

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

**DOŚWIADCZENIA ZWIĄZANE
Z BUDOWĄ POLIGONU BADAWCZEGO
DLA NISKOENERGETYCZNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII
UZYSKIWANYCH Z GÓROTWORU NA TERENIE
VSB – UNIWERSYTET TECHNICZNY W OSTRAWIE-PORUBIE******

1. WSTĘP

Projekt „Badania zmian cieplnych masywu skalnego z użyciem pomp ciepła w rejonie nowej auli Wyższej Szkoły Górniczej-Uniwersytet Techniczny w Ostrawie” jest prowadzony od roku 2007 we współpracy i pomocy finansowej województwa Moravskoslezského (Morawsko-Śląskiego) Republiki Czeskiej. Celem projektu jest ocena wpływu zewnętrznych i wewnętrznych źródeł na bilans cieplny górotworu oraz obserwacja systemu niskoenergetycznego z punktu widzenia szybkości odbudowywania się energii cieplnej (w cyklu ogrzewanie-klimatyzacja, czyli naprzemienny pobór energii i jej oddawanie) z określeniem wzorców zmian przepływu ciepła w niejednorodnym geologicznie środowisku, w bezpośrednim sąsiedztwie wykonanych odwiertów geotermicznych.

Aby przeprowadzić długoterminową weryfikację systemu, jako alternatywnego źródła energii oraz ocenić, jaki wpływ na ogólny bilans cieplny mają zewnętrzne i wewnętrzne źródła energii, prowadzone jest monitorowanie górotworu wokół odwiertów geotermalnych podczas odbierania z niego energii cieplnej z równoczesnym badaniem możliwości jej magazynowania. Badania te przeprowadzono na dwóch poligonach badawczych: dużym poligonie badawczym (VVP) i małym poligonie badawczym (MVP).

* VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Institute of Geological Engineering, Ostrava-Poruba, Czech Republic

** VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Department of Measurement and Control, Ostrava-Poruba, Czech Republic

*** Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

**** Artykuł wykonano w ramach badań statutowych 11.11.190.01

Wspomniane poligony badawcze zostały zlokalizowane na terenie Wyższej Szkoły Górniczej-Uniwersytet Techniczny w Ostrawie-Porubie (VŠB-TU w Ostrava-Poruba). Duży poligon badawczy (VVP) został zaprojektowany do monitorowania wpływu masowego odbierania ciepła z otoczenia i jest zlokalizowany w pobliżu nowo wybudowanej auli VSB-TU Ostrawa. Mniejszy z poligonów badawczych ma za zadanie badania regeneracji i zachowywania się górotworu w pobliżu odwiertów geotermalnych. Jest on położony przy pawilonie Centrum Badań Energetycznych uczelni.

2. DUŻY POLIGON BADAWCZY

W 2006 roku oddano do użytku największy wówczas obiekt ogrzewany pompami ciepłymi, którego wielkość przewyższała wszystkie dotychczasowe projekty w tym zakresie w Republice Czeskiej. Obiektem tym była hala sportowa w Opawie. Dla potrzeb tej hali wykonano 80 otworów geotermalnych o łącznej długości 8300 m.

Nowa aula Wyższej Szkoły Górniczej w Ostrawie oraz Centrum Technologii Informatycznych nie są tak dużymi kubaturowo budynkami, jak wspomniana hala sportowa, niemniej do ich ogrzewania i klimatyzowania również użyto otworów wyposażonych w pompy ciepła.

Budynek auli VŠB-TU wykorzystywany jest, jako centrum konferencjno-szkoleniowe, oraz miejsce uroczystych spotkań, wszelkich imprez związanych z działalnością szkoły wyższej. W części piwnicznej budynku zorganizowany jest garaż podziemny z 40 miejscami parkingowymi oraz zaplecze techniczno-technologiczne do utrzymania obiektu (wymenniki ciepła, transformatory, magazyny). Wygląd zewnętrzny auli przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wyższej Szkoły Górniczej – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie-Porubie

Centrum Technologii Informatycznych (CTI) stanowi organizacyjnie oddzielny kompleks, w którym zlokalizowano pracownie komputerowe, centrum rozwoju i biura. Całkowita powierzchnia zabudowy wynosi 3197 m², a powierzchnia całego kompleksu to 9234 m² pomieszczeń, biur i magazynów.

