys. 1).



Rys. 1. Plan sytuacyjny rozmieszczenia poligonów badawczych małego i dużego na terenie VŠB-TU Ostrava

2. DUŻY POLIGON BADAWCZY

W 2006 roku w Republice Czeskiej oddano do użytku największy wówczas obiekt ogrzewany pompami ciepłymi. Obiektem tym było wielofunkcyjne Nowe Audytorium

VŠB-TU wraz z przyłączonym w późniejszym okresie Centrum Technologii Informatycznych (rys. 2). Całkowita powierzchnia zajmowana przez oba obiekty wynosi 3197 m^2 , natomiast całkowita powierzchnia ogrzewana to 9234 m^2 .

Zainstalowany do ogrzewania system składa się z dziesięciu pomp ciepła produkcji szwedzkiej firmy IVT Greenline D70 (rys. 3). Łączna zainstalowana moc wynosi 700 kW. Do obsługi całego systemu wykonano 110 odwiertów o głębokości 140 m (łączna ich długość wynosi 15400 m). Otwory wykonane zostały na terenie parkingu w okolicy Nowego Audytorium i parkingu obok nowej biblioteki VŠB-TU Ostrawa [5].

Przed realizacją całego projektu nastąpiło sprawdzenie warunków geologiczno-energetycznych w rejonie wierceń przez Politechnikę w Lund (Szwecja). W tym celu wykonano Thermal Respons Test (TRT) oraz dwa otwory pilotażowe.



Rys. 2. Nowe Audytorium VŠB-TU Ostrawa



Rys. 3. Pompy ciepła Greenline D70 zainstalowane w podziemiach Nowego Audytorium

Program realizacji dużego poligonu badawczego

Realizacja dużego poligonu badawczego (zaznaczono schematycznie na rysunku 1 jako VVP) – składała się w sumie z grupy 10 odwiertów eksploatacyjnych, które zostały odwiercone w dwóch równoległych rzędach. Są to odwierty V071, V073, V075, V077 i V079 w jednym rzędzie (południowy profil) i V081, V082, V084, V086 i V088 z rzędzie równoległym (północny profil). Obie serie otworów są usytuowane w przybliżeniu w kierunku wschód-zachód i oddalone od siebie o 10 m. Taką samą podziałkę odległości zastosowano pomiędzy otworami w rzędzie. Wszystkie odwierty zostały wyposażone w pary kolektorów polietylenowych o średnicy 32 mm. Kolektory wejściowe (tzw. zimne) zostały wyposażone w czujniki temperatury Pt-1000, na głębokości 20, 50, 100 i 140 m. Natomiast kolektory wyjściowe (tzw. ciepłe) zostały wyposażone w ten sam typ czujników na głębokościach 20 i 100 m [5].

Otwory monitorujące – pierwotnie grupa 5 odwiertów (oznaczone na planie rysunku 1, jako MV01 do MV05) odwierconych na planie łuku pośrodku poligonu badawczego w kierunku mniej więcej północno-zachodnim. W otworach zainstalowano kolektory z PE, cztery z wymienionych otworów zostały wyposażone w rurki kolektorowe o średnicy 32 mm, natomiast otwór o oznaczeniu MV03W jest wyposażony w rurki 40 mm. W otworach zainstalowano również zestawy czujników temperatury model Pt-1000 i umieszczono je odpowiednio na głębokościach: 20 m, 50, 100 i 140. Na chwilę obecną badania prowadzone są w czterech otworach monitorująco-badawczych. Ze względu na prowadzone prace budowlane nowego pawilonu Wydziału Elektroniki i Informatyki w bliskim sąsiedztwie odwiert MV05 został wyłączony z użytku. Na terenie poligonu zlokalizowano jeszcze jeden odwiert badawczy KV01 – znajduje się on około 10 m na południe od odwiertu MV04.



