

Analiza wpływu wiercenia otworów geotermalnych na wody podziemne na przykładzie rejonu Łodzi

Analysis of the impact of drilling geothermal wells on groundwater on the example of the Łódz region

BOGDAN NOGA

DOI 10.36119/15.2023.9.4

W artykule przedstawiono analizę możliwości występowania wód podziemnych (głównie wód termalnych) do głębokości 2800 m zlokalizowanych w rejonie Łodzi. Podczas wiercenia otworu geotermalnego następuje przewiercenie kilku poziomów wodonośnych, a w rejonie Łodzi w najwyższych poziomach wodonośnych znajdują się wody przeznaczone do celów spożycia przez ludzi dla miasta Łodzi. Praca powstała w wyniku pojawiających się teorii, że eksploatacja wód termalnych znajdujących się na głębokości około 2800 m może mieć wpływ na zanieczyszczenie wód do picia znajdujących się na głębokości około 800 m. Aby rozwiązać wszelkie wątpliwości w tym zakresie przeanalizowano proces wiercenia otworu geotermalnego. Brak możliwości mieszania się wód z poszczególnych poziomów wodonośnych, zarówno na etapie wykonywania otworu i podczas jego późniejszej eksploatacji, zapewnia odpowiednio zaprojektowana i wykonana konstrukcja otworu geotermalnego.

Słowa kluczowe: geotermia, instalacja geotermalna, otwór geotermalny, ciepło geotermalne

The article presents an analysis of the possibility of groundwater (mainly thermal water) up to a depth of 2,800 meters located in the Łódz area. During the drilling of a geothermal well, several aquifers are drilled and in the Łódz region, the highest aquifers contain water for drinking purposes for the city of Łódz. The work was created as a result of emerging theories that the exploitation of thermal waters located at a depth of about 2,800 meters could affect the contamination of drinking water located at a depth of about 800. To dispel any doubts in this regard, the process of drilling a geothermal well was analyzed. The absence of the possibility of mixing of water from the various aquifers, both at the stage of drilling the well and during its subsequent operation, is ensured by a properly designed and constructed geothermal well.

Keywords: geothermal, geothermal installation, geothermal borehole, geothermal heat

Wprowadzenie

Wody termalne są szczególnego rodzaju wodami podziemnymi, które posiadając specyficzny skład chemiczny oraz określone właściwości fizyczne mogą znaleźć szerokie zastosowanie do celów balneologicznych, balneoterapeutycznych, rekreacyjnych i wypoczynkowych [9]. Wody termalne mogą również stanowić odnawialne źródło ciepła. Zgodnie z ogólnie przyjętą definicją wodą termalną jest woda podziemna, której temperatura mierzona na wypływie z otworu wynosi co najmniej 20°C [4].

W polskich warunkach, woda termalna charakteryzuje się temperaturą od 20 do ponad 140°C, w zależności od rejonu występowania i głębokości zalegania warstwy wodonośnej [5]. Woda termalna

może stanowić jeden z rodzajów energii odnawialnej, który może być wykorzystywany w ogrzewnictwie, procesach technologicznych, ogrodnictwie szklarniowym czy hydrouprawach [8].

Aby móc wykorzystać czyste i odnawialne ciepło wód termalnych, w pierwszej kolejności, konieczne jest wykonanie otworu geotermalnego, celem rozpoznania i udokumentowania ich zasobów. Otwory geotermalne wykonywane są na podstawie projektu robót geologicznych, który podlega zatwierdzeniu przez Marszałka Województwa, w tym przypadku Marszałka Województwa Łódzkiego.

Projekt robót geologicznych jest pewnego rodzaju przepisem określającym w jaki sposób należy wykonać otwór geotermalny, aby zapewnić głównie bezpieczeństwo dla środowiska naturalnego za-

równy na etapie jego wykonania jak i podczas późniejszej eksploatacji wód termalnych. Projekt wykonywany jest przez doświadczonego geologa posiadającego uprawnienia geologiczne kategorii IV (wymóg wynikający z ustawy Prawo geologiczne i górnicze).

Jednym z elementów do zaprojektowania jest konstrukcja oraz zarurowanie otworu geotermalnego. Konstrukcja otworu związana jest z przewiercaniem poszczególnych utworów geologicznych począwszy od poziomu terenu aż do zakładanej głębokości np. 2800 m. W rejonie Łodzi celem ujęcia wód termalnych z utworów jury dolnej (najbardziej perspektywiczny poziom wodonośny na Niżu Polskim) konieczne jest przewiercenie utworów: czwartorzędu, neogenu i pleogenu, kredy górnej, kredy dolnej, jury górnej,

jury środkowej (tabela 1). W każdym wydzieleniu stratygraficznym należy spodziewać się co najmniej jednego poziomu wodonośnego.

Oczywiście można zaprojektować otwór w całej głębokości o takiej samej średnicy co niewątpliwie doprowadzi do wiercenia przy otwartych np. pięciu poziomach wodonośnych. Dużo lepszym rozwiązaniem będzie zaprojektowanie otworu jako stopniowanego ze zmniejszającą się średnicą w miarę zwiększania się jego głębokości. Jest to rozwiązanie zapewniające bieżące zamykanie przewierconych poziomów wodonośnych.

Tabela 1. Utwory geologiczne jakie można napotkać podczas wiercenia otworu geotermalnego w rejonie Łodzi

Table 1. Geological formations that can be encountered when drilling a geothermal borehole in the Lodz area

ERA	OKRES	EPOKA	WIEK
Kenozoik	Czwartorzęd	Holocen	
		Plejstocen	
	Neogen	Pliocen	
		Miocen	
	Paleogen	Oligocen	
		Eocen	
		Paleocen	
Mezozoik	Kreda	Górna	Mastricht
			Kampan
			Santon
			Koniak
			Turon
			Cenoman
		Dolna	Alb
			Apt
			Barrem
			Hoteryw
	Walażyn		
	Berias		
	Jura	Górna	Tyton
			Kimeryd
			Oksford
		Środkowa	Kelowej
			Baton
			Bajos
			Aalen
		Dolna	Toark
			Pliensbach
	Synemur		
	Helang		
Trias	Górny	Retyk	

Wiercenie otworu geotermalnego prowadzone jest w ten sposób, że najpierw przewiercane są utwory czwartorzędowe oraz neogenu i paleogenu (era kenozoiczna). Tutaj możemy spodziewać się trzech poziomów wodonośnych. Podczas wiercenia ścianka otworu utrzymywana jest za pomocą płuczki wiertniczej. Płuczka wiertnicza zamyka również wszystkie przewiercone poziomy wodonośne. Najprościej

rzecz ujmując proces wiercenia polega na usuwaniu z otworu gruntu i skał przy jednoczesnym ich zastępowaniu płuczką wiertniczą. Rolą płuczki wiertniczej jest utrzymanie ścian otworu, zamykanie przewierconych poziomów wodonośnych, wynoszenie na powierzchnię terenu zwiercin oraz chłodzenie narzędzia skrawającego (świder). W rejonie Łodzi pierwsza sekcja otworu geotermalnego może mieć głębokość około 120 m i średnicę 559 mm.