System pomp ciepła zainstalowanych na potrzeby obsługi auli wraz z CTI posiada 700kW mocy i jest obsługiwany szwedzkimi pompami IVT Greenline D70 z sieci 110 odwiertów o głębokości 140 m (łączna długość otworów wynosi 15 400 m). Cały układ otworów oraz system przyłączy znajduje się pod parkingiem auli oraz nowej biblioteki VŠB-TU Ostrawa. Natomiast same pompy ciepła zainstalowano w części piwnicznej auli. Wygląd pomieszczenia, w którym zlokalizowanego system pomp ciepła wraz z osprzętem w podziemiach auli przedstawiono na rysunku 2.



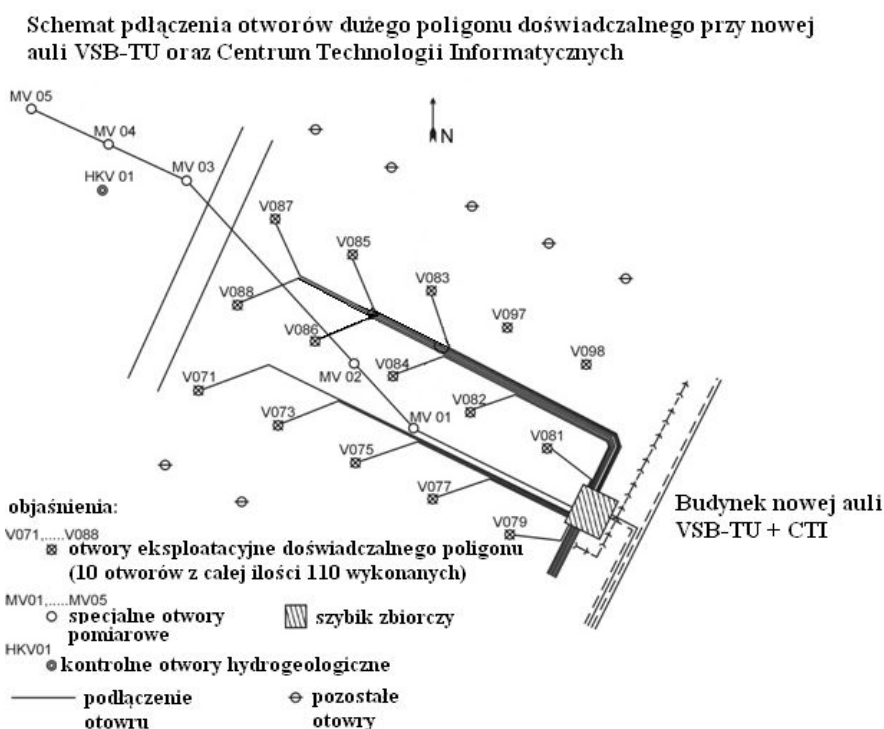
Rys. 2. Widok pomieszczenia z zainstalowanymi pompami ciepła Greenline D70 w części piwnicznej nowej auli VSB-TU Ostrawa

Wszelkie prace mające na celu określenie głębokości wiercenia otworów, a także określenie niezbędnej ilości otworów zostały przygotowane we współpracy z Politechniką w Lund w Szwecji. Dzięki tej współpracy zainstalowano na dwóch pierwszych otworach pilotowych na terenie VSB-TU specjalny system pomiarowy TRT Test i przeprowadzono pomiary określające energetyczną wydajność cieplną otworów. Z przeprowadzonych badań wynikało, że z metra bieżącego otworu można uzyskać 60 W energii. Ten wynik był podstawą do określenia ilości i głębokości otworów.

Ostatecznie ustalono, że zostanie wykonanych 110 otworów (wykonawca Green Gas DPB S.A. Paskov), które będą podłączone do 5 zbiorczych szybików, co dało 22 otwory na jeden zbiorczy szybik. Każdy ze zbiorczych szybików jest obsługiwany przez osobną linię z podłączoną oddzielną pompą ciepła.

Zainstalowane pompy ciepła w wyraźny sposób obniżają koszty ogrzewania i klimatyzowania budynków. Cały projekt wykorzystania pomp ciepła do ogrzewania i klimatyzowania budynków VSB-TU był współfinansowany ze środków UE, państwowego Funduszu Ochrony Środowiska Naturalnego oraz środków własnych uczelni. Projekt ten w swoich założeniach miał nie tylko służyć ogrzewaniu i klimatyzowaniu budynków, ale również służyć społeczności akademickiej do interdyscyplinarnych badań i dalszego rozwoju technologii z odnawialnymi źródłami energii.

