

Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej w Małopolsce. Przykład ujęcia w Kalwarii Zebrzydowskiej

Analysis of the possibility to use the Tertiary groundwater in the low-temperature geothermal systems in Małopolska. Kalwaria Zebrzydowska Case Study

Justyna Mazurkiewicz¹, Ewa Kmicik¹, Barbara Tomaszewska¹

Streszczenie: W pracy przedstawiono ocenę możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej w województwie małopolskim. Analizę przeprowadzono na przykładzie wód z ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska. Analiza obejmowała ocenę stabilności składu chemicznego badanych wód w zakresie wybranych parametrów kluczowych określonych przez producentów pomp ciepła, ocenę agresywności korozyjnej i możliwości wytrącania osadów wtórnych oraz ocenę właściwości fizykochemicznych wód pod kątem spełnienia wymagań wskazanych przez wiodących producentów pomp ciepła. W pracy wykorzystano wyniki analiz fizykochemicznych wód zgromadzone w bazie danych Monitoringu Wód Podziemnych (MWP). Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, iż analizowane wody z utworów trzeciorzędowych z ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska mogą stanowić dolne źródło ciepła w instalacjach niskotemperaturowych.

Abstract: The paper presents the assessment of using Tertiary groundwater in low-temperature geothermal systems in the Małopolska Province. The analysis was carried out on the example of the II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska intake. In this paper the assessment of stability of the physical and chemical parameters indicated by manufacturers of heat pumps as important for the proper operation of low-temperature installations, was presented. Using the empirical formula method (Ryznar Stability Index and Langelier Saturation Index), the assessment of groundwater quality with reference to its potential of scale formation and corrosivity, were made. The analysis of physical and chemical properties of the waters tested with respect to the requirements indicated by the leading heat pump manufacturers, was presented. Data for this study were obtained from the groundwater monitoring database. The analysis showed that II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska intake has potential to use Tertiary groundwater in low-temperature geothermal systems.

Słowa kluczowe: systemy niskotemperaturowe, pompy ciepła, Małopolska, Kalwaria Zebrzydowska, wody podziemne

Key words: low-temperature geothermal systems, heat pumps, Małopolska, Kalwaria Zebrzydowska, groundwater

WPROWADZENIE

Województwo małopolskie ma możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych w systemach pomp ciepła praktycznie na całym obszarze (Mazurkiewicz 2017).

Wykorzystanie wód podziemnych jako dolnego źródła ciepła może odbywać się w instalacjach jednootworowych (woda po oddaniu ciepła jest zrzucana do cieków

powierzchniowych lub wykorzystana do spożycia, nawadniania itp.) lub dwuotworowych (woda po oddaniu ciepła jest powtórnie zatłaczana do warstwy, z której została pobrana) (Sanner 2001).

Bezawaryjna praca całego systemu wspomaganego pompą ciepła typu woda/woda zależy od właściwości fizykochemicznych wód zastosowanych jako dolne źródło ciepła. Szczegółowa metodyka analizy potencjału wód podziemnych jako dolnego źródła dla instalacji wspomaganego pompą ciepła typu woda/woda została opisana w pracach Mazurkiewicz i in. (2015; 2017).

W niniejszej pracy przeprowadzono ocenę możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów trzecio-

¹ – AGH w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mails: mazurkiewicz@geol.agh.edu.pl,
ewa.kmicik@agh.edu.pl, barbara.tomaszewska@agh.edu.pl

rządowych w systemach wspomaganych pompą ciepła (instalacje dwuotworowe i jednootworowe) na przykładzie ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska (stacja hydrogeologiczna I rzędu PIG-PIB – punkt sieci krajowej monitoringu wód podziemnych), położonego we wschodniej części powiatu wadowickiego, w gminie Kalwaria Zebrzydowska. W tym celu oszacowano moc cieplną możliwą do uzyskania z analizowanego ujęcia, dokonano oceny stabilności składu chemicznego badanych wód w zakresie wybranych parametrów kluczowych określonych przez producentów pomp ciepła, przeprowadzono analizę agresywności korozyjnej i możliwości wytrącania osadów wtórnych oraz oceniono właściwości fizykochemiczne tych wód pod kątem spełnienia wymagań wskazanych przez wybranych producentów urządzeń.

