

## Analiza możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej na obszarze Małopolski. Część I

Justyna Mazurkiewicz<sup>1</sup>, Ewa Kmicik<sup>1</sup>, Barbara Tomaszewska<sup>2</sup>

**Analysis of the possibility to use the quaternary groundwater in the low-temperature geothermal systems in Małopolska. Part I.** Prz. Geol., 63: 926–930.

*Abstract.* The paper presents the possibilities of utilization of Quaternary groundwater in low-temperature geothermal systems in Małopolska. Water as a heat source must fulfill the relevant requirements for physicochemical parameters. In this paper, physicochemical parameters of water used in low temperature systems: pH, electrical conductivity, chloride, sulphate, oxygen, iron and manganese have been evaluated. Data for this study were obtained from the Polish Hydrogeological Survey (PSH is carried out by the Polish Geological Institute – National Research Institute). The analysis showed that Małopolska has potential to use Quaternary groundwater in low temperature systems.

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

Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE) kraje członkowskie Unii Europejskiej zostały zobowiązane do prowadzenia działań zorientowanych na wzrost stosowania odnawialnych źródeł energii (OZE). Dla każdego z 27 państw określono indywidualny cel na 2020 r., w którym uwzględniono zróżnicowane uwarunkowania gospodarcze (na podstawie 2005 r.), strukturę źródeł energii i potencjał poszczególnych krajów. Dla Polski założono wzrost wykorzystania OZE w finalnym zużyciu energii co najmniej do poziomu 15% w 2020 r. i 20% w 2030 r. oraz osiągnięcie do 2020 r. 10% udziału biopaliw na rynku paliw transportowych. Plan działań szczegółowo ustalono w „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku” (zał. 2 – „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”), przyjętej uchwałą nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r.

Rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii powinien być realizowany w trzech obszarach:

- energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii,
- ciepła i chłodu z odnawialnych źródeł energii,
- biokomponentów wykorzystywanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych.

Istotną rolę w tym zakresie mogą odegrać instalacje niskotemperaturowe wspomagane pompami ciepła, wykorzystujące jako dolne źródło ciepła wody podziemne. Potencjał rynkowy odnawialnych zasobów energii z geotermii wspomaganej pompami ciepła określono w „Polityce energetycznej Polski...” na 8167 TJ (755 MWt) do 2020 r. i 12 000 TJ (11 000 MWt) do 2030 r.

Wykorzystywanie wód podziemnych w systemach niskotemperaturowych jest możliwe zarówno w systemach otwartych, w których nośnikiem energii jest woda (instalacje dwuotworowe i jednootworowe), jak i w systemach zamkniętych, w których wymiennik jest umieszczony

w utworach zawodnionych lub w górotworze (Sanner, 2001; Mazurkiewicz, 2015). Pomimo potencjalnych możliwości wykorzystania płytko leżących wód podziemnych w systemach pomp ciepła, instalacje tego typu w Polsce mają wciąż najmniejszy udział na rynku. Z badań przeprowadzonych przez Polską Organizację Pomp Ciepła w 2014 r. wynika, że z ogólnej liczby sprzedanych urządzeń zaledwie 1% dotyczył instalacji typu woda/woda (152 szt.). Zdaniem wielu autorów niski udział pomp ciepła tego typu na rynku może wiązać się z wciąż wysokimi kosztami instalacji, które w wielu przypadkach przekraczają nawet dwukrotnie cenę instalacji opartych na konwencjonalnych nośnikach energii, skomplikowanymi uregulowaniami prawnymi, którym podlegają instalacje bazujące na wodach podziemnych, oraz z brakiem rozpoznania możliwości wykorzystania wód podziemnych w tego typu instalacjach (Forsen, 2005; Kapuściński & Rodzoch, 2010; Lachman i in., 2013; Mazurkiewicz, 2015).