Rys. 4. Wiertnica NORDMEYER DSB 2/10 podczas prac wiertniczych na Małym Poligonie Badawczym

Został on wyposażony w polietylenowe rurki Stüwe 63/51 mm z przemienną perforacją celem monitorowania długotrwałego przepływu wód podziemnych oraz pomiaru i kontroli ich temperatury. W tym celu w otworze zamontowano sondę pomiarową Solinst Levellogger 3001, która rejestruje długoterminowe zmiany poziomu wód gruntowych i wgłębnych w punkcie pomiarowym. Dane pomiarowe uwzględniają zmiany ciśnienia atmosferycznego, w związku z tym przy odwiercie ustawiono aparaturę pomiarową do jego pomiaru.

Wszystkie otwory na terenie poligonów odwiercono wiertnicą firmy Nordmeyer DSB 2/10 a wykonawcą była firma Green Gas, DPB, a.s. Paskov (rys. 4).

3. MAŁY POLIGON BADAWCZY

Podczas budowy Małego Poligonu Badawczego wykorzystano doświadczenia zdobyte przy realizacji Dużego Poligonu Badawczego. Każdy z odwiertów wyposażono w szybik technologiczny, umożliwiających dostęp do wylotu odwiertu a tym samym do wyjścia rurek PE, przewodów i skrzynek przyłączeniowych. Skrzynki przyłączeniowe zostały uszczelnione i umieszczone powyżej zasięgu wód gruntowych. Okablowanie poprowadzono najkrótszą drogą do budynku Centrum Badań Energetycznych.

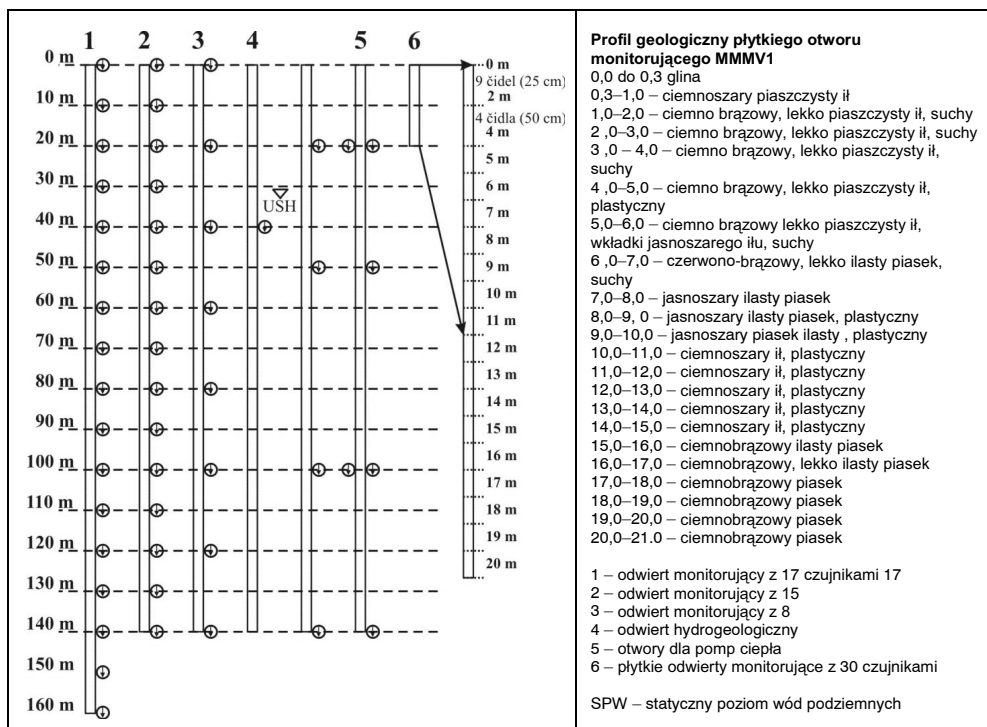
System Monitorujący Małego Poligonu Badawczego