Na bazie tych założeń oraz w ramach umowy na wykonanie systemu grzewczego dla nowej auli odwiercono i wyposażono w odpowiednią aparaturę do pomiarów 3 dodatkowe otwory poligonu badawczego (dwa wykonano wcześniej). Schemat ich rozmieszczenia wraz z podłączeniem otworów do szybików zbiorczych pokazano na rysunku 3.



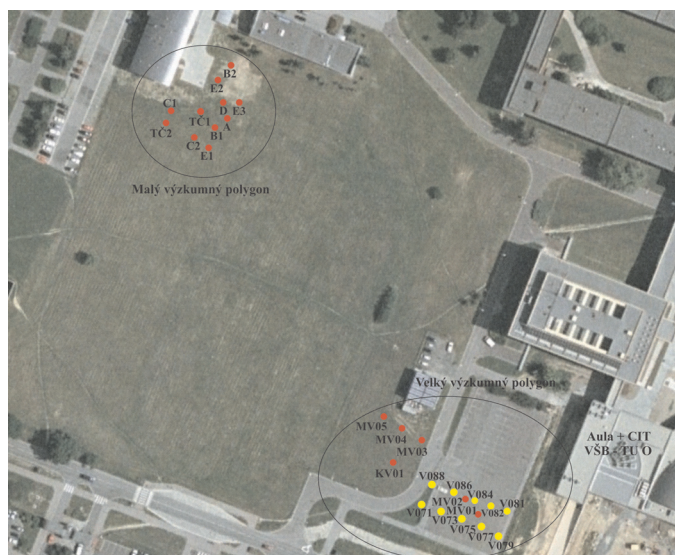
Rys. 3. Plan sytuacyjny z rozmieszczeniem poszczególnych otworów na dużym poligonie badawczym

3. PROCES REALIZACJI DUŻEGO POLIGONU BADAWCZEGO

Do dużego badawczego poligonu przypisanych jest 10 odwiertów eksploatacyjnych z całej grupy 110 wykonanych, które usytuowano w dwóch równoległych rzędach. Otwory te zostały odwiercone w ramach prac wiertniczych podczas wierceń dla systemu grzewcze-

go. Zostały one odwiercone wzdłuż jednej linii i mają oznaczenia: V071, V073, V075, V077 i V079 (południowa część profilu) oraz V081, V082, V084, V086 i V088 (północna część profilu). Oba rzędy otworów usytuowane są w przybliżeniu w kierunku wschód-zachód i oddalone od siebie o 10 m. Taką samą odległość mają również otwory pomiędzy sobą w rzędach.

Wszystkie otwory wyposażono w kolektory polietylenowe o średnicy 32mm. Na linii wejściowej (zimnej) system kolektorów zostały wyposażone w czujniki temperatury Pt-1000, na głębokościach 20, 50, 100, 140 m, natomiast linie wyjścia (ciepłe) zostały oczujnikowane tym samym typem czujników na głębokościach 20 i 100 m. Poglądowe rozmieszczenie otworów względem budynków uczelni pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Widok na planie poziomym usytuowania otworów badawczych małego i dużego poligonu badawczego względem zabudowań VSB-TU Ostrawa

Proces zapuszczania kolektorów PE wraz z czujnikami przedstawiono na rysunku 5. W celu uniknięcia pomyłek obie linie – wejściowa i wyjściowa – zostały oznaczone odpowiednimi kolorami, jak również czujniki i ich okablowanie zostało w odpowiedni sposób oznakowane.

Specjalne pomiary (monitorująco-obszerwacyjne) prowadzone są na grupie 5 otworów. Dwa z nich (chodzi o otwory MV01 i MV05) usytuowane są w środkowej części poligonu. Otwory te wyposażono w standardowe rurki kolektorowe typu PE o średnicy 32 mm, natomiast otwór MV03 ma zapuszczone rurki o średnicy 40mm. Podobnie jak w przypadku otworów eksploatacyjnych wykorzystywanych do badań, również otwory pomiarowe zostały oczujnikowane systemem czujników w tych samych interwałach głębokości.



Rys. 5. Zapuszczanie rurek kolektorowych 32 mm wraz kolumną do iniektowania otworu oraz zestawami czujników

Otwory monitorujące hydrogeologiczne MV03 i MV04 zlokalizowano około 10 m na południe od otworu kontrolnego KV01, który wyposażono w rurki PE Stüwa o średnicy 63/51 mm z odcinkami perforowanymi w celu długoterminowego badania przepływ wód podziemnych, prowadzenia okresowych pomiarów ciepła oraz innych pomiarów geofizycznych mających określić własności masywu skalnego. Dla tego otworu wykonano specjalną studzienką pomiarową w kręgu betonowym z alpą zabezpieczającą o średnicy 800 mm.

