

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

**ANALIZA POMIARÓW INKLINOMETRII
W OTWORACH GEOTERMALNYCH
NA POLIGONIE DOŚWIADCZALNYM
VŠB – UNIWERSYTET TECHNICZNY W OSTRAWIE******

1. WSTĘP

Postęp techniki i technologii w wiertnictwie, umożliwia wykorzystywanie otworów wiertniczych w różnych sytuacjach. Dzięki nim możemy korzystać z ekologicznej energii, jaką oferuje górotwór. Otwory wiertnicze stały się powszechnie wykorzystywane w wierceniach geotermalnych. W roku 2009 powstał na terenie VŠB – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie poligon naukowo-doświadczalny. Powstanie poligonu badawczego miało na celu prowadzenie badań nad zachowaniem się odbudowy energii masywu skalnego w otoczeniu otworów geotermalnych używanych przez indywidualnych odbiorców energii. Na terenie poligonu odwiercono dwa otwory geotermalne oraz 9 otworów monitorujących o głębokości 140 m każdy. Podczas prac wiertniczych prowadzono szczegółową rejestrację parametrów wiercenia, włączając w to rejestrację kątów odchylenia osi otworów w funkcji głębokości.

W niniejszym artykule zaprezentowano analizę warunków wiercenia otworów geotermalnych oraz zaprezentowano wyniki uzyskanych badań nad krzywieniem się osi krótkich otworów geotermalnych.

**2. CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA REJONU WIERCEŃ
I ROZMIESZCZENIE OTWORÓW BADAWCZYCH**

Obszar, na którym położone są otwory monitorujące na poligonie VSB z geologicznego punktu widzenia usytuowany jest w zachodniej części niecki ostrawskiej w miejscu, w którym

* VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Institute of Geological Engineering

** Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, Institute of Geological Engineering

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

**** Artykuł przygotowany w ramach projektu grantowego Moravskoslezského kraje (MK č. 18/1526) i BS WWNIG AGH

osadowe utwory dolnego Badeniu zapadliska Karpat zachodnich wyklinowują się w kierunku bramy morawskiej osiadając na podłożu blokowym morawsko-śląskiego masywu dolnego karbonu. Obszar ten pokryty jest czwartorzędowymi utworami gliniastymi, piaskami przemieszanyymi z gliną, żwirami, piaskami i utworami sedymentacyjnymi pochodzenia lodowcowego. Miejscami na naturalnym podłożu zalegają nawiezione utwory antropogeniczne – gliny, żwiry, materiały budowlane.

W rejonie wierceń przeprowadzono pełny skorelowany karotaż otworu A i w jego wyniku otrzymano pełny profil geologiczny rejonu wierceń. Otwory zlokalizowane na terenie poligonu przewiercały warstwy o następującej budowie litologicznej:

Utwory czwartorzędu:

- 0,0–2,5 m: zanieczyszczone nawiezione warstwy
- 2,5–6,0 m: iły
- 6,0–7,0 m: piasek
- 6,0–8,0 m: piasek ilasty
- 8,0–16,0 m: iły

Miocen:

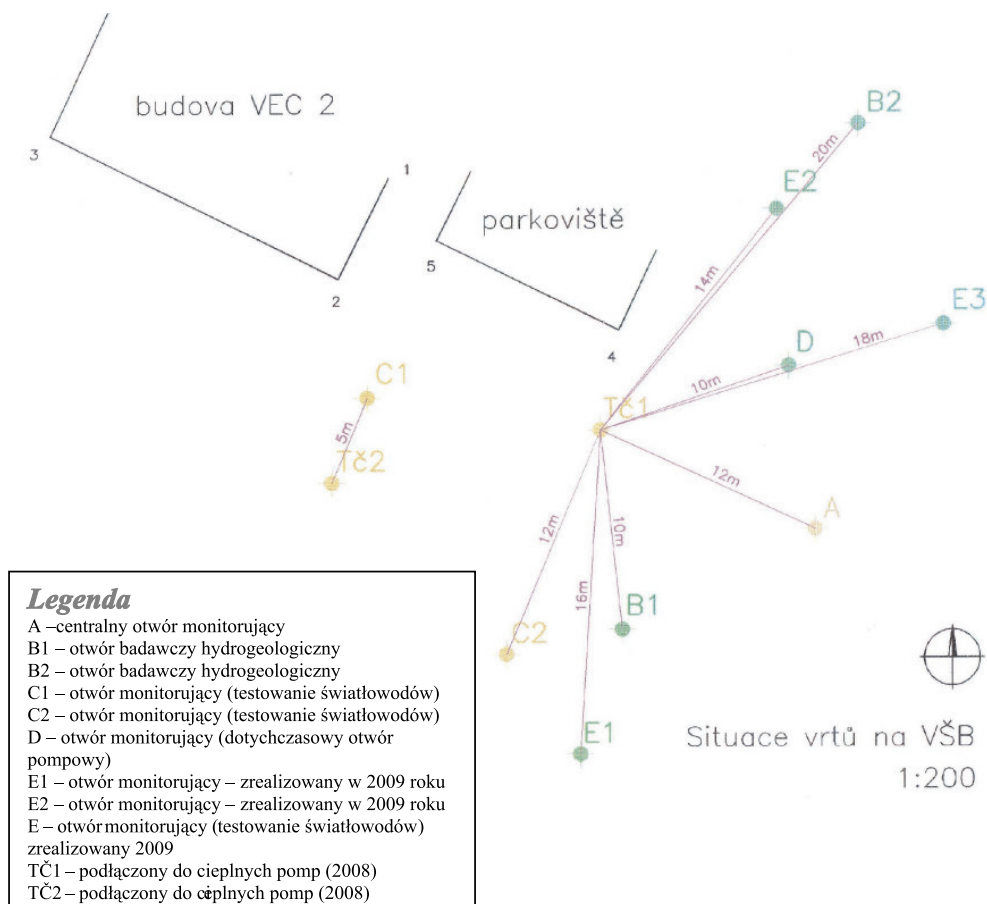
- 16,0–22,0 m: piaski
- 22,0–29,0 m: iły piaszczyste
- 29,0–113,0 m: iły z warstewkami piasków

Karbon:

- 113,0–126,0 m: mułowiec
- 126,0–128,0 m: piaskowiec mułowcowy
- 128,0–130,0 m: mułowiec
- 130,0–131,0 m: piaskowiec mułowcowy
- 131,0–137,0 m: mułowiec
- 137,0–141,0 m: piaskowiec mułowcowy
- 141,0–157,0 m: mułowiec

Poligon doświadczalny powstał do celów naukowych i badawczych nad zachowaniem się górotworu w miejscach usytuowania płytkich otworów geotermalnych wykorzystywanych przez indywidualnych odbiorców zwłaszcza domy jednorodzinne.

Poligon został usytuowany na terenie uczelni VSB-TU Ostrawa. Na jego terenie zostały wykonane dwa otwory użytkowe TC1 oraz TC2 do głębokości 140 m, które wyposażono w czujniki ciepła. Poza wymienionymi otworami użytkowymi odwiercono ponadto otwory obserwacyjne, a mianowicie: otwór centralny (A) odwiercony do głębokości 160 m i osiem standardowych otworów monitorujących (B1, B2, C1, C2, D, E1, E2 i E3) do głębokości 140 m. Usytuowanie otworów na terenie poligonu wraz z ich odległościami przedstawiono na rysunku 1. Otwory użytkowe podłączono do zainstalowanych pomp ciepła firmy IVT w budynku VSB.