W 2014 r. w Polsce odnotowano wzrost zastosowania pomp typu powietrze/woda do przygotowania ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) o 44% i pomp typu solanka/woda o 25% (<http://portpc.pl/> – stan na luty 2015 r.). W Niemczech, Danii, Estonii, Belgii i Austrii również odnotowuje się systematyczny wzrost wykorzystania pomp ciepła w systemach energetycznych, jednak dotyczy on w szczególności pomp powietrznych i gruntowych (EurObserv'ER Report, 2013, 2014). W praktyce takie rozwiązania są najprostsze i najtańsze, gdyż nie wymagają szczegółowego rozpoznania warunków hydrogeologicznych, w tym również hydrogeochemicznych, jednak efektywność pracy tych urządzeń zwykle jest niższa niż w przypadku instalacji bazujących na wodach podziemnych. Wykorzystanie strumienia wód podziemnych zapewnia stabilność parametrów dolnego źródła ciepła (wydajność, temperatura), co przekłada się na wartość współczynnika efektywności energetycznej pompy ciepła (COP).

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; mazurkiewicz@geol.agh.edu.pl, ewa.kmicik@agh.edu.pl.

<sup>2</sup> Zakład Odnawialnych Źródeł Energii i Badań Środowiskowych, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; b.tomaszewska@meeri.pl.

W pracy przedstawiono wprowadzenie do oceny potencjalnych możliwości wykorzystania czwartorzędowych wód podziemnych na obszarze województwa małopolskiego w instalacjach niskotemperaturowych dwuotworowych i jednootworowych wspomaganych pompami ciepła typu woda/woda. Szczegółowej analizie poddano wyniki oznaczeń wybranych parametrów fizykochemicznych (określanych przez producentów pomp ciepła jako istotne z punktu widzenia uwarunkowań technicznych instalacji) tych wód. Należą do nich zwykle: odczyn wody (pH), przewodność elektrolityczna właściwa oraz stężenia: chlorków, siarczanów, żelaza, manganu, amonu, tlenu, chloru wolnego i kwasu węglowego. Analizę przeprowadzono na podstawie danych uzyskanych z Centralnej Bazy Danych Hydrogeologicznych (CBDH, tzw. Bank Hydro).

### CZWARTORZĘDOWE ZBIORNIKI WÓD PODZIEMNYCH W MAŁOPOLSCE

W województwie małopolskim wydzielono czwartorzędowe zbiorniki wód podziemnych w subregionie Karpat zewnętrznych (GZWP nr 433, 434, 435, 437, 440, 442, 443, 444, 446), subregionie zapadliska przedkarpackiego (GZWP nr 450) oraz na monoklinie śląsko-krakowskiej (GZWP nr 453) (Kleczkowski, 1990, 1991). W regionie karpackim osady czwartorzędowe to głównie aluwia dolin rzecznych (dolina Wisły i jej dopływy – Biała, Skawa, Dunajec, Raba i Soła) i kotlin śródgórskich (Kotlina Żywiecka, Kotlina Sądecka) oraz osady fluwioglacjalne (Kotlina Orawsko-Nowotarska) (Chowaniec, 2009; Chowaniec i in., 2012). Miąższość utworów wodonośnych jest tu zróżnicowana i wynosi 5–15 m (Kleczkowski, 1991; Chowaniec, 2009), a wydajności pojedynczych studni kształtują się na poziomie od kilku do kilkunastu m<sup>3</sup>/h, lokalnie osiągają 50 m<sup>3</sup>/h, a nawet 70 m<sup>3</sup>/h (Kleczkowski, 1991; Chowaniec 2009; Chowaniec i in., 2012).