Wszystkie prace wiertnicze związane z wykonaniem otworów i pracami instalacyjnymi w otworach wykonane zostały przez firmę Green Gas DPB Paskov, wiertnicami firmy Nordmeyer DSB2/10 wyposażonymi w podwójne głowice do wiercenia z jednoczesnym rurowaniem otworu.

4. SYSTEMY MONITORUJĄCE DUŻEGO POLIGONU BADAWCZEGO

Jak wspomniano w obrębie dużego poligonu badawczego monitorowanych w sposób ciągły jest 10 otworów, które są przyłączone do pomp ciepła. Podobnie jak otwory pomiarowe, otwory te wyposażono w 6 czujników pomiarowych, 4 na wejściu i dwa na wyjściu.

Na chwilę obecną monitorowanych jest 80 punktów pomiarowych w 15-stu odwiertach. Wszystkie pomiary ciepła prowadzone są za pomocą wspomnianych już czujników PT1000. Końce przewodów pomiarowych z czujników zainstalowanych na poszczególnych głębokościach zostały wprowadzane do rurek ochronnych z PCV o średnicy 32 mm i długości 1m a z nich poprowadzone do plastikowych skrzynek przyłączeniowych usytuowanych na wylocie odwiertu. Każda ze skrzynek przypisana jest do odwiertu, w każdej skrzynce w identyczny sposób (dla wszystkich) oznaczono przewody pochodzące z czujników z tych samych interwałów głębokości rozróżniając linię wejściową i wyjściową. Każdy z czujników oraz kabli posiada oznaczenie nadane przez producenta określające typ czujnika, długością kabla, numer seryjny i datę produkcji.

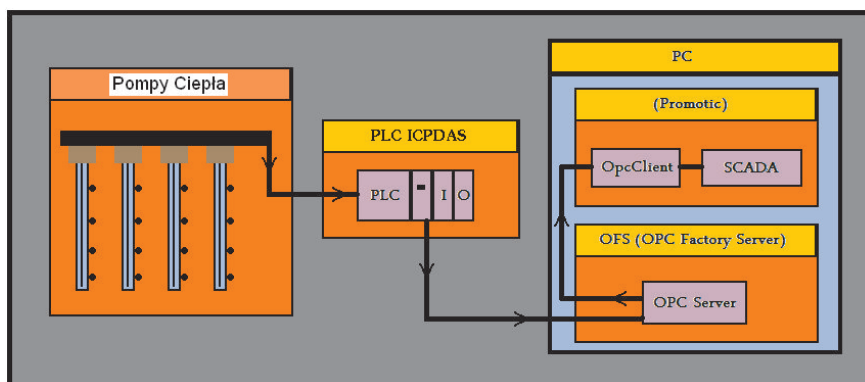
Wszystkie czujniki z kolei połączone są czterożyłowym przewodem do zacisków modułów rejestrujących. Do jednego modułu pomiarowego podpięte są 4 czujniki, z tego wynika, że dla wszystkich punktów pomiarowych (80) koniecznym było przygotowanie 20 modułów pomiarowych. Moduły pomiarowe podłączone są do zbiorczych jednostek pomiarowych, dzięki którym możliwa jest komunikacja z nimi poprzez sieć Ethernet. Każda z jednostek pomiarowych obsługuje 8 modułów.

Jednostki pomiarowe są połączone siecią Ethernet za pośrednictwem przełączników do systemu wizualizacji na komputerach PC z zainstalowanym specjalnym oprogramowaniem Promotic. Na rysunku 6 pokazano tablicę rozdzielczą z układem pomiarowym RM1 do obsługi czujników ciepła z szybiku 4 zainstalowany w pomieszczeniu, w którym znajdują się pompy ciepła w podpiwniczeniu budynku nowej auli VSB-TU.



Rys. 6. Widok tablicy rozdzielczej RM1

System pomiarowy został zbudowany w celu uzyskania danych do modelowania i oceny procesów cieplnych w górotworze podczas eksploatacji pomp ciepła. Kolejnym celem jest opracowanie długoterminowych badań i testowania czujników temperatury do pomiaru temperatury w otworach wiertniczych. Rysunek 7 prezentuje schemat ideowy systemu pomiarowego.



