

Mariusz SOCHA  
Jakub SOKOŁOWSKI  
Agnieszka FELTER  
Jadwiga STOŻEK  
Państwowy Instytut Geologiczny–  
Państwowy Instytut Badawczy  
Państwowa Służba Hydrogeologiczna  
Samodzielna Sekcja Wód Leczniczych i Termalnych  
00-975 Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Technika Poszukiwań Geologicznych  
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2016

## CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA WÓD TERMALNYCH W REJONIE AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ ORAZ WSTĘPNA OCENA MOŻLIWOŚCI ICH ZAGOSPODAROWANIA

### STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w głębokich otworach wiertniczych w rejonie aglomeracji warszawskiej, wskazujących na występowanie wód termalnych. Scharakteryzowano ich podstawowe parametry fizykochemiczne, takie jak typ chemiczny, mineralizacja i temperatura. Na podstawie analizy przedstawionych informacji wytypowano potencjalne zbiorniki wód termalnych do ich eksploatacji oraz dokonano wstępnej oceny możliwości ich wykorzystania.

### SŁOWA KLUCZOWE

Wody termalne, parametry zbiornikowe, Warszawa

\* \* \*

### WPROWADZENIE

Region aglomeracji warszawskiej leży w obrębie niecki warszawskiej (płockiej) będącej wąską strukturą o rozciągłości NW-SE (Marek 1982). Granice administracyjne aglomeracji zostały ustalone w *Planie zagospodarowania przestrzennego województwa mazowieckiego* (Uchwała Sejmiku Województwa Mazowieckiego z dnia 7 czerwca 2004). Według tego dokumentu w skład aglomeracji oprócz Warszawy wchodzi 15 gmin miejskich, 11 gmin miejsko-wiejskich i 13 gmin wiejskich województwa mazowieckiego, położonych na terenie 10 powiatów ziemskich: nowodworskiego, legionowskiego, warszawskiego zachodniego,

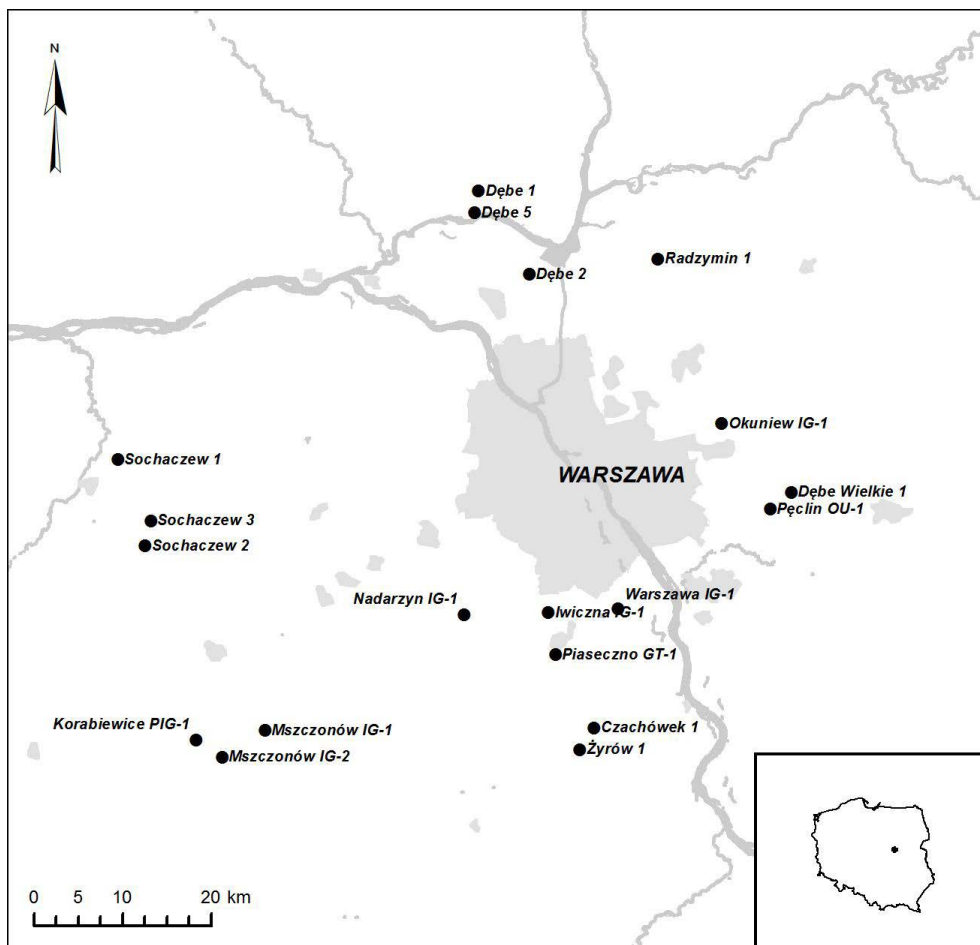
wołomińskiego, żyrardowskiego, grodzkiego, mińskiego, otwockiego, piaseczyńskiego i pruszkowskiego. Z tego jedynie powiat pruszkowski wchodzi w skład aglomeracji w całości, reszta powiatów częściowo.

Występowanie wód termalnych w aglomeracji warszawskiej po raz pierwszy stwierdzone zostało na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku w otworze Iwiczna IG-1, który zlokalizowano na pograniczu Warszawy i Piaseczna. Badania wykazały, że wody termalne występują tam w utworach kredy dolnej (głębokości 1150–1167,5 m) i jury górnej (głębokości 1405–1452 m) (Taube 1958). W następnych latach w aglomeracji warszawskiej wykonano kolejne głębokie otwory wiertnicze, m.in. Dębe 2, Nadarzyn IG-1, Okuniew IG-1, Żyrów 2 i Czachówek 1, które również potwierdziły występowanie wód termalnych (Bojanowski 1972; Dębowska, Marek 1988; Areń 1968; Bloch 1973; Bednarek, Nocoń 1989). W latach siedemdziesiątych XX wieku w Konstancinie Jeziornej odwiercony został otwór Warszawa IG-1, w którym w utworach jury dolnej i środkowej (głębokości 1588–1740 m) stwierdzono występowanie wód termalnych o temperaturze na wypływie 35°C (Szarszewska 1981). Jest to jedyne w aglomeracji warszawskiej czynne ujęcie wód termalnych, eksploatowane na potrzeby uzdrowiska. W 2012 r. w okolicach Piaseczna wykonano otwór wiertniczy Piaseczno GT-1, w którym stwierdzono występowanie wód termalnych w utworach kredy i jury dolnej, jednak nie jest on eksploatowany. Można zatem przyjąć, iż rejon aglomeracji warszawskiej jest obszarem potencjalnie perspektywicznym do zagospodarowania wód termalnych. Potwierdzają to publikacje takie jak: „Atlas zasobów geotermalnych na Niziu Polskim” (Górecki (red.) i in. 2006) i „Mapa zagospodarowania wód zaliczonych do kopalin w Polsce” (Felter i in. 2015).