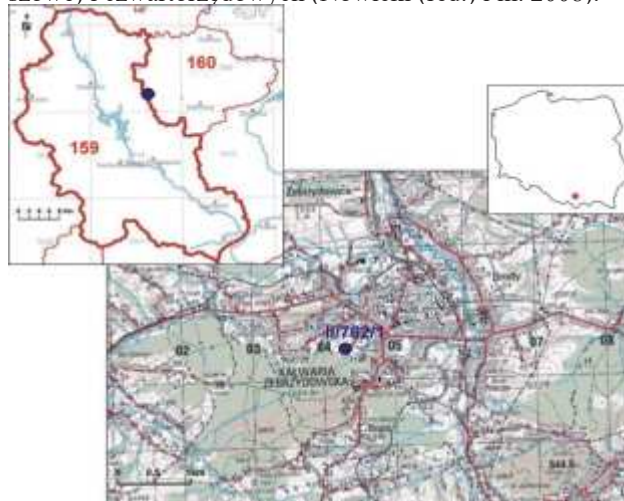
Zgodnie z Uchwałą nr XX/225/2017 Rady Miejskiej w Kalwarii Zebrzydowskiej z dnia 23 lutego 2017 r. w sprawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego miasta Kalwaria Zebrzydowska na analizowanym obszarze istnieje możliwość lokalizacji urządzeń produkujących energię odnawialną z pomp ciepła do zapatrywania budynków (zwłaszcza nowych) w ciepło. Jednak według Rozporządzenia RZGW nr 2/2011 z dnia 6 lipca 2011 r. obszar miasta Kalwaria (oraz większa część gminy) położony jest w obrębie strefy ochrony pośredniej dla ujęcia wody powierzchniowej rzeki Skawinki (Studium 2014). Zatem w razie planowania na tym obszarze instalacji niskotemperaturowej bazującej na wodach podziemnych może zachodzić konieczność uzyskania decyzji środowiskowej oraz zgody jednostki ustanawiającej daną strefę ochronną.

Pod względem fizycznogeograficznym analizowane ujęcie zlokalizowane jest w Regionie Karpackim, w obrębie mezoregionu Pogórze Wielickie (Kondracki 2013), natomiast pod względem budowy geologicznej – w obrębie Karpat Zewnętrznych (fliszowych). Znaczna część gminy Kalwaria położona jest na płaszczynie śląskiej (utwory zaliczane do pięter kredy dolnej i górnej oraz paleocenu i oligocenu), natomiast południowo-zachodnia i południowo-wschodnia – na płaszczynie podśląskiej (skały margliste i ilaste z okresu od górnej kredy po paleogen) (Stupnicka 1997; Studium 2014).

Obszar gminy znajduje się w regionie górnej Wisły; pod względem hydrogeologicznym jest to region karpacki (XIV) i przedkarpacki (XIII), obszar 159 i 160 JCWPd

(Nowicki (red.) i in. 2008) (rys. 1).

Na analizowanym obszarze wody podziemne stwierdzono w utworach trzeciorzędowo-kredowych (piętro fliszowe) i czwartorzędowych (Nowicki (red.) i in. 2008).



Rys. 1. Położenie punktu II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska na tle JCWPd i miasta Kalwaria Zebrzydowska

Fig. 1. Location of II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska on the GWB and on Kalwaria Zebrzydowska background)

Źródło: (Nowicki (red.) i in. 2008; <http://mapy.geoportal.gov.pl>).

Trzeciorzędowy poziom wodonośny buduje zespół warstw złożonych przede wszystkim z piaskowców i łupków. Występujące w osadach fliszowych wody szczelinoowo-porowe charakteryzuje głównie typ wodorowęglanowo-wapniowy ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) i wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowy ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$). Wydajność potencjalna studni waha się w przedziale od 0,05 do 5 m^3/h (Studium 2014).

METODYKA BADAŃ

Bezawaryjna praca instalacji bazującej na wodzie podziemnej zależy m.in. od składu chemicznego ujmowanych wód. W niniejszej pracy wykorzystano wyniki analiz fizykochemicznych wód z ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska wykonane w latach 2000-2014, zgromadzone w bazie danych Monitoringu Wód Podziemnych (MWP) udostępnionej przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) w Warszawie.

Pobór próbek i badania laboratoryjne wód analizowanego ujęcia zostały przeprowadzone przez akredytowane Centralne Laboratorium Chemiczne PIG-PIB. Metodykę i zakres oznaczeń w zakresie jonów głównych

oraz wskaźników kluczowych dla prawidłowego funkcjonowania całej instalacji (pH , PEW , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Al , Fe , Mn , NH_4^+) przedstawiono w tab. 1.

Weryfikacja pozyskanych z bazy danych MWP wyników analiz fizykochemicznych wód z analizowanego ujęcia w oparciu o błąd według bilansu jonowego pozwoliła stwierdzić, iż kształtował się on na akceptowalnym poziomie od 0,34 do 5,26% (wartość graniczną błędu przyjęto za Witczakiem i in. (2013) na poziomie 10%).

Moc cieplną możliwą do pozyskania z analizowanego ujęcia $Q_{geot.}$ oszacowano na podstawie zależności (Rubik 2006; Buczyński 2010):

$$Q_{geot.} = Q_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot \Delta T, \quad (1)$$

gdzie:

Q_w — wydajność eksploatacyjna ujęcia [m^3/s],

ρ_w — gęstość wody [1000 kg/m^3],

c_w — ciepło właściwe wody [$4,19 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$],

ΔT — spadek temperatury wody na parowaczu, $\Delta T = T_w - T_z$ [$^\circ\text{C}$],

T_w — temperatura wody na wejściu do pompy ciepła (głowicy) [$^\circ\text{C}$],

T_z — temperatura wody na wyjściu z pompy ciepła (temp. wody schłodzonej o 5°C) [$^\circ\text{C}$].