Rys. 7. Schemat ideowy systemu pomiarowego

System pomiarowy składa się z:

- systemu czujników umieszczonych w otworach,
- urządzeń pomiarowych – służących do przechwytywania sygnałów z czujników,
- kanałów komunikacji – urządzenia sprzężone z komputerem do transmisji danych pomiarowych,
- komputera PC – do przeglądania i archiwizowania danych pomiarowych.

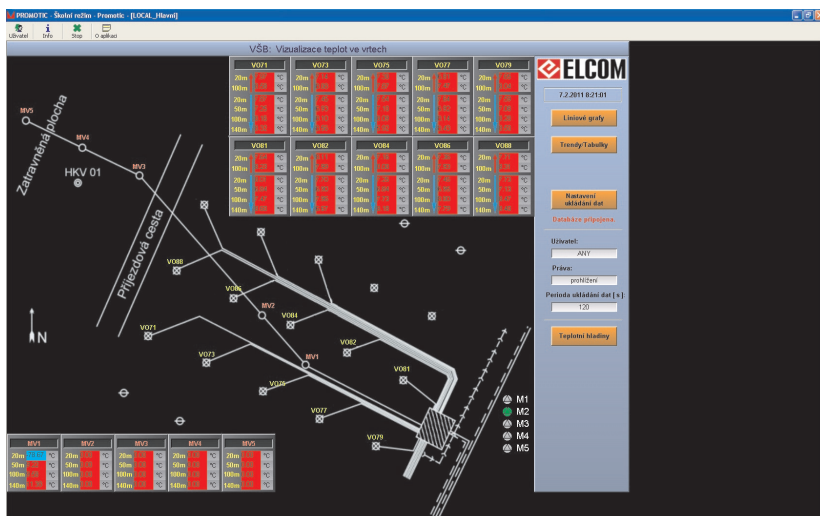
System został zaprojektowany tak, aby operator mógł korzystać z systemu pomiarowego bezpośrednio lub za pomocą zdalnego dostępu, dzięki temu operator ma możliwość uzyskania następujących danych w czasie rzeczywistym:

- wyświetlenia rzeczywistej mierzonej temperatury ze wszystkich 80 punktów pomiarowych,
- wyświetlenia przebiegu zmian temperatury w funkcji czasu lub formy stabelaryzowanej dla wybranych czujników,
- zapisywania danych do bazy danych,
- wyświetlenia temperatury na poszczególnych głębokościach odwiertów,
- czasowego planowania i tworzenia pomiarów,
- zdalnego dostępu i kontroli aplikacji pomiarowych.

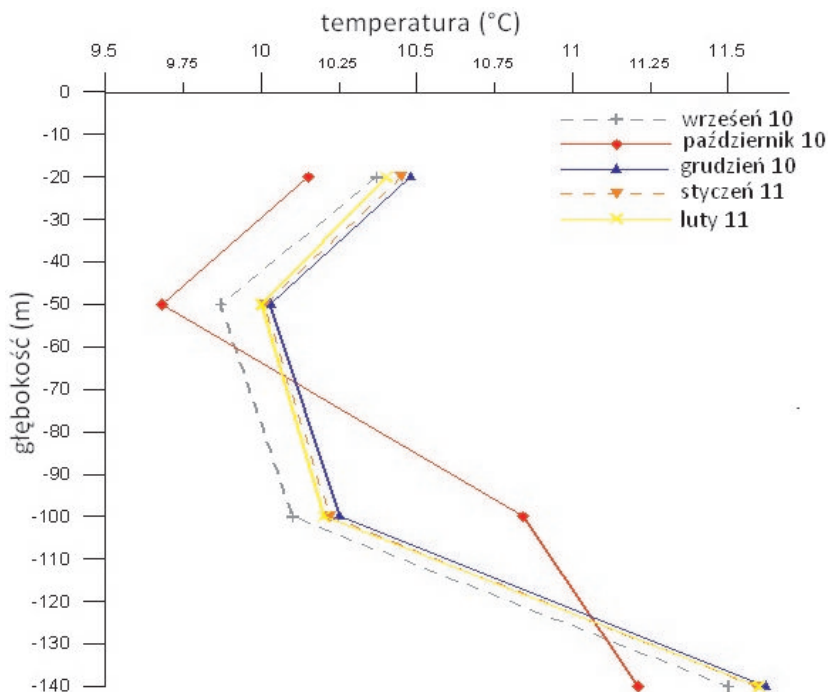
5. WIZUALIZACJA WYNIKÓW POMIARÓW

Oprogramowanie systemu pomiarowego pozwala odczytywać pomiary w czasie rzeczywistym oraz archiwizować wartości pomiarów do późniejszej obróbki.