W Karpatach zewnętrznych czwartorzędowe osady dolinne są zbiornikami porowymi, związanymi z rzekami karpackimi. Miąższość osadów jest niewielka i wynosi 2–15 m, przeciętnie 3–6 m, wartość współczynnika filtracji wynosi ok. 10<sup>-5</sup>–10<sup>-2</sup> m/s, przeciętnie 10<sup>-4</sup> m/s, natomiast wydajności pojedynczych ujęć studziennych 5–15 m<sup>3</sup>/h, średnio 2–5 m<sup>3</sup>/h. W paśmie przedkarpackim zbiorniki porowe znajdują się w czwartorzędowych zbiornikach dolin rzecznych i dolin kopalnych. Najzasobniejsze struktury czwartorzędowe obejmują dolinę Wisły, z ujściowymi odciwkami zasilającymi ją rzek. Miąższość osadów wodonośnych jest niewielka i wynosi od kilku do kilkunastu metrów, maksymalnie do 20 m, współczynniki filtracji wynoszą 1–3·10<sup>-4</sup> m/s, a wydajności pojedynczych ujęć na ogół nie przekraczają 30 m<sup>3</sup>/h, lokalnie wynoszą do 70 m<sup>3</sup>/h (Kleczkowski, 1991).

W obrębie monokliny śląsko-krakowskiej zbiorniki porowe tworzą czwartorzędowe osady dolin rzecznych. Miąższość osadów czwartorzędowych wynosi do ok. 60 m (zbiornik doliny Białej Przemszy), przeciętne wartości współczynnika filtracji – ok. 10<sup>-4</sup> m/s, natomiast przeciętne wydajności pojedynczych studni wynoszą 20–30 m<sup>3</sup>/h (Nałęcki, 1990).

Pod względem hydrochemicznym wody z osadów czwartorzędowych z województwa małopolskiego zwykle mają charakter wielojonowy, dominują w nich: wodorowęglany, siarczany, wapń, magnez i sód. Większość czwartorzędowych zbiorników wód podziemnych z tego woje-

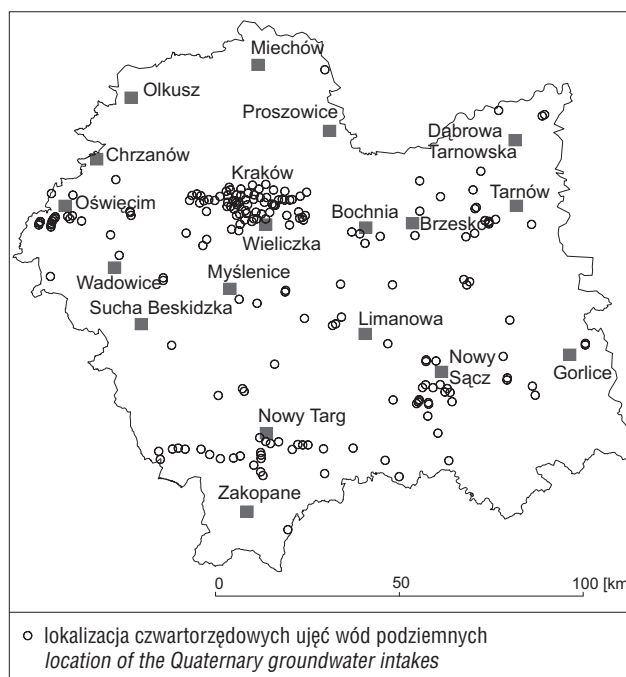
wództwa nie ma pokrywy izolacyjnej w stropowych częściach warstwy wodonośnej, co ułatwia przenikanie zanieczyszczeń z powierzchni terenu (Bereś i in., 2003).

### ANALIZA DANYCH

W celu oceny możliwości wykorzystania wód podziemnych z osadów czwartorzędowych w systemach geotermii niskotemperaturowej na obszarze Małopolski przeanalizowano dane z 312 ujęć, zgromadzone w CBDH. Lokalizację ujęć przedstawiono na rycinie 1. Szczegółowej analizie poddano wyniki oznaczeń wybranych parametrów fizykochemicznych: chlorków, siarczanów, tlenu, żelaza, manganu i chloru wolnego oraz wartości pH i przewodności elektrolitycznej właściwej w wodach z tych ujęć.