Ponieważ baza danych MPW nie zawierała informacji dotyczących wydajności eksploatacyjnej analizowanego ujęcia, do obliczeń wykorzystano dane literaturowe podające, iż na obszarze gminy Kalwaria Zebrzydowska

wydajności potencjalne studni wahają się od 0,05 do $5 \text{ m}^3/\text{h}$ (Studium 2014).

Ocenę stabilności składu chemicznego wód z ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska w zakresie wskaźników kluczowych określonych przez producentów pomp ciepła (pH , PEW , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , Fe , Mn , NH_4^+ i Al) przeprowadzono, wykorzystując metodę kart kontrolnych, zgodnie z metodyką przedstawioną w pracach Szczepańskiej i Kmiecik (2005) oraz Szczepańskiej i in. (2009).

Ocenę agresywności korozyjnej wód i możliwości wytrącania osadów wtórnych przeprowadzono, stosując indeksy Langeliera (LSI – *Langelier Saturation Index*) i Ryznara (RSI – *Ryznar Stability Index*), uwzględniające rzeczywistą wartość pH analizowanej wody i pH w stanie równowagi ze stałym węglanem wapnia – pHS (Rafferty 1999; Prisyazhniuk 2007; Ghobadi Nia i in. 2010; Kotowski 2010; Tomaszewska 2011; Tomaszewska, Pająk 2013; Mazurkiewicz i in. 2017). Przeprowadzenie tej oceny było możliwe jedynie w odniesieniu do danych z lat 2010–2014, gdyż w tym okresie były wykonywane pomiary temperatury wody na wypływie z analizowanego ujęcia.

Ocenę wód z analizowanego ujęcia pod względem spełnienia wymagań stawianych wodom wykorzystywanym jako dolne źródło ciepła przeprowadzono dla kilku wybranych firm, tj.: Nibe-Biawar Sp. z o.o., Viessmann Sp. z o.o., Ochsner Wärmepumpen GmbH, Dimplex Sp. z o.o., Alpha innotec, Stiebel Eltron Sp. z o.o., Danfoss.

Tabela 1. Metodyka oznaczeń poszczególnych wskaźników (PCA nr AB 283, MJWP 2017)

Table 1. Methods of parameters determination (PCA nr AB 283, MJWP 2017)

Parametr [jednostka] <i>Parameter [unit]</i>	Metoda oznaczenia <i>Determination method</i>	Zakres oznaczeń <i>Determination range</i>
pH [-]	metoda potencjometryczna, zgodnie z normą PN-EN ISO 10523:2012	2–10
PEW [$\mu\text{S/cm}$]	metoda konduktometryczna, zgodnie z normą PN-EN 27888:1999	20–20 000
Cl^- [mg/dm^3]		0,5–500
NO_3^- [mg/dm^3]		0,01–160
NO_2^- [mg/dm^3]	metoda chromatografii jonowej (IC), procedura badawcza PB-04	0,01–40
SO_4^{2-} [mg/dm^3]		0,5–500
HCO_3^- [mg/dm^3]	metoda spektrofotometryczna, procedura badawcza PB-07	24–3050
Al [mg/dm^3]		0,15–20
Ca [mg/dm^3]		0,1–1000
Fe [mg/dm^3]		0,01–100
K [mg/dm^3]	metoda spektrometrii atomowej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-OES), procedura badawcza PB-42	0,5–1000
Mg [mg/dm^3]		0,1–500
Mn [mg/dm^3]		0,001–20
Na [mg/dm^3]		0,5–2000
NH_4^+ [mg/dm^3]	metoda spektrofotometryczna, procedura badawcza PB-03	0,05–25

W tym celu wyniki oznaczeń wybranych parametrów odniesiono do wartości granicznych określonych przez producentów urządzeń. Ponieważ wymiennik ciepła w pompie ciepła zbudowany jest ze stali nierdzewnej, ale poszczególne jego elementy lutowane są miedzią, w tab. 2 umieszczono wartości graniczne, uwzględniając oba te materiały. Przy ocenie możliwości wykorzystania wód w instalacji wspomaganą pompą ciepła wzięto pod uwagę jedynie wymagania dotyczące miedzi. Jeśli nie zostały one spełnione, sugerowano zastosowanie wymiennika pośredniego przed pompą ciepła (Mazurkiewicz 2017).

