

Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej w Małopolsce. Część II. Przykład ujęcia Zawoja-3

Justyna Mazurkiewicz¹, Ewa Kmiecik¹, Barbara Tomaszewska¹

Analysis of the possibility of utilizing Quaternary groundwater in the low-temperature geothermal systems of Małopolska. Part II. The Zawoja-3 case study. Prz. Geol., 65: 995–999.

Abstract. The paper presents the assessment of utilizing Quaternary groundwater in low-temperature geothermal systems based on the example of intake I/828/3 Zawoja-3, located in the south-western part of the Małopolska Province. Based on the data on the water yield and water temperature, the thermal power potential of the water intake as the lower source for the heat pump was estimated. Using the empirical formula method and the relevant requirements indicated by manufacturers of heat pumps, the assessment of the groundwater quality of the Zawoja-3 intake with reference to its potential of scale formation and corrosivity were made (based on the 2000–2014 water analysis from the groundwater monitoring database). Moreover, the assessment of the stability of physical and chemical parameters indicated by manufacturers of heat pumps as being important for the proper operation of installations was presented. The analysis has shown that the Zawoja-3 intake has a potential to utilize Quaternary groundwater in low-temperature geothermal systems. However, for the safe and long-term operation of the system, it is recommended to use an intermediate heat exchanger before the heat pump.

Keywords: low-temperature geothermal systems, heat pumps, groundwater, Małopolska, Zawoja intake

Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, opisana w części I, opublikowanej w Przeglądzie Geologicznym w roku 2015 (Mazurkiewicz i in., 2015), wykazała, że Małopolska posiada potencjalnie możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach pomp ciepła praktycznie na całym obszarze województwa.

Zgodnie z Uchwałą nr XIII/120/2015 Rady Gminy Zawoja z dnia 26 listopada 2015 r. w sprawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego dla gminy Zawoja, dla obszaru wsi Zawoja, na analizowanym obszarze dopuszcza się budowę urządzeń odnawialnych źródeł energii, w tym geotermalnych. Gmina znajduje się jednak w obrębie Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZW) nr 445, w granicach Babiogórskiego Parku Narodowego, obszaru Natura 2000 oraz terenu ochrony pośredniej strefy ochronnej ujęcia wody powierzchniowej na potoku Skawica. Zatem wszelka działalność inwestycyjna powinna być zgodna z przepisami odrębnymi, ściśle powiązаныmi z kierunkiem inwestycyjnym. W planie nie wprowadzono bezpośredniego zapisu zakazującego wykonywania wykopów/odwiertów, nie zabrania się również wykorzystania w celach energetycznych istniejących już ujęć wód.

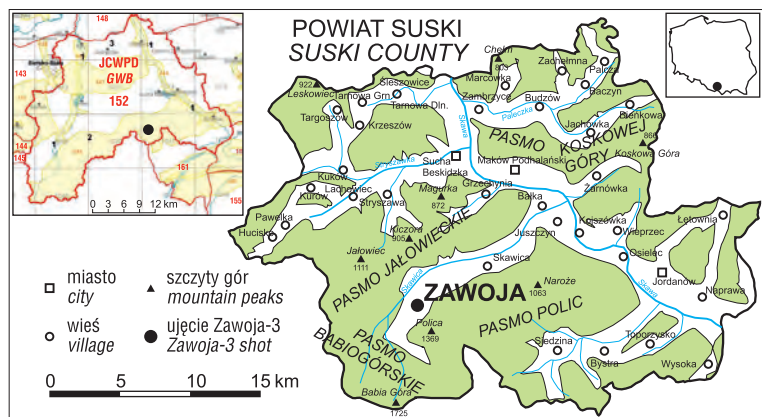
W artykule przedstawiono ocenę mocy cieplnej ujęcia oraz kluczowe czynniki istotne w przypadku wykorzystania wód podziemnych jako dolnego źródła dla pompy ciepła. Analizę tę zrealizowano na przykładzie ujęcia I/828/3 Zawoja-3 (stacja hydrogeologiczna I rzędu Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) – punkt sieci krajowej monitoringu wód podziemnych), znajdującego

się w południowo-zachodniej części województwa małopolskiego, w powiecie suskim, gminie Zawoja.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Gmina Zawoja znajduje się u stóp Babiej Góry, na stokach górskich należących do dwóch regionów fizycznogeograficznych: Beskidu Żywieckiego (Pasma Babiogórskie) i Beskidu Makowskiego (Pasma Jałowieckie), w dolinie rzeki Skawica – rycina 1 (Kondracki, 2013).