Wizualizację danych z poszczególnych otworów wykonanych przez oprogramowanie systemu pomiarowego pokazano na rysunku 8. Natomiast przebieg temperatur w funkcji głębokości otworu z uwzględnieniem czasu pomiaru wygenerowany przez system przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 8. Wizualizacja danych pomiarowych pochodzących z systemu Promotic



Rys. 9. Przebieg krzywych temperatury w funkcji głębokości otworu wykreślonych przez program Promatic

6. MAŁY POLIGON BADAWCZY

Na obszarze małego poligonu badawczego monitorowanych jest 15 odwiertów. Podobnie, jak w przypadku dużego poligonu zainstalowano łącznie 80 czujników pomiarowych, rozmieszczonych zgodnie z przyjętą zasadą na głębokościach 20, 50, 100 i 140 m dla linii zasilającej oraz 20 i 100 dla linii odbierającej. Dane z tych otworów przekazywane są do systemu pomiarowego sprzężonego z komputerami PC, o którym wspomniano uprzednio. Przebiegi temperatur z małego poligonu badawczego są porównywane i korelowane w funkcji czasu z przebiegiem temperatur uzyskanych dla dużego poligonu. Następnie wyniki opracowywane są w różnej formie i do różnych celów badawczych.

7. USZKODZENIA SYSTEMU POMIAROWEGO

Od początku działania w systemie pomiarowym stwierdzono błędy pomiarowe, które objawiały się niestabilnością mierzonych wartości temperatury. Po dłuższym użytkowaniu systemu, niestabilność wskazań pojawiała się dla coraz większej liczby czujników. Poszukując przyczyn przeprowadzono szereg pomiarów i doświadczeń mających na celu

wyeliminowanie błędów lub znalezienie przyczyn ich powstawania. Ostatecznie wytypowano możliwe przyczyny występowania niestabilności wskazań, którymi były:

- zakłócenia elektromagnetyczne,
- wadliwe moduły pomiarowe,
- uszkodzenia mechaniczne izolacji przewodów w jednostce pomiarowej RM1,
- uszkodzenia mechaniczne izolacji czujników lub zainstalowanych skrzynek przyłączeniowych przy wylocie odwiertu.

Po przeprowadzeniu kontroli tablicy rozdzielczej RM1 hipoteza o możliwym wpływie wadliwego działania połączeń elektrycznych w module nie potwierdziła się.

Najbardziej prawdopodobną przyczyną pojawiających się niestabilnych odczytów było uszkodzenie lub zmiana własności izolacyjnych obudowy czujników lub przewodów przyłączeniowych do skrzynek przyłączeniowych umiejscowionych na głowicy odwiertu. Niestety dostęp do czujników jak i przewodów był niemożliwy, ponieważ umieszczone są w odwiercie jego zainiektowanej i uszczelnionej części. Ponieważ w systemie pomiarowym VSB-TU dostępne są dwa otwory wyposażone w identyczny układ pomiarowy i nieuszczelnione, można było dokonać sprawdzenia czujników oraz kabli przesyłowych poprzez ich kalibrację oraz pomiary wartości prądowych.

Po przeprowadzeniu pomiarów kontrolnych i testów stwierdzono, że system czujników tych dwóch otworów kontrolnych nie wykazuje odchyłeń od normy i parametrów podanych przez producenta. Porównano je ze wskazaniami uzyskanymi w początkowym okresie użytkowania systemu i okazało się, że parametry były zbliżone.



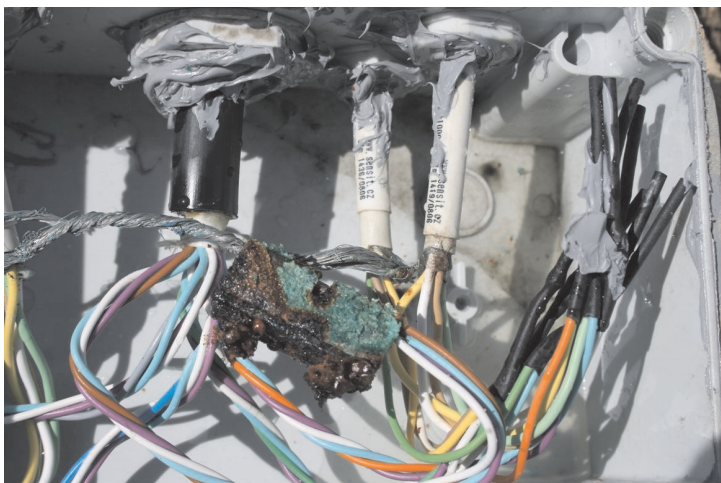
Rys. 10. Widok na odkopaną skrzynkę w szybiku otworu VO71