## 1. BUDOWA GEOLOGICZNA

Agglomeracja warszawska jest położona w obrębie niecki warszawskiej (niecki płockiej), będącej częścią synklinorium brzeżnego – dużej struktury tektonicznej ukształtowanej w obrębie mezozoicznej pokrywy osadowej platformy wschodnioeuropejskiej (Marek (red.) i in. 1983; Żelaźniewicz i in. 2011). Budowa geologiczna pokrywy osadowej została rozpoznana stosunkowo licznymi głębokimi otworami wiertniczymi. Co prawda w granicach administracyjnych Warszawy brak jest głębokich otworów wiertniczych, jednak w jej bliskim sąsiedztwie wykonano kilkanaście wierceń (rys. 1, tab. 1).

Podłoże krystaliczne, zbudowane głównie z gnejsów i pegmatytów, zostało nawiercone jedynie otworem Okuniew IG-1, gdzie zalega na głębokości 4240 m (tab. 1). Jego powierzchnia wyraźnie opada w kierunku południowym i zachodnim. W Mszczonowie na głębokości 5300 m występuje jeszcze nieprzewiercony kompleks osadów syluru. Na fundamencie krystalicznym zalegają utwory kambru dolnego i środkowego, nawiercone otworami położonymi na wschód i północ od Warszawy. Głębokość stropu utworów kambru obniża się wraz z fundamentem krystalicznym od głębokości 2608 m (otw. Dębe 1) (Sikorski 1968) do 3637 m (otw. Okuniew IG-1) (Areń 1968) i jeszcze głębiej w kierunku zachodnim. Miąższość naprzemianległych piaskowców, mułowców i ilowców kambru wynosi około



Rys. 1. Lokalizacja głębokich otworów wiertniczych w rejonie Warszawy (opracowanie własne)

Fig. 1. Locality of deep boreholes in the area of Warsaw (own work)

600 m. Powyżej tych serii z wyjątkiem skrajnie północnej części omawianego obszaru, występują utwory ordowiku o miąższości 50–70 m i zmiennym wykształceniu litofacjalnym. Na wschód od Warszawy są to głównie wapienie, dolomity i margle, w części północno-wschodniej przede wszystkim mułowce, iłowce i margle. Wyżej położone osady to jednorodny kompleks ilasto-mułwcowy syluru o miąższości od niespełna 400 m w rejonie Radzyna do blisko 1300 w okolicy Okuniewa. Strop syluru zalega na głębokości około 2100–2300 m na wschód od Warszawy i zapada w kierunku zachodnim do ponad 5100 m w Mszczonowie. Osady karbonu stwierdzono jedynie na południowy zachód od Warszawy. Ich miąższość wynosi od niespełna 400 m w rejonie Nadarzyna i stopniowo wzrasta ku południowi i zachodowi do ponad 800 m. Pod względem litologicznym jest to niejednorodna seria naprzemianległych piaskowców, iłowców i mułowców o zmiennym udziale procen-

Tabela 1

Zestawienie podstawowych informacji o głębokich otworach wiertniczych w rejonie aglomeracji warszawskiej (Centralna Baza Danych Geologicznych PIG-PIB)

Table 1

Summary of basic information on deep boreholes in the area of the Warsaw agglomeration (Central Geological Database PGI-NRI)

Otwór wiertniczy	Miejscowość	Cel wiercenia Stan obecny	Rok wykonania	Głębokość [m]	Stratygrafia na dnie
Warszawa IG-1	Konstancin-Jeziorna	złożowy czynny	1964	2663	perm górny
Iwiczna IG-1	Stara Iwiczna	badawczy zlikwidowany	1959	1700	jura dolna
Nadarzyn IG-1	Walendów	badawczy zlikwidowany	1975	3840	sylur
Pęcclin OU-1	Kąck	badawczy brak danych	2015	3812	kambr
Dębe Wielkie 1	Wielgolas Duchnowski	badawczy zlikwidowany	1968	3020	sylur
Okuniew IG-1	Okuniew	badawczy zlikwidowany	1967	4298	prekambr
Radzymin 1	Mokre	badawczy zlikwidowany	1968	2790	kambr
Dębe 1	Dębe	kartograficzny zlikwidowany	1968	2679	kambr
Dębe 2	Wieliszew	badawczy zlikwidowany	1971	2675	sylur
Dębe 5	Dębe	badawczy zlikwidowany	1970	3013	sylur
Sochaczew 1	Nowe Mostki	badawczy zlikwidowany	1972	3301	trias górny
Sochaczew 2	Strugi	badawczy zlikwidowany	1974	4466	karbon
Sochaczew 3	Dębówka	badawczy zlikwidowany	1972	2562	jura dolna
Mszczonów IG-1	Mszczonów	badawczy zlikwidowany	1977	4119	karbon
Mszczonów IG-2	Powązki	badawczy zlikwidowany	1976	5300	sylur
Korabiewice PIG-1	Korabka	badawczy zlikwidowany	1991	5250	sylur
Czachówek 1	Bronisławów	badawczy zlikwidowany	1989	3712	sylur
Żyrów 1	Nowe Wągradno	badawczy zlikwidowany	1972	3163	karbon
Piaseczno GT-1	Wólka Kozodawska	geotermalny nieczynny	2012	1911	trias górny

towym poszczególnych facji. Profil paleozoiku w omawianych otworach (tab. 1) kończą zlepieńce, piaskowce, mułowce, iłowce oraz osady węglanowo-ewaporatowe permu o miąższości od około 150 m na północy do ponad 600 m na zachodzie. Głębokość zalegania stropu generalnie zapada ze wschodu na zachód od niespełna 2000 m do ponad 3800 m.