Rys. 1. Rozmieszczenie otworów badawczych w obrębie poligonu badawczego VSB-TU Osraua

3. TECHNIKA I TECHNOLOGIA ZASTOSOWANA DO ODWIERCENIA OTWORÓW GEOTERMALNYCH

Prace wiertnicze przy wierceniu otworów geotermalnych i badawczych na terenie VSB-TU Ostrawa wykonała firma Green Gas, DPB, Paskov S.A. Prace wiertnicze prowadzono przy użyciu wiertnicy NORDMAYER DBS 2/10 umieszczonej na podwoziu Mercedes ACTROS (wiertnicę przedstawiono na ilustracjach rys. 2 i 3). Warunki geologiczne i wymagania dotyczące techniki i technologii wiercenia wskazały że najlepszym rozwiązaniem będzie użycie techniki wiercenia obrotowo-udarowego z płukaniem pianą lub powietrzem ze zraszaniem wodnym. Technika ta okazała się w tym przypadku optymalna.



Rys. 2. Wiertnica typu NORDMAYER DBS 2/10. Wiercenie centralnego otworu monitorującego na terenie VSB-TU



Rys. 3. Wiertnica typu NORDMAYER DBS 2/10.
Wiercenie otworu monitorującego E3

Prace wiertnicze przy wierceniu otworów monitorujących prowadzono wg. następującego reżimu. Pierwszą część otworu to jest do głębokości 30 m wiercono przy użyciu podwójnej głowicy umożliwiającej jednoczesne rurowanie otworu w trakcie wiercenia. Główną zaletą tej techniki jest rurowanie otworu tuż za narzędziem wiertniczym, technika ta jest szczególnie przydatne w warstwach niestabilnych. Rurowanie otworu odbywa się tylko jedną średnicą rury okładzinowej. Dzięki zastosowaniu płuczki pianowej ograniczono rozrzut urobku, a także zmniejszono zapylenie. Po przewierceniu najbardziej niestabilnych warstw demontowano podwójną głowicę. Na zakończeniu rury montowano zagłowiczenie uszczelniające i następnie wiercono z wgłębnym młotkiem udarowym. Utwory zwięzłe wiercono świdrem do wierceń obrotowo-udarowych o średnicy 120 mm.

Po osiągnięciu planowanej głębokości z otworu wyciągano przewód wiertniczy, a do otworu zapuszczono rury kolektorowe z polietylenu (PE 2×32mm) wraz rurą do przeprowadzenia iniekcji. Rurka ta była wykorzystywana przy zatłaczaniu otworu zaczynem uszczelniającym. Na rurkach kolektorowych z PE przed ich zapuszczeniem zainstalowano

czujniki ciepła PT-1000 w interwałach głębokości: 20 m, 50 m, 100 m i 140 m. Cztery z nich umieszczano na odnodze wejściowej kolektora z PE natomiast dwa na jego odnodze wyjściowej. Mieszaninę iniekcijną przygotowywano na miejscu wiercenia, a następnie za pomocą pompy ślimakowej poprzez kolumnę iniekcijną zatłaczano do otworu. Po zakończeniu zatłaczania usuwano z otworu kolumnę iniekcijną a szczelność rurek kolektorowych sprawdzano wodą zatłoczoną pod ciśnieniem 0,3 MPa przez 30 minut. Kolejnym etapem było usunięcie kolumny osłonowej. W otworze pozostawała tylko rura kolektorowa z zainstalowanymi czujnikami ciepła. Kolumna PE wystawała ok. 1 m powyżej powierzchni terenu. W otworze centralnym A prowadzono rdzeniowanie interwałowe. Rdzenie pobierano w interwałach 49–51 m pojedynczą rdzeniówką o średnicy 108 mm oraz w interwale 139–140 m rdzeniówką wrzutową O HQ 89 mm i następnie w przedziale głębokości 156,7–158,3 m również rdzeniówką wrzutową. Uzyskane rdzenie posłużyły do badań laboratoryjnych, w szczególności w celu określenia współczynnika przewodności cieplnej skał w rejonie doświadczalnego poligonu.

