

Wody termalne w rejonie Jędrzejowa – zasoby energetyczne i możliwości wykorzystania

Kinga Wielgus¹, Antoni Barbacki¹, Leszek Pająk¹



K. Wielgus

A. Barbacki

L. Pająk

Thermal waters in the area of Jędrzejów – energy resources and possibilities of their use. Prz. Geol., 66: 118–126.

A b s t r a c t. The present study examined the possibility of using geothermal energy in the area of Jędrzejów. Determination of the potential of thermal resources in this area was possible due to deep boreholes drilled in previous years. The analysis concerned the assessment of the geological setting, depth of aquifers, water temperature and mineralization, discharge rates of wells, reservoir parameters, and the value of geothermal resources. Promising zones for acquiring geothermal energy are the central (Cenomanian and Upper Jurassic aquifers) and north-eastern parts (Triassic aquifer) of the area. Taking into account discharge rates of wells and

water temperature, the geothermal resources of the region are promising mainly in the context of their use in recreation and/or balneotherapy. There is a certain possibility of developing the resources for heating purposes, but generally this option would require using of heat pump systems. Based on the calculated value of the energetic potential of the aquifers, the Cenomanian aquifer has been selected as the most interesting. For this aquifer, a simple scheme of geothermal pool installation was proposed.

Keywords: thermal waters, reservoir parameters, geothermal resources, Jędrzejów

Jędrzejów leży w południowo-zachodniej części województwa świętokrzyskiego, w otoczeniu obszarów o dużych walorach przyrodniczych, m.in. Nidziańskiego Parku Krajobrazowego i Włoszczowsko-Jędrzejowskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu. Brak większych zakładów przemysłowych i rolnicze zagospodarowanie regionu sprawiają, że zachował się tu dobry stan środowiska naturalnego, sprzyjający utworzeniu efektywnie prosperującego obszaru uzdrowiskowo-wypoczynkowego. Celem badań było rozpoznanie zasobów wód termalnych w rejonie Jędrzejowa i ocenienie, czy możliwe jest ich wykorzystanie do celów leczniczych bądź rekreacyjnych. Inwestycje geotermalne bez wątpienia przyczyniłyby się do zachowania lub poprawy czystości powietrza w rejonie Jędrzejowa oraz do rozwoju gospodarki w sektorze rekreacyjno-turystycznym.

Możliwości wykorzystania wód termalnych występujących w rejonie Jędrzejowa oceniono na podstawie analizy parametrów hydrogeotermalnych wód podziemnych, które określono korzystając z danych uzyskanych w trakcie wierceń prowadzonych w XX w. przez Państwowy Instytut Geologiczny – PIB (PIG-PIB) oraz Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A. (PGNiG). Ocena ta ma jedynie znaczenie orientacyjne, gdyż ze względu na stosunkowo małą liczbę głębokich otworów wiertniczych wykonanych na tym terenie pozyskane dotychczas dane nie umożliwiły pełnego rozpoznania zbiorników wód termalnych.

OBSZAR BADAŃ

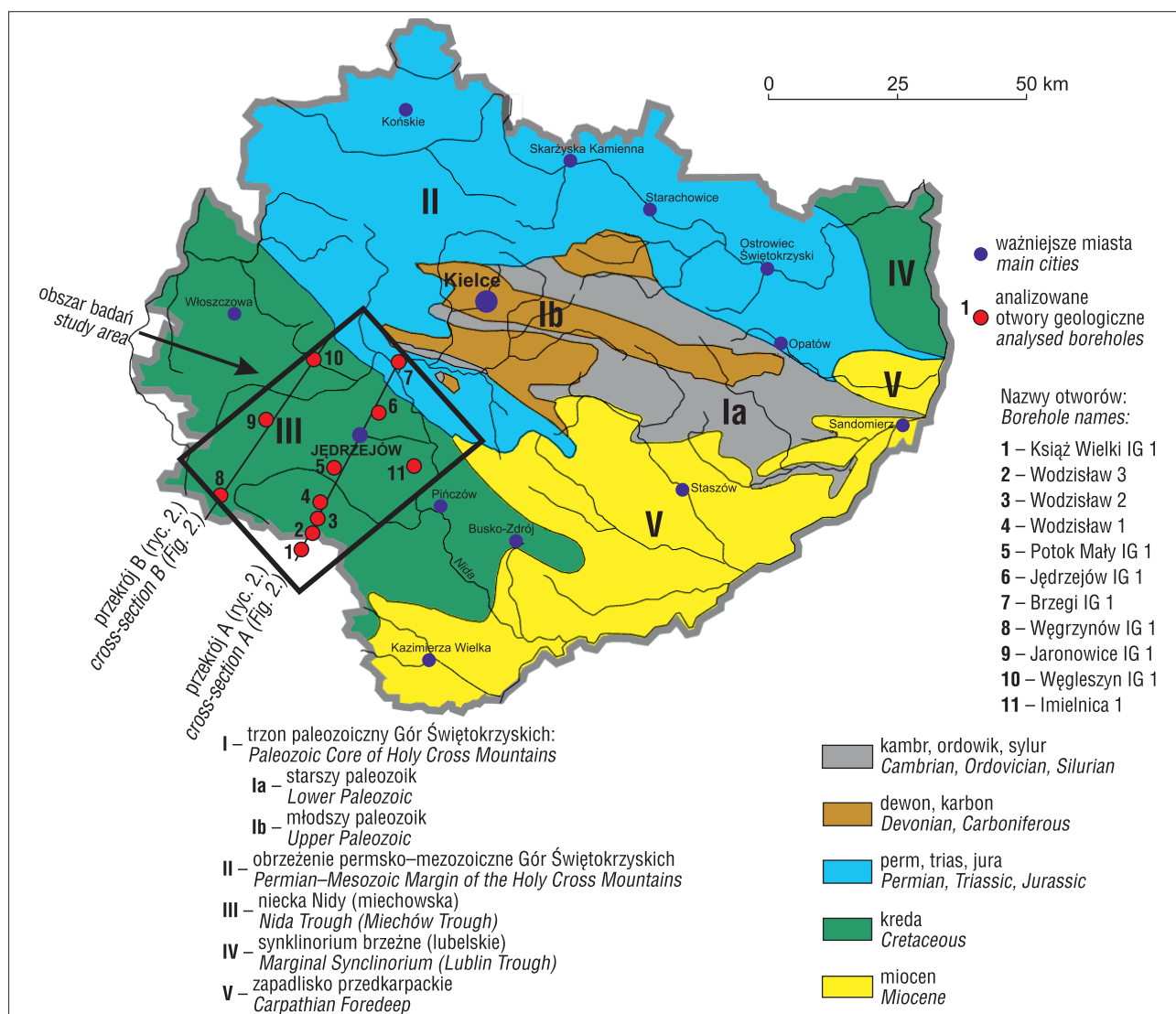
Badaniami objęto kompleksy skalne należące do północnego skrzydła niecki miechowskiej, które występują w podłożu okolic Jędrzejowa, oraz wąski pas utworów permsko-mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, przylegający do niecki miechowskiej od NE (ryc. 1).