Sukcesję mezozoiczną w omawianych otworach (tab. 1) rozpoczynają osady triasu dolnego reprezentowane przez iłowce i mułowce z wkładkami piaskowców, wapieni i margli. Trias środkowy jest wykształcony w facjach węglanowych, jako wapień, dolomity i margle, także anhydryty. Profil triasu kończy seria iłowcowo-mułowcowo-piaskowcowa (trias górny). Łączna miąższość osadów triasowych wynosi od około 400 m na wschód od Warszawy i wzrasta w kierunku zachodnim do około 900 m. W jurze dolnej na omawianym obszarze osadziły się piaskowce, mułowce i iłowce. Jura środkowa to zarówno osady klastyczne (zlepieńce, piaskowce, mułowce), jak i węglanowe (wapień, dolomity). Skały węglanowe (wapień, margle) pochodzą także z okresu jury górnej. Łączna miąższość osadów jurajskich wynosi od około 600 m na wschodzie do ponad 1700 m w zachodniej części omawianego obszaru, przy głębokości zalegania stropu odpowiednio 900 m i ponad 1600 m. Z okresu kredy dolnej pochodzą przede wszystkim morskie piaskowce i mułowce, a profil mezozoiku kończą głównie różnego rodzaju skały węglanowe (margle, wapień, opoki, gezy, kreda pisząca) oraz piaski kredy górnej. Na całym obszarze zalegają one na mniej więcej zbliżonej głębokości około 200–300 m i osiągają miąższość od około 650 m do niemal 1500 m (Centralna Baza Danych Geologicznych PIG–PIB).

Podłoże czwartorzędu w omawianych otworach (tab. 1) tworzą wapień i margle paleocenu, piaskowce oligocenu, piaski i mułki z domieszką węgla brunatnych miocenu oraz ily pliocenu. Na powierzchni terenu występują osady pochodzenia lodowcowego (piaski, żwiry, gliny). Miąższość osadów kenozoicznych jest zmienna i wynosi na ogół ponad 200 m (Centralna Baza Danych Geologicznych PIG–PIB).

## 2. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE POZIOMÓW WÓD TERMALNYCH

Stan rozpoznania poszczególnych zbiorników wód termalnych jest nierównomierny z uwagi na zróżnicowany zakres badań hydrogeologicznych przeprowadzonych w poszczególnych otworach. Dwa spośród nich to ujęcia eksploatacyjne wód termalnych (otw. Mszczonów IG-1) i leczniczych (otw. Warszawa IG-1). Otwór Piaseczno GT-1 nie został dotychczas udokumentowany. Pozostałe natomiast to w większości zlikwidowane otwory badawcze, w których rozpoznanie stref zawodnionych ograniczono do badań próbnikami złoże. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę poszczególnych poziomów wodonośnych opartą na uzyskanych wynikach opróbowań.

### **Kreda dolna**

Poziom kredy dolnej udostępniono do badań m.in. otworem Iwiczna IG-1. Przeprowadzono je przy wykorzystaniu próbnika złoże zapiętego w głębokości 1150–1167 m.

Z piaskowców i mułowców uzyskano przyływ wody typu Cl-Na o mineralizacji  $1,2 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $34^\circ\text{C}$ . Wielkość przyływu wody wynosiła  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ . Analogicznie wykształcony poziom kredy dolnej zbadano także otworem Nadarzyn IG-1, uzyskując z głębokości 1209–1240 m wody typu Cl-Na, I o mineralizacji  $10,4 \text{ g/dm}^3$ . Wielkość dopływu wody do próbnika wynosiła  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ , a temperatura wody wytłoczonej kompresorem  $29^\circ\text{C}$ . W oddalonym najbardziej na południe otworze Żyrów 1, mineralizacja wód typu Cl-Na na głębokości 1208–1220 m wyniosła  $28 \text{ g/dm}^3$ . We wschodniej części omawianego obszaru poziom kredy zbadano w otworze Dębe Wielkie 1 na głębokości około 900 m. Otrzymano wodę o mineralizacji  $11 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $31^\circ\text{C}$  (Barbacki, Bujakowski 2010). Z kolei w rejonie Sochaczewa z głębokości 1169–1185 m uzyskano dopływ wód w ilości  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ , których temperatura w złożu wynosiła  $40^\circ\text{C}$ . Charakterystyka hydrochemiczna wód jest utrudniona z uwagi na zanieczyszczenie pobranych próbek płuczką. Najdokładniej poziom kredy dolnej został zbadany w otworze Mszczonów IG-1. Ujęto nim naprzemianległe piaskowce i mułowce zalegające na głębokości 1602–1714 m. Uzyskano wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  o mineralizacji jedynie  $0,4 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze na wypływie  $40^\circ\text{C}$ . Zasoby eksploatacyjne ujęcia ustalono w ilości  $60 \text{ m}^3/\text{h}$  przy depresji 25 m. Wody te są wykorzystywane do celów grzewczych i rekreacyjnych, a po schłodzeniu także do celów komunalnych. Roczny pobór wód z ujęcia kształtuje się na poziomie  $350\,000 \text{ m}^3$  (Skrzypczyk, Sokołowski 2015). Porównywalne wyniki otrzymano w otworze Korabiewice PIG-1 (Gaździcka, Marek 1993).