Po wywierceniu pierwszej sekcji do otworu wypełnionego płuczką wiertniczą wprowadza się kolumnę rur osłonowych o średnicy np. 18⁵/₈". Płuczka z przestrzeni pomiędzy ścianką otworu a kolumną rur okładzinowych jest usuwana przy jednoczesnym wprowadzaniu w jej miejsce zaczynu cementowego. W ten sposób uzyskuje się stabilizację otworu oraz izolację wszystkich przewierconych utworów geologicznych i poziomów wodonośnych.

Dalszy proces wiercenia wykonywany jest w rurach osłonowych o średnicy 18⁵/₈" od głębokości około 120 m. Oczywiście świder musi mieć średnicę taką, aby zmieścił się do wnętrza zacementowanych już rur osłonowych – np. 444 mm. Utwory kredy górnej i kredy dolnej można przewiercić kolejną sekcją o długości około 820 m. Jeden poziom wodonośny występuje w utworach kredy górnej w skałach wieku Turonu (tabela 1) oraz drugi w utworach kredy dolnej w skałach wieku Alb. Pozostałe skały kredy górnej wieku: mastrycht, kampan, santon, koniak, cenoman oraz kredy dolnej wieku: apt, barrem, hoteryw, walażyn, berias są skałami bezwodnymi, czyli skałami stanowiącymi izolację pomiędzy poszczególnymi poziomami wodonośnymi. Gdyby te skały nie stanowiły warstw izolacyjnych to wszystkie wody w sposób naturalny byłyby ze sobą wymieszane – a tak nie jest. Otwory wiertnicze wykonane w celu ujęcia wód kredowych na terenie Łodzi potwierdzają, że woda występuje w ściśle określonych warstwach odizolowanych od siebie skałami nie przewodzącymi wody. Woda do picia ujmowana na potrzeby miasta Łodzi znajduje się właśnie w utworach kredy górnej i kredy dolnej. Znajduje się tutaj Główny Zbiornik Wód Podziemnych nr 401 – Niecka Łódzka [12].

Utwory kredy przewiercane są w sposób identyczny jak utwory czwartorzędowe. Zwierciny skał usuwane są z otworu a w ich miejsce wprowadzana jest płuczka wiertnicza. Woda z przewierconych poziomów wodonośnych mogłaby wypełnić otwór gdyby nie płuczka, która otwór wypełniała już w momencie przewiercania poziomu wodonośnego. Płuczka wywiera

odpowiednie ciśnienie na ścianki otworu, takie aby równoważyć ciśnienie wody znajdującej się w przewierconej warstwie wodonośnej. Dodatkowo płuczka wiertnicza uszczelnia ścianki otworu, a jej gęstość i lepkość uniemożliwiają jej mieszanie się z wodą występującą w przewierconych warstwach wodonośnych.

Wywiercona do głębokości około 820 m kolejna sekcja otworu geotermalnego jest następnie rurowana rurami okładzinowymi o średnicy 13³/₈". Rury te wprowadzane są od wierzchu co daje dodatkową ochronę dla wód znajdujących się w utworach czwartorzędowych. Przestrzeń pomiędzy rurami i ścianką otworu jest następnie wypełniana cementem wtlaczanym pod dużym ciśnieniem gwarantującym wypełnienie nawet najmniejszych nieszczelności występujących w górotworze.

Kolejna sekcja otworu geotermalnego zostanie wykonana świdrem o średnicy np. 311 mm przez rury okładzinowe o średnicy 13³/₈". Sekcja ta zostanie następnie zarurowana rurami okładzinowymi o średnicy 9⁵/₈" a przestrzeń między nimi i ścianką otworu zostanie wypełniona cementem. W otworach wydobywczych rury te zostaną wyprowadzone w rurach 13³/₈" do głębokości około 300 m p.p.t. Powyżej, w sposób naturalny, powstanie komora pompowa, w której zostanie zainstalowana pompa głębinowa. W otworach chłonnym rury o średnicy 9⁵/₈" zostaną wyprowadzone do poziomu terenu co spowoduje dodatkową ochronę utworów czwartorzędowych i kredy.

Docelowa warstwa wodonośna znajdująca się w jurze dolnej zostanie przewiercona po zacementowaniu i potwierdzeniu szczelności rur o średnicy 9⁵/₈". Przewiercona warstwa zostanie zafiltrowana a woda z niej udostępniona może być eksploatowana np. co celów ciepłowniczych. Woda ta będzie samoczynnie podpyływała blisko powierzchni terenu gdzie następnie będzie wydobywana na powierzchnię terenu za pomocą pompy głębinowej, która będzie zamontowana na głębokości około 110 m p.p.t.

Budowa geologiczna w rejonie Łodzi

Geologicznie teren badań znajduje się w obrębie niecki łódzkiej (rys. 1), która jest środkową częścią jednostki rzędu wyższego nazywanej synklinorium szczecińsko – łódzko – miechowskim [11]. Synklinorium jest strukturą asymetryczną o bardzo skomplikowanej budowie geologicznej, w obrębie której wyróżnionych jest szereg struktur drugiego rzędu, takich jak: antykliny (np. Tuszyna, Jeżowa), synkliny (np. Zgierz) oraz wysady solne (np. Rogoźno). Struktury



Rys. 1. Mapa struktur geologicznych wydzielonych na terenie Polski
Fig. 1. Map of geological structures separated on the territory of Poland

wapieni i margli. Ich miąższość wynosi do 1500 m. Nadkład stanowią osady paleogenu, neogenu i czwartorzędu [14].