Nieckę miechowską wypełniają osady węglanowe kredy górnej, wykształcone głównie jako margle, opoki i wapienie. Podłoże paleozoiczne i prekambryjskie niecki stanowią utwory paleozoiku: karbonu dolnego – głównie iłowce i mułowce, rzadziej wapienie (Jurkiewicz, 1973); dewonu środkowego – skały węglanowe – i dolnego – mułowce i piaskowce (Jurkiewicz, 1973, 1976, 1980); syluru – mułowce, łupki, iłowce (Jurkiewicz, 1976, 1999); lokalnie ordowiku – głównie piaskowce (Jurkiewicz 1976, 1991) oraz kambru i prekambru – łupki, piaskowce, mułowce (Jurkiewicz, 1974, 1976, 1991, 1999).

Permsko-mezozoiczne obrzeżenie paleozoicznego trzonu Gór Świętokrzyskich jest zbudowane z osadów permu górnego oraz triasu i jury. Perm górny jest wykształcony w postaci zlepieńców grubookruchowych (zlepieńców zygmunto-wskich), mułowców, piaskowców oraz wapieni i margli. Trias dolny reprezentują piaskowce, zlepieńce, ily i mułowce; trias środkowy – wapienie, dolomity i iłowce, a trias górny – piaskowce i iłowce z wkładkami margli i wapieni. Jura środkowa to ily z przewarstwieniami piaskowców i mułowców, natomiast jura górna jest reprezentowana przez wapienie płytowe, margliste i oolitowe z krzemieniami (Głowacki i in., 1971; Jurkiewicz, 1973, 1974, 1980, 1991, 1999). Utwory te kontynuują się w podłożu niecki miechowskiej, która stanowi najbardziej rozległą jednostkę geologiczną tego regionu. Jednostki geologiczne, wyróżnione na tym obszarze, mają przebieg WNW–ESE oraz NW–SE.

Obszar badań jest pokryty plejstoceniowymi i holoceniowymi utworami czwartorzędowymi o niewielkiej miąższości (od kilku do kilkudziesięciu metrów), wykształconymi w postaci piasków eolicznych, lessów, piasków wodno-łodowcowych i rzecznych, mułków, glin i torfów.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; kinga92.wielgus@gmail.com; barbacki@agh.edu.pl; pajakl@agh.edu.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle jednostek geologicznych woj. świętokrzyskiego (uproszczony podkład geologiczny wg Raportu WIOŚ w Kielcach, 1999)

Fig. 1. Location of the research area against the background of geological units of Świętokrzyskie Voivodeship (schematic base map after Raport WIOŚ w Kielcach, 1999)

METODYKA

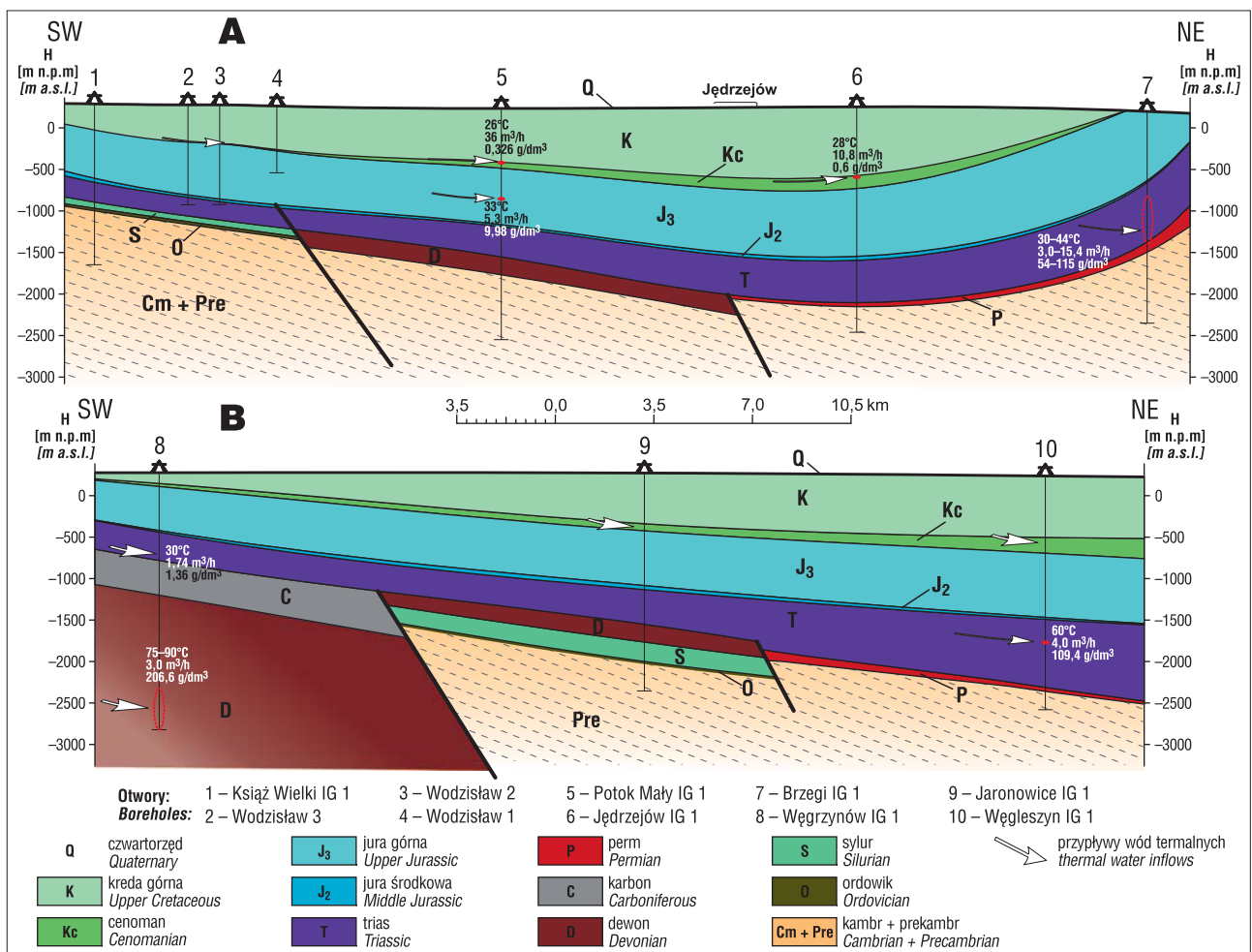
Na podstawie danych z 7 głębokich otworów badawczych PIG-PIB – Jędrzejów IG 1, Potok Mały IG 1, Jaronowice IG 1, Węgleszyn IG 1, Węgrzynów IG 1, Brzegi IG 1 i Książ Wielki IG 1 (Jurkiewicz, 1973–1999) – oraz otworów wykonanych w ramach prac poszukiwawczych PGNiG (Głowacki i in., 1971) – Imielnica 1, Wodzisław 1, Wodzisław 2 i Wodzisław 3 (ryc. 1) – opracowano dwa uproszczone przekroje geologiczne (ryc. 2).