### **Jura górna**

Poziom jury górnej zbadano otworem Iwiczna IG-1. Badanie przeprowadzono próbnikiem złoża w interwale 1405–1452 m zbudowanym z wapieni. Uzyskano wody typu Cl-Na-Ca o mineralizacji  $28,9 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $45^\circ\text{C}$ . Wielkość przyływu wody określono na  $35 \text{ m}^3/\text{h}$ . Na północ od Warszawy (otw. Dębe 1) w wapieniach na głębokości 1466–1486 m badanie próbnikiem złoża wykazało obecność wód o zawartości chlorków około  $50 \text{ g/dm}^3$ . Wielkość dopływu wody określono na  $3,3 \text{ m}^3/\text{h}$ . W płytszym interwale (głębokość 990–999 m) otworem Dębe 2 z wapieni i margli uzyskano wody typu Cl- $\text{HCO}_3\text{-Na}$  o mineralizacji  $2,1 \text{ g/dm}^3$ . W zachodniej części aglomeracji warszawskiej z utworów jury górnej na głębokości 1644–1685 m uzyskano  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  wody o mineralizacji ponad  $86 \text{ g/dm}^3$  (Bojanowski 1973).

### **Jura środkowa**

Poziom jury środkowej został opróbowany otworem Nadarzyn IG-1. Uzyskano wody typu Cl-Na, I o mineralizacji  $84,4 \text{ g/dm}^3$ . W literaturze brak danych na temat temperatury wód i wielkości dopływu do otworu. Utwory tego wieku poddano badaniom hydrogeologicznym także w otworze Sochaczew 1, gdzie na głębokości 1945–1989 m napotkano wody o mineralizacji  $97 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze w złożu  $58^\circ\text{C}$  (Bojanowski 1973). Wielkość dopływu wody do próbnika określono na  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Głębszą część omawianego poziomu (2617–2656 m) opróbowano otworem Sochaczew 2. Uzyskano przyływ w ilości  $91 \text{ m}^3/\text{h}$  wody typu Cl-Na o mineralizacji  $108 \text{ g/dm}^3$  (Bojanowski 1975).

### **Jura dolna**

Poziom jury dolnej (wraz ze spągową częścią jury środkowej) został ujęty otworem Warszawa IG-1 w uzdrowisku Konstancin-Jeziorna. Ujęto nim naprzemianległe piaskowce, mułowce i iłowce oraz, w części stropowej, wapienie i dolomity, zalegające w strefie głębokości 1536–1750 m. Uzyskano wody typu Cl-Na, I, Fe o mineralizacji  $69,4 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze na wypływie  $35^\circ\text{C}$ . Zasoby eksploatacyjne ujęcia ustalono w ilości  $9,12 \text{ m}^3/\text{h}$  przy depresji niespełna 5 m. Wody te zostały uznane za lecznicze i są wykorzystywane do celów balneoterapeutycznych w formie inhalacji okołotężniowych (Felter i in. 2015). Roczny pobór wód z ujęcia kształtuje się na poziomie  $2400 \text{ m}^3$  (Skrzypczyk, Sokołowski 2015). Dotychczas nie wykorzystuje się ich potencjału geotermalnego. Korzystne warunki występowania wód termalnych w zbiorniku jury dolnej potwierdzono otworem Czachówek 1, w którym na głębokości 1900 m stwierdzono wody o temperaturze  $46^\circ\text{C}$ . We wschodniej części regionu (otw. Okuniew IG-1) z piaskowców i mułowców jury dolnej zalegających na głębokości 1431–1504 m uzyskano  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  wody typu Cl-Na o mineralizacji  $52,9 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $24^\circ\text{C}$  (zaniżonej na skutek pomiaru na powierzchni po wydobyciu wody łyżką wiertniczą). Wartość temperatury w złożu wynosi  $40^\circ\text{C}$  (Felter i in. 2015). Na zbliżonej głębokości otworem Dębe Wielkie 1 stwierdzono wody o mineralizacji  $51 \text{ g/dm}^3$  i temperaturze  $44^\circ\text{C}$  w złożu (Barbacki, Bujakowski 2010). Na zachód od Warszawy, w rejonie Sochaczewa, opróbowano utwory jury dolnej zalegające na głębokości około 2500 m. Otrzymano dopływ wód typu Cl-Na w ilości około  $30\text{--}40 \text{ m}^3/\text{h}$  o mineralizacji  $100\text{--}120 \text{ g/dm}^3$ . W otworze Sochaczew 1 temperatura wód w złożu wynosiła  $70^\circ\text{C}$  dla interwału 2465–2533 m i  $86^\circ\text{C}$  dla poziomu 2816–2837 m (Bojanowski 1973).

### **Trias dolny**

Informacji o warunkach panujących w poziomie triasu dolnego dostarczył otwór Nadarzyn IG-1. W wyniku szczypania uzyskano wody typu Cl-Na-Ca, I, o bardzo wysokiej mineralizacji sięgającej  $175,0 \text{ g/dm}^3$ . Brak jest danych na temat temperatury wód i wielkości dopływu do otworu. Trias dolny, wraz ze znaczną częścią triasu środkowego i stropową partią permu, został opróbowany także otworem Dębe Wielkie 1. Z interwału 1677–1948 m otrzymano przyływ wody w ilości około  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  (Barbacki, Bujakowski 2010).

### **Perm**

Osady permu zbadano otworem Okuniew IG-1, uzyskując z wapieni i anhydrytów występujących na głębokości 2252–2269 m przyływ wody jedynie w ilości  $0,24 \text{ m}^3/\text{h}$ . W literaturze brak danych na temat pozostałych parametrów poziomu (Areń 1968).

### **Karbon**

Utwory karbonu opróbowano dwukrotnie otworem Nadarzyn IG-1 metodą szczypania. Otrzymano wody typu Cl-Na-Ca, I o bardzo wysokiej mineralizacji sięgającej od  $276,4$  do  $295,6 \text{ g/dm}^3$  (Dębowska, Marek 1989). Brak danych na temat temperatury wód i wielkości dopływu do otworu. Zbadano je także (wraz ze spągową częścią permu) w rejonie Cza-

chówka i Żyrowa, stwierdzając występowanie wód typu Cl-Na i Cl-Na-Ca o mineralizacji 259,0–277,0 g/dm<sup>3</sup> i wydajności od 10 do 36 m<sup>3</sup>/h (Bednarek, Nocoń 1989; Bloch 1973).