System monitorowania Małego Poligonu Badawczego składa się z dwóch pomp ciepła (IVT typ Greenline E 11 Plus, o mocy grzewczej 2×11 kW), podłączonych do dwóch odwiertów o głębokość 140 m oraz grupy 9 odwiertów pomiarowych zlokalizowanych w bliskim sąsiedztwie. Mały Poligon Badawczy służy do pomiaru wpływu działania pomp ciepła na górotwór, (w odróżnieniu od Dużego Poligonu Badawczego ma większy zakres pomiarowy w funkcji głębokości). Dodatkowo został on wyposażony w aparaturę kontrolno-pomiarową służącą do pomiaru wpływu natężenia promieniowania słonecznego na górotwór w rejonie badań oraz do testowania różnego rodzaju czujników. System rozmieszczenia czujników w otworach badawczych pokazano na rysunku 5.

Płytki otwór monitorujący MMV-1

Płytki otwór monitorujący MMV-1 został odwiercony do głębokości 20,5 m. Litologię przewiercanych warstw pokazano powyżej. Otwór został zarurowany do głębokości 20,0 m rurami o średnicy 75 mm. Wylot otworu zabezpieczono krótkim szybikiem z klapą (rys. 6). Odwiert wyposażono w czujniki temperatury Pt 1000 i DS18B20 umieszczone w dwóch równoległych liniach.

Do głębokości 2 m czujniki rozmieszczono co 0,25 m, następnie w przedziale głębokości od 2–4 m czujniki zostały usytuowane w odległości 0,5 m. Poniżej 4 m do końcowej głębokości czyli 20,5 podziałka ich rozmieszczania wynosi 1 m (patrz rys. 5). Łącznie odwiert zaopatrzone w 30 czujników temperatury typu Pt1000 i 30 równolegle umieszczonych czujników kontrolnych DS18B20. Wszystkie czujniki pomiarowe są podłączone do centrum pomiarowego usytuowanego w Centrum Badań Energetycznych (VEC), gdzie odbywa się automatyczna rejestracja danych.