Do interpretacji geologicznej na przekrojach wprowadzono dane o dopływach wód podziemnych zaobserwowanych podczas prac wiertniczych. Pomimo niewielkiej miąższości na przekrojach tych wyodrębnilo kompleks skał cenomańskich, gdyż tworzy on rozległy poziom wodonośny, w którym niemal we wszystkich otworach na obszarze badań stwierdzono występowanie wód termalnych. Wyjątek stanowi otwór Brzegi IG 1, w strefie którego kompleks ten ulega wyklinowaniu, oraz otwór Węgrzynów IG 1, gdzie ze względu na płytkie położenie

kompleksu wody mają temperaturę niższą od 20°C (nie są zatem termalne).

Korzystając z danych uzyskanych w trakcie prac wiertniczych prowadzonych w ubiegłym wieku przez PIG-PIB i PGNiG zestawiono w tabelach parametry wód potrzebne do oceny potencjału zasobów geotermalnych zbiorników wód podziemnych: temperaturę złożową, wielkość przyływu i mineralizację ogólną (tab. 1–4). Niestety, wartości przyływu wód figurujące w tabelach są jedynie orientacyjne – rzeczywiste wydajności ujęć można będzie określić dopiero po wykonaniu nowych odwiertów hydrogeologicznych i po przeprowadzeniu cyklu próbnich pomiarów. Również dane dotyczące chemizmu i mineralizacji wód wymagają weryfikacji, gdyż pochodzą z lat 1965–1969, w związku z tym były wykonywane innymi metodami lub mogły ulec zmianie.

Ponieważ nie dysponowano danymi archiwalnymi na temat temperatury złożowej analizowanych zbiorników wód podziemnych, parametr ten oszacowano, przyjmując średni gradient geotermiczny dla analizowanego obszaru 2,4°C/100 m (wg krzywych termicznych z otworu Węgrzy-



Ryc. 2. Przekroje geologiczne przez północną część niecki miechowskiej (lokalizacja na ryc. 1)
Fig. 2. Geological cross-section through the northern part of the Miechów Trough (for location see Fig. 1)

nów IG 1 i Jędrzejów IG 1) oraz temperaturę strefy neutralnej 10°C na głębokości ok. 10 m p.p.t.

ZBIORNIKI WÓD PODZIEMNYCH

Na podstawie analizy parametrów hydrogeotermalnych wyróżniono w rejonie Jędrzejowa 4 potencjalne zbiorniki wód termalnych: 1) cenomański, 2) jury górnej i środkowej, 3) triasowy oraz 4) dewoński.

Zbiorniki w starszych kompleksach, ze względu na małą porowatość i przepuszczalność skał, można rozpatrywać jedynie jako przydatne do pozyskiwania energii z zastosowaniem technologii HDR, uzyskiwanej z suchych gorących skał (Bujakowski i in., 2012).

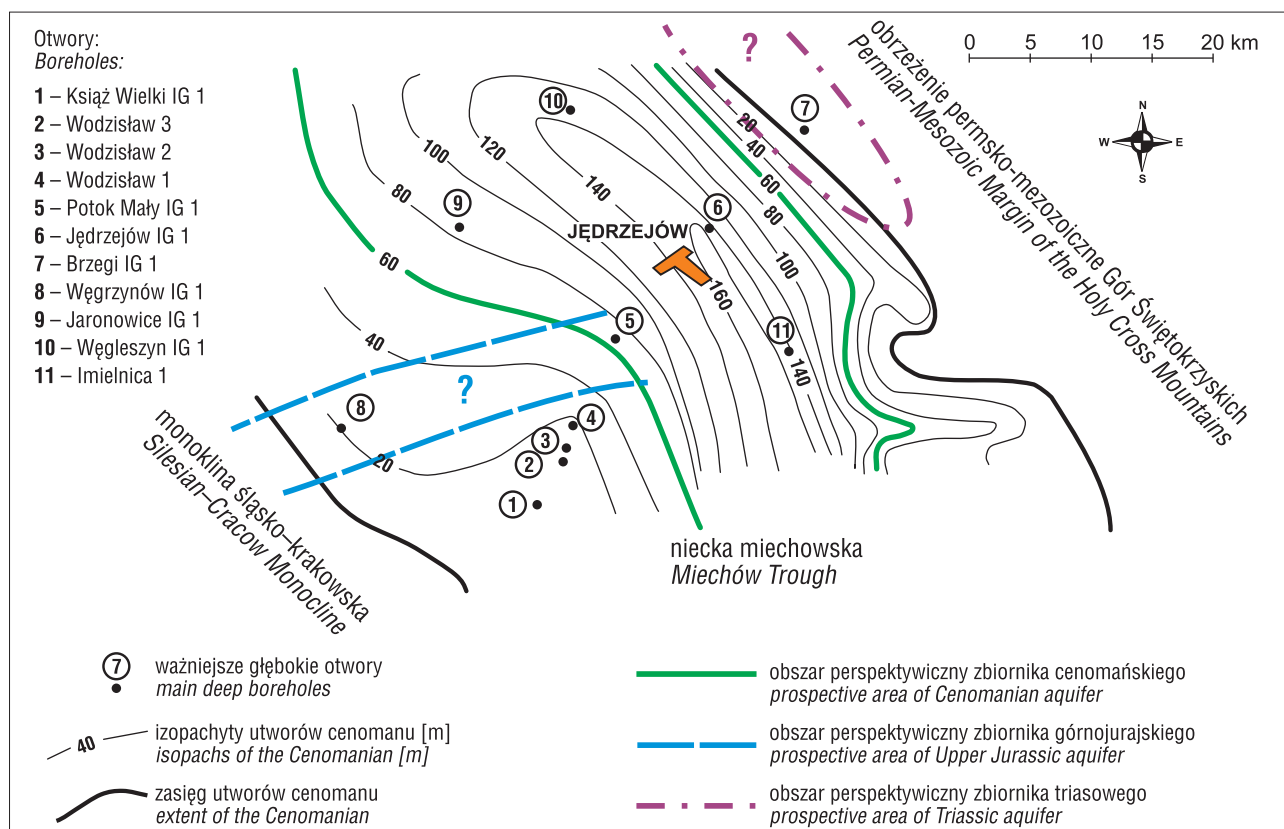
Zbiornik cenomański

W utworach cenomanu znajduje się jeden z głównych zbiorników wód termalnych niecki miechowskiej. Stanowi on kontynuację zbiornika cenomańskiego występującego w podłożu zapadliska przedkarpackiego i Karpat Zewnętrznych (Barbacki i in., 2006). Skały cenomanu charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami zbiornikowymi, których rozkład jest ściśle uzależniony od miąższości tego kompleksu skalnego. Utwory cenomanu o miąższości przekraczającej kilka metrów cechują się porowatością kil-

kunastu procent, a ich przepuszczalność waha się od kilkuset mD do ponad 1D (Barbacki, 2004).