Czwartorzęd (rys. 2) jest o nieregularnej miąższości i charakteryzuje się dużymi deniwelacjami, od kilku do ponad 100 m. Zalegają bezpośrednio na utworach kredy. Są to piaski, gliny zwalowe, z wkładkami iłów i żwirów (tabela. 2). W rejonie prowadzonej analizy miąższość utworów czwartorzędu może wynosić około 100 m.

Neogen i paleogen (rys. 2) charakteryzuje się dużymi deniwelacjami, od kilku do ponad 100 m. Osady te reprezentowane są głównie przez iły, mułki i piaski pylaste zalegające bezpośrednio na utworach kredy (tabela 2).

Kreda górna (rys. 2) w analizowanym rejonie ma ograniczony zasięg. Obserwuje

się, są podzielone uskokami, które powstały w okresie orogenezy alpejskiej. W tym okresie zostało utworzonych wiele rowów tektonicznych oraz horstów (np. Bełchatowa) [14].

Niecka szczecińsko-łódzko-miechowska rozciąga się od Szczecina na północy do brzegu Karpat na południu Polski (rys. 1) i została podzielona na trzy części: nieckę szczecińską, nieckę mogileńsko-łódzką i nieckę miechowską [10].

Niecka mogileńsko-łódzka (rys. 1) jest wypełniona osadami kredy osiągającej tu miąższości największe w Polsce – do 3000 m w okolicy Turka. Pod nimi występują osady jury, triasu i permu. Pokrywa permsko-mezozoiczna utrudnia dotarcie do starszego podłoża, ale przypuszcza się, że osady czerwonego spągowca przykrywają skały paleozoiczne sfałdowane w czasie orogenezy waryscyjskiej [13].

Niecka łódzka wypełniona jest osadami permsko-mezozoiczne, zalegającymi na osadach skał starszych. Utwory kredy górnej wykształcone są w postaci facji marglistej z wkładkami wapieni. Kreda dolna reprezentowana jest przez serię iłowców i mułowców przechodzących w stropowej jej części w osady piasków i piaskowców drobno – i średnioziarnistych. Sumaryczna miąższość osadów kredowych zmienia się od 2000 do 2400 m, w części centralnej niecki, do około 200 m w obrzeżeniach struktury. Utwory jurajskie charakteryzują się dość jednolitym wykształceniem, są to głównie wapienie, często margliste lub piaszczyste oraz margle niekiedy z wkładkami gipsu i anhydrytów. Miąższość osadów jurajskich zmienia się od 250 do ponad 3000 m. Natomiast najniżej usytuowane w niecce łódzkiej osady triasu są wykształcone w postaci kompleksów mułowcowo-iłowcowych, piaskowców, dolomitów,

Rys. 2. Przekrój geologiczny w rejonie Łodzi
Fig. 2. Geological cross-section in the Lodz area

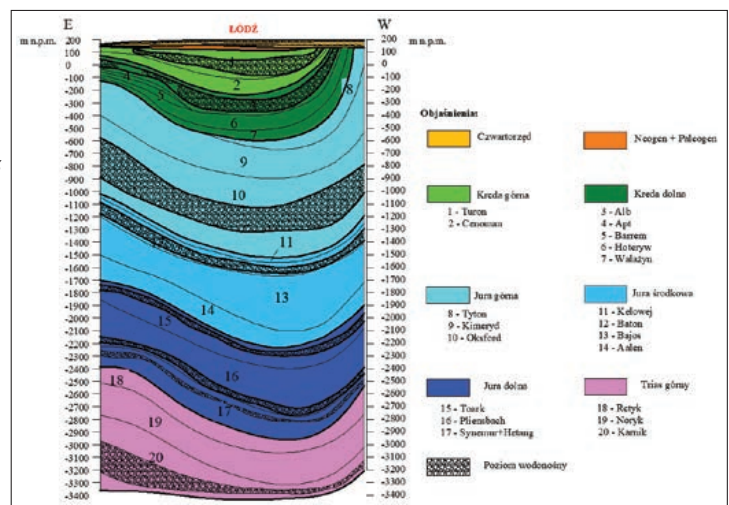


Tabela 2. Opis warstw przewierczanych podczas wykonywania otworu geotermalnego (kolor szary oznacza warstwy wodonośne, kolor szary oznacza warstwy izolacyjne)
Table 2. Description of layers drilled during geothermal borehole drilling (gray color indicates aquifers, gray color indicates isolation layers)

WIEK SKAŁ	OPIS
Czwartorzęd	piaski, gliny zwalowe, z wkładkami iłów i żwirów
Neogen	iłowce, mułowce, piaski i żwiry
Paleogen	iłowce, mułowce, piaski i żwiry
Touran	iły, margle, wapienie, opoki
Cenoman	wapienie, wapienie margliste, margle
Alb	piaskowce różnoziarniste, niekiedy żwirowate
Apt	iłowce piaszczyste
Barrem	piaskowce drobno lub różnoziarniste
Hoteryw	iłowce, mułowce podrzędnie z wkładkami piaskowców
Walażyn	iłowce, mułowce sporadycznie z wkładkami piaszczystymi
Tyton	margle, łupki margliste, iłowce wapniste
Kimeryd	margle, wapienie margliste z wkładkami dolomitów i anhydrytów
Oksford	wapienie detrytyczne, miejscami margliste
Kelowej	piaskowce dolomityczne z glaukonitem i wkładkami wapieni detrytycznych oraz piaskowców drobnoziarnistych
Baton	piaskowce drobno – i średnioziarniste
Bajos	iłowce, łupki ilaste, podrzędnie mułowce z wkładkami syderytów
Aalen	iłowce, piaskowce
Toark	iłowce, mułowce, piaskowce
Pliensbach	piaskowce drobno – i średnioziarniste
Synemur + Hetang	piaskowce pylaste i drobnoziarniste z drobnymi przewarstwieniami iłowców i mułowców
Retyk	iłowce gruzłowate i zlepience

się częste wyklinowania i redukcje miąższości (0 – 300 m). Są to głównie słabozwięzłe margle wapieniste barwy szarej, z wkładkami wapieni zwięzłych (tabela 2).