Zestawienie prac wiertniczych oraz konstrukcji otworów przedstawiono w tabelach 1 i 2. Tabela 1 przedstawia przykładowy przebieg prac wiertniczych na jednym z otworów wykonanych na poligonie doświadczalnym VŠB-TU Ostrava. Dane dotyczące profilu geologicznego i konstrukcji odwiertu zestawiono w tabeli nr 2.

Tabela 1

Przebieg prac wiertniczych wykonanych na otworze MV5

Wiercenie			Typ narzędzia	Rurowanie		
średnica; 10^{-3} m	od [m]	do [m]		od [m]	do [m]	średnica nominalna [10^{-3} m]
152	0,00	30,00	Mitshubishi	0,00	30,00	P 146
120	30,00	90,00	TK 120			
120	90,00	140,00	COP 44			

Tabela 2

Zestawienie danych wiertniczych dla otworów badawczych.

Profil geologiczny			Woda	Kolektor PE	Czujniki temperatury	Iniekcja
od [m]	do [m]		[m]	głębokość/średnica	[m]	ilość
0,00	8,00	ił żółtobrzowy	nie zanotowano	140 m	20	0–140m
8,00	22,00	żwir piasek		32 mm	50	1200 l
22,00	90,00	ił szary zbity		(podwójny)	100	mieszanina* cement+ bentonit
90,00	140,00	iłowiec, mułowiec, piaskowiec			140	

* Cement PC 425, Bentonit SWELL GEL

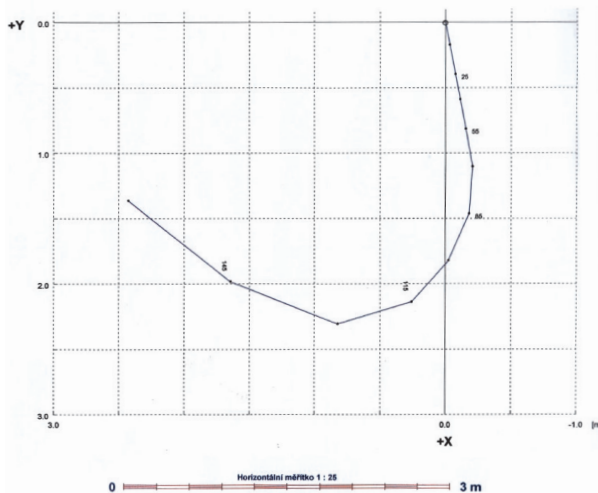
4. ANALIZA POMIARÓW INKLINOMETRYCZNYCH OTWORÓW ZLOKALIZOWANYCH NA TERENIE DOŚWIADCZALNEGO POLIGONU BADAWCZEGO VSB-TU OSTRAWA

Dla wykonania długoterminowych pomiarów dotyczących zmian temperatury masywu skalnego w efekcie pobierania energii do ogrzewania obiektów pompami cieplnymi podczas wiercenia, przeprowadzono pełen zestaw karotażu otworu. Włączając w to pomiary kąta odchylenia osi otworu oraz jego azymut. Zamiarem tych badań było określenie, jaki wpływ ma przebiegu osi otworu w kontekście jego wykorzystania do poboru ciepła z górotworu z uwzględnieniem geologii rejonu wierceń, techniki i technologii wiercenia.