Utwory cenomanu zalegają stosunkowo płytko, czego rezultatem są niskie temperatury wód złożowych (26–31°C). Rekompensuje to znaczna wydajność zbiornika (do 36 m³/h) oraz często występujące samowypływy wód. Kolejną korzystną cechą w aspekcie użyteczności zbiornika cenomańskiego jest niska mineralizacja wód (do 0,63 g/dm³), która po oddaniu ciepła umożliwia wykorzystanie ich do celów pitnych, a także eksploatację jednotworową. Jednak głównym kierunkiem wykorzystania tych wód może być rekreacja (Barbacki, Kazanowska, 2001), a z zastosowaniem nowych rozwiązań technologicznych, zwłaszcza sprężarkowych pomp ciepła, wody cenomanu można by było wykorzystywać również w celach grzewczych.

Największą miąższość utwory cenomanu osiągają w profilach otworów Węgleszyn IG 1, Jędrzejów IG 1 oraz Imielnica 1. Oznacza to, że w rejonie tym występowała niegdyś strefa zbiornika cenomańskiego o największej subsydencji (ryc. 3), charakteryzująca się najpełniej rozwinętym profilem osadów. Strefa ta jest dość rozległa i może obejmować również rejon otworu Potok Mały IG 1 (ryc. 3). Obecnie w strefie tej cenomański zbiornik wód podziemnych ma największą miąższość i głębokość, a wody podziemne osiągają najwyższą temperaturę. W związku z tym



Ryc. 3. Potencjalne strefy wykorzystania wód termalnych w północnej części niecki miechowskiej na tle miąższości utworów zbiornika cenomańskiego

Fig. 3. Potential zones for using thermal waters in the northern part the Miechów Trough against the background of the thickness of the Cenomanian aquifer

należy ją uznać za najbardziej perspektywiczną pod względem możliwości uzyskania energii geotermalnej ze zbiornika cenomańskiego w północnym skrzydle niecki miechowskiej.

Bardzo dobre właściwości zbiornikowe utworów cenomanu oraz korzystny rozkład wysokości hydraulicznych przyczyniają się do dużej wydajności ujęć tych wód oraz częstych samowypływów. Największe przyipyły wód termalnych uzyskano z otworów Jędrzejów IG 1 i Potok Mały IG 1 (tab. 1). W profilu otworu Jędrzejów IG 1 piaskowce opróbowanego interwału cenomanu mają porowatość od 17,77 do 21,57% i przepuszczalność od 622,3 do

876 mD. W otworze Potok Mały IG 1 porowatość skał wynosi 17–31,8%, a przepuszczalność 897–1964,2 mD (Jurkiewicz, 1999, 1980).

Z otworu Jędrzejów IG 1 uzyskano wodę wodorowęglanowo-chlorkowo-sodową o odczynie obojętnym. Wody z otworu Potok Mały IG 1 miały wielojonowy skład chemiczny (wodorowęglanowo-sodowo-wapniowo-magnezowy) i stwierdzono w nich obecność siarkowodoru, a także żelaza – 0,53 mg/dm³ oraz kwasu metakrzemowego – 12,3 mg/dm³ (Jurkiewicz, 1980). Ponieważ podstawową funkcją wód termalnych jest leczenie ciepłem, zawartość składników mineralnych lub swoistych nie będzie stanowić kryterium

Tab. 1. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód zbiornika cenomańskiego

Table 1. Selected hydrogeothermal parameters of water from the Cenomanian aquifer

Otwór Well	Opróbowany interwał [m p.p.t.] Tested interval [m b.g.l]	Temperatura złożowa wód Formation water temperature [°C]	Przyipyły Flow rate [m ³ /h]	Mineralizacja ogólna Total dissolved solids [g/dm ³]
Wodzisław 2	463,0–468,0	21	4,2	0,63
Potok Mały IG 1	651,0–660,0	26	36,0*	0,33
Jędrzejów IG 1	840,0–850,0	30	10,8*	0,60
Jaronowice IG 1	612,0–620,0	24	6,0	słodka / drinkable
Węgleszyn IG 1	740,0–745,0	28	*	0,31
	870,0–875,0 (alb)	31	*	0,27
Imielnica 1	678,0–697,0	27	2,1*	słodka / drinkable

*samowypływ / free artesian outflow

terapeutycznego wykorzystania tych wód i można je będzie wykorzystywać zarówno w celach rekreacyjnych, jak i leczniczych.

Zbiorniki jury górnej i środkowej

Główny zbiornik wód jurajskich występuje w północnym skrzydle niecki miechowskiej, w górnourajskich utworach oksfordu. Wypływy wód z tego poziomu zaobserwowano w otworach Potok Mały IG 1, Jędrzejów IG 1 oraz Węgleszyn IG 1. W otworze Potok Mały IG 1 przyływy wody obserwowano także z utworów kimerydu. Kolejnym zbiornikiem wód termalnych niecki miechowskiej, z którego można by było czerpać energię cieplną, jest zbiornik środkowourajski (Barbacki i in., 2006). Jednakże jego wodonośność badano dotychczas jedynie w otworze Wodzisław 2, w którym uzyskano bardzo mały przyływy wód (Bujakowski, 2000).

Temperatury złożowe wód w utworach jurajskich wynoszą od 20 do 52°C, ale wydajność zbiornika jest niewielka – przyływy wód osiągają 5,3 m³/h (tab. 2). Ponadto w wyniku postdepozycyjnej tektoniki i diagenety skał węglanowych (skrasowienia, dolomityzacji i szczelinowatości) parametry zbiornikowe utworów jury górnej są mocno zróżnicowane (Barbacki, 2002).

W profilu otworu Jędrzejów IG 1 porowatość utworów jury górnej, dochodzi nawet do 22%, a przepuszczalność, głównie typu szczelinowatego – do 169,4 mD. Natomiast w rejonie otworu Potok Mały IG 1 spękane wapienie o porowatości granularnej tworzą kompleksy rozdzielone słabo przepuszczalnymi wkładkami marglistymi (Jurkiewicz, 1999, 1980). Na podstawie analizy danych uznano, że w północnej części niecki miechowskiej najlepsze warunki do ujmowania wód z utworów górnourajskich panują w

okolicy otworów Potok Mały IG 1 oraz Węgrzynów IG 1 (ryc. 3).

Wody zbiorników jurajskich mają znacznie wyższą mineralizację aniżeli pochodzące ze zbiornika cenomańskiego (nawet do 100 g/dm³). Wedle wyników analizy chemicznej wód z otworu Potok Mały IG 1 w zbiorniku jurajskim znajduje się woda chlorkowo-sodowa, która zawiera niewielką ilość bromu oraz śladowe ilości jodu i żelaza (Jurkiewicz, 1980). Ponadto z utworów kimerydu uzyskano w tym otworze wodę o zawartości 132,6 mg/dm³ kwasu metakrzemowego, co kwalifikuje ją jako wodę leczniczą (wg Dz.U. z 2011 r. nr 163, poz. 981). Temperatura tych wód (35°C) i zawartość składników mineralnych sprawiają, że istnieje możliwość wykorzystania ich w balneoterapii lub – co byłoby lepiej uzasadnione – na potrzeby rekreacji. Natomiast zastosowanie ich do celów grzewczych jest w obecnych warunkach niemożliwe, gdyż wymagałoby zintensyfikowania przyływów.