Pod względem hydrogeologicznym ujęcie Zawoja 3 znajduje się w regionie karpackim, w obrębie 152 JCWPD i 445 GZWP. Stwierdzono tu występowanie wód gruntowych w utworach czwartorzędowych (Q), zbudowanych z piasków i żwirów (Nowicki i in., 2008). Są to wody głównie



Ryc. 1. Położenie punktu I/828/3 Zawoja-3 na tle JCWPD (Nowicki i in., 2008) i powiatu suskiego (na podstawie Tyrały i in., 2003)

Fig. 1. Location of the I/828/3 Zawoja-3 intake in relation to the GZW (Nowicki et al., 2008) and to the range of the Suski district (based on Tyrała et al., 2003)

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; mazurkiewicz@geol.agh.edu.pl, ewa.kmiecik@agh.edu.pl, barbara.tomaszewska@agh.edu.pl.

typu wodorowęglanowo-wapniowego ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) o niskiej mineralizacji, poniżej 200 mg/dm^3 (baza Monitoringu Wód Podziemnych – MWP).

METODYKA BADAŃ

W niniejszej pracy wykorzystano dane z bazy MWP udostępnionej przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) w Warszawie. Dane te obejmowały: wydajność ujęcia, temperaturę wody oraz wyniki analiz fizykochemicznych wód z ujęcia Zawoja-3 z lat 2000–2014.

Moc cieplną ujęcia oszacowano na podstawie równania (Rubik, 2006; Buczyński, 2010):

$$Q_{\text{geot.}} = Q_{\text{wpow}} c_w \Delta T$$

gdzie:

Q_w – wydajność eksploatacyjna ujęcia [m^3/s];

ρ_w – gęstość wody [1000 kg/m^3];

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

$\Delta T = T_w - T_z$; T_w – temperatura wody na wejściu do pompy ciepła (głowicy) [$^\circ\text{C}$], T_z – temperatura wody na wyjściu z pompy ciepła [$^\circ\text{C}$].

Niezakłócona praca instalacji typu woda–woda jest silnie uwarunkowana właściwościami fizykochemicznymi eksploatowanej wody. Pobór próbek i badania laboratoryjne wód z ujęcia Zawoja-3 wykonywało akredytowane Centralne Laboratorium Chemiczne (CLCh) PIG-PIB (certyfikat akredytacji PCA nr AB 283). W tabeli 1 zestawiono zakres i metodykę oznaczeń.

Pozyskane wyniki analiz fizykochemicznych poddano weryfikacji opartej na błędzie licznym wg bilansu jonowego. Wartości błędów kształtowały się na akceptowalnym poziomie 0,48–6,72, średnio ok. 2,72%.

Z wykorzystaniem metody kart kontrolnych (Szczepańska, Kmiecik, 2005; Szczepańska i in., 2009) dokonano oceny stabilności składu chemicznego wód ujęcia Zawoja-3 na podstawie wyników oznaczeń wybranych parametrów fizykochemicznych (pH, PEW, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , Fe, Mn, amonu/związków amonowych i Al) z lat 2000–2014.

W celu oceny korozyjnego charakteru wód i możliwości wytrącania osadów wtórnych z wód ujętych odwiertem Zawoja-3 obliczono 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 – pH_s (Rafferty, 1999; Prisyazhniuk, 2007; Ghobadi Nia i in., 2010; Kotowski, 2010; Tomaszewska, 2011; Tomaszewska, Pająk, 2013). Ocenę tę zrealizowano dla danych z lat 2009–2014, gdyż wówczas była mierzona wartość temperatury wody na wypływie z ujęcia.