### **Kambr**

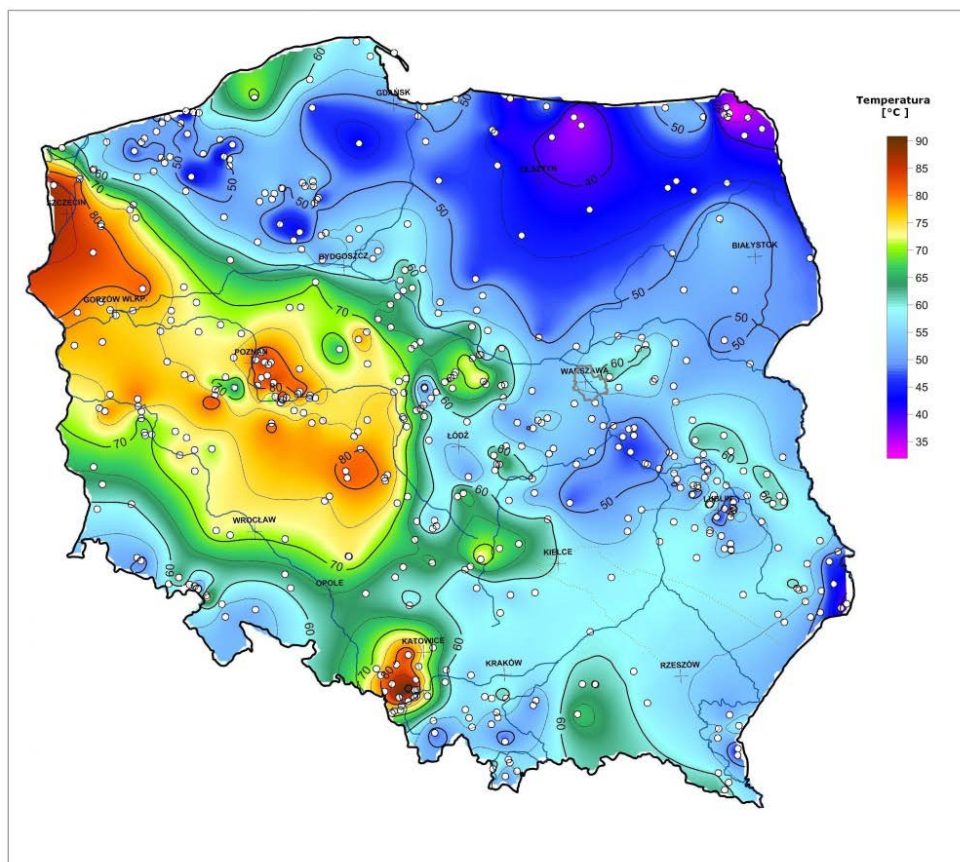
W utworach kambru występują wody o mineralizacji ponad 238 g/dm<sup>3</sup>. Nawiercono je otworem Okuniew IG-1, uzyskując z piaskowców, mułowców i iłowców zalegających na głębokości 3634–4031 m znikomy dopływ wody w ilości 0,1 m<sup>3</sup>/h (Areń 1968).

## **3. WARUNKI GEOTERMICZNE**

Temperatura wód podziemnych zależy od głębokości występowania poziomów wodonośnych, wartości strumienia ciepłego oraz właściwości termicznych skał w profilu geologicznym, a zwłaszcza ich przewodnictwa ciepłego (Szewczyk 2007). Powierzchniowy strumień ciepły posiada składową kondukcyjną, która związana jest z przewodnictwem ciepłym skał i składową konwekcyjną, która związana jest z przenoszeniem ciepła w wyniku ruchu wód podziemnych. W Polsce do głębokości 1500–2000 m wpływ na wartość gęstości strumienia ciepłego mogą mieć plejstoceny warunki paleoklimatyczne (Paczyński, Sadurski (red.) 2007). Stopień gęstości strumienia ciepłego Ziemi w południowej części aglomeracji warszawskiej jest stosunkowo niski i przyjmuje wartości na poziomie 60 mW/m<sup>2</sup> (rys. 2). Podobnie sytuacja wygląda w części północnej i zachodniej aglomeracji. Nieco wyższe wartości przyjmuje stopień gęstości strumienia ciepłego Ziemi na wschód od Warszawy kształtując się na poziomie 65 mW/m<sup>2</sup> (rys. 2).

Konsekwencją wartości strumienia ciepłego jest wartość gradientu geotermicznego, tj. przyrostu temperatury w funkcji głębokości. Jak wykazały badania geofizyczne w otworach na południu aglomeracji warszawskiej średni gradient geotermiczny w utworach kredy dolnej wynosi 1,6°C/100 m, a w utworach jury dolnej 2,2°C/100 m (Dębowska, Marek 1988). Na tej podstawie można przypuszczać, że w południowej części aglomeracji warszawskiej temperatura w stropie najpłycej występującego poziomu wodonośnego branego pod uwagę, jako zbiornik wód termalnych, tj. kredy dolnej (głębokość około 1150 m) wynosi około 30–35°C, a w stropie poziomu wodonośnego jury dolnej (głębokość około 1750 m) uważanego za najbardziej perspektywiczny zbiornik wód termalnych na Niżu Polskim wynosi około 40–45°C (Górecki (red.) i in. 2006). Potwierdzają to wyniki pomiarów temperatury w otworze wiertniczym Czachówek 1, w którym temperatura wód z utworów jury dolnej zmierzona w złożu wyniosła 45°C. Natomiast w otworze Żyrów 2, znajdującym się na południe od Czachówka, temperatura wód z utworów jury dolnej zalegających na głębokości około 2350 m wyniosła 53°C (Bojanowski 1973; Bednarek, Nocoń 1989). W północnej i zachodniej części aglomeracji warszawskiej temperatura w stropie najpłycej występującego poziomu wodonośnego branego pod uwagę, jako zbiornik wód zmineralizowanych, tj. kredy dolnej podobnie jak na południu aglomeracji wynosi około 30–35°C, a w stropie poziomu wodonośnego jury dolnej około 40–50°C (Górecki (red.) i in. 2006). We wschodniej czę-





Rys. 2. Mapa temperatury na głębokości 2000 m (Szewczyk 2010)

Fig. 2. Temperature map at depth of 2000 m (Szewczyk 2010)

ści aglomeracji warszawskiej temperatury wód w utworach kredy i jury dolnej będą mimo wyższego stopnia gęstości strumienia ciepłego Ziemi bardzo podobne do tych w części północnej i zachodniej.