Zbiornik triasowy

Parametry hydrogeologiczne zbiornika triasowego, podobnie jak jurajskiego, mają związek z litologią i diagenetą jego utworów oraz z procesami tektonicznymi i erozyjnymi. Kompleks utworów triasu rozpoczynają klastyczne skały pstrego piaskowca – czyli piaskowce, mułowce i łupki. Skały tego poziomu wykazują dużą zmienność właściwości zbiornikowych – od korzystnych do zupełnego ich zniknięcia. Dobre parametry zbiornikowe są zwykle związane ze strefami większej miąższości tego kompleksu (Barbacki, Uliasz-Misiak, 2003). Korzystne warunki kolektorskie występują w rejonie otworu Węgleszyn IG 1. Przepuszczalność utworów pstrego piaskowca waha się tu w granicach 1,82–11,68%, a porowatość w przedziale 11,3–29,7 mD (Jurkiewicz, 1974). Największą wydajność wód tego

Tab. 2. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód zbiornika górno- i środkowourajskiego
Table 2. Selected hydrothermal parameters of water from the Upper and Middle Jurassic aquifers

Otwór <i>Well</i>	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał [m p.p.t.] <i>Stratigraphic unit and tested interval [m b.g.]</i>	Temperatura złożowa wód <i>Formation water temperature</i> [°C]	Przyływ <i>Flow rate</i> [m ³ /h]	Mineralizacja ogólna <i>Total dissolved solids</i> [g/dm ³]
Węgrzynów IG 1	oksford / <i>Oxfordian</i> 201–582	20	–	<1,0
Wodzisław 2	dogger / <i>Doggerian</i> 1122,0–1127,0	35	2,4	53,25
Potok Mały IG 1	kimeryd / <i>Kimmeridgian</i> 832,5–845,0	30	3,1	3,01
	oksford / <i>Oxfordian</i> 948,0–958,0	33	0,9	8,10
	oksford / <i>Oxfordian</i> 1080,0–1105,0	35	5,3*	9,98
Jędrzejów IG 1	oksford / <i>Oxfordian</i> 1293,0–1308,0	41	0,6	46,08
	oksford / <i>Oxfordian</i> 1568,0–1578,0	48	2,4	68,13
	oksford / <i>Oxfordian</i> 1735,0–1750,0	52	1,3	100,50
Węgleszyn IG 1	oksford / <i>Oxfordian</i> 1276,0–1285,0	41	0,4	33,30

*samowypływ / *free artesian outflow*

poziomu uzyskano w otworze Brzegi IG 1, odwierconym na obszarze permsko-mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (tab. 3; Jurkiewicz, 1995). Duże przyipyły wód z piaskowcowych utworów tego zbiornika (powyżej 15 m³/h) uzyskano także w warunkach stosunkowo niskiego poziomu zwierciadła wody – 334,0 m p.p.t. Natomiast brak utworów tego piętra stwierdzono w profilu otworu Jaronowice IG 1 (Jurkiewicz, 1976).

Dużą zmiennością parametrów zbiornikowych, wynikającą ze zróżnicowanej litologii, charakteryzują się również utwory retyku, które są uważane za jeden z głównych poziomów wodonośnych triasu na obszarze niecki miechowskiej. Właściwości zbiornikowe osadów retyku rozpoznane w odwiertach Jędrzejów IG 1 oraz Węgrzynów IG 1 są dość korzystne – uzyskano szybki przyipyływ solanki (Jurkiewicz, 1999, 1973). Natomiast w rejonie otworu Węgleszyn IG 1 piaskowce retyku są zwięzłe i zawierają więcej frakcji ilastej, przez co mają niekorzystne parametry zbiornikowe. Porowatość utworów wynosi 4,35–4,68%, a największa przepuszczalność – 13 mD. Mimo to po perforacji nastąpił znaczny przyipyływ solanki o temperaturze 53°C i wydajności około 4 m³/h (Jurkiewicz, 1974, tab. 3).

Również wapień muszlowy, w którym jedynie sporadycznie natrafiono na korzystne warunki zbiornikowe, odznacza się dużą zmiennością właściwości. Wyraźnie niekorzystne parametry zbiornikowe występują w nim w środkowej części obszaru badań. W profilach otworów Jaronowice IG 1 oraz Jędrzejów IG 1 utwory wapienia muszlowego cechują się porowatością poniżej 1% i brakiem przepuszczalności. Z kolei w profilu otworu Potok Mały IG 1 spękane skały wapienia muszlowego mają dobre

parametry zbiornikowe i po perforacji uzyskano znaczny przyipyływ solanki o temperaturze 51°C i mineralizacji 135 g/dm³ (Jurkiewicz, 1980, tab. 3).

Na obszarze niecki miechowskiej utwory kajpru mają słabe właściwości zbiornikowe i na ogół stanowią warstwę nieprzepuszczalną. Dopływ wody z tego poziomu obserwowano jedynie w otworze Jędrzejów IG 1, po perforacji w dolnej części profilu (Jurkiewicz, 1999; tab. 3).

Znacznie korzystniejsze parametry hydrogeologiczne mają utwory kajpru w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, gdzie w otworze Brzegi IG 1 uzyskano przyipyływ solanki o temperaturze 32°C i wydajności 11 m³/h (tab. 3), w warunkach zwierciadła wód na poziomie 887 m p.p.t.

Jeszcze lepsze warunki do wykorzystania wód termalnych panują w nadległym piaskowcowo-mułwcowym zbiorniku retyku – co prawda o nieco mniejszej wydajności i niższej temperaturze wód, za to o zwierciadle na poziomie 43,0 m p.p.t. (Jurkiewicz, 1995, tab. 3). Zatem w zbiorniku triasowym najlepsze warunki do wykorzystania wód geotermalnych panują na obszarze obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, czyli w NE części poligonu badawczego (orientacyjny zasięg strefy perspektywicznej przedstawiono na ryc. 3).

Wody triasu mają znacznie wyższą mineralizację niż wody zbiornika cenomańskiego i jurajskiego (tab. 3). Wyjątek stanowi woda z otworu Węgrzynów IG 1, o mineralizacji 1,36 g/dm³, która jest najslabiej zmineralizowaną wodą zbiornika triasu na całym obszarze niecki miechowskiej (Jurkiewicz, 1973). Charakteryzują się także znaczną zawartością jodu, szczególnie w rejonie otworu Brzegi IG 1, dlatego mogą znaleźć zastosowanie w balneoterapii oraz rekreacji. Wody w rejonie otworu Brzegi IG 1 to solanki

Tab. 3. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód zbiornika triasowego
Table 3. Selected hydrothermal parameters of waters from the Triassic aquifer