Odniesiono się również do wymagań określonych przez wybranych producentów pomp ciepła: 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. Część z nich warunkuje wykorzystanie wody przy spełnieniu wymagań określonych w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (RMZ, 2015) oraz wartości dopuszczalnych dla nie-

Tab. 1. Metodyka oznaczeń poszczególnych wskaźników (MJWP, 2017)

Table 1. Methods of determining particular parameters (MJWP, 2017)

Parametr <i>Parameter</i>	Metoda oznaczenia <i>Determination method</i>
pH [-]	metoda potencjometryczna, procedura badawcza PB-01 <i>potentiometric method, test procedure PB-01</i>
PEW [$\mu\text{S}/\text{cm}$] <i>Conductivity</i>	metoda konduktometryczna, procedura badawcza PB-02 <i>conductometric method, test procedure PB-02</i>
Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} [mg/dm^3]	metoda chromatografii jonowej (IC), procedura badawcza PB-04 <i>ion chromatography method (IC), test procedure PB-04</i>
HCO_3^- [mg/dm^3]	metoda spektrofotometryczna, procedura badawcza PB-07 <i>spectrophotometric method, test procedure PB-07</i>
Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na [mg/dm^3]	metoda spektrometrii atomowej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-OES), procedura badawcza PB-28 <i>inductively coupled plasma optical emission spectrometry method (ICP-OES), test procedure PB-28</i>
Al, Mn [mg/dm^3]	metoda spektrometrii mas z jonizacją w plazmie indukcyjnie sprzężonej (ICP-MS), procedura badawcza PB-37 <i>inductively coupled plasma mass spectrometry method (ICP-MS), test procedure PB-37</i>
NO_3^- [mg/dm^3]	metoda spektrofotometryczna, procedura badawcza PB-03 <i>spectrophotometric method, test procedure PB-03</i>

których 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) (tab. 2).

WYNIKI BADAŃ

Zasoby eksploatacyjne ujęcia Zawoja-3 wynoszą $1,12 \text{ m}^3/\text{h}$, a temperatura wody na wypływie waha się w zakresie $4,9\text{--}15^\circ\text{C}$. Przyjmując schłodzenie wody w instalacji typu woda–woda o 5°C (ΔT), szacunkowa moc cieplna ujęcia wynosi 6,5 kW, czyli jest wystarczająca na pokrycie zapotrzebowania na ogrzewanie domu jednorodzinnego o powierzchni ok. $120\text{--}150 \text{ m}^2$.

Wody analizowanego ujęcia wykazują wahania właściwości fizykochemicznych w czasie. Są to wody o odczynie od kwaśnego do zasadowego (pH 6,81–7,42) oraz o przewodności elektrolitycznej właściwej od 174 do $263 \mu\text{S}/\text{cm}$, a więc bardzo słabo zmineralizowane. Okresowo, woda wykazuje zawartość żelaza nieco wyższą od $0,2 \text{ mg}/\text{dm}^3$, określoną jako dopuszczalna w wodach przeznaczonych do spożycia. Zakresy zmienności rozpatrywanych wskaźników fizykochemicznych wody przedstawiono w tabeli 2.