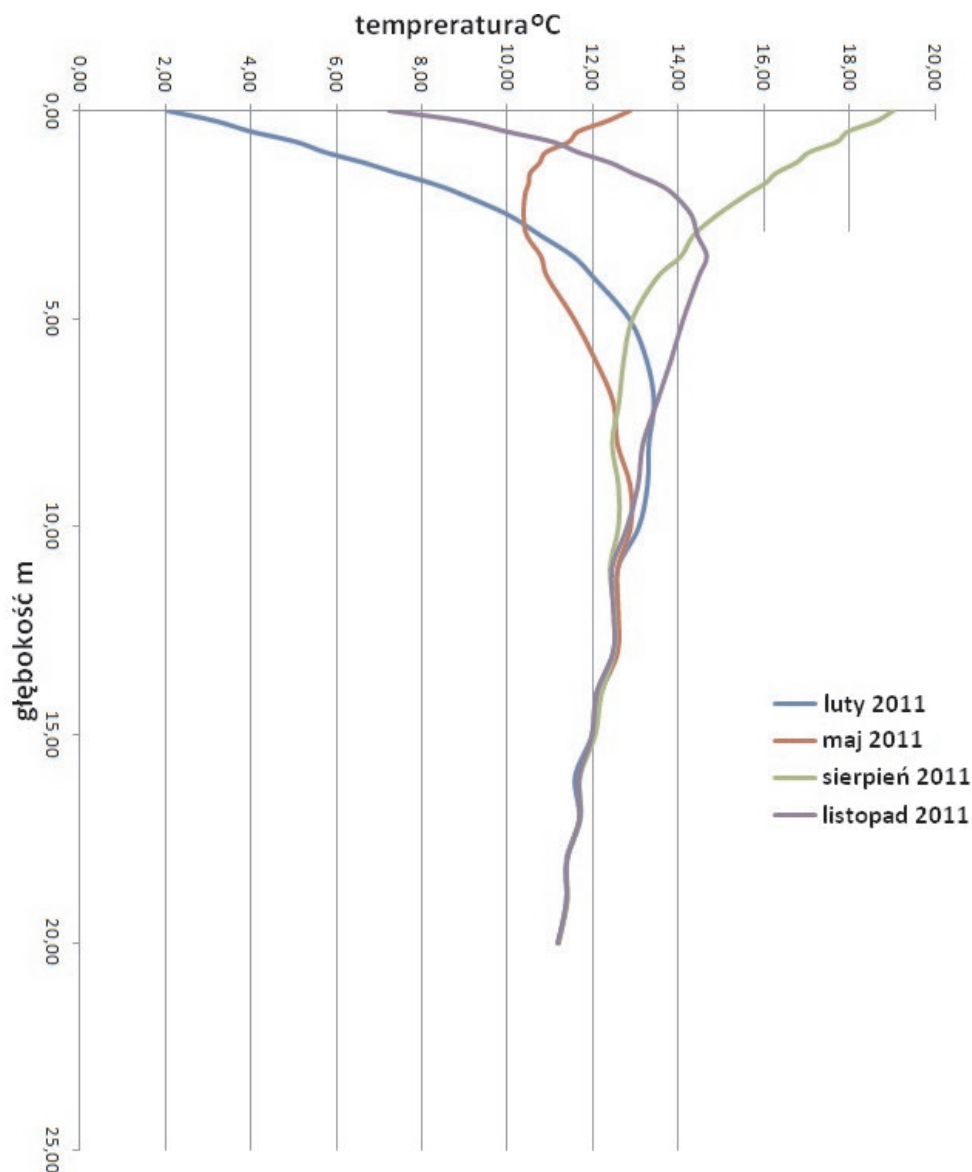


Rys. 5. Schemat rozmieszczenia czujników temperatury w otworach monitorujących i użytkowych Małego Poligonu Badawczego



Rys. 6. Szybik płytkiego otworu monitorującego MMV-1

Płytki otwór monitorujący MMV-1 służy przede wszystkim do monitorowania zmian temperatury w warstwie powierzchniowej (przypowierzchniowych warstwach) spowodowanych sezonowymi zmianami ich temperatury w różnych porach roku. Na rysunku 7 przedstawiono uśrednione wartości zmian temperaturowych w funkcji głębokości uzyskane w różnych miesiącach: maj, sierpień i listopad 2011 roku.

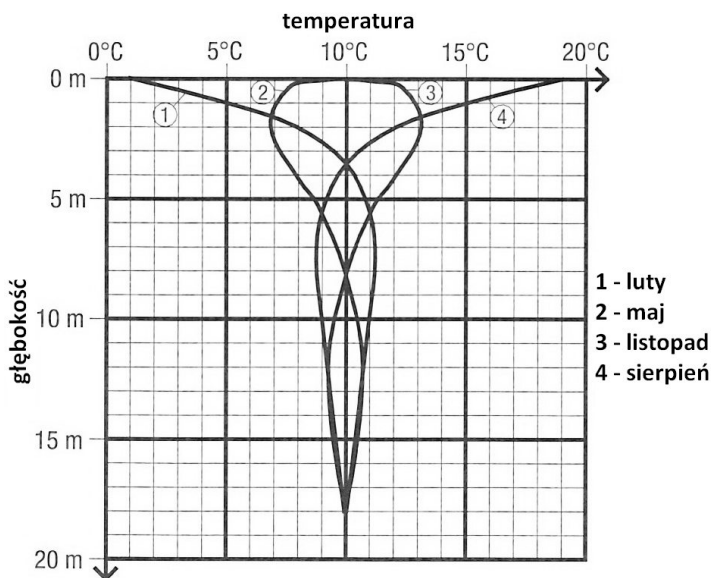


Rys. 7. Przebieg zmian temperatury w funkcji głębokości w otworze MMV-1 w miesiącach: luty, maj, sierpień, listopad w roku 2011