Otwór <i>Well</i>	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał [m p.p.t.] <i>Stratigraphic unit and tested interval [m b.g.l]</i>	Temperatura złożowa wód <i>Formation water temperature</i> [°C]	Przyipyływ <i>Flow rate</i> [m ³ /h]	Mineralizacja ogólna <i>Total dissolved solids</i> [g/dm ³]
Potok Mały IG 1	wapień muszlowy / <i>Muschelkalk</i> 1700,0–1716,0	51	1,35	135,42
Jędrzejów IG 1	retyk / <i>Rhaetian</i> 1962,5–1976,0	57	1,6	141,35
	retyk / <i>Rhaetian</i> 1999,0–2020,0	58	2,2	150,6
	kajper / <i>Keuper</i> 2178,0–2185,0	62	1	171,19
	kajper–wapień muszlowy / <i>Keuper–Muschelkalk</i> 2197,5–2210,0	63	1,73	172,8
Węgrzynów IG 1	retyk / <i>Rhaetian</i> 934,0–940,0	33	1,74*	1,36
Węgleszyn IG 1	retyk / <i>Rhaetian</i> 2000,0–2015,0	58	4	109,4
	pstry piaskowiec / <i>Buntsandstein</i> 2497,0–2525,0	70	1,5	151,2
Brzegi IG 1	retyk / <i>Rhaetian</i> 955,0–965,0	30	9,8	54,3
	kajper / <i>Keuper</i> 1210,0–1225,0	32	11	80,2
	pstry piaskowiec / <i>Buntsandstein</i> 1530,0–1540,0	43	15,4	72,7

*samowypływ / *free artesian outflow*

termalne typu Cl–Na–Ca. Zawartość jodu dochodzi w nich do 5 mg/dm³ (Jurkiewicz, 1995). Z kolei z otworu Węgleszyn IG 1 uzyskano wodę chlorkowo-sodowo-wapniową, o dużym stężeniu żelaza – do 46 mg/dm³ (Jurkiewicz, 1974). Wody o takim składzie są zaliczane do wód leczniczych (wg Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981).

Zbiornik dewoński

Do dewońskich skał zbiornikowych występujących na obszarze badań należą: piaskowce dolnego dewonu oraz wapienie szczelinowate, wapienie dolomityczne i dolomity środkowego dewonu, rozpoznane w otworach: Potok Mały IG 1, Jaronowice IG 1 i Węgrzynów IG 1 (Jurkiewicz, 1973, 1976, 1980).

W otworze Potok Mały IG 1 piaskowce dolnodewońskie (ems) tworzą kilka poziomów wodonośnych, rozdzielonych osadami ilasto-mułowcowymi o małej przepuszczalności. Przyływ solanki o wydajności 1 m³/h wystąpił w strefie, w której porowatość skał wynosiła 4,9%, a przepuszczalność 10,8 mD, co może świadczyć o dodatkowym udziale porowatości szczelinowej (tab. 4). Również w rejonie otworu Jaronowice IG 1 małą porowatość i przepuszczalność piaskowców dolnego dewonu (ok. 3%) zwiększa przepuszczalnie szczelinowatość (Jurkiewicz, 1976).

W otworze Potok Mały IG 1 przyływ wód o wydajności 1,2 m³/h nastąpił również ze spękanych wapieni i dolomitów dewonu środkowego (eifel) – jednak przy bardzo niskim położeniu zwierciadła – na poziomie ok. 1000 m p.p.t. (Jurkiewicz, 1980). Znaczniejszy przyływ wód stwierdzono w otworze Węgrzynów IG 1 (tab. 4). Utwory dewonu środkowego (żywet), rozpoznane w profilu tego otworu, mają małą przepuszczalność i nieznaczną porowatość, dlatego przypuszcza się, że przyływ solanki nastąpił ze strefy, w której skały uległy silnemu spękaniu. Swobodne zwierciadło wód stabilizowało się na głębokości ok. 146,0 m p.p.t. (Jurkiewicz, 1973). Jest to strefa wód wykazująca najwyższą wydajność zbiornika dewońskiego i jednocześnie najwyższą temperaturę złożową. Woda osiągająca w otworze Węgrzynów IG 1 temperaturę nawet 78°C mogłaby być wykorzystywana do celów grzewczych, lecz niemożliwa to zbyt mała wielkość przyływu. Tak mała wydajność ujęcia mogłaby spowodować, że temperatura wód na wypływie, wskutek wychłodzenia podczas przepływu przez płytsze warstwy, mogłaby nie przekraczać nawet 35°C. Stosunkowo nisko sytuowało się również swobod-

ne zwierciadło tych wód (ok. 140 m p.p.t.). Zawartość składników mineralnych w wodzie z poziomu dewońskiego jest stosunkowo bardzo duża i wynosi 206,6 g/dm³ (Jurkiewicz, 1973). Analiza składu chemicznego wykazała, iż jest to woda typu chlorkowo-wapniowego z wysoką zawartością magnezu i można ją uznać za mineralną wodę termalną, którą można wykorzystać w balneoterapii.

POTENCJALNE ZASOBY ENERGETYCZNE WÓD TERMALNYCH

Zasoby energetyczne możliwe do uzyskania ze zbiorników wód termalnych, tj. ich potencjał techniczny (moc termiczną oraz energię cieplną), oszacowano przy założeniu eksploatacji wód pojedynczym otworem o określonej wydajności i przeznaczeniu do celów grzewczych. Arbitralnie przyjęto, że w rejonach występowania samowypływów wód wydajność ujęć jest dwukrotnie większa od wielkości notowanych przyływów. Ponadto przyjęto, że system odbierający ciepło jest w stanie schłodzić wodę wskutek zastosowania systemu pomp ciepła do temperatury 5°C, oraz że współczynnik rocznego wykorzystania dostępnej mocy cieplnej wynosi ~0,3. Stąd formuły na geotermalną moc i energię cieplną możliwą do wykorzystania z pojedynczego ujęcia mają następującą postać:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot \dot{V} \cdot \Delta t = 1,16 \cdot \dot{V} \cdot (t - 5^{\circ C})$$

$$E_{tech} = 0,3 \cdot P_{tech} \cdot 8760 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \approx 0,0095 \cdot P_{tech}$$

gdzie:

P_{tech} – techniczna moc termiczna pojedynczego ujęcia [kW],

E_{tech} – techniczna energia cieplna z pojedynczego ujęcia [TJ/rok],

\dot{V} – wielkość przyływu [m³/h],

t – temperatura wód [°C]

Δt – schłodzenie wód termalnych [°C],

8760 – liczba godzin w roku [h],

$3,6 \cdot 10^{-6}$ – przelicznik kWh na TJ,

0,3 – współczynnik rocznego wykorzystania mocy cieplnej (w ogrzewnictwie),

1,16 – współczynnik wynikający z iloczynu ciepła właściwego wody (4,2 kJ/kg K) i jej gęstości (1 g/cm³) oraz z wymiaru \dot{V} i t.