Kreda dolna (rys. 3) o miąższości kredy oszacowanej na około 300 – 500 m. Wykonane w obrębie miasta Łodzi studnie ujmujące wody do picia, nie określają precyzyjnie stratygrafii tych osadów. Określają jedynie litologię ujętych warstw jako piaski i słabozwięzłe piaskowce (tabela 2).

Jura górna (rys. 2) – miąższość tych utworów wynosi około 1000 m. Od dołu są to głównie wapienie detrytyczne, miejscami margliste Oksfordu (tabela 2). Wyżej zalega seria węglanowo-ilasta kimerydu, wykształcona w formie margli, wapieni marglistych z wkładkami dolomitów i anhydrytów. Jurę górną zamykają utwory tytonu wykształconego w facji iłowcowo-mułowcowo-marglistej. Są to głównie margle, łupki margliste, iłowce wapieniste i naprzemianległe utwory anhydrytu, wapieni i gipsu.

Jura środkowa (rys. 2) – miąższość utworów doggeru wynosi około 300 m [5]. W dolnej części występują iłowce szaroczarne. Nad iłowcami występują osady piaskowcowe z kongrecjami syderytycznymi aalenu dolnego (tabela 2). Na nich zalega główna seria ilasta aalenu górnego. Wyżej występuje gruba seria piaskowców drobno – i średnioziarnistych, miejscami kwarcytowych dolnego i środkowego bajosu [2, 3]. W górnej części tej serii występują wkładki iłowców, łupków ilastych, podrzędnie mułowców z wkładkami syderytów. Serię utworów doggeru zamykają piaskowce dolomityczne z glaukonitem kełoweju, z wkładkami wapieni detrytycznych i piaskowców drobnoziarnistych o spoiwie żelazistym.

Jura dolna (rys. 2) – miąższość utworów liasu wynosi do 700 m [6]. Od dołu utwory te ograniczone są osadami Hetangu i synemuru (warstwy kłodawskie, ksa-werowskie i sławęcińskie dolne) które zbudowane są głównie z piaskowców pylastych i drobnoziarnistych, sporadycznie zawierających szczątki roślinne, z drobnymi przewrstwieniami iłowców zielono-szarych, czarnych i mułowców szaro-czarnych (tabela 2). Miąższość tych utworów jest zmienna i wynosi od 200 m do 400 m. W środkowej części znajdują się osady Pliensbachu (warstwy sławęcińskie górne) wykształcone głównie jako piaskowce drobno – i średnioziarniste z pojedynczymi wkładkami iłowcowo-mułowcowymi [5]. Miąższość utworów wynosi od 50 do 200 m. W górnej części występują osady Toarku dolnego (warstwy ciechocińskie) wykształcone jako kompleks utworów

iłowcowo-mułowcowych, barwy szarozielonej i szaro-brunatnej (tabela 2). Podrzędnie występują wkładki piaskowców drobnoziarnistych o spoiwie wapienistym, dolomitycznym, barwy szarej i szaro-brunatnej. Miąższość wynosi około 150 m. Toark górny (warstwy boruckie) to piaskowce drobnoziarniste jasnoszare, z niewielkim detrytusem roślinnym. Miąższość wynosi od 30 do 100 m.

Trias górny (rys. 2) – retyk, wykształcony jest w formie pstrych iłowców gruzłowatych i zlepieńców, wśród których spotyka się ziarna żwiru i okruchy skał węglanowych. Na analizowanym obszarze miejscami dochodzi do znacznej redukcji miąższości osadów retyku, a w wielu miejscach, na utworach retyku leżą bezpośrednio osady różnych pięter jury dolnej (tabela 2).

W tabeli 2 utwory geologiczne, w których występują poziomy wodonośne zaznaczone są kolorem niebieskim. Utwory bezwodne zaznaczone są kolorem szarym. Są to warstwy izolacyjne, które gwarantują brak możliwości mieszania się wód z poszczególnych poziomów wodonośnych. Poziomy wodonośne zostały również oznaczone na rysunku 2. Zarówno z tabeli 2 jak i rysunku 2 wynika, że poziomy wodonośne oddzielone są od siebie skałami, które stanowią naturalną izolację i eliminują możliwość mieszania się wód z poszczególnych poziomów wodonośnych. Grubość poszczególnych pakietów warstw izolacyjnych wynosi od ponad 200 m do ponad 600 m.

Konstrukcja otworu geotermalnego

Aby nie dopuścić do połączenia poszczególnych poziomów wodonośnych podczas wiercenia bardzo ważna jest odpowiednio zaprojektowana konstrukcja otworu geotermalnego. Najważniejsza jest też dokładność rozpoznania geologicznego analizowanego rejonu. Bardzo ważna jest tutaj informacja geologiczna pozyskana z innych otworów wiertniczych wykonanych w sąsiedztwie.

Analizowany otwór będzie miał głębokość 2 800 m i będzie ujmował wodę termalną z utworów jury dolnej. Konstrukcja otworu została dobrana w taki sposób, aby zoptymalizować proces wiercenia oraz aby w przyszłości mógł on pełnić rolę otworu wydobywczego. Konstrukcja uwzględni wykonanie komory pompowej, w której zostanie zawieszona pompa głębinowa. Średnica otworu wynika z ilości przewidywanej do eksploatacji wody termalnej. Projektowana konstrukcja otworu geotermalnego w rejonie Łodzi przedstawiona została w tabeli 3.

Tabela 3. Konstrukcja przykładowego otworu geotermalnego zlokalizowanego w rejonie Łodzi
Table 3. Construction of a sample geothermal well located in the area of Łódź

Głębokość [m p.p.t.]	Średnica narzędzia wiertniczego
0,0 – 120,0 m	średnica otworu Ø 559 mm
120,0 – 820,0 m	średnica otworu Ø 444 mm
820,0 – 2480,0 m	średnica otworu Ø 311 mm
2480,0 – 2800,0 m	średnica otworu Ø 216 mm

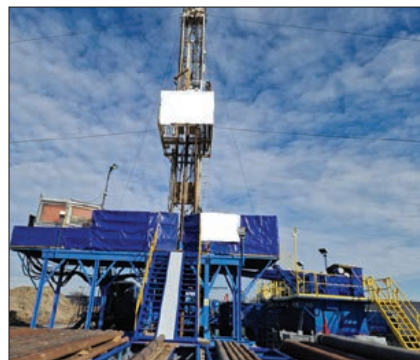
Stosowane do zarurowania otworu wiertniczego rury nazywają się rurami okładzinowymi. Zapuszczone do odwiertu kolumny rur okładzinowych stanowią jego orurowanie. Kolumny rur okładzinowych stosowane w odwiertach przeznaczone są do różnych celów. Przede wszystkim zabezpieczają one ścianę odwiertu przed obsypaniem się w skałach słabo związanych i sypliwych. Kolumny rur okładzinowych używane są również do oddzielania od siebie napotkanych w czasie wiercenia poziomów wodonośnych. Rury okładzinowe stosowane do orurowania głębokich odwiertów muszą mieć odpowiednią średnicę, grubość ścian oraz odpowiednią wytrzymałość. Rozważany wariant zarurowania projektowanego otworu został zaprezentowany w tabeli 4.