W wyniku tego zainteresowano się stanem skrzynek przyłączeniowych oraz stanem okablowania i połączeń elektrycznych. Sprawdzenie skrzynek przyłączeniowych było możliwe po ich odsłonięciu, ponieważ zostały umieszczone na głębokościach od 1 do 3 m pod

powierzchnią ziemi. Dalszy wzrost błędnych wskazań przesądził sprawę i podjęto decyzję o odkopaniu skrzynek znajdujących się w szybikach w celu wykonania ich inspekcji. Na rysunku 10 pokazano miejsce w szybiku, w którym ulokowane są skrzynki przyłączeniowe aparatury kontrolno pomiarowej. Zainstalowanie nadajników GPS w skrzynka ułatwiło ich odszukanie pod ziemią.

8. NAPRAWA USZKODZONY SKRZYNEK PRZYŁĄCZENIOWYCH

Po otwarciu pierwszej z wydobytych skrzynek okazało się, że nie była ona dostatecznie szczelna w wyniku, czego do wnętrza dostała się wilgoć. Spowodowało to powstanie korozji elementów złącznych i niezaizolowanych przewodów, co w konsekwencji doprowadziło do wzrostu oporu przepływu prądu w obwodach lub zaburzenia tego przepływu. Widok wnętrza jednej ze skrzynek przyłączeniowej wydobytej z szybiku pokazana na rysunku 11.

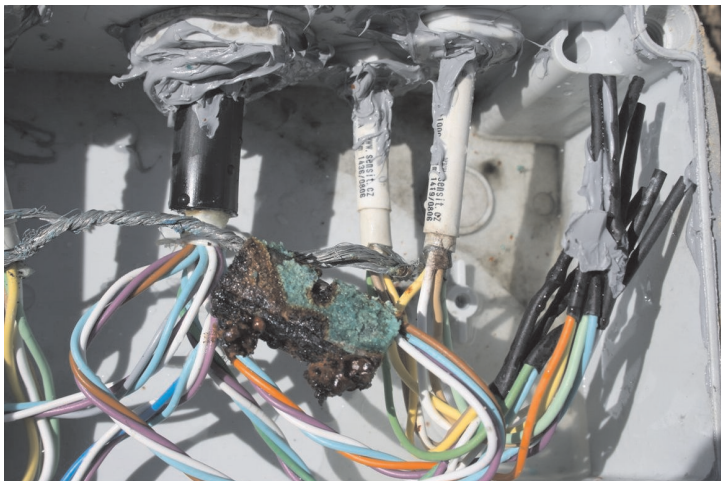


Rys. 11. Widok wnętrza skrzynki przyłączeniowej wydobytej z szybiku otworu VO71

Po wydobytych kolejnych skrzynek okazało się, że wszystkie one były nieszczelne i w nich również doszło do podobnych uszkodzeń elementów złącznych. W związku z tym podjęto decyzję o wymianie wszystkich skrzynek przyłączeniowych na terenie obu badawczych poligonów. Zastosowano nowy typ skrzynki z uszczelnieniem i dodatkowo zalano ją specjalną masą uszczelniającą, co ma zapobiegać przedostawaniu się wilgoci do ich wnętrza oraz korodowaniu elementów złącznych. Na rysunku 12 pokazano, w jaki sposób dokonano wypełnienia skrzynek.

Kolejną decyzją, którą podjęto było usunięciu ziemi ze wszystkich szybików, w których zlokalizowane są otwory, aby tym samym ułatwić do nich dostęp oraz uzyskać możliwość

przewodzenia prac kontrolnych w odwiertach. Takie rozwiązanie wydaje się być najlepszym, bo umożliwia prowadzenie prac pomiarowych w rurkach kolektorowych przy użyciu zapuszczanych czujników czy optycznych kabli pomiarowych.