4. ANALIZA WYNIKÓW POMIAROWYCH

Niektóre pozycje literaturowe wskazują, że nawet w krajach skandynawskich na głębokości około 10–12 m poniżej powierzchni terenu, nie występuje roczna zmiana temperatury zależna od pory roku. Do tych głębokości temperatura zmienia się podobnie jak temperatura na powierzchni i jest ona mniej więcej zbliżona do rocznej średniej temperatury powietrza. Większość autorów różnych publikacji z tego zakresu wskazuje jednak, że średnia roczna temperatura jest stała do tzw. przejściowej (neutralnej) strefy. Pod tym pojęciem rozumie się poziom głębokości, do którego mogą występować długoterminowe (z geologicznego punktu widzenia) temperaturowe zmiany wywołane zmianą klimatu czy sezonowością zmian temperatury. Od tego poziomu głębokości nie obserwuje się wpływu zmian temperatury w funkcji czasu, a jej zmiana wraz z głębokością zależy wyłącznie od gradientu geotermicznego (stopnia geotermicznego) właściwego dla danego rejonu geologicznego. Wzrost temperatury wraz z głębokością na większości obszarów w Czechach z reguły jest pomiędzy 2 do 3 °C na każde 100 m głębokości. Rysunek 8 przedstawia zmiany temperatury w funkcji głębokości w przebiegu rocznym dla wybranych miesięcy 2011 roku [3].

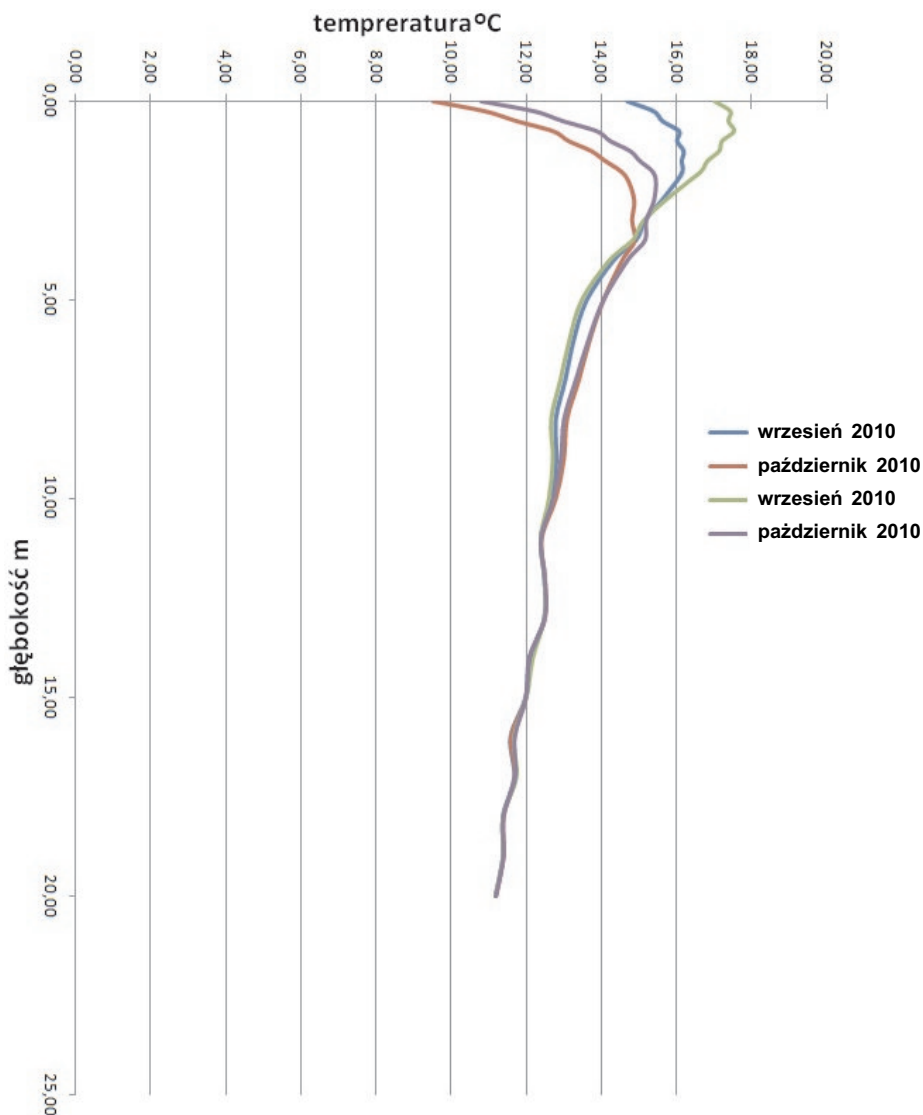
Analiza zmian przedstawionych na rysunku wskazuje, że zmiany temperatury w przebiegu pór roku są symetryczne, temperatura na głębokości 1,2 do 1,5 m waha się od 7° do 13 °C i przy głębokości 18 m osiąga dla całego roku wartość około 10 °C.