#### 4. MOŻLIWOŚCI ZAGOSPODAROWANIA WÓD TERMALNYCH

Wykorzystanie energii wód termalnych opłacalne ekonomicznie powinno być oparte na szczegółowej analizie warunków geologicznych, hydrogeologicznych i geotermicznych oraz określeniu rynku potencjalnych odbiorców, a także ryzyka związanego z planowaną inwestycją. Ryzyko inwestycyjne należy identyfikować poprzez określenie czynników zależnych od warunków hydrogeologicznych na danym obszarze (wydajności, temperatury, głębokości zalegania warstwy wodonośnej, mineralizacji i składu chemicznego), sposobu obciążenia instalacji (czasu wykorzystania pełnej mocy cieplnej ujęcia, stopnia schłodzenia wód ter-

malnych, odległości otworów wiertniczych od odbiorców, koncentracji zapotrzebowania na ciepło), makrootoczenia (kosztów produkcji ciepła metodami konwencjonalnymi, poziomu stóp procentowych kredytów inwestycyjnych, polityki proekologicznej państwa itp.) (Górecki (red.) i in. 2006; Socha 2008).

Z przeprowadzonej analizy warunków geologicznych, hydrogeologicznych i geotermicznych panujących na obszarze aglomeracji warszawskiej wynika, że predysponowane do gospodarczego wykorzystania są zmineralizowane wody termalne występujące w utworach mezozoicznych – kredy dolnej i jury dolnej. Z uwagi na zróżnicowanie ich temperatury i wydajności oraz mineralizacji, zależnie od celu planowanego ich zagospodarowania, można brać pod uwagę ujmowanie różnych horyzontów wodonośnych do różnych celów. W przypadku aglomeracji warszawskiej pod uwagę należy brać szczególnie rekreację, lecznictwo i rehabilitację, a w południowej jej części także zagospodarowanie wód termalnych do celów ciepłowniczych.

### W rekreacji

Do celów rekreacyjnych stosowane są na ogół wody o odpowiednio wysokiej temperaturze (24–30°C), która eliminuje konieczność ich podgrzewania przed podaniem do basenów (tab. 2). Biorąc pod uwagę warunki hydrogeologiczne występujące w rejonie aglomeracji warszawskiej należy stwierdzić, że istnieje możliwość uzyskania zmineralizowanych wód chlorkowych o odpowiedniej temperaturze (35–40°C) i wykorzystanie ich w kompleksach rekreacyjnych. Mezozoiczne poziomy wodonośne w rejonie aglomeracji warszawskiej charakteryzują się na ogół odpowiednią wydajnością do zaopatrzenia basenów (5–10 m<sup>3</sup>/h). Informacje dotyczące orientacyjnych parametrów wód wykorzystywanych do celów rekreacyjnych zaprezentowano w tabelach 2 a i b. Ze wstępnej oceny wynika, iż w przypadku wykorzystania do celów rekreacyjnych, jako perspektywiczny należy uznać poziom jury dolnej.

Jak pokazują krajowe doświadczenia większość gości odwiedzających poszczególne ośrodki z basenami geotermalnymi dojeżdża do nich z miejsca zamieszkania średnio od 60 do

Tabela 2

*Przydatność wód mineralnych i termalnych w lecznictwie i rekreacji wg (a) Paczyński, Płochniewski (1996) oraz (b) Górecki (red.) i in. (2006)*

Table 2

*Applicability of mineral and thermal waters in medicine and recreation according to (a) Paczyński, Płochniewski (1996) and (b) Górecki (ed.) et al. (2006)*

a)			b)		
Basen	Temperatura [°C]	Mineralizacja [g/dm <sup>3</sup> ]	Kąpiel	Temperatura [°C]	Mineralizacja [g/dm <sup>3</sup> ]
Rekreacyjny	24–30	≤35	Rekreacyjna	24–30	<35
Rekreacyjno-leczniczy	28–32	≤35–40	Rekreacyjno-lecznicza	28–32	<40
Leczniczy	28–37	<50	Lecznicza	28–42	≤60

90 minut (Hałaj, Kępińska 2013). Dojazd z centrum Warszawy samochodem do ewentualnego kompleksu rekreacyjnego w aglomeracji warszawskiej mógłby zajmować około 30–40 minut, a w wielu przypadkach istnieje również możliwość dojazdu komunikacją miejską lub aglomeracyjną ([www.google.pl/maps](http://www.google.pl/maps)). A zatem jako potencjalnych gości takiego kompleksu należy uznać mieszkańców Warszawy i całej aglomeracji. Jest to olbrzymi potencjał gwarantujący dobrą frekwencję w kompleksie na przestrzeni całego roku. Szczególnie perspektywiczna pod względem zagospodarowania wód termalnych w rekreacji jest południowa część aglomeracji warszawskiej. Obszar ten charakteryzuje się dobrą infrastrukturą komunikacyjną i techniczną oraz takimi warunkami hydrogeologicznymi występowania wód termalnych, które predysponują je do kaskadowego wykorzystania w połączeniu z funkcją ciepłowniczą.