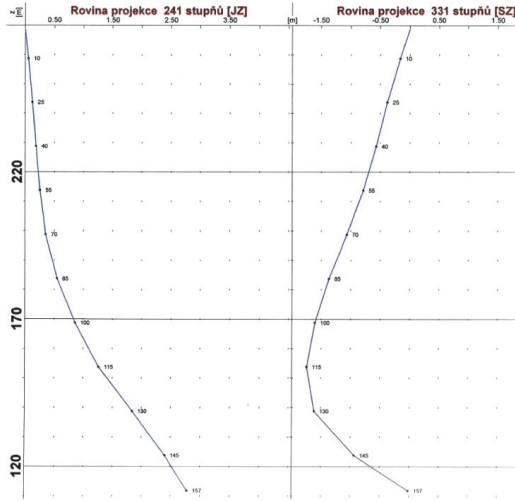
Uzyskane wyniki pomiarów inklinometrycznych były w pewnej mierze zaskakujące. Do wykonania otworów na poligonie badawczym użyto jednej z najnowocześniejszych wiertnic firmy NORDMAYER oczekiwano więc, że techniczne i technologiczne czynniki nie będą odgrywać znaczącej roli w przestrzennym przebiegu osi otworu. Podczas wiercenia otworów stosowaną identyczną technikę oraz technologię wiercenia.

Na podstawie analizy wyników pomiaru kątów odchylenia osi otworu od pionu oraz azymutu osi otworu, ustalono, że budowa geologiczna w miejscu wiercenia otworów odgrywa prawie zaniedbywalną rolę w krzywieniu otworu. Jak pokazano otworu A na rysunku 4 (pozioma trajektoria otworu A) oraz na rysunku 5 (pionowa trajektoria otworu A) otwór ten ma kierunek $235,7^\circ$ (kierunek SSN) a jego całkowite odchylenie to $1,02^\circ$. Dla tych wielkości daje to odejście pomiędzy dnem a wylotem otworu 2,78 m. Otwór A ma długość 157 m.

Bardzo interesująca a przy tym różna jest pozioma i horyzontalna trajektoria otworu C1. W tym przypadku generalny kierunek skrzywienia otworu wynosi $179,2^\circ$ (kierunek S) generalne nachylenie osi $0,75^\circ$ a całkowite odejście 1,82 m.