Tabela 4. Zarurowanie przykładowego otworu geotermalnego zlokalizowanego w rejonie Łodzi
Table 4. Casing of an exemplary geothermal well located in the Łódź area

Głębokość [m p.p.t.]	Średnica okładzinowych oraz sposób ich cementowania
0,0 – 120,0 m	rury Ø 18 ⁵ / ₈ " , stal J-55, zacementowane od buta rur do wierzchu,
0,0 – 820,0 m	rury Ø 13 ³ / ₈ " , stal N-80, zacementowane od buta rur do wierzchu,
300,0 – 2480,0 m	rury Ø 9 ⁵ / ₈ " , stal N-80, zacementowane od buta rur do 300 m p.p.t.,
2440,0 – 2800,0 m	filtr Ø 6 ⁵ / ₈ " , stal kwasoodporna

Technologia wiercenia otworu geotermalnego

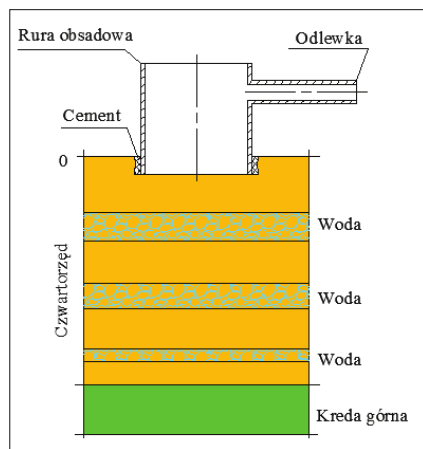
Otwory geotermalne wykonywane są za pomocą urządzenia wiertniczego (rys. 3),



Rys. 3. Urządzenie wiertnicze
Fig. 3. Drilling rig

które montowane jest na utwardzonej podbudowie bezpośrednio nad punktem lokalizacyjnym otworu geotermalnego. Elementem charakterystycznym urządzenia wiertniczego jest wysoka wieża, która może mieć wysokość np. 52 m. Urządzenie to zaopatrzone jest w system oczyszczania płuczki wiertniczej, która krąży w obiegu zamkniętym. Pobierana jest ze zbiornika płuczkowego i za pomocą pompy płuczkowej tłoczona jest przez przewód wiertniczy na spód otworu. Po zebraniu zwiercin płuczka wypompowywana jest z otworu i kierowana do systemu jej oczyszczania. Oczyszczona płuczka kierowana jest ponownie do zbiornika płuczkowego a zwierciny są magazynowane w specjalnie do tego celu przygotowanych szczelnych zbiornikach.

Najpierw wykonuje się wykop w ziemi na głębokość około 6 m, w który wprowadza się rurę obsadową. Rura ta następnie jest cementowana w celu zapewnienia jej szczelności z gruntem (rys. 4). Rura ta łączy wiercony otwór geotermalny z urzą-



Rys. 4. Schemat rury obsadowej
Fig. 4. Schematic of the manning pipe



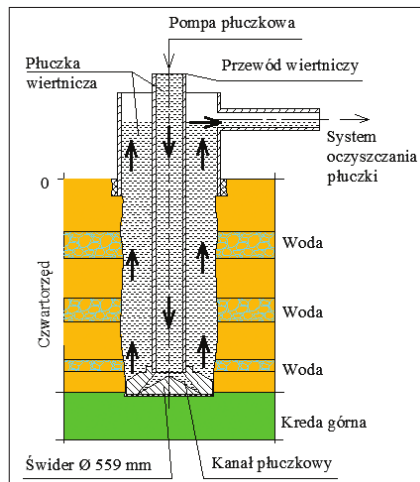
Rys. 5. Widok rury obsadowej
Fig. 5. View of the manning pipe



Rys. 6. Widok świdra gryzowego zamontowanego na przewodzie wiertniczym
Fig. 6. View of the grit auger mounted on the drill pipe

dzeniem wiertniczym (rys. 5). Za pomocą tej rury płuczka wiertnicza jest tłoczona z otworu do systemu oczyszczania płuczki za pomocą odlewki. Rura ta od góry jest otwarta i stanowi ona prowadnicę dla świdra, który jest zamontowany na przewodzie wiertniczym (rys. 6).

Wiercenie otworu polega na wprowadzeniu świdra przez rurę obsadową na spód otworu oraz w wyniku jego obrotu. Płuczka wiertnicza tłoczona jest za pomocą pompy płuczkowej przez przewód wiertniczy, który jest grubościenną rurą (rys. 7). Płuczka tłoczona jest przez kanałki płuczkowe w świdrze i zabiera zwierciny z dna otworu. Płuczka wraz ze zwiercinami pompowana jest następnie do góry w przestrzeni pomiędzy przewodem a ścianką otworu.



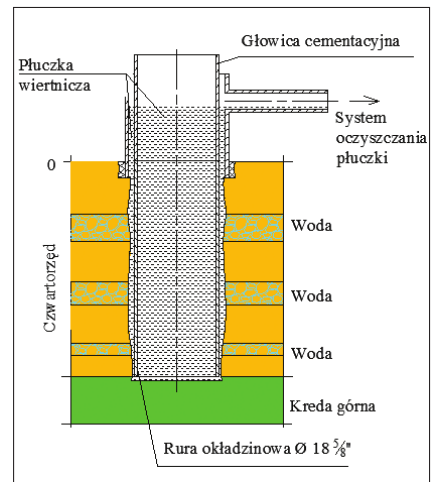
Rys. 7. Proces wiercenia pierwszej sekcji otworu geotermalnego
Fig. 7. Drilling process of the first section of the geothermal well

Za pomocą odlewki jest ona następnie kierowana do systemu jej oczyszczania. Płuczka cały czas wypełnia otwór ponieważ musi utrzymywać ścianki otworu, które w utworach czwartorzęd są np. piaskami, które po prostu się obrywają i zasypują otwór. To dzięki odpowiednio przygotowanej płuczce nie dochodzi do zasypania otworu. Płuczka zabezpiecza również otwór przed przedstawianiem się do niego wód z przewierczanych poziomów wodonośnych.