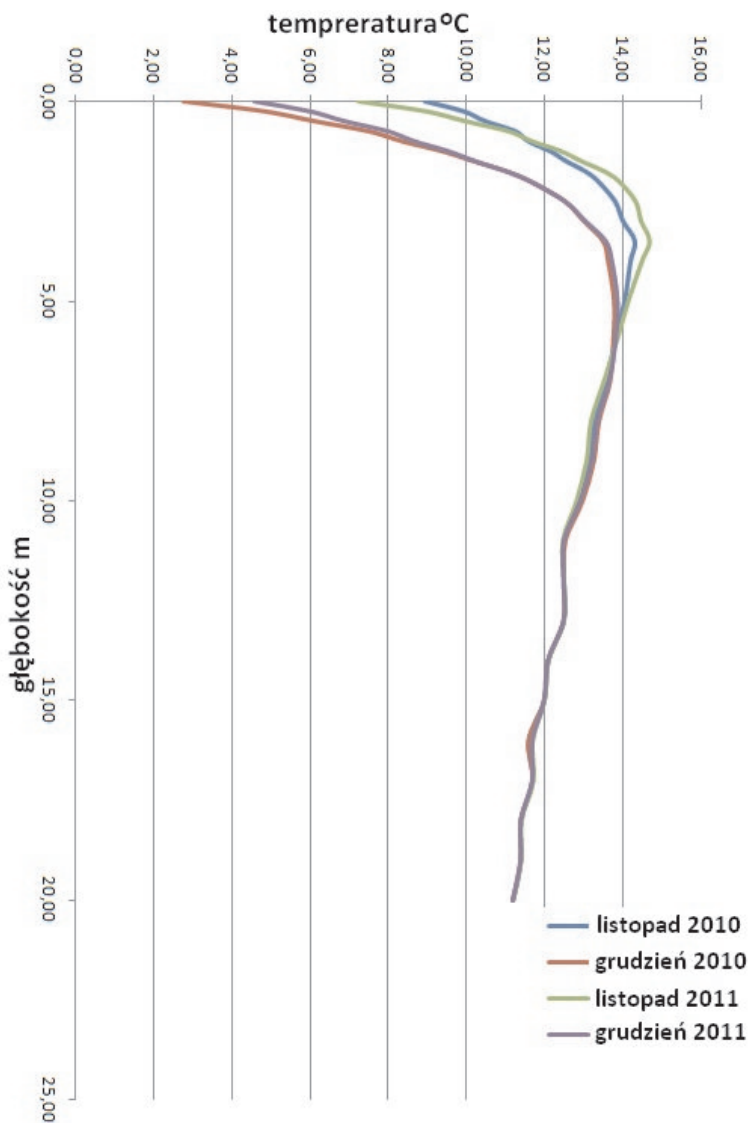
Rys. 8. Zależność temperatury w funkcji głębokości wg [3]