Badania składu chemicznego czwartorzędowych wód podziemnych z tych ujęć w latach 2008–2013 były wykonywane przez różne laboratoria, w tym m.in. przez: Laboratorium Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Krakowie, Laboratorium Powiatowej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Nowym Targu, Bochni, Dębicy, Tarnowie, Gorlicach, Limanowej, Nowym Sączu i Brzesku, Laboratorium PIOŚ-WIOŚ w Krakowie, Tarnowie i Nowym Sączu, Laboratorium Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Krakowie i Warszawie oraz Laboratorium Hydrogeochemiczne Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Baza danych CBDH nie zawiera informacji dotyczących stosowanych przez te laboratoria metod badań.

W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę zmienności parametrów fizykochemicznych wód podziemnych analizowanego rejonu. Zakresy stężeń (min.–max i średnią) poszczególnych parametrów dla wód wykorzystywanych



**Ryc. 1.** Lokalizacja czwartorzędowych ujęć wód podziemnych na tle województwa małopolskiego (na podstawie danych z CBDH, lata 2008–2013)

**Fig. 1.** Location of the Quaternary groundwater intakes in Małopolska (based on data from CBDH, 2008–2013)

Tab. 1. Charakterystyka parametrów fizykochemicznych czwartorzędowych wód podziemnych województwa małopolskiego (na podstawie danych z CBDH)  
 Table 1. Physicochemical composition of Quaternary groundwater in Małopolska voivodship (based on CBDH)

Parametr Parameter	Skład chemiczny czwartorzędowych wód podziemnych Physicochemical composition of Quaternary groundwater		wartość value	Wartości graniczne parametrów fizykochemicznych wód stosowanych jako dolne źródło dla pomp ciepła – http://www.ochsner.pl/ (stan na grudzień 2014 r.) Boundary values of physical-chemical parameters of waters used as a lower source for the heat pump – http://www.ochsner.pl/ (of December 2014)		Wartości dopuszczalne dla wód przeznaczonych do spożycia (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r.) Limit values for water intended for human consumption	Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń dla niektórych substancji szkodliwych dla środowiska wodnego (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2014 r.) Maximum values of pollution indicators for certain substances harmful to the aquatic environment
	zakres min.–max range of min.–max	średnia mean		wymiennik płytowy plate heat exchanger	miedź – lutowany copper – soldering		
Przewodność elektrolityczna właściwa Conductivity	140–5531,00	805,82	>600 <sup>1)</sup>	--	+	2500*	n.o.
pH	5–12,79	7,15	<6 <sup>1)</sup> 6–8 >8	0 + --	0 + 0	6,5–9,5**	6,5–9,0
Chlorki Chlorides	2,44–1649,00	88,06	<10 10–100 100–200 >200	+	+	250**	1000
Siarczany Sulphates	<DL–300,10	69,53	<50 <sup>1)</sup> 50–100 >100	+	+	250**	500
Tlen Oxygen	0,40–10,20	7,05	<1 <sup>1)</sup> 1–8 >8	+	+	n.o.	n.o.
Mangan Manganese	<DL–9,60	0,53	>0,05 <sup>2)</sup>	--	– <sup>3),4)</sup>	0,05	n.o.
Żelazo Iron	<DL–27,7	2,14				0,2	10
Chlor wolny Free chlorine	<DL–0,06	0,03	<0,5 <sup>1)</sup>	+	+	0,3	0,2

DL – granica oznaczalności.

Objaśnienia dla granic stosowania źródła ciepła +8°C i +22°C: + – materiał zazwyczaj jest odporny, 0 – może dojść do korozji, gdy większość czynników osiągnie wartość „0”, -- – odradza się stosowania.

\*Oznaczona w temperaturze 25°C, \*\*parametr powinien być uwzględniany przy ocenie agresywności wrażliwości korozyjnych wody.