Tab. 4. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód zbiornika dolno- i środkowodewońskiego

Table 4. Selected hydrothermal parameters of waters from the Early and Middle Devonian aquifers

Otwór <i>Well</i>	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał [m p.p.t.] <i>Stratigraphic unit and tested interval [m b.g.s.]</i>	Temperatura złożowa wód <i>Formation water temperature</i> [°C]	Przyływ <i>Flow rate</i> [m ³ /h]	Mineralizacja ogólna <i>Total dissolved solids</i> [g/dm ³]
Potok Mały IG 1	eifel / <i>Eifelian</i> 1805,0–1830,0	53	1,2	117,46
	ems / <i>Emsian</i> 1862,5–1875,0	54	1	67,00
Węgrzynów IG 1	żywet / <i>Givetian</i> 2800–2850	78	3	206,60
Jaronowice IG 1	ems / <i>Emsian</i> 2024,0–2030,0	58	2	166,75

Techniczna moc i energia cieplna zbiorników wód termalnych w okolicy Jędrzejowa, oszacowane dla stref otworowych o najkorzystniejszych parametrach geotermalnych (wg tabel 1–4), przedstawiają się następująco:

- zbiornik cenomański
– otwór Potok Mały IG 1:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot 72 \cdot (26 - 5) = 1754 \text{ kW}$$

$$E_{tech} \approx 0,0095 \cdot 1754 \approx 17 \text{ TJ / rok}$$

- zbiornik jurajski (oksford)
– otwór Potok Mały IG 1:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot 11 \cdot (35 - 5) = 383 \text{ kW}$$

$$E_{tech} \approx 0,0095 \cdot 383 \approx 3,6 \text{ TJ / rok}$$

- zbiornik triasowy (pstry piaskowiec)
– otwór Brzegi IG 1:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot 16 \cdot (43 - 5) = 705 \text{ kW}$$

$$E_{tech} \approx 0,0095 \cdot 705 \approx 7 \text{ TJ / rok}$$

- zbiornik dewoński (dewon środkowy)
– otwór Węgrzynów IG 1:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot 3,0 \cdot (78 - 5) = 254 \text{ kW}$$

$$E_{tech} \approx 0,0095 \cdot 254 \approx 2,4 \text{ TJ / rok}$$

PRZYKŁADOWA INSTALACJA BASENU TERMALNEGO

Jednym z możliwych do obrania kierunków zagospodarowania zasobów wód geotermalnych występujących w okolicy Jędrzejowa mogłaby być budowa rekreacyjnego basenu termalnego. W związku z tym, bazując na oszacowanych parametrach hydrogeotermalnych cenomańskiego zbiornika wód podziemnych, opracowano prosty schemat instalacji odkrytego basenu termalnego (ryc. 4), jaki można by było zbudować w rejonie otworów Potok Mały IG 1 i Jędrzejów IG 1. W projekcie tym przyjęto następujące parametry wejściowe:

- temperatura wody złożowej $\sim 30^\circ\text{C}$;
- wydajność ujęcia $\sim 30 \text{ m}^3/\text{h}$;
- mineralizacja wód ok. $0,5 \text{ g}/\text{dm}^3$.

Wyniki modelowań termodynamicznych wskazały, że po okresie tzw. wygrzania otworu (trwającym ok. 1 miesiąca) temperatura wody na wypływie byłaby o ok. 1°C niższa od temperatury złożowej (Bujakowski i in., 2009). Podobne warunki temperaturowe panują np. w kompleksie basenów termalnych na Polanie Szymoszkowej na stokach Gubałówki (temperatura wody w basenie dla dorosłych ma 29°C , a w basenie dla dzieci 32°C , gdyż została podwyższona na poprzez wykorzystanie pomp ciepła).



Ryc. 4. Przykładowy projekt instalacji basenu termalnego w rejonie Jędrzejowa

Fig. 4. Exemplary project of installation of a thermal pool near Jędrzejów

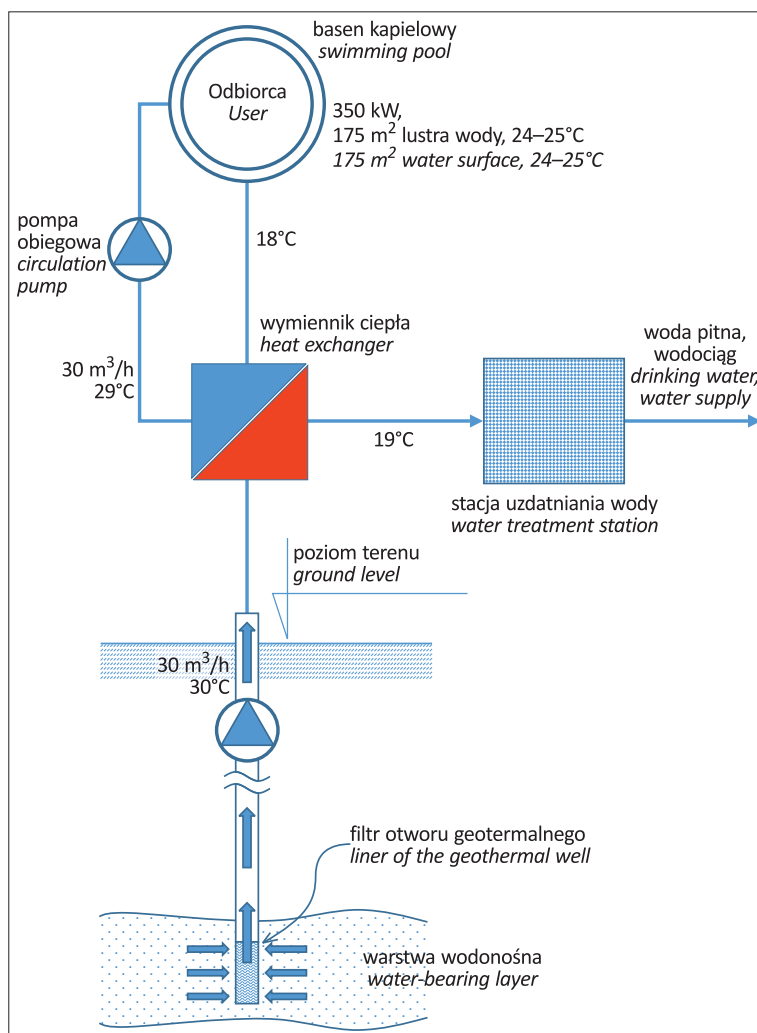
Zapotrzebowanie na moc cieplną niezbędną do całorocznego utrzymania zarówno basenu krytego, jak i odkrytego – łącznie z centralnym ogrzewaniem (c.o.), podgrzewaniem wody w basenie i ciepłą wodą użytkową (c.w.u.) – szacuje się na ok. $3 \text{ kW}/\text{m}^2$ lustra wody w basenie (Pająk, 2008). Moc niezbędną do podgrzania ciepłej wody użytkowej na potrzeby eksploatacji basenu odkrytego oceniono na ok. $1 \text{ kW}/\text{m}^2$ lustra wody (Recknagel i in., 2008).

Zakładając, że na wejściu do obiektu basenowego woda termalna będzie miała temperaturę 29°C i zostanie ona schłodzona przez obiekt do 19°C (czyli $\Delta t = 10^\circ\text{C}$), moc grzewcza instalacji wyniesie:

$$P_{tech} = 1,16 \cdot 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} (29 - 19) \text{K} \approx 350 \text{ kW}$$

Można by było zatem zbudować basen o powierzchni niecki basenowej do 175 m^2 .