Wskazano również możliwości zagospodarowania wykorzystanej w instalacji pompy ciepła wody (przeznaczenie do spożycia, zatłaczanie do cieków powierzchniowych lub do górotworu). W tym celu wyniki oznaczeń parametrów kluczowych z punktu widzenia producentów pomp ciepła odniesiono do wymagań określonych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (RMZ 2017) oraz wartości dopuszczalnych dla niektórych substancji szkodliwych dla środowiska wodnego określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (RMŚ 2014). Wyniki zestawiono w tab. 2.

WYNIKI BADAŃ

W ujęciu II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska stwierdzono poziom wodonośny w utworach trzeciorzędu (TrPc) o typie krążenia wód porowo-szczelinowym, zbudowany z piaskowców i łupków. Strop utworów wodonośnych rozpoznano na głębokości 26 m, a spąg – na 85 m p.p.t. Ujmowane wody należą do wód średnio twardych ($T_{w_{og.}}$ 196-230 mg/dm³), o odczynie słabo zasadowym (pH 7,5-8,2) i typie wodorowęglanowo-wapniowo-sodowym (HCO₃-Ca-Na) (baza MWP).

Przyjmując wydajność studni na poziomie od 0,05 do 5 m³/h, temperaturę wody na wypływie w zakresie od 9,8 do 10,4°C (tab. 3) oraz zakładając schłodzenie wody w instalacji pompy ciepła o 5°C, można stwierdzić, że szacunkowa moc cieplna ujęcia, wyliczona w na podstawie formuły (1), może wynieść od 0,29 do 29 kW. Jest to

moc cieplna teoretycznie wystarczająca do pokrycia zapotrzebowania domu jednorodzinnego o powierzchni ok. 120 m². Kluczowa w tym przypadku będzie jednak zmierzona wartość wydajności analizowanego ujęcia. Przyjmuje się, że do pokrycia zapotrzebowania niewielkiego domu wydajność ujęcia powinna kształtować się w zakresie od 1,2 do 1,5 m³/h na każde 5 kW mocy grzewczej (Mazurkiewicz i in. 2015; Mazurkiewicz 2017; materiały techniczne Nibe-Biawar, Alpha innotec).

Analiza kart kontrolnych pojedynczych pomiarów stężeń analizowanych składników w punkcie monitoringowym II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska (rys. 2-6) wykazała, że wartości pH, PEW oraz stężeń Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Fe, Mn, NH₄⁺ i Al w większości przypadków mieszczą się w obszarze pomiędzy zasadniczymi granicami kontrolnymi (UCL i LCL), a jedynie na kartach kontrolnych PEW, SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻ i Al występują pojedyncze obserwacje odstające, minimalnie wykraczające poza granice kontrolne. Większość punktów znajduje się również pomiędzy wewnętrznymi granicami kontrolnymi (UWL i LWL). Na niektórych kartach kontrolnych (np. PEW czy SO₄²⁻) obserwuje się dwie grupy wyników, pierwszą z lat 2001-2007 i drugą z lat 2008-2014, co może być spowodowane np. zmianą próbobiorecy, analityka, miernika do badań terenowych czy wręcz metody oznaczeń. Można zatem uznać, iż badane wody w zakresie wskaźników kluczowych z punktu widzenia producentów pomp ciepła charakteryzują się stabilnym składem chemicznym.

W tabeli 3 zestawiono oszacowane dla analizowanego ujęcia indeksy Ryznara i Langeriera. Biorąc pod uwagę zakres ich zmienności: indeksu Ryznara (od 7,8 do 8,1) i Langeliera (od -0,02 do -0,25), analizowaną wodę można zakwalifikować jako korozyjną, bez tendencji do wytrącania osadów ($7,5 < RSI < 9$ i $-0,5 < LSI < 0$).

Odnosząc wyniki analiz fizykochemicznych wód badanego ujęcia do wartości granicznych podanych przez producentów pomp ciepła (tab. 1, rys. 2-6), można stwierdzić przekroczenie tych wartości w przypadku:

pH – w odniesieniu do wymagań firmy Ochsner,

PEW – w odniesieniu do wymagań firm Viessmann i Dimplex,

Fe – w odniesieniu do wymagań firm Alpha innotec, Ochsner (jako Fe+Mn), Danfoss,

Tabela 2. Charakterystyka i wartości graniczne parametrów fizykochemicznych wód stosowanych jako dolne źródło dla pomp ciepła (II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska)
Table 2. Characteristics and limit values of physicochemical parameters of waters used as the lower source for heat pumps (II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska)