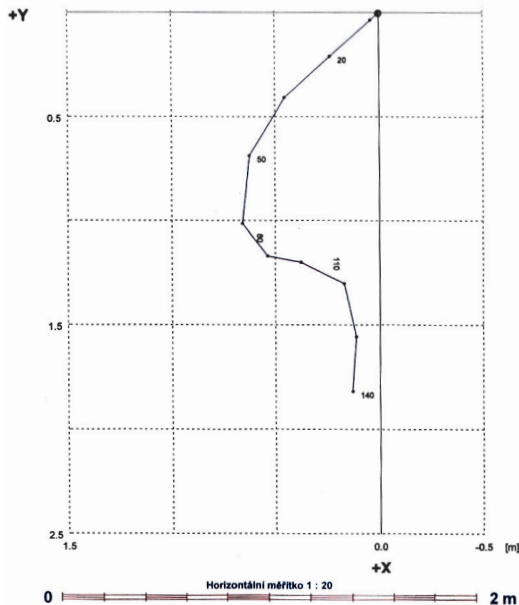


Rys. 4. Pozioma trajektoria otworu A

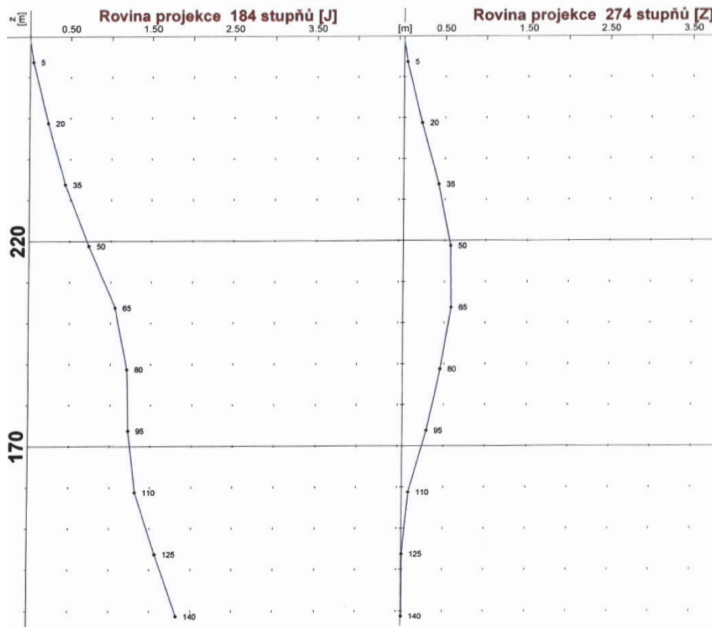


Rys. 5. Pionowa trajektoria otworu A

Horizontalną i pionową trajektorię tego otworu przedstawiono na rysunkach 6 oraz 7. Podobne nieprawidłowości w trajektorii zanotowano również dla pozostałych otworów odwierconych na doświadczalnym poligonie. Pozostałe otwory odwiercone w celach badawczych mają głębokość 140 m. W tym miejscu należy dodać, że w ramach projektu odwiercono 9 otworów o całkowitej długości 1277 m.



Rys. 6. Pozioma trajektoria otworu A



Rys. 7. Pionowa trajektoria otworu A

Przeprowadzane pomiary inklinometryczne we wszystkich otworach wykazały tak znaczną zmienność przebiegu osi otworów wiertniczych, że nie było możliwym znalezienie jakiegokolwiek zależności od geologicznej budowy rejonu wierceń. Maksymalne całkowite odejście od wylotu otworu zanotowano dla otworu B2 i wynosiło 3,3 m. Najniższą wartość odejścia trajektorii otworu zanotowano dla otworu oznaczonego E1 i wyniosła ona 1,2 m.

5. PRZYCZYNY KRZYWIENIA OSI OTWORÓW W REJONIE PROWADZENIA WIERCEŃ DOŚWIADCZALNYCH – PODSUMOWANIE

W przypadku wierceń badawczych, o których mowa, założeniem było odwiercenie otworów pionowych. Jak wiadomo otwory wiertnicze pionowe pomimo starań nie posiadają na ogół idealnie prostej osi ani ustalonego kierunku, dlatego że podczas prac wiertniczych na zestaw wiertniczy oddziałuje wiele czynników, które wywołują jego zbaczanie z pierwotnego kierunku. Czynniki te i ich wpływ możemy podzielić na trzy grupy – techniczne, technologiczne i geologiczne przyczyny krzywienia otworów. Z przeprowadzonych analiz dla naszego konkretnego przypadku wynika, że wpływ czynników geologicznych na krzywienie otworów w warunkach wiercenia do głębokości 140–150 m otworów wykorzystywanych do pozyskiwania ciepła z górotworu jest nieznaczny. Dodając że przewiercane warstwy zalegają poziomo w rejonie wierceń.