<sup>1)</sup>Jeżeli nie będą zachowane te granice, zamiast wymiennika lutowanego miedzią w pompie ciepła musi być budowany wymiennik lutowany stalą nierdzewną; <sup>2)</sup>na podstawie przewidywanych zanieczyszczeń nie należy stosować pompy ciepła typu woda/woda; <sup>3)</sup>dla granicy zastosowania wymiennika ze stali nierdzewnej obok żelaza i manganu ważna jest zawartość chlorków; <sup>4)</sup>stal nierdzewna jest odporna na korozję, styczność z powietrzem powoduje jednak utlenienie.

DL – limit of quantification.

Explanation of the limits of the application of the heat source +8°C and +22°C: + – usually resistant material, 0 – corrosion can occur if most of the factors reaches “0”, -- – advise to avoid.

\*Determined at 25°C, \*\*parameter should be taken into account in the assessment of aggressive corrosive water properties.

<sup>1)</sup>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; <sup>2)</sup>based on predictable impurities water/water type heat pump should not be used; <sup>3)</sup>in the case of using stainless steel heat exchanger next to iron and manganese content, the chloride content is important; <sup>4)</sup>stainless steel is corrosion resistant, however, exposure to air causes oxidation.



w systemach niskotemperaturowych odniesiono do wartości granicznych podanych przez producenta pomp ciepła (firmę OCHSNER Wärmepumpen GmbH, oferującą pompy typu woda/woda – <http://www.ochsner.pl/> – stan na grudzień 2014 r.) oraz do wartości dopuszczalnych dla wód przeznaczonych do spożycia (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r.) i dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń dla niektórych substancji szkodliwych dla środowiska wodnego (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2014 r.).

Wody czwartorzędowego poziomu wodonośnego charakteryzują się dużą zmiennością właściwości fizykochemicznych (tab. 1). Są to wody o odczynie od kwaśnego do zasadowego (pH 5,00–13,00), najczęściej słabo zasadowym (średnio pH = 7,15). Cechują się znacznym zróżnicowaniem przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW). Bardzo wysokie wartości przewodności mogą świadczyć o wodach zanieczyszczonych (max PEW = 5531,00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), co potwierdzają również wysokie stężenia jonów chlorkowych i siarczanowych. Wody te zawierają podwyższone stężenia manganu (średnio 0,53  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) i żelaza (średnio 2,14  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ). Podczas analizy wyników zestawionych w tabeli 1 można stwierdzić, że wody z osadów czwartorzędowych w obrębie województwa małopolskiego w większości przypadków spełniają wymagania określone przez producenta pomp ciepła zarówno w przypadku wymiennika lutowanego miedzią, jak i stalą nierdzewną. Lokalnie można zaobserwować przekroczenia wartości granicznych większości z wymienionych parametrów. Przekroczenia te również dotyczą wartości dopuszczalnych dla wód przeznaczonych do spożycia (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r.) i dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczeń dla niektórych substancji szkodliwych dla środowiska wodnego (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 2014 r.).

Występowanie podwyższonych wartości parametrów fizykochemicznych w wodach wykorzystywanych jako dolne źródło ciepła może przyczyniać się m.in. do narastania osadów na ściankach studni, wytrącania żelaza, ograniczenia dopływu świeżej wody do ujęcia, ale przede wszystkim do korozji instalacji (Sanner, 2001; Rubik, 2011). W przypadku systemów dwuotworowych, tj. zakładających zatłaczanie wykorzystanych wód (po odebraniu ciepła w pompie ciepła) do górotworu, wymienione czynniki mogą prowadzić dodatkowo do zamulenia i kolmatacji studni chłonnych. Kłopoty z chłonnością oraz korozja i kolmatacja filtrów należą do najistotniejszych problemów związanych z eksploatacją wód podziemnych, co bezpośrednio wpływa na koszty pozyskania energii (Rafferty, 1999, 2000; Tomaszewska, 2008; Ghobadi i in., 2010).