Podczas wiercenia cały czas jest monitorowana ilość i jakość płuczki w obiegu. Jeśli przybywa płuczki w zbiornikach to mamy informację, że do otworu doływa woda z przewierzonego poziomu wodonośnego. W takiej sytuacji należy dociążyć płuczkę w taki sposób aby zrównoważyć ciśnienie panujące w warstwie złożowej. Jeśli płuczki ubywa to oznacza, że płuczka przedostaje się do górotworu. Może to oznaczać, że nawierciliśmy albo skałę spękaną albo porowatą. W takiej sytuacji stosowane są różnego rodzaju blokatory, których zadaniem jest uszczelnienie przewiercanej skały.

Jeśli otwór był wykonany świdrem o średnicy 559 mm to należy go zarurować rurami okładzinowymi o średnicy 18⁵/₈" (rys. 8). Rura jest wpuszczana do otworu bezpośrednio po wyciągnięciu z niego świdra. Rura okładzinowa zakończona jest głowicą cementacyjną i jest obłana płuczka wiertnicza. Bardzo ważne jest aby przed zapuszczeniem kolumny rur okładzinowych wykonać pomiary średnicy otworu. Na podstawie ciągłego pomiaru średnicy wykonywany jest model otworu, który pozwala na precyzyjne wyznaczenie objętości wykonanej sekcji otworu.

Uszczelnienie pomiędzy ścianką otworu a rurami okładzinowymi uzyskuje się po-

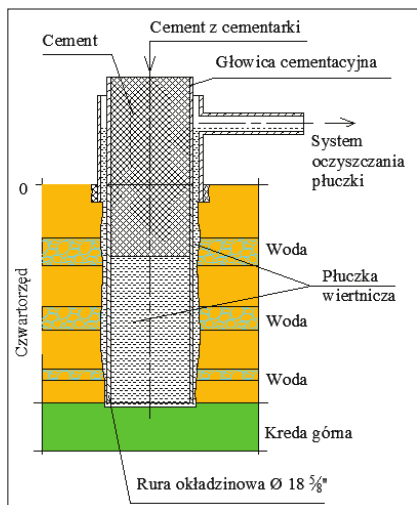


Rys. 8. Proces rurowania pierwszej sekcji otworu geotermalnego
Fig. 8. The process of piping the first section of a geothermal well

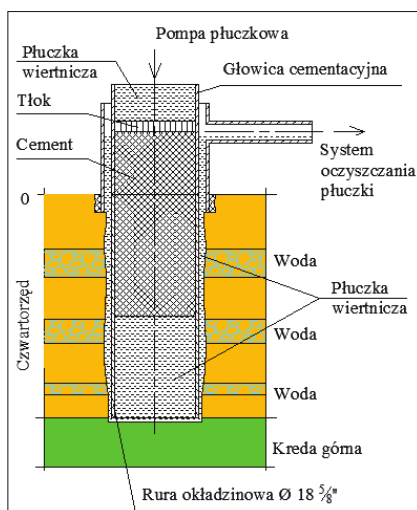
przez wypełnienie tej przestrzeni zaczynem cementowym. Bardzo istotne jest przy tym aby dokładnie określić ilość cementu do tego zabiegu. Aby dokładnie wypełnić przestrzeń pomiędzy kolumną rur a ścianką otworu musimy znać jej objętość. Będzie to różnica pomiędzy objętością wykonanej sekcji otworu i objętością zapuszczonych rur okładzinowych.

Precyzyjnie przygotowana objętość zaczynu cementowego wprowadzana jest przez głowicę cementacyjną do wnętrza rury okładzinowej o średnicy $18\frac{5}{8}$ " (rys. 9). Ponieważ gęstość zaczynu cementowego jest większa niż gęstość płuczki wiertniczej jego wtłaczanie powoduje wypychanie płuczki z otworu przez odlewkę. Wtłaczamy wymaganą ilość cementu i na zakończenie do głowicy cementacyjnej wkładamy tłok, który zamyka jej wlot (rys. 10).

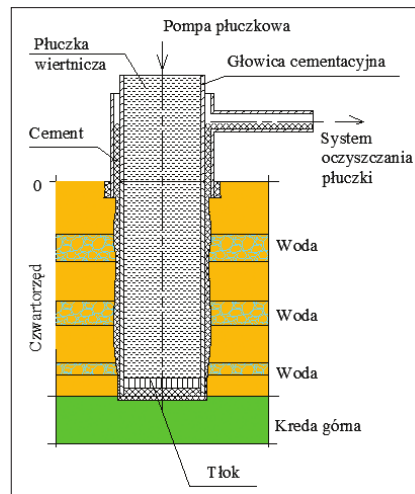
Nad tłokiem znajduje się płuczka



Rys. 9. Wtłoczenie zaczynu cementowego do rury osłonowej
Fig. 9. Injection of cement grout into the casing pipe



Rys. 10. Zamknięcie rury zaczynu cementowego za pomocą tłoka
Fig. 10. Closing the cement slurry pipe with a piston

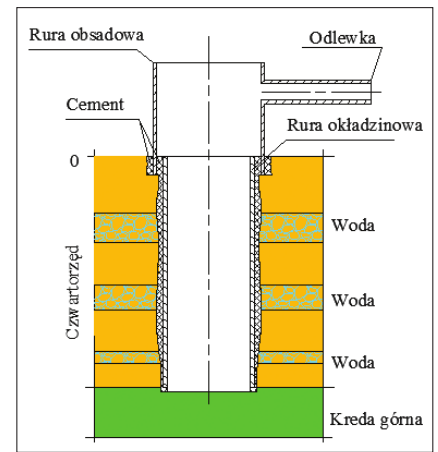


Rys. 11. Proces cementowania rur okładzinowych w otworach geotermalnych
Fig. 11. Cementing process for casing pipes in geothermal wells

wiertnicza (rys. 11). Płuczka jest tłoczona przez pompę powodując ruch tłoka w dół. Jednocześnie płuczka wiertnicza jest wypychana dołem i tłoczona ku górze. W następnej kolejności dołem rury zaczyna wypływać cement i następnie jest on wypychany ku górze przestrzenią pomiędzy ścianką kolumny rur okładzinowych a ścianką otworu. Nie trudno sobie wyobrazić, że cement od dołu do góry jest tłoczony pod bardzo dużym ciśnieniem. Ta technologia cementowania rur pozwala z całą stanowczością stwierdzić, że gwarantuje ona szczelność połączenia ścianki kolumny rur okładzinowych z otaczającymi je skałami.