Na powstanie i przebieg odchylenia się otworu od założonego kierunku wpływają przyczyny, które w różnych przypadkach mają różny wpływ na nasilenie skrzywienia otworu. Jako pierwsze możemy wymienić przyczyny, które mają charakter techniczny. Skrzywienie otworu w początkowej fazie wiercenia jest najczęściej spowodowane odchyleniem masztu wiertnicy od pionu. Rysunki 5 oraz 7 wskazują, że wzrost kąta krzywizny otworu jest niewielki, ale stały już od pierwszych metrów wiercenia, pomimo że używano wiercenia z podwójną głowicą wiertniczą z jednoczesnym rurowaniem otworu do głębokości 40m. Od tej głębokości następuje zmienny przyrost krzywizny. Dalszych przyczyn krzywienia osi otworu należy upatrywać w czynnikach o charakterze technologicznym. Z nich najistotniejszym jest rodzaj i stan narzędzia wiertniczego, którym wiercimy. Różne typy narzędzi używanych do wiercenia w różny sposób „reagują” na geologiczne warunki w otworze, a zatem będą nadawać różny przestrzenny kształt otworowi. Poza narzędziami duże znaczenie ma stan przewodu wiertniczego (żerdzi). Bardzo często zdarza się, że załoga wiertnicza nie kontroluje jego stanu i do wiercenia używane są zdeformowane, pogięte lub skręcone odcinki przewodu. To prowadzi do deformacji przestrzennej zestawu. Innym czynnikiem technologicznym, który przyczynia się do krzywienia otworu w danym rejonie wierceń jest technologia wiercenia, a w szczególności nacisk na narzędzie. Nacisk osiowy bardzo intensywnie odzwierciedla się w kształcie otworu. Zwiększona prędkość wiercenia, wynikająca z wysokiego nacisku wymaga intensywnego płukania otworu. To z kolei powoduje konieczność stosowania dużych wydatków tłoczenia pomp. Zwiększone objętościowe natężenie przepływu powoduje zwiększone opory przepływu a te z kolei wymagają zwiększenia ciśnienia tłoczenia płuczki. Oba te czynniki przyczyniają się do rozmywania ścian otworu zwłaszcza w warstwach słabo zwięzłych, co prowadzi do powiększania średnicy otworu utrudnioną stabilizację dolnej części przewodu a w konsekwencji do jego skrzywienia. Staje się, zatem oczywiste, że pomimo korzystania z najnowocześniejszych urządzeń wiertniczych podczas wierceń otworów do głębokości około 200 metrów, dochodzi do spontanicznego krzywienia otworu uzyskując odejścia od pionu nawet rzędu kilku metrów.

W procesie wiercenia występuje również czynnik ludzki. Załoga musi dopilnować, aby ustawienie wiertnicy zapewniało wiercenie pionowe, czyli maszt wiertnicy musi zostać ustawiony w pozycji pionowej, aby umożliwić pionowe zapuszczenie kolumn rur okładzinowych. Wreszcie zależy to również od doświadczenia wiertacza, a także i od wyposażenia wiertnicy w dodatkowe systemy kontrolno-pomiarowe, które są do dyspozycji podczas wiercenia otworu.

Zazwyczaj na terenie Republiki Czeskiej nie prowadzi się pomiarów odchylenia osi otworu w płytkich wierceniach geotermalnych. Jest oczywiste, że doświadczeni wiertacze wiedzą o krzywieniu się otworów i z tych względów firmy realizujące wiercenia nie wiercą otworów w odległościach mniejszych niż 5 m.

LITERATURA

- [1] Bujok P., Vrtek M., Horák B., Hájovský R., Hellstrom G.: *Study of thermal response of rock massif for installations of heat pumps*. Study for Czech Energetic Agency, Ostrava 2005

- [2] Klempa M., Mazáč J.: *Konstrukční provedení vrtů určených pro tepelná čerpadla*. Zborník XIV. medzinárodné vedecko – technické konferencie „Nové poznatky v oblasti vrtania, ťažby, dopravy a uskladňovanie uhl'ovodíkov”, Podbanské, Slovenská republika, 2008, 65–71, ISBN 978-80-553-0089-4. Vydáno také v 6. mimořádném čísle časopisu Doprava a logistika, Košice, Slovenská republika, 2008, 64 –71, ISSN 1451-107 X
- [3] Pinka J., Wittenberger G., Sidorová M.: *Evaluation of geothermal potential in the surroundings of Košice Down, Slovakia*. Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 287, Gliwice 2009, 179–186, ISSN 0372-9508. Sborník anotací 4. mezinárodní konference Netradiční metody využití ložisek, VŠB-TU Ostrava, 36, Ostrava 2009, ISBN 978-80-248-2044-6
- [4] Rado R., Lubaś J.: *Porównanie efektywności pracy różnych typów narzędzi wiertniczych*. Materiały z IX międzynarodowej konferencji naukowo-technicznej, Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
- [5] Wiśniowski R.: *New drilling methods for the conductor casing operations*. Acta Montanistica Slovaca, 2006