### **W balneoterapii**

Zmineralizowane wody chlorkowe z zawartością jodu w stężeniach powyżej 1 g/dm<sup>3</sup> i temperaturze na wypływie powyżej 20°C, których obecności w utworach mezozoicznych należy się spodziewać na obszarze aglomeracji warszawskiej, są wykorzystywane do celów balneoterapeutycznych w osiemnastu uzdrowiskach w kraju. Do kąpeli stosuje się na ogół wody o mineralizacji do 60–80 g/dm<sup>3</sup>, a w przypadku chorób skórnych nawet do 100 g/dm<sup>3</sup>. Temperatura kąpeli wannowych wynosi zazwyczaj 36–38°C, a basenowych 28–42°C. W kuracji pitnej stosuje się wody o maksymalnym stężeniu wynoszącym 15 g/dm<sup>3</sup>, natomiast do inhalacji i płukań do 20–30 g/dm<sup>3</sup> (Felter i in. 2015). Z uwagi na stosunkowo niewielkie zużycie wód do celów balneoterapeutycznych, wydajność ujęć służących do zaopatrzenia uzdrowisk często nie przekracza kilku m<sup>3</sup>/h. W przypadku zaopatrywania basenów leczniczych, leczniczo-rekreacyjnych lub rekreacyjnych powinna wynosić co najmniej kilkanaście m<sup>3</sup>/h. Na obszarze aglomeracji warszawskiej warunki dla ujęcia wód typu Cl-Na, I, o odpowiednio wysokiej mineralizacji, wydajności oraz temperaturze występują w zbiornikach mezozoicznych, a w szczególności w jurze dolnej. Tego typu wody lecznicze wykorzystywane są w jedynym uzdrowisku aglomeracji warszawskiej – w Konstancinie-Jeziornej, położonym w południowej jej części. Ze względu na konkurencję ze strony Konstancina oraz z uwagi na wyjątkowe walory przyrodniczo-krajobrazowe (Kampinoski Park Narodowy) korzystną lokalizacją dla potencjalnych nowych obiektów uzdrowiskowych jest zachodnia i północna część aglomeracji warszawskiej. Możliwe jest również połączenie funkcji rekreacyjnej z balneoterapeutyczną.

### **W ciepłownictwie**

Od początku lat dziewięćdziesiątych XX w. wykorzystanie wód termalnych stało się w kraju przedmiotem szczególnego zainteresowania, które początkowo wynikało z uzasadnionego przekonania, że stanowią one powszechnie występujące i tanie źródło energii cieplnej. Dotychczas powstało sześć ciepłowni geotermalnych, których budowa i funkcjonowanie pozwoliły na zebranie informacji dotyczących optymalnych warunków dla realizacji tego rodzaju inwestycji, ich faktycznych kosztów oraz ryzyka inwestycyjnego i geologicznego. Ciepłownie geotermalne zostały zlokalizowane na obszarach charakteryzujących się najko-

rzystniejszymi w skali kraju warunkami dla występowania i ujmowania wód termalnych – na obszarze niecki podhalańskiej (ciepłownia w Bańskiej Niżnej) oraz niecek: szczecińskiej (ciepłownie w Pyrzycach i Stargardzie Szczecińskim), łódzkiej (ciepłownie w Poddębicach i Uniejowie) i warszawskiej (ciepłownia w Mszczonowie) (Felter i in. 2015). Rejon aglomeracji warszawskiej, zwłaszcza jego północną część, należy uznać za nieco mniej perspektywiczną dla ciepłownictwa. Jednak nie należy takiego wykorzystania wód termalnych całkiem wykluczyć. W części południowej aglomeracji występują wody o parametrach korzystnych dla ciepłownictwa. Główną przeszkodą dla rozwoju ciepłownictwa w tym regionie będzie konieczność poniesienia wysokich nakładów inwestycyjnych na budowę sieci przesyłowej ze względu na rozproszoną zabudowę, wyjątkiem mogą być jednak większe miasta, jak Piaseczno, Konstancin Jeziorna czy Góra Kalwaria; aby to jednak ostatecznie potwierdzić należy przeprowadzić szczegółowe analizy ekonomiczne opłacalności inwestycji geotermalnych w tych miastach. Analizy te powinny uwzględniać koszty środowiskowe i ryzyko geologiczne związane z eksploatacją wód termalnych i leczniczych opartą na metodach NPV i EMV.

## PODSUMOWANIE

Region aglomeracji warszawskiej jest obszarem perspektywnym dla zagospodarowania wód termalnych w rekreacji, balneoterapii oraz w ciepłownictwie.

W południowej części aglomeracji do celów rekreacyjnych wykorzystywane mogą być wody termalne z utworów kredy dolnej, są to wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  i  $\text{Cl-Na}$  o mineralizacji od 0,4 do 28  $\text{g/dm}^3$ , wydajności od kilku do nawet kilkudziesięciu  $\text{m}^3/\text{h}$  i temperaturze na wypływie od około 29 do 40°C. W wodach ujmowanych otworem Nadarzyn IG-1 stwierdzono występowanie jodu w ilościach farmakologicznie istotnych, co pozwala również zakładać wykorzystanie wód termalnych tego regionu w balneoterapii (Dębowska, Marek 1988).

W ciepłownictwie i rekreacji na południe od Warszawy mogą być wykorzystywane wody termalne z utworów jury dolnej; są to wody  $\text{Cl-Na}$  o mineralizacji od 50 do 70  $\text{g/dm}^3$ , wydajności kilkudziesięciu  $\text{m}^3/\text{h}$  i temperaturze na wypływie prawdopodobnie przekraczającej 45°C (Górecki (red.) 2006). Poziom jury dolnej (wraz ze spągową częścią jury środkowej) został ujęty otworem Warszawa IG-1 w uzdrowisku Konstancin-Jeziorna. Uzyskano z niego wody typu  $\text{Cl-Na}$ , I, Fe, które zostały uznane za lecznicze i są wykorzystywane do celów balneoterapeutycznych w formie inhalacji okołotężniowych (Felter i in. 2015).

Zachodnia część aglomeracji warszawskiej posiada także korzystne warunki do wykorzystania wód termalnych z utworów kredy i jury dolnej w ciepłownictwie i rekreacji. Istotny problem jednak może stanowić ich wysoka mineralizacja. W otworach Sochaczew 1 i 2 stwierdzono występowanie wód typu  $\text{Cl-Na}$  o mineralizacji na poziomie średnio 100  $\text{g/dm}^3$  i temperaturze przekraczającej w złożu 86°C (dla poziomu 2816–2837 m – jura dolna) (Bojanowski 1973, 1975).