Wody cenomanu, ze względu na niską mineralizację ($0,36\text{--}0,6 \text{ g}/\text{dm}^3$ – wg wyników analiz wód z otworów Potok Mały IG 1 i Jędrzejów IG 1), nadają się do spożycia i po uzdatnieniu można je wykorzystać do celów bytowych. Byłaby to dodatkowa korzyść z budowy ujęcia geotermalnego. Stacje uzdatniania wody, np. wykorzystujące technologie membranowe, umożliwiają uzyskanie wody o wysokiej jakości, m.in. z wód o mineralizacji zbliżonej do występującej na omawianym obszarze (Tomaszewska, Pająk, 2012, 2013a, b). W związku z tym przyjęto jednootworowy wariant ujęcia wód i założono, że po wykorzystaniu ciepła eksploatowana woda będzie kierowana do



sieci wodociągowej. Rozważano też rekonstrukcję jednego ze starych otworów (Jędrzejów IG 1 lub Potok Mały IG 1), co byłoby korzystne z uwagi na wysokie koszty nowych wierceń, choć prawdopodobnie niemożliwe do wykonania, biorąc pod uwagę wiek otworów.

WNIOSKI

W wyniku badań stwierdzono, że w rejonie Jędrzejowa najlepszymi parametrami do eksploatacji wód termalnych cechuje się cenomański zbiornik wód podziemnych. Poziom wodonośny tego zbiornika ma dużą wydajność, umożliwiającą jednootworową eksploatację energii cieplnej, i panują w nim warunki artezyjskie. Niska mineralizacja wód cenomanu sprawia, że można je przeznaczyć na cele bytowe. Ponadto korzystne parametry hydrogeotermalne są w tym poziomie rozprzestrzenione na dużym obszarze, co umożliwi znalezienie dużej grupy potencjalnych odbiorców wód i energii z tego źródła. Jednak z powodu niskiej temperatury wód cenomanu, wynikającej z niewielkiej głębokości zalegania zbiornika, jego zasoby mogą być wykorzystywane głównie na potrzeby rekreacji, rolnictwa czy hodowli ryb, natomiast do celów grzewczych – jedynie w skojarzeniu z systemami pomp ciepła. Najlepsze warunki do uzyskania energii z tego poziomu występują w strefie pomiędzy otworem Jędrzejów IG 1 a obszarem miejskim Jędrzejowa.

Drugim zbiornikiem wód podziemnych, występującym w permsko-mezozoicznym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, z którego można by było czerpać energię termalną, jest zbiornik triasowy. Charakteryzuje się on nieco gorszymi parametrami, przede wszystkim mniejszą wydajnością, lecz skład chemiczny i temperatura jego wód stwarzają realne szanse na wykorzystanie ich nie tylko w rekreacji, ale również w balneoterapii. W okolicy otworu Brzegi IG 1 stwierdzono najkorzystniejsze warunki do wykonania nowego otworu badawczego.

Zarówno jurajski, jak i dewoński zbiornik wód podziemnych, wskutek małej wielkości przyływu wód, należy traktować jako zbiorniki o drugorzędym znaczeniu pod względem możliwości wykorzystania zasobów geotermalnych w tym rejonie.

Reasumując, należy stwierdzić, że w rejonie Jędrzejowa występują zasoby geotermalne możliwe do zagospodarowania przede wszystkim na potrzeby rekreacji, balneoterapii bądź rolnictwa, jednak mają one znacznie skromniejszy potencjał energetyczny od stwierdzonego na Podhalu.

Autorzy składają podziękowania Recenzentom i Redaktorowi Naczelnemu za ocenę i uwagi krytyczne do artykułu pozwalające w sposób istotny podnieść merytoryczną wartość tej pracy. Badania przedstawione w niniejszej publikacji były finansowane w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.

LITERATURA

- BARBACKI A.P. 2002 – Geotermalny basen górnej jury centralnej części zapadliska przedkarpackiego i południowo-wschodniej części niecki miechowskiej – budowa geologiczna i warunki hydrogeotermalne. *Prz. Geol.*, 50 (9): 773–782.
- BARBACKI A.P. 2004 – Zbiorniki wód geotermalnych niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. IGSMiE PAN, Stud. Rozpr. Mon., 125.
- BARBACKI A.P., BUJAKOWSKI W., PAJĄK L. 2006 – Atlas zbiorników wód geotermalnych Małopolski, PAN, Kraków.
- BARBACKI A.P., KAZANOWSKA A. 2001 – Cenomańskie wody geotermalne zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych. *Prz. Geol.*, 49 (6): 544–550.
- BARBACKI A.P., ULIASZ-MISIAK B. 2003 – Triasowy zbiornik wód geotermalnych niecki miechowskiej i centralnej części zapadliska przedkarpackiego. *Prz. Geol.*, 51 (6): 517–526.
- BUJAKOWSKI W. (red.) 2000 – Studium możliwości wykorzystania energii geotermalnej w województwie świętokrzyskim. IGSMiE PAN, Kraków.
- BUJAKOWSKI W., BARBACKI A., CZERWIŃSKA B., HOŁOJUCH G., STEFANIUK M., TRZEŚNIEWSKI Z. 2009 – Opracowanie i testy zintegrowanej metodyki prac sejsmomagnetotelurycznych w aspekcie rozpoznania przestrzennego wglębnej budowy geologicznej dla wskazania optymalnej lokalizacji otworów geotermalnych. IGSMiE PAN, Kraków.
- BUJAKOWSKI W., BARBACKI A.P., SKRZYPCZAK R., KASZTELEWICZ A. 2012 – Planowane wiercenie badawcze w Karkonoszach dla potrzeb modelowania termicznego systemów gorących suchych skał (HDR). *Prz. Geol.*, 60 (4): 199–205.
- GŁOWACKI E., HORN E., WARDEGA A., ŻUREK K. 1971 – Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego w Polsce w latach 1945–1970, Niecka Miechowska. t. 2, cz. 2.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1973 – Węgrzynów IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 7.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1974 – Węgleszyn IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 19.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1976 – Jaronowice IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 34.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1980 – Potok Mały IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 51.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1991 – Książ Wielki IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 71.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1995 – Brzegi IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 80.
- JURKIEWICZ H. (red.) 1999 – Jędrzejów IG 1. *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, z. 92.
- PAJĄK L. 2008 – Wymiana ciepła i masy w całorocznych basenach odkrytych – model matematyczny zachodzących procesów, część II. *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*, 9: 15–17.
- RAPORT WIOŚ w Kielcach 1999 – Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w roku 1998. *Woj. Inspektorat Ochr. Środ. w Kielcach*: http://kielce.pios.gov.pl/content/raporty/rocz/1999/rap05_a.htm.
- RECKNAGEL H., SPRENGER E., SCHRAMEK E.R. 2008 – Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo. *Omni Scala*, Wrocław.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L. 2013a – Zagospodarowanie schłodzonych i odsolonych wód termalnych w Podhalańskiej Sieci Ciepłowniczej. *Gosp. Sur. Miner.*, 29 (1): 127–139.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L. 2013b – Using Treated Geothermal Water to Replenish Network Water Losses in a District Heating System. *Polish J. Environ. Stud.*, 22 (1): 249–256.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L. 2012 – Geothermal water resources management – economic aspects of their treatment. *Gosp. Sur. Miner.*, 28 (4): 59–70.
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. *Dz.U.* z 2011 r. nr 163, poz. 981.

Praca wpłynęła do redakcji 11.04.2017 r.
Akceptowano do druku 4.12.2017 r.