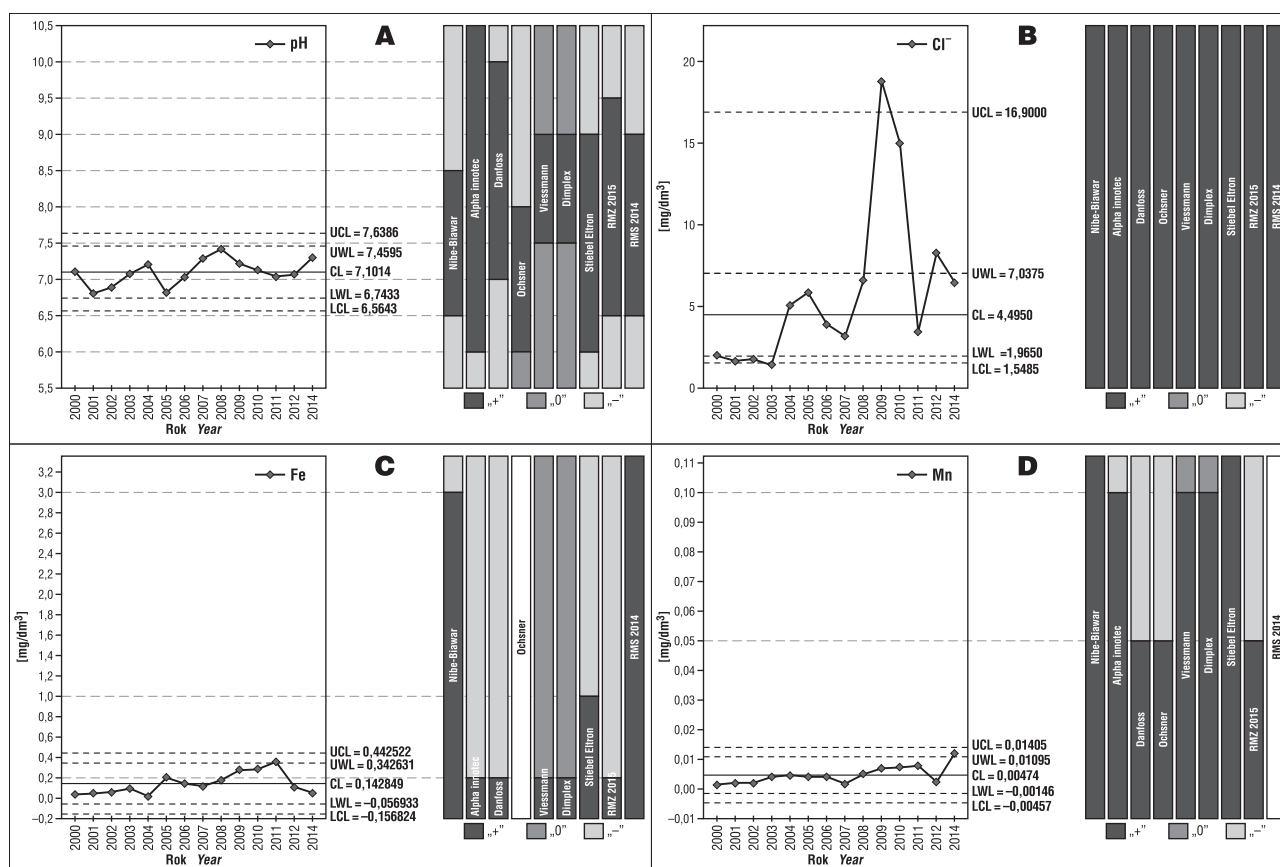
Analiza kart kontrolnych pojedynczych pomiarów (ryc. 2) stężeń analizowanych składników w punkcie moni-

Tab. 2. Charakterystyka i wartości graniczne parametrów fizykochemicznych wód stosowanych jako dolne źródło dla pomp ciepła (I/828/3 Zawoja-3)
 Table 2. Characteristics and boundary values of physical-chemical parameters of waters used as the lower source for heat pumps (I/828/3 Zawoja-3)