Prawidłowo wykonany zabieg cementowania powinien charakteryzować się tym, że cement będzie widoczny na odlewce. Oznacza to, że cała objętość przestrzeni międzypierścieniowej (przestrzeń pomiędzy ścianką kolumny rur okładzinowych i ścianką otworu) została wypełniona cementem. Aby taki efekt uzyskać objętość cementu musi być precyzyjnie obliczona. Lepszą sytuacją jest taka, kiedy to jakaś objętość cementu pozostanie w rurach okładzinowych. Zarówno tłok jak i cement są materiałem łatwo zwiercalnym. Niedopuszczalna natomiast jest sytuacja kiedy to tłok osiągnie spód otworu a cement nie jest widoczny w odlewce. Oznacza to niestety brak dobrego zacementowania rur okładzinowych.

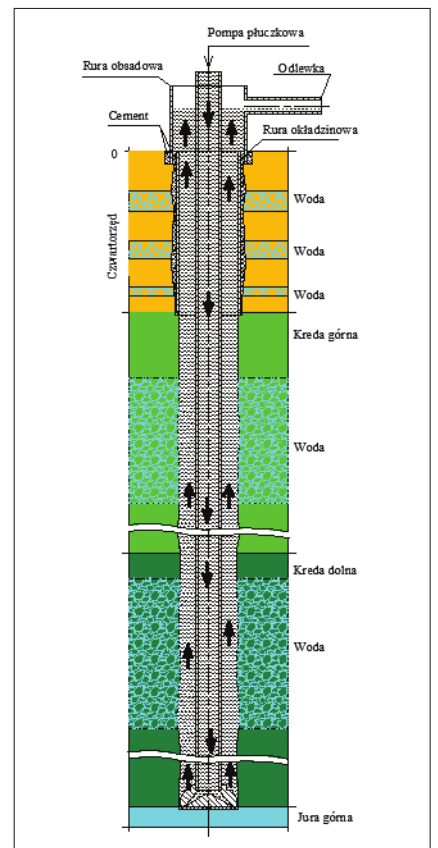
Od momentu zastygnięcia cementu konstrukcję nośną otworu stanowi rura okładzinowa wraz z płaszczem cementowym (rys. 12). Przed dalszym wierceniem utwory czwartorzędu są już osłonięte i wody z tych poziomów wodonośnych nie mają już żadnego kontaktu ani z medium znajdującym się w rurach okładzinowych



Rys. 12. Zacementowana kolumna rur okładzinowych w pierwszej sekcji otworu geotermalnego
Fig. 12. Cemented casing column in the first section of a geothermal well

ani też między sobą. Obecnie został przywrócony stan równowagi, który występował przed wykonaniem wiercenia.

Drużga sekcja będzie wiercona w utworach kredy górnej i kredy dolnej. Świder zostanie opuszczony na dół sekcji wykonanej poprzednio. Tym razem średnica świda będzie wynosiła 444 mm. Ścianka otworu będzie utrzymywana za pomocą płuczki wiertniczej, która będzie tłoczona przez prze-

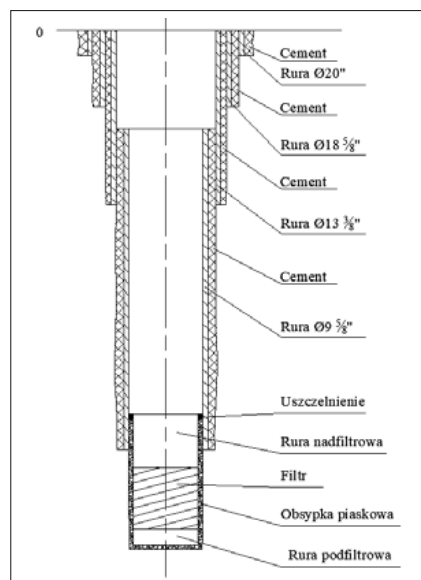


Rys. 13. Proces wiercenia drugiej sekcji otworu geotermalnego
Fig. 13. Drilling process of the second section of the geothermal well

wód wiertniczy. Następnie przez kanały płuczkowe będzie ona omywała świder i wraz z urobkiem będzie tłoczona do odlewki (rys. 13) i dalej do systemu oczyszczania płuczki. Jediną różnicą w stosunku do przewiercania warstw czwartorzędowych jest tutaj zdecydowanie większa głębokość przewierczanych utworów kredy górnej i kredy dolnej. Receptura płuczki wiertniczej musi być tak dobrana aby utrzymać ściankę otworu na długości prawie 600 m i jednocześnie zrównoważyć ciśnienia panujące w przewierczanych warstwach wodonośnych.

Po przewierczeniu utworów kredy górnej i kredy dolnej następuje wyciągnięcie z otworu świda. Otwór cały czas będzie wypełniony płuczką wiertniczą. Konieczne będzie wykonanie pomiaru średnicy otworu celem obliczenia objętości wywierconej sekcji otworu.

Rury okładzinowe o średnicy 13³/₈" zostaną zapuszczone od góry na spód otworu (rys. 14). Spowoduje to, że utwory czwartorzędu zostaną osłonięte kolejną



Rys. 14. Zarurowanie przykładowego otworu geotermalnego
Fig. 14. Casing of an example geothermal well

kolumną rur okładzinowych.

Następnie nastąpi proces cementowania rur okładzinowych. Proces ten będzie przebiegał dokładnie w taki sam sposób jak podczas cementowania rur okładzinowych w utworach czwartorzędu.

Na tym etapie wiercenia zostały odizolowane poziomy wodonośne znajdujące się w utworach czwartorzędu, kredy górnej i kredy dolnej. Dalsze wiercenie będzie prowadzone w utworach jury górnej i jury środkowej.