Wykorzystanie wód termalnych do celów rekreacyjnych i balneoterapeutycznych możliwe jest również w północnej i wschodniej części aglomeracji warszawskiej. W utworach jury górnej (otwory Dębe 1 i Dębe 2) i jury dolnej (otwór Okuniew IG-1) stwierdzono występowanie wód termalnych typu Cl-HCO<sub>3</sub>-Na i Cl-Na o mineralizacji od 2 do 53 g/dm<sup>3</sup>, wydajności kilku m<sup>3</sup>/h i temperaturze w złożu dochodzącej do około 30°C (Areń 1968).

Największy potencjał i gospodarcze znaczenie mają w aglomeracji warszawskiej wody termalne zbiorników kredy i jury dolnej. Najkorzystniejsze warunki dla ich wykorzystania do celów rekreacyjnych w połączeniu z funkcją balneoterapeutyczną oraz w ciepłownictwie występują w południowej jej części.

Pozostałe poziomy wodonośne w aglomeracji warszawskiej, w których stwierdzono występowanie wód termalnych ze względu na parametry fizykochemiczne mają mniejsze znaczenie gospodarcze.

Artykuł zrealizowano w ramach tematu Uwarunkowania eksploatacji i ochrony wód podziemnych w świetle kosztów środowiskowych (61.8504.1302.00.0). Autorzy dziękują Recenzentom i Redaktorowi Naczelnemu Techniki Poszukiwań Geologicznych, Zrównoważony Rozwój za cenne komentarze i uwagi.

## LITERATURA

- AREŃ B., 1968 — Dokumentacja wynikowa otworu Okuniew IG-1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BARBACKI A., BUJAKOWSKI W., 2010 — Wstępne rozpoznanie wód termalnych w rejonie Warszawy. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, nr 1–2.
- BEDNAREK D., NOCOŃ W., 1989 — Dokumentacja wynikowa otworu Czachówek-1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BLOCH J., 1973 — Dokumentacja wynikowa otworu Żyrów 2. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BOJANOWSKI M., 1972 — Dokumentacja wynikowa otworu Dębe 2. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BOJANOWSKI M., 1973 — Dokumentacja wynikowa otworu Sochaczew 1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BOJANOWSKI M., 1973 — Dokumentacja wynikowa otworu Żyrów 2. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- BOJANOWSKI M., 1975 — Dokumentacja wynikowa otworu Sochaczew 2. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- DĘBOWSKA J., MAREK S., 1988 — Mszczonów IG-1, Mszczonów IG-2, Nadarzyn IG-1. Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Zeszyt 65. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- FELTER A., SKRZYPCZYK L., SOCHA M., SOKOŁOWSKI J., STOŻEK J., GRZYCKO-GOSTYŃSKA A., 2015 — Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopaliny w Polsce. Skala 1:1 000 000. Tekst objaśniający. PIG-PIB, Warszawa.

- GAŹDZICKA E., MAREK S., 1993 — Dokumentacja wynikowa otworu Korabiewice PIG-1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- GÓRECKI W. (red. nauk.), 2006 — Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Nizinie Polskiej. AGH, Kraków.
- HAŁAJ E., KĘPIŃSKA B., 2013 — Stan i perspektywy rozwoju geotermalnej balneoterapii i rekreacji w Polsce. [W:] Rekreacyjne wykorzystanie wód geotermalnych w krajach Grupy Wyszehradzkiej (Dej, Huculak, Jarczewski, red.), Kraków.
- MAREK S. (red.), 1983 — Budowa geologiczna niecki warszawskiej (płockiej) i jej podłoża. Prace IG, CIII.
- MAREK S., 1982 — Uwagi o budowie geologicznej niecki płockiej (warszawskiej). Przegląd Geologiczny nr 9, 449–458.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 — Hydrogeologia regionalna Polski. Tom II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane. PIG, Warszawa.
- PACZYŃSKI B., PŁOCHNIEWSKI Z., 1996 — Wody mineralne i lecznicze Polski. PIG, Warszawa.
- Plan zagospodarowania przestrzennego województwa mazowieckiego – Uchwała Sejmiku Województwa Mazowieckiego z dnia 7 czerwca 2004.
- SIKORSKI B., 1968 — Dokumentacja wynikowa otworu Dęba 1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- SKRZYPCZYK L., SOKOŁOWSKI J., 2015 — Solanki, wody lecznicze i termalne. [W:] Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2014 r. (Szufflicki, Malon, Tymiński red.). PIG-PIB, Warszawa.
- SOCHA M., 2008 — Geośrodowiskowe uwarunkowania wykorzystania energii wód termalnych paleogeńsko-mezozoicznego zbiornika podhalańskiego – praca doktorska. Niepublikowane. Wydział Geologii UW, Warszawa.
- SZAREWSKA Z., 1981 — Aneks do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód leczniczych w kategorii B ujętych otworem Warszawa IG-1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- SZEWCZYK J., 2007 — Strumień ciepły a temperatura i mineralizacja wód podziemnych. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski. Tom II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (Paczyński, Sadurski red.). Państw. Inst. Geol., Warszawa, 14–24.
- SZEWCZYK J., 2010 — Geofizyczne oraz hydrogeologiczne warunki pozyskiwania energii geotermicznej w Polsce. Przegl. Geol. nr 7, 566–573.
- TAUBE J., 1958 – Karta otworu IWICZNA IG-1. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB Warszawa.
- ŻELAŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARNKOWSKI P., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K., 2011 — Regionalizacja tektoniczna Polski. Kom. Nauk. Geol. PAN, Wrocław.

# **OCCURRENCE OF THERMAL WATERS IN THE AREA OF WARSAW AGGLOMERATION WITH A PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF THEIR MANAGEMENT**

## **ABSTRACT**

The article presents the results of studies conducted in deep boreholes indicating the presence of thermal waters in the area of the Warsaw agglomeration. Basic groundwater parameters such as chemical type, mineralization and temperature were characterized. The potential reservoirs of thermal waters were selected, based on the analysis of gathered the information and the preliminary assessment of their possible usage was made.

## **KEYWORDS**

Thermal waters, reservoir parameters, Warsaw city