Ponadnormatywne stężenia analizowanych wskaźników występują zwykle na obszarach podlegających silnej antropopresji. Należy jednak stwierdzić, że wysokie stężenia wskaźników fizykochemicznych wody nie wykluczają całkowicie wykorzystania zasobów wód w systemach energetycznych. Rozwiązaniem stosowanym w wielu instalacjach na świecie są pośrednie wymienniki ciepła, przekazujące energię wody podziemnej medium, którego parametry nie wpływają na żywotność instalacji. Jest to stosowane również w instalacjach pomp ciepła, dla których dolne źródło ciepła stanowią ścieki przemysłowe lub komunalne.

W wykorzystaniu energii wód podziemnych ważnym elementem jest stabilność wydajności ujęcia oraz jego temperatury. Wydajność studni na poziomie ok. 1,2–1,5  $\text{m}^3/\text{h}$  to strumień niezbędny dla uzyskania ok. 5 kW mocy grzewczej (<http://www.biawar.com.pl/> – stan na grudzień 2014 r.). W tych prognozach nie bez znaczenia jest temperatura dolnego źródła ciepła oraz sieci grzewczej. Zwykle zapotrzebowanie na moc cieplną budynku jednorodzinnego o powierzchni ok. 150  $\text{m}^2$  wynosi ok. 10 kW.

## PODSUMOWANIE

Wody podziemne, wykorzystywane jako dolne źródło ciepła w systemach wspomaganych pompami ciepła, powinny spełniać wymagania w zakresie wybranych parametrów fizykochemicznych wskazywanych przez producentów instalacji przemysłowych. Jest to główny aspekt mający zapewnić bezpieczną i prawidłową eksploatację systemu opartego na wodach podziemnych. Dla prawidłowego funkcjonowania systemu z pompą ciepła istotne znaczenie mają m.in.: temperatura, pH, przewodność elektrolityczna właściwa, twardość ogólna, obecność agresywnego  $\text{CO}_2$ , stężenia chlorków, chloru wolnego, siarczanów, żelaza i manganu oraz zawartość tlenu rozpuszczonego. Wartości te są zbliżone do wymagań dotyczących jakości wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi określonych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r.

Wstępna ocena upoważnia do wniosku, że województwo małopolskie ma potencjalne możliwości wykorzystania wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w instalacjach niskotemperaturowych zarówno pod względem potencjalnego wydatku ujęć wód (ok. kilka  $\text{m}^3/\text{h}$ ), jak i temperatury wód (6–20°C). Właściwości fizykochemiczne wód w niektórych przypadkach nie spełniają wymagań określonych przez producentów pomp ciepła.

Z całą pewnością dla pracy systemu energetycznego najlepszym rozwiązaniem jest pozyskanie wód dobrej jakości, ale nie wyklucza się również eksploatacji wód zanieczyszczonych. Wymagania określone przez producentów pomp ciepła mogą zostać spełnione przez zastosowanie wtórnego obiegu wody lub innego medium, którego parametry nie wpłyną na żywotność instalacji.

Prace badawcze będą kontynuowane w celu wskazania w województwie małopolskim obszarów o zróżnicowanych uwarunkowaniach hydrogeologicznych i energetycznych.

Autorki pracy składają serdeczne podziękowania firmie OCHSNER Wärmepumpen GmbH za udostępnienie materiałów technicznych do pracy.

Praca finansowana w ramach umowy AGH 15.11.140.477 oraz 11.11.140.026.

## LITERATURA

- BEREŚ R., CIEŚLA G., CZARNECKA L., DĘBSKA B., DULEMBA K., DZIERKO M., GONDEK E., GŁÓWKA A., GOŁĘBIEWSKA K., JANIK M., KAPUSTKA D., LISTWAN R., ŁĘCZYCKA D., OGAR M., PAJĄK B., RECZEK T., SYNOWIEC K., ŻELAZOWSKI E., ŻMUDA D., BOLEK K. & BURY W. 2003 – Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim w 2002 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska WIOŚ, Kraków, s. 123–131.
- CHOWANIEC J. 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biul. Państw. Inst. Geol., 434: 1–98.