Wartości graniczne parametrów fizykochemicznych wód stosowanych jako dolne źródło dla pomp ciepła Boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump													RMZ 2017	RMŚ 2014	
Nibe-Biawar	Alpha innotec	Danfoss	Ochsner Wärmepumpen GmbH			Viessmann Sp. z o.o.			Stiebel Eltron.		Dimplex Sp. z o.o.				
			wartość value	miedź copper	stal nierdz. stainless steel	wartość value	miedź copper	stal nierdz. stainless steel	miedź copper	stal nierdz. stainless steel	wartość value	miedź copper	stal nierdz. stainless steel		
6,5-8,5	>6	7-10	<6 ¹⁾ 6-8 >8	0 + -	0 + 0	<7,5 7,5-9 >9	0 + 0	0 + +	6-9		<7,5 7,5-9 >9	0 + 0	0 + +	6,5-9,5*	6,5-9
300	<300	1000	<10 ^{1,2)} 10-100 100-200 >200	+ + 0 -	+ + + - ³⁾	<300 >300	+ 0	+ 0	<300	<300	<300 >300	+ 0	+ 0	250*	1000
100		<100				<100 ≥100	+ 0	+ +	<100		<100 >100	+ 0	+ +	50	
70		<100	<50 ¹⁾ 50-100 >100	+ 0 -	+ + 0	<70 70-300 >300	+ 0 -	+ + 0	<70		<70 70-300 >300	+ 0 -	+ + 0	250*	500
3 ¹⁾	<0,2	<0,2	>0,2 ²⁾ (Fe+Mn)	-	- ³⁾⁴⁾	<0,2 >0,2	+ 0	+ 0	<1 ¹⁾	<1 ¹⁾	<0,2 >0,2	+ 0	+ 0	0,2	10
3 ¹⁾	<0,1	0,05	>0,05 ²⁾	-	- ³⁾⁴⁾	<0,1 >0,1	+ 0	+ 0	<1 ¹⁾	<1 ¹⁾	<0,1 >0,1	+ 0	+ 0	0,05	
50 ⁰⁾		2500	>600 ¹⁾	-	+ +	<10 10-500 >500	0 + -	0 + 0	50-1000		<10 10-500 >500	0 + -	0 + 0	2500**	
						<70 70-300 >300	0 + 0	+ + 0			<70 70-300 >300	0 + 0	+ + 0		
			<2 ¹⁾ 2-20 >20	+ 0 -	+ + +	<2 2-20 >20	+ 0 -	+ + 0			<2 2-20 >20	+ 0 -	+ + 0	0,5	
		niedozw.												0,5	
						<0,2 >0,2	+ 0	+ +			<0,2 >0,2	+ 0	+ +	0,2	3

Tabela 3. Wartości indeksów RSI (Ryznar Stability Index) i LSI (Langelier Saturation Index) wraz z wybranymi parametrami fizykochemicznymi wód z ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska

Table 3. Selected physico-chemical parameters of water from the well II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska and the values of RSI (Ryznar Stability Index) and LSI (Langelier Saturation Index) indices

Rok Year	Parametr Parameter							Indeks Index	
	PEW	TDS	HCO ₃ ⁻	Ca	pH	T	pHs	RSI	LSI
	μS/cm		mg/dm ³		-	°C	-		
2010	535	473,74	294,02	65,84	7,57	9,8	7,8	8,1	-0,25
2011	535	483,91	302,56	73,96	7,74	9,9	7,8	7,8	-0,02
2012	492	475,15	297,68	69,16	7,57	10,4	7,8	8,0	-0,20
2013	551	466,67	285,48	68,05	7,65	9,8	7,8	8,0	-0,18
2014	537	480,63	289,14	60,68	7,66	10,2	7,9	8,1	-0,20

HCO₃ i Fe – w odniesieniu do wymagań firm Viessmann i Dimplex,

NO₂ – w odniesieniu do wymagań firmy Danfoss.

Uwzględniając wszystkie przeprowadzone wyżej oceny (moc cieplną ujęcia, stabilność składu chemicznego wód w zakresie wybranych wskaźników, agresywność korozyjną i możliwości wytrącania osadów wtórnych oraz spełnienie wymagań podanych przez producentów urządzeń), można stwierdzić, iż analizowana woda może zostać wykorzystana jako dolne źródło ciepła w instalacji niskotemperaturowej. Ze względu na specyfikę ujmowanych wód, w celu zapewnienia prawidłowego funkcjonowania całego systemu, zaleca się jednak zastosowanie wymiennika pośredniego przed pompą ciepła. Bezpośrednie wykorzystanie wody (bez wymiennika pośredniego) jest możliwe tylko w przypadku pomp ciepła oferowanych przez dwóch producentów, tj. firmy Nibe-Biawar i Stiebel Eltron.

Biorąc pod uwagę różne możliwości eksploatacji wody po jej wykorzystaniu w pompie ciepła, można stwierdzić, iż wszystkie analizowane wskaźniki spełniają wymagania RMŚ (2014), zatem mogą zostać zrzucone do wód powierzchniowych (instalacje jednootworowe) lub zatłaczane do warstwy wodonośnej (instalacje dwuotworowe), natomiast ze względu na przekroczenia wartości Fe ich wykorzystanie do spożycia (instalacje jednootworowe (RMZ 2017)) może wymagać np. wcześniejszego uzdatniania. Analiza przydatności badanych wód do zaprezentowanych celów powinna być rozszerzona o wszystkie wskaźniki wymienione w przywołanych rozporządzeniach.