Rys. 12. Skrzynka przyłączeniowa z otworu MV03 zalana masą izolacyjną

9. PODSUMOWANIE

Na podstawie wieloletnich prac w rejonie badawczych poligonów zlokalizowanych w obrębie VSB-TU w Ostrawie można wysnuć następujące wnioski:

Sposób lokalizacji odwiertów badawczych:

- Otwory monitorujące pracę odwiertów z pompami ciepła należy umieszczać w najbliższej ich okolicy, najlepszym usytuowaniem jest zastosowanie podziałka 1 m z powodu bardzo powolnej zmiany temperatury masywu skalnego w funkcji odległości od badanego otworu.
- Ze względu na możliwe odchylenia osi otworów od pionu jak wykazano [6] w niektórych otworach uzyskano odchylenie od pionu sięgające nawet 3 m. Oznacza to w praktyce, że osie otworów mogą się przecinać, może się również zdarzyć, że otwory będą położone zbyt blisko od siebie. Dlatego też otwory monitorujące nie powinny być wiercone w jednej linii z monitorowanymi a raczej w okręgach wokół nich.
- Należy kontrolować przebieg osi otworów wiertniczych wierconych pod pompy ciepła oraz otworów monitorujących sprawdzając ich inklinację oraz ściśle przestrzegać parametrów technologii wiercenia.
- Poligony badawcze powinny być lokalizowane w miejscach gdzie nie przebiegają ciągi komunikacyjne lub planowane będą dalsze prace budowlane.

- Należy w sposób szczegółowy inwentaryzować i nanosić na plany sytuacyjne przebieg wszystkich elementów systemu pomiarowego ulokowanych w górotworze takich jak: rurociągi przyłączeniowe przewody zasilające, kable, skrzynki, na wypadek gdyby należało przeprowadzić inspekcję oraz ewentualnych prac budowlanych.
- Do wszystkich elementów systemu pomiarowego powinien być łatwy dostęp bez względu na ich lokalizację.
- Wykonanie oraz materiały powinny być najwyższej jakości celem uniknięcia problemów technicznych oraz utraty danych badawczych.
- Monitoring i eksploatacja systemu odwiertów wymaga podłączenia aparatury pomiarowej, można stwierdzić, że im system jest bardziej rozgałęziony i ma więcej elementów, tym więcej błędów może nastąpić w przekazie sygnału i danych.
- Czujniki pomiarowe temperatury zwiększają błąd odczytu temperatury zwłaszcza w przypadku, gdy do górotworu dostarczana jest energia cieplna (w okresie używania klimatyzacji).
- Z doświadczeń wynika, że aktualnie najlepszym systemem wyposażenia otworów jest zapuszczanie podwójnych kolektorów PE w zamkniętej pętli, co pozwala na szczegółowe pomiary temperatury aparaturą kontrolno pomiarową (zapuszczanymi czujnikami lub pomiarowymi kablami optycznymi).

W niedalekiej przyszłości poligon badawczy VSB-TU Ostrava-Poruba powiększy się o nową sieć otworów w związku z zaplanowanym wykonaniem systemu odwiertów oraz ogrzewania z wykorzystaniem pomp ciepła dla Wydziału Elektrotechniki i Informatyki VSB-TU Ostrava Poruba. Ta sieć otworów będzie zlokalizowana w niedalekiej odległości od obecnie użytkowanych poligonów i rozszerzy możliwość prowadzenia prac badawczych nad zmianami bilansu energetycznego oraz temperatury masywu skalnego wykorzystywanego, jako źródło energii odnawialnej.

LITERATURA

- [1] Gehlin S.: *Thermal Resonse Test, Method Development and Evaluation*. Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Drpartment of Environmental Engineering, Division of Water Resources Engineering 2002
- [2] Hellström G.: *Thermal Response Test, Borehole No. 1*. Mining University Ostrava, Report No. 050405-050408, 2005
- [3] Kunz A., Ryška J., Koniček J., Bujok P. : *Využití horninového prostředí jako stálého efektivního zdroje energie pro tepelná čerpadla*. Sborník přednášek „Nové poznatky v oblasti vrtání, těžby, dopravy a uskladňování uhľovodíkov. Podbánské, 2002, ISBN 80-7099-895-4
- [4] Kunz K. : *Komplexní posouzení horninového prostředí jako zdroje nízkopotenciální tepelné energie*. Disertační práce doktorandského studia, VŠB-TU Ostrava, Horníko-geologická fakulta 2009

- [5] 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, 2009, s. 27–35, ISSN 0372-9508
- [6] Bujok P., Klempa M., Rado R.: *Analiza pomiarów inklinometrii w otworach geotermalnych na poligonie badawczych VŠB-Uniwersytet Techniczny w Ostrawie*. Wiertnictwo Nafta Gas, t. 27, z. 1–2, 2010, s. 91–100, ISSN 1507-0042