Pomiary wykonane na poligonach badawczych VSB-TU Ostrawa (rys. 8) wskazują, że w przebiegu rocznym zmiany temperatury w układzie sezonowym nie są symetryczne. Temperatura na głębokości 1,2 do 1,5 m, w naszym przypadku waha się od 7,5 do 17,5 °C, natomiast poczynając od głębokości 18 m poziom temperatury ustala się i wynosi 12 °C w ciągu całego roku. Z rysunku 7 wynika również tendencja spadkowa tempera-

tury wraz z głębokością do strefy neutralnej (przejściowej), która na obszarze Małego Poligonu Badawczego sięga na głębokość 35 do 40 m. Ten wynik uzyskano w innych otworach badawczych o większej głębokości, w których zanotowano stałą temperaturę na poziomie 8 °C przy wymienionych głębokościach, co z kolei odpowiada średniej rocznej temperaturze na monitorowanym obszarze. Przebieg zmian intensywności wpływu warunków zewnętrznych na zmiany temperatury w przypowierzchniowej warstwie górotworu zaprezentowano na rysunkach 9 i 10 dla tych samych miesięcy w latach 2010 i 2011.



Rys. 9. Przebieg zmian temperatury w funkcji głębokości w latach 2010–2011 w miesiącach wrzesień i październik w płytkim otworze monitorującym MMV-1



Rys. 10. Przebieg zmian temperatury w funkcji głębokości w latach 2010–2011 w miesiącach listopad i grudzień w płytkim otworze monitorującym MMV-1

Wynika z nich, że najintensywniejsze zmiany i różnica w przebiegu temperatur zachodzą do głębokości ok. 5 m. Poniżej tej głębokości przebieg spadku temperatury dla poszczególnych miesięcy jest zbliżony. Z powyższego wynika, że pewne schematy przedstawione w literaturze należy rozumieć tylko, jako przybliżone czy też schematyczne. Rzeczywisty rozkład profilu temperatury w warstwie powierzchniowej może być ustalony jedynie na podstawie badań przeprowadzonych „in situ”.

Wiedza taka jest niezbędna, zwłaszcza tam, gdzie planowane jest pozyskiwanie energii z poziomych kolektorów umieszczanych w gruncie. W przypadku, gdy energia jest pozyskiwana z otworów wiertniczych za pomocą umieszczanych w nich kolektorów, czyli pomp ciepła wpływ zmian można ograniczyć. W przypowierzchniowej warstwie można rozważyć wykonanie iniekcji okołotworowej z materiałów o różnej przewodności cieplnej lub wykonać izolację przypowierzchniowej części otworu.

LITERATURA

- [1] Bujok P., Klempa M., Rado R.: *Analiza pomiarów inklinometrii w otworach geotermalnych na poligonie doświadczalnym VŠB-Uniwersytet Techniczny w Ostrawie*. Wiertnictwo Nafta Gas, t. 27, z. 1–2, ss. 91–100, ISSN 1507-0042, 2010.
- [2] Bujok P., Mikundová P., Hájovský P.: *Proces implementace výzkumu v horninovém masivu v lokalitě malého výzkumného polygonu na VŠB-TU Ostrava*. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Nr 1814, Górnictwo, z. 287, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ss. 27–35, ISSN 0372-9508, 2009.
- [3] Firemní materiály firmy REHAU.
- [4] Hellström G.: *Thermal Response Test, Borehole No. 1*. Mining University Ostrava, Report No. 050405-050408, 2005.
- [5] Klempa M., Bujok P., Pospíšil P., Hájovský R.: *The experiences from construction and operations of the experimental underground heat storage reservoir in the campus of VSB – Technical university of Ostrava*. 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20–25 June 2011, s. 115–122. ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/SGEM2011/S18.117.
- [6] Kunz K.: *Komplexní posouzení horninového prostředí jako zdroje nízkopotenciální tepelné energie*. Disertační práce doktorandského studia, VŠB-TU Ostrava, Hornícko-geologická fakulta, 2009.
- [7] Vojčiňák P., Hájovský R., Koziorek J.: *Using Measurement, Data Analysis and Modelling for Borehole Polygons*. Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS'2011 1, art no. 6072700, pp. 2–9. ISBN: 978-145771423-8. DOI: 10.1109/IDAACS.2011.6072700.