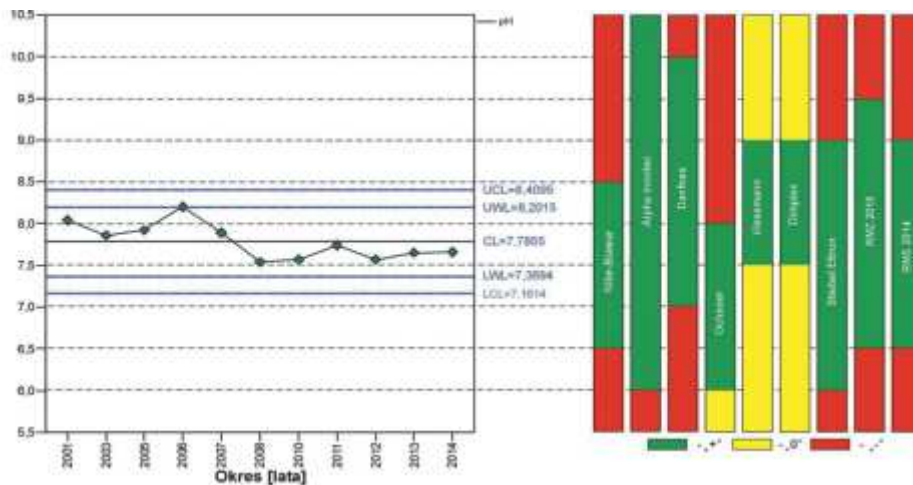
PODSUMOWANIE

Przedstawiona w niniejszej pracy ocena możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych na przykładzie ujęcia II/762/1 Kalwaria Zebrzydowska wykazała, iż analizowane wody mogą stanowić dolne źródło ciepła w instalacji niskotemperaturowej wspomaganą pompą ciepła typu woda/woda. Jednak biorąc pod uwagę skład chemiczny ujmowanych wód (przekroczenie wartości granicznych podanych przez producentów pomp, tendencję do korozyjnego oddziaływania wody na poszczególne elementy instalacji) w celu zapewnienia długotrwałej i bezawaryjnej pracy całej instalacji zaleca się zastosować przed pompą ciepła wymiennik pośredni.

Przeprowadzona ocena pokazuje, jak ważna jest kontrola parametrów fizykochemicznych wód, szczególnie tych mogących wpływać na procesy korozji i kolmatacji, już na etapie planowania instalacji. Prognozowanie zagrożeń wynikających ze specyfiki wód ujmowanych w systemie wspomaganym pompą ciepła pozwala na dobór odpowiednich elementów instalacji odpornych na potencjalne zagrożenia.

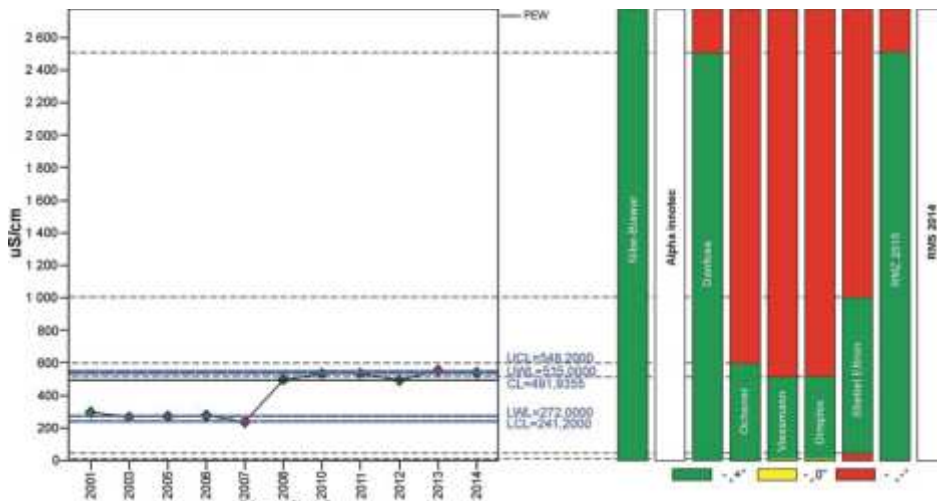
BIBLIOGRAFIA

- Buczyński S., 2010 – *Szacunkowa moc cieplna wód podziemnych z kenozyicznych poziomów wodonośnych na bloku przedsudeckim*. Biuletyn PIG, 440, s. 15-24.
- Ghobadi Nia M., Rahimi H., Sohrabi T., Naseri A., Tofighi H., 2010 – *Potential risk of calcium carbonate precipitation in agricultural drain envelopes in arid and semi-arid areas*. Agricultural Water Manage-