- CHOWANIEC J. (red.), WÓJCIK A. (red.), MROZEK T., RĄCZKOWSKI W., NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., MARCINIEN P., ZIMNAL Z. & GRANOSZEWSKI W. 2012 – Osuwiska w województwie małopolskim. Wyd. Kartograficzne Compass, Kraków, s. 143.
- DYREKTYWA Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych (zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE) (Dz.U. UE L. 140/16.5.6.2009).
- EUROBSERV'ER REPORT 2013 – The State of Renewable Energies in Europe Edition 2013 – 13<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Paris, s. 201 – [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf) (stan na styczeń 2015 r.).
- EUROBSERV'ER REPORT 2014 – The State of Renewable Energies in Europe Edition 2014 – 14<sup>th</sup> EurObserv'ER Report. Paris, s. 212 – [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan14-gb.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan14-gb.pdf) (stan na styczeń 2015 r.).
- FORSEN M. 2005 – Heat pumps—technology and environmental impact. Swedish Heat Pump Association (SVEP) – [http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/about\\_ecolabel/reports/hp\\_tech\\_env\\_impact\\_aug2005.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/about_ecolabel/reports/hp_tech_env_impact_aug2005.pdf) (stan na styczeń 2015 r.).
- 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 Management*, 97: 1602–1608 – <http://www.journals.elsevier.com/agwat> (stan na styczeń 2015 r.).
- KAPUŚCIŃSKI J. & RODZUCH A. 2010 – Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, s. 140.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.) 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony: 1 : 50 000, objaśnienia tekstowe. Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, Kraków.
- KLECZKOWSKI A.S. 1991 – Wody podziemne. [W:] Dynowska I., Maciejewski M. (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. I. PWN, Warszawa, s. 263–329.
- LACHMAN P., MIARA M., GROCHAL B., RUBIK M., GREJCZ R. & KALETKA S. 2013 – Wpływ zastosowania pomp ciepła na środowisko, korzyści wynikające z ich zastosowania i oraz znaczenie w Polsce do 2020 r. PORT PC, Kraków – [http://www.portpc.pl/pdf/Wplyw\\_zastosowania\\_pomp\\_ciepla\\_PORTPC.pdf](http://www.portpc.pl/pdf/Wplyw_zastosowania_pomp_ciepla_PORTPC.pdf) (stan na styczeń 2015 r.).
- MAZURKIEWICZ J. 2015 – Główne bariery rozwoju geotermii niskotemperaturowej wspomaganą pompami ciepła typu woda/woda w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, Warszawa, 2: 47–51 – <http://www.gazwoda.pl/> (stan na marzec 2015 r.).
- NAŁĘCKI T. 1990 – Charakterystyka własności hydrogeologicznych porowych GZWP. [W:] Kleczkowski A.S. (red.), *Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) w Polsce – własności hydrogeologiczne, jakość wód, badania modelowe i poligonowe*. AGH Kraków, 55: 27–47.
- POLITYKA energetyczna Polski do 2030 roku – Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.
- RAFFERTY K. 1999 – Scaling in geothermal heat pump systems. U.S. Department of Energy: 1–9 – <http://geoheat.oit.edu/otl/scaleghp.pdf> (stan na grudzień 2014 r.).
- RAFFERTY K. 2000 – Design issues in the commercial application of GSHP systems in the U.S. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, 21: 6–10 – <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull21-1/art2.pdf> (stan na grudzień 2014 r.).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 16 grudnia 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. nr 0, poz. 1800).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r. w sprawie jakości wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi (Dz.U. z 2007 r. nr 61, poz. 417 ze zm.)
- RUBIK M. 2011 – Pompy ciepła w systemach geotermii niskotemperaturowej. Wyd. MULTICO, Warszawa, s. 212.
- SANNER B. 2001 – Shallow geothermal energy. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, Klamath Falls, 22: 19–25 – <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull22-2/art4.pdf> (stan na grudzień 2014 r.).
- TOMASZEWSKA B. 2008 – Prognozowanie kolmatacji instalacji geotermalnych metodą modelowania geochemicznego. *Gosp. Sur. Miner.*, 2 (3): 399–407.