Utwory jury górnej i jury środkowej będą przewiercane za pomocą świda o średnicy 311 mm. Wiercenia będą prowadzone na długości około 1 660 m poniżej rur okładzinowych o średnicy

13³/₈". Na tej długości ścianki otworu będą podtrzymywane przez płuczkę wiertniczą. Po osiągnięciu głębokości końcowej około 2 480 m nastąpi zarurowanie otworu rurami okładzinowymi o średnicy 9⁵/₈" (rys. 14). Proces cementowania będzie przebiegał w sposób identyczny jak w przypadku utworów czwartorzędu oraz kredy górnej i kredy dolnej.

W utworach jury dolnej, ponad ujmowaną warstwą wodonośną zostały zacementowane rury o średnicy 9⁵/₈" (rys. 14). W wyniku cementowania zostały zamknięte wszystkie powyższe poziomy wodonośne. Przyszła eksploatacja będzie odbywała się za pomocą rur, które zostały zapuszczone do otworu. Każdorazowo, po zacementowaniu jest sprawdzana ich szczelność. Nie ma zatem żadnego ryzyka, że podczas eksploatacji nastąpi zanieczyszczenie wyżej leżących poziomów wodonośnych. Dodatkowo korozja w otworach wydobywczych praktycznie nie występuje [1].

Po przewierczeniu warstwy wodonośnej nastąpi jej zafiltrowanie. To oznacza, że woda będzie przepływać przez filtr (rys. 14) od zewnątrz do jego środka. Następnie woda będzie płynęła przez rury okładzinowe w pobliże poziomu terenu. Zwierciadło statyczne wody ujętej z głębokości np. 2600 m może się stabilizować na głębokości np. 30 m p.p.t.

Filtr z rurami okładzinowymi o średnicy 9⁵/₈" jest połączony za pomocą rury nadfiltrowej (rys. 14), która jest wpuszczona w rury 9⁵/₈" na długości około 30 – 40 m. Przestrzeń pomiędzy oboma rurami jest uszczelniona tak, aby wymusić przepływ wody przez filtr a nie przez przestrzeń pomiędzy rurą nadfiltrową i rurami okładzinowymi 9⁵/₈".

Podsumowanie

Otwory geotermalne wykonywane są na podstawie projektu robót geologicznych, który zatwierdzany jest w formie decyzji przez Urząd Marszałkowski. W projekcie przewidziana jest zarówno konstrukcja otworu jak i jego zarurowanie oraz sposób cementowania.

Otwory geotermalne są wykonywane pod nadzorem i dozorem geologicznym co gwarantuje kontrolę podczas wykonywania tego typu otworów. Rolą dozoru geologicznego jest bieżąca kontrola zgodności wykonywanych wierceń z zatwierdzonym projektem oraz sztuką wiertniczą.

Każda sekcja wykonanego otworu geotermalnego jest rurowana i cementowana. Rury są o podwyższonej odporności na korozję. Przestrzeń pomiędzy rurami i ścianką otworu jest wypełniana cementem, którego jakość każdorazowo jest potwierdzana przez niezależne laboratorium. Po zacementowaniu każdej sekcji

jest wykonywana próba szczelności.

Rurowanie i cementowanie skutecznie zabezpiecza poszczególne warstwy wodonośne przed mieszaniem się poszczególnych wód w trakcie ich eksploatacji. W trakcie wiercenia poszczególne poziomy wodonośne osłanianie są za pomocą odpowiednio sporządzonej płuczki wiertniczej.

W wyniku przeprowadzonej analizy warunków geologicznych i hydrogeologicznych oraz procesu wiercenia można jednoznacznie stwierdzić, że zarówno proces wiercenia jak i eksploatacji otworów geotermalnych nie niesie żadnego ryzyka zanieczyszczenia poszczególnych poziomów wodonośnych. Sytuacja, w której wody poziomu kredy górnej czy kredy dolnej mogą zostać zanieczyszczone przez wody jury dolnej jest praktycznie niemożliwa, zarówno na etapie wiercenia otworu jak i na etapie jego eksploatacji.

WYKAZ LITERATURY

- [1] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z.: Problemy korozji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych, Modelowanie Inżynierskie 39, 2010, 13 – 18.
- [2] Dayczak-Calikowska K.: Stratygrafia, litologia, paleogeografia. Jura środkowa. W: Budowa geologiczna niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa, Prace IG 1979, XCVI, 57–62.
- [3] Dayczak-Calikowska K.: Jura środkowa. W: Budowa geologiczna wału pomorskiego i jego podłoża, Prace IG 1987, CXIX, 116–123.
- [4] Dowgiało J., Kleczkowski S., Macioszczyk T., Różkowski A.: Słownik hydrogeologiczny, Wyd. PIG, Warszawa 2002.
- [5] Górecki W. (red.): Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje mezozoiku. Wyd. AGH, Kraków 2006.
- [6] Marek S.: Budowa geologiczna wschodniej części niecki mogileńsko – łódzkiej, 7. Prace Inst. Geol. T 80, 1977.
- [7] Noga B., Biernat H., Kosma Z.: Możliwości zagospodarowania zasobów geotermalnych rozpoznanych na Niżu Polskim. VI-EKO-EURO-ENERGIA Inżynieria Odnawialnych Źródeł Energii (pod red. Adama Mrozińskiego). Wydawnictwo Fundacji Rozwoju Mechatroniki 2013, s. 155 – 174.
- [8] Noga B., Noga A.: Energetyczne, balneologiczne i rekreacyjne wykorzystanie wody termalnej na terenie Polski. Materiały VIII Ogólnopolskiego Seminarium – Odnawialne źródła energii (pod red. J. Kalotki). Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego 2012, s. 74 – 84.
- [9] Pożaryski W.: Tektonika elewacji radomskiej, tom XLI, z. 1, Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Warszawa 1971.
- [10] Pożaryski W. (red.): Budowa geologiczna Polski, tom IV, z. 1, Niż Polski. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1974.
- [11] Rodzoch A. i in.: Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 401 (Niecka łódzka). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa, 2013.
- [12] Stupnicka E.: Geologia regionalna Polski, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2013.
- [13] Wiktorowicz B.: Możliwości wykorzystania wód termalnych w Niece łódzkiej, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 1–2/2011.