Parametr Parameter	Min. Min.	Maks. Max.	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, 2015	RMS, 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	Wartość Value	Miedź Copper	Stal nierdz. Stainless steel			
pH	6,81	7,42	6,5–8,5	>6	7–10		<6 ⁽¹⁾ 6–8 >8	0 + 0	0 + 0	<7,5 7,5–9 >9	0 + 0	0 + 0	<7,5 7,5–9 >9	0 + 0	0 + 0		6,5–9,5*	6,5–9
Cl ⁻ [mg/dm ³]	1,44	18,80	300	<300	1000		<10 ⁽¹⁾ 10–100 100–200 >200	+ + + – ⁽³⁾	+ + + –	<300 >300	+ 0	<300	<300 >300	+ 0	+ 0		250*	1000
NO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	1,22	2,73	100		<100					<100 >100	+ 0	<100	<100 >100	+ 0	+ +		50	
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	10,20	14	70		<100		<50 ⁽¹⁾ 50–100 >100	+ 0 –	+ + 0	<70 70–300 >300	+ + 0	<70	<70 70–300 >300	+ 0 –	+ + 0		250*	500
Fe [mg/dm ³]	<DL	0,36	3 ⁽¹⁾	<0,2	<0,2		>0,2 ⁽²⁾ (Fe+Mn)	–	– ⁽³⁾⁽⁴⁾	<0,2 >0,2	+ 0	<1 ⁽¹⁾	<0,2 >0,2	+ 0	+ 0		0,2	10
Mn [mg/dm ³]	0,002	0,01	3 ⁽¹⁾	<0,1	0,05		>0,05 ⁽²⁾	–	– ⁽³⁾⁽⁴⁾	<0,1 >0,1	+ 0	<1 ⁽¹⁾	<0,1 >0,1	+ 0	+ 0		0,05	
PEW [µS/cm]	174	263	50 ⁽⁰⁾		2500		>600 ⁽¹⁾	–	+	<10 10–500 >500	0 + –	50–1000	<10 10–500 >500	0 + –	0 + 0		2500**	
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	84,18	128,1								<70 70–300 >300	0 + 0		<70 70–300 >300	0 + 0	+ + 0			
NH ₄ ⁺ [mg/dm ³]	<DL	0,8		<2			<2 ⁽¹⁾ 2–20 >20	+ 0 –	+ + +	<2 2–20 >20	+ 0 –		<2 2–20 >20	+ 0 –	+ + 0		0,5	
Al [mg/dm ³]	0,001	0,04					<0,2 >0,2	+ 0	+ +	<0,2 >0,2	+ 0		<0,2 >0,2	+ 0	+ +		0,20	3

Objaśnienia: <DL – granica oznaczalności; „+” – materiał zazwyczaj jest odporny na korozję; „–” – materiał zazwyczaj jest odporny na korozję; „0” – może dojść do korozji, gdy większość czynników osiągnie wartość 0; „–” – odradza się stosowania; ⁽⁰⁾ mS/cm; ⁽¹⁾ jeżeli nie będą zachowane te granice, zamiast wymiennika lutowanego miedzią musi być w pompie ciepła wbudowany wymiennik lutowany stalą nierdzewną; ⁽²⁾ na podstawie przewidywanych zanieczyszczeń nie należy stosować pompy ciepła typu woda/woda; ⁽³⁾ dla granicy zastosowania wymiennika ze stali nierdzewnej obok żelaza i manganu ważna jest zawartość chlorków; ⁽⁴⁾ stal nierdzewna jest odporna na korozję. Styczność z powietrzem powoduje jednak utlenienie. * parametr powinien być uwzględniany przy ocenie agresywności korozyjnych wód, ** oznaczona w temperaturze 25°C; 7,5 – wyróżnienie oznacza przekroczenie wartości granicznych podanych przez producenta

Explanation: DL – limit of quantification; “+” – usually resistant material, “0” – corrosion can occur if most of the factors reaches 0; “–” – advise to avoid; ⁽⁰⁾ mS/cm; ⁽¹⁾ if these limits are not preserved in the heat pump, build-in brazed copper heat exchanger should be replaced with stainless steel brazed heat exchanger; ⁽²⁾ based on predictable impurities water/water type heat pump should not be used; ⁽³⁾ in the case of using stainless steel heat exchanger next to iron and manganese content, the chloride content is important; ⁽⁴⁾ stainless steel is corrosion resistant, however, exposure to air causes oxidation; * parameter should be taken into account in the assessment of aggressive corrosive water properties, ** determined at 25°C; 7,5 – the highlight signalizes that the limits set by the producer were exceeded



Ryc. 2. Karta kontrolna pojedynczych pomiarów: pH, Cl⁻, Fe, Mn w otworze Zawoja-3 wraz z wartościami granicznym dla wód stosowanych jako dolne źródło ciepła. Objaśnienia wg tabeli 2

Fig. 2. Control chart of individual values of pH, Cl⁻, Fe, Mn in the Zawoja-3 intake with the boundary values of physical-chemical parameters of waters used as the lower source for the heat pump. Explanations as in Table 2

toringowym I/828/3 Zawoja-3 wykazała, że wartości pH, PEW oraz stężeń Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, Fe, Mn, amonu/zwiazków amonowych i Al mieszczą się w obszarze pomiędzy wewnętrznymi granicami kontrolnymi. Większość punktów znajduje się również pomiędzy zasadniczymi granicami kontrolnymi (UCL i LCL), a jedynie na kartach kontrolnych Cl⁻, Al i NH₄ występują pojedyncze obserwacje odstające. Oznacza to, że badane wody charakteryzują się stabilnym składem chemicznym.