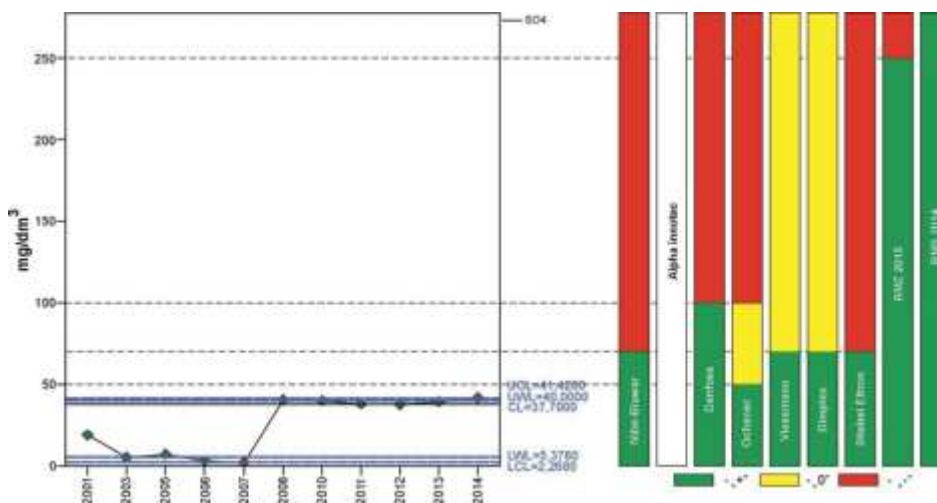
Rys. 2. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów pH wraz z wartościami granicznymi dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła. Objaśnienia jak w tab. 2

Fig. 2. Control chart of individual values of pH with boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump. Explanations according to table 2



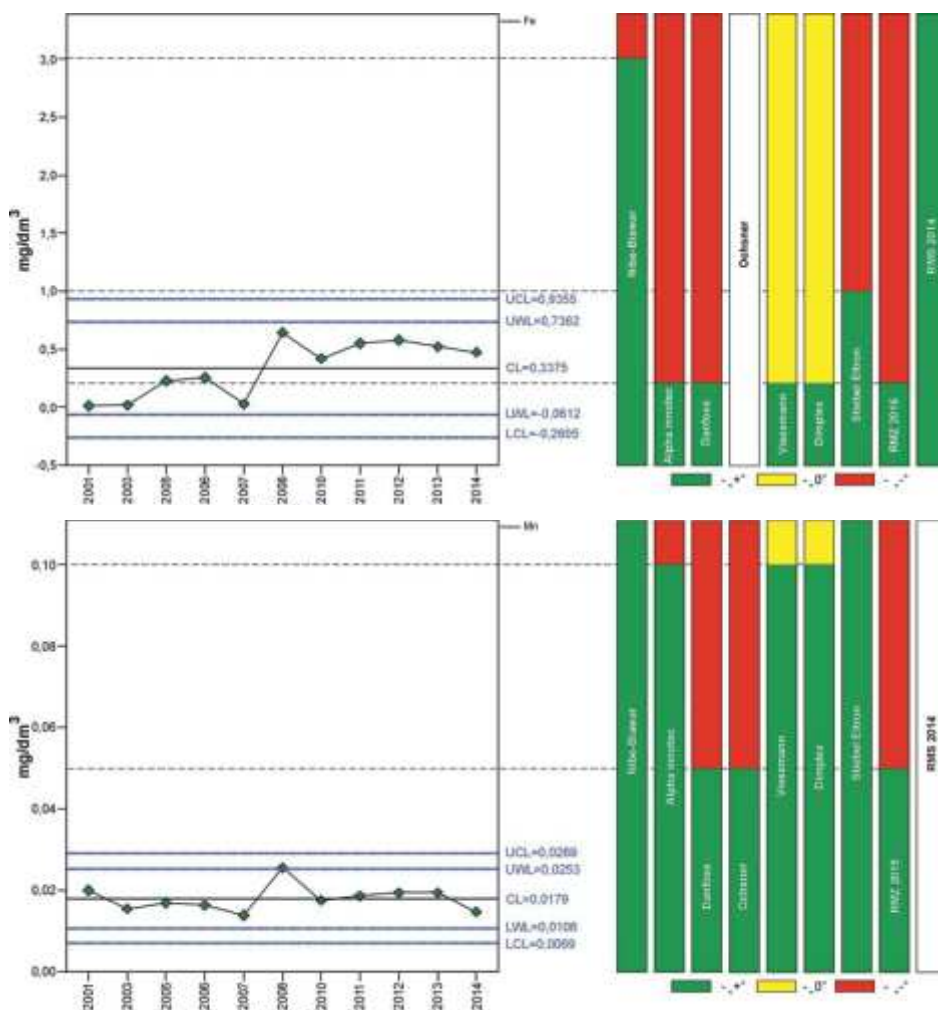
Rys. 3. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów PEW [uS/cm] wraz z wartościami granicznymi dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła

Fig. 3. Control chart of individual values of PEW [uS/cm] with boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump



Rys. 4. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów SO₄₂₋ [mg/dm³] wraz z wartościami granicznymi dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła

Fig. 4. Control chart of individual values of SO₄₂₋ [mg/dm³] with boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump



Rys. 5. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów Fe [mg/dm³] wraz z wartościami granicznymi dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła

Fig. 5. Control chart of individual values of Fe [mg/dm³] with boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump

Rys. 6. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów Mn [mg/dm³] wraz z wartościami granicznymi dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła

Fig. 6. Control chart of individual values of Mn [mg/dm³] with boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump

ment, 97, s. 1602-1608.

<http://mapy.geoportal.gov.pl>, dostęp: czerwiec 2017.

Kondracki J., 2013 – *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.

Kotowski A., 2010 – *Analiza hydrauliczna zjawisk wywołujących zmniejszenie przepływności rurociągów*. *Ochrona Środowiska*, 32, 1, s. 27-32.

Mazurkiewicz J., 2017 – *Ocena obszarów perspektywicznych dla geotermalnego wykorzystania wód niskotemperaturowych w województwie małopolskim*, w druku.

Mazurkiewicz J., Kmiecik E., Tomaszewska B., 2015 – *Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej w Małopolsce. Część I. Przegląd Geologiczny*, t. 63, nr 10/2, s. 926-930.

Mazurkiewicz J., Kmiecik E., Tomaszewska B., 2017 –

Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej w Małopolsce. Część II. Przykład ujęcia Zawoja – 3. Przegląd Geologiczny, w druku.

MJWP 2017, <http://mjwp.gios.gov.pl>, dostęp: czerwiec 2017.

Nowicki Z. (red.), Chmura A., Chowaniec J., Chudzik L., Cudak J., Czerski M., Czerwińska-Tomczyk J., Freiwał P., Gil R., Herbich P., Hoc R., Horbowy K., Kaczorowski Z., Kiełczawa J., Krawczyk A., Kowalczyk A., Lichtarski G., Lidzbarski M., Łusiak R., Michniewicz M., Mikołajczyk M., Ołędzka D., Pacholewski A., Pasięrowska B., Ratorski R., Piechówka A., Prażak J., Przytuła E., Rysak A., Sokołowski K., Stępoińska-Drygała I., Wagner J., Wijura A., Wiśniowski A., Witek K., Wojtkowiak A., Zawistowski K., 2008 –

- Jednolite części wód podziemnych w Polsce – charakterystyka hydrogeologiczna*, <http://www.psh.gov.pl>, dostęp: czerwiec 2017.
- Prisyazhniuk V.A., 2007 – *Prognosticating scale-forming properties of water. Applied Thermal Engineering*, 27, s. 1637-1641, <http://www.sciencedirect.com>, dostęp: czerwiec 2017.
- Rafferty K., 1999 – *Scaling in geothermal heat pump systems. U.S. Department of Energy*, 1-9, <http://geoheat.oit.edu/otl/scaleghp.pdf>, dostęp: czerwiec 2017.
- RMŚ 2014 – *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2014 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego*, Dz.U. 2014, poz. 1800.
- RMZ 2017 – *Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 11 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*, Dz.U. 2017, poz. 2294.
- Rubik M., 2006 – *Pompy ciepła. Poradnik, Ośrodek informacji*. „Technika Instalacyjna w Budownictwie”, Warszawa.
- Sanner B., 2001 – *Shallow geothermal energy. Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, 22, s. 19-25, <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull22-2/art4.pdf>, dostęp: czerwiec 2017.
- Studium 2014 – *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta i gminy Kalwaria Zebrzydowska*, <http://www.kalwaria-zebrzydowska.pl/>, dostęp: czerwiec 2017.
- Stupnicka E., 1997 – *Geologia regionalna Polski*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Szczepańska J., Kmiecik E., 2005 – *Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych*. UWND AGH, Kraków.
- Szczepańska J., Kmiecik E., Drzymała M., 2009 – *Ocena stabilności składu chemicznego wód leczniczych ze Zdroju Głównego w Krzeszowicach*, Biuletyn PIG, 436, s. 497-506.
- Tomaszewska B., 2011 – *Utylizacja wód termalnych, korozja i skaliny. Wstępne wyniki realizacji projektu badawczo-rozwojowego*. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 1-2, s. 403-412.
- Tomaszewska B., Pająk L., 2013 – *Zagospodarowanie schłodzonych i odsolonych wód termalnych w Podhalańskiej Sieci Ciepłowniczej*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 29, 1, s. 127-139.
- Uchwała nr XX/225/2017 Rady Miejskiej w Kalwarii Zebrzydowskiej z dnia 23 lutego 2017 r. w sprawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego miasta Kalwaria Zebrzydowska, <http://www.kalwaria-zebrzydowska.pl/>, dostęp: czerwiec 2017.
- Witczak S., Kania J., Kmiecik E., 2013 – *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.