Na karcie kontrolnej wyników oznaczeń Cl⁻ (ryc. 2B) są widoczne dwie grupy wyników, pierwsza dla danych z lat

2000–2003, ze stężeniami na poziomie 1,5–2,0 mg/dm³ i druga (dane z lat 2004–2014) z większą zmiennością wyników (od ok. 4,0 do 20,0 mg/dm³), spowodowaną zmianą próbobiorcy lub analityka wykonującego oznaczenie.

Oszacowane indeksy Ryznara i Langeriera dla analizowanego ujęcia zestawiono w tabeli 3. Biorąc pod uwagę określony zakres zmienności indeksu Ryznara (od 9,3 do 11,0) i Langeliera (od -1,8 do -0,98), należy stwierdzić, że badana woda zalicza się do silnie agresywnych (RSI > 8,5 i LSI < -0,5), wykazuje również bardzo silne działanie korozyjne, co może sprzyjać powstawaniu awarii i nie-

Tab. 3. Wybrane parametry fizykochemiczne wód z odwiertu I/828/3 Zawoja-3 wraz z wartościami indeksów RSI (Ryznar Stability Index) i LSI (Langelier Saturation Index)

Table 3. Selected physical-chemical parameters of water from the I/828/3 Zawoja-3 intake and the values of the RSI (Ryznar Stability Index) and LSI (Langelier Saturation Index) indices

Rok Year	Parametr / Parameter							Indeks / Index	
	PEW EC [μS/cm]	TDS [mg/dm ³]	HCO ₃ [mg/dm ³]	Ca [mg/dm ³]	pH [-]	T [°C]	pH _s	RSI	LSI
2009	233	171,67	86,62	30,20	7,22	11,1	8,5	9,9	-1,3
2010	239	185,04	102,48	31,37	7,13	11,7	8,4	9,8	-1,3
2011	188	160,07	96,38	28,05	7,04	12,1	8,5	9,9	-1,4
2012	178	156,43	90,28	26,90	7,07	12,2	8,5	10	-1,5
2013	289	139,06	29,28	36,60	7,31	4,90	9,1	11	-1,8
2014	228	188,18	113,46	34,44	7,30	15	8,3	9,3	-0,98

szczelności w instalacji powierzchniowych ($RSI > 9$). Równocześnie woda ta nie wykazuje skłonności do wytrącania osadów. Jest nienasycona w stosunku do $CaCO_3$ ($LSI < 0$).

Odnosząc uzyskane wyniki badań do wartości granicznych podanych przez producentów pomp ciepła (tab. 2, ryc. 2), można stwierdzić przekroczenie w kilku przypadkach wartości dopuszczalnych dla dwóch parametrów, odczynu pH i stężenia żelaza:

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

– pH w odniesieniu do parametrów podanych przez firmę Danfoss,

– Fe w przypadku wymagań firm Danfoss, Alpha innotec i Ochsner (tu jako Fe+Mn).

Uwzględniając równocześnie tendencję do korozyjnego oddziaływania wody na elementy instalacji, zaleca się, żeby woda była wykorzystana jako dolne źródło ciepła, ale po zastosowaniu wymiennika pośredniego przed pompą ciepła. Bezpośrednie wykorzystanie wody z analizowanego ujęcia byłoby możliwe wyłącznie w przypadku wykorzystania pompy ciepła produkowanej przez firmy Nibe-Biawar i Stiebel Eltron.

Biorąc pod uwagę również możliwe warunki eksploatacji ujęcia i utylizacji wody po jej wykorzystaniu, wszystkie rozpatrywane wskaźniki fizykochemiczne wody spełniają wymagania RMŚ, 2014, zatem wody te mogą być zrzucane do wód powierzchniowych albo wtłaczane do ziemi.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona w niniejszej pracy ocena wód podziemnych z utworów czwartorzędowych z ujęcia Zawoja-3, wykazała że badane wody zarówno pod względem temperatury, wydajności ujęcia, jak i właściwości fizykochemicznych mogą stanowić dolne źródło ciepła w instalacjach wspomaganych pompami ciepła typu woda-woda.

Oszacowana moc cieplna ujęcia wynosi ok. 6,5 kW, co umożliwia pokrycie zapotrzebowania na ogrzewanie niewielkiego domu jednorodzinnego, o powierzchni ok. 120–150 m². Biorąc jednak pod uwagę szereg czynników eksploatacyjnych, zaleca się wykorzystanie wymiennika pośredniego przed pompą ciepła, jako rozwiązania umożliwiającego długotrwałą i bezawaryjną pracę instalacji.

Przedstawiona w pracy metodyka analizy potencjału wód podziemnych, jako dolnego źródła dla instalacji pomp ciepła, może z powodzeniem być wykorzystywana w innych uwarunkowaniach hydrogeologicznych. Warto podkreślić rolę kontroli parametrów fizykochemicznych ujęć wód, szczególnie pod kątem parametrów mogących wpływać na procesy korozji i kolmatacji. Pozwala to uniknąć szeregu problemów, które mogą pojawiać się podczas eksploatacji

systemu bazującego na wodach podziemnych oraz tak dobrać poszczególne elementy, żeby były one odporne na ewentualne zagrożenia.

Autorki dziękują Recenzentom za cenne uwagi, które wpłynęły na ostateczny kształt niniejszej pracy. Praca finansowana częściowo w ramach umowy AGH 11.11.140.797.

LITERATURA

- BUCZYŃSKI S. 2010 – Szacunkowa moc cieplna wód podziemnych z kenozoicznych poziomów wodonośnych na bloku przedsudeckim. Biul. Państw. Inst. Geol., 440: 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. Agric. Water Manag., 97: 1602–1608.
- KONDRACKI J. 2013 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KOTOWSKI A. 2010 – Analiza hydrauliczna zjawisk wywołujących zmniejszenie przepływności rurociągów. Ochrona Środowiska, 32 (1): 27–32; http://www.os.not.pl/docs/czasopismo/2010/Kotowski_1-2010.pdf – dostęp 03.2017.
- MATERIAŁY TECHNICZNE FIRM: 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.
- MAZURKIEWICZ J., KMIECIK E., TOMASZEWSKA B. 2015 – Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej na obszarze Małopolski, Cz. 1, Prz. Geol., 63 (10/2): 926–930.
- MJWP 2017 – <http://mjwp.gios.gov.pl> – dostęp 03.2017.
- NOWICKI Z. (red.) 2008 – Jednolite części wód podziemnych w Polsce – Charakterystyka hydrogeologiczna; <http://www.psh.gov.pl> – dostęp 03.2017.
- PRISYAZHNIUK V.A. 2007 – Prognosticating scale-forming properties of water. Applied Thermal Engineering, 27: 1637–1641; <http://www.sciencedirect.com> – dostęp 1.10.2014.
- RAFFERTY K. 1999 – Scaling in geothermal heat pump systems. U.S. Department of Energy: 1–9; <http://geoheat.oit.edu/otl/scaleghp.pdf> – dostęp 03.2017.
- 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. z 2014 r., poz. 1800.
- RMZ 2015 – Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. z 2015 r., poz. 1989.
- RUBIK M. 2006 – Pompy ciepła. Poradnik, Ośrodek informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, 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. Biul. Państw. Inst. Geol., 436: 497–506.
- TOMASZEWSKA B., 2011 – Utylizacja wód termalnych, korozja i skalowanie. Wstępne wyniki realizacji projektu badawczo-rozwojowego, Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, Kraków, 1/2: 403–412.
- TOMASZEWSKA B., PAJĄK L. 2013 – Zagospodarowanie schłodzonych i odsolonych wód termalnych w Podhalańskiej Sieci Ciepłowniczej. Gosp. Sur. Miner., 29 (1): 127–139.
- TYRAŁA K., PRZYWARSKA R., PIONEK F., PIONEK W. 2003 – Program Ochrony Środowiska dla powiatu Suskiego na lata 2000–2007 wraz z perspektywą do 2011 roku, Część 1, Gliwice.