

Justyna MAZURKIEWICZ
Ewa KMIECIK
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: mazurkiewicz@geol.agh.edu.pl; ewa.kmiecik@adh.edu.pl

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2013

Barbara TOMASZEWSKA
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie
Zakład Odnawialnych Źródeł Energii i Badań Środowiskowych
31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7
e-mail: tomaszewska@meeri.pl

PROGRAM BADAŃ DLA OKREŚLENIA POTENCJAŁU GEOTERMII NISKOTEMPERATUROWEJ BAZUJĄCEJ NA WODACH PODZIEMNYCH MAŁOPOLSKI

STRESZCZENIE

Małopolska posiada potencjalne zasoby niskotemperaturowej energii geotermalnej, której wykorzystanie może przyczynić się do zrównoważonego rozwoju regionu. Wynika to z możliwości zagospodarowania zasobów zwykłych wód podziemnych, występujących na głębokości do około 500 m p.p.t., których temperatura na wypływie z ujęcia jest niższa od 20°C. W pracy scharakteryzowano warunki geologiczne i hydrogeologiczne analizowanego regionu i zaprezentowano podstawowe założenia dla programu badań ukierunkowanego na określenie możliwości wykorzystania wód podziemnych, w niskotemperaturowych systemach energetycznych, wspomaganych pompami ciepła. W kolejnym etapie prac, szczegółowej ocenie poddane zostaną parametry hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne (w tym termiczne) w poszczególnych zbiornikach wodonośnych oraz uwarunkowania sozologiczne badanego regionu. Podjęte działania pozwolą na wskazanie obszarów najbardziej perspektywicznych dla wykorzystania w geotermii niskotemperaturowej.

SŁOWA KLUCZOWE

Geotermia niskotemperaturowa, jednolite części wód podziemnych (JCWPd), Małopolska

* * *

WPROWADZENIE

Wielu badaczy (Rosik-Dulewska, Grabda 2001; Bujakowski 2010; Kapuściński, Rodzich 2006, 2010) podkreśla, że na obszarze Polski występują stosunkowo bogate zasoby

niskotemperaturowych wód geotermalnych oraz wód kopalnianych, możliwe do wykorzystania w celach grzewczych. Jednakże pojęcie „wody niskotemperaturowe” rozumiane jest różnie. Odnosząc się do definicji wody termalnej, określonej w ustawie Prawo geologiczne i górnicze (PGG, Dz.U. z 2011 Nr 163 poz. 981), w niniejszej pracy przyjęto, że wody niskotemperaturowe to wody, które na wypływie z ujęcia wykazują temperaturę mniejszą niż 20°C. Ich zasoby występują zwykle na głębokości do około 500 m p.p.t.

Wykorzystanie zasobów wód niskotemperaturowych w ciepłownictwie wymaga stosowania pomp ciepła. Jednym z pozytywnych przykładów ujęcia niskotemperaturowych zasobów wód podziemnych w celach grzewczych w Małopolsce, było wytworzenie instalacji ciepłowniczej w Słomnikach. W instalacji wykorzystano wody występujące w utworach cenomanu, zalegających na głębokości 200–300 m p.p.t. Ujęcie o charakterze artezyjskim, posiadające wydajność około 50 m³/h, temperaturę wody 17°C i niską mineralizację wody (0,2 g/dm³) wykonane zostało i zagospodarowane dla potrzeb ogrzewania szkoły oraz odbiorców indywidualnych (Barbacki 2004; Barbacki i in. 2006).

Zasoby wód podziemnych mogą posiadać znaczny potencjał energetyczny, którego wykorzystanie prawdopodobnie jest możliwe na całym obszarze województwa. Możliwość efektywnego zagospodarowania energii geotermalnej będzie jednakże uzależniona od szeregu czynników geologiczno-gospodarczych. Wskazanie obszarów najbardziej perspektywicznych w tym zakresie wymaga więc przeanalizowania warunków geologicznych, hydrogeologicznych, hydrogeochemicznych (w tym termicznych), ale również sozologicznych. Nie bez znaczenia są uwarunkowania lokalne, wynikające z charakterystyki ujęć wód podziemnych, ale również ustaleń planów zagospodarowania przestrzennego.

W niniejszej pracy scharakteryzowano pokrótce warunki geologiczno-hydrogeologiczne Małopolski, występujące w szczególności na głębokości do 500 m p.p.t. Przedstawiono jednocześnie podstawowe założenia dla programu badań ukierunkowanego na określenie możliwości wykorzystania zwykłych wód podziemnych w niskotemperaturowych systemach energetycznych.

1. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Na obszarze województwa małopolskiego występują liczne jednostki geologiczne: monoklina śląsko-krakowska, niecka miechowska, zapadlisko górnośląskie, zapadlisko przedkarpackie, Karpaty zewnętrzne i wewnętrzne (rys. 1) (Stupnicka 1997; Bujakowski 2001).

Monoklinę śląsko-krakowską budują głównie utwory triasu i jury, które pokrywają starsze utwory zbudowane ze skał młodszego paleozoiku. Lokalnie w podłożu występują utwory permskie reprezentowane przez piaskowce i zlepieńce. Trias wykształcony jest w facji piaszczysto-ilastej (trias dolny), dolomityczno-wapienno-marglistej (trias środkowy i dolny) oraz ilastej (trias górny). Podobne zróżnicowanie wykazuje kompleks jurajski. Piaskowce i ilowce – reprezentują jurę środkową, wapienie – górną. Pomiędzy wychodniami starszego podłoża znajdują się osady plejstocenijskie – wykształcone w postaci glin i piasków



Rys. 1. Główne jednostki geologiczne województwa małopolskiego
(na podstawie Barbacki i in. 2006)

Objaśnienia: 1 – granica województwa, 2 – granice jednostek geologicznych, 3 – czoło nasunięcia Karpat, 4 – granica zapadliśka przedkarpackiego

Fig. 1. Main geological units of the Malopolska voivodship (based on Barbacki et al. 2006)

lodowcowych, piasków, mułków i ilów zastoiskowych, piasków rzeczno-lodowcowych oraz piasków i żwirów rzecznych (Kowalczyk i in. 2007)

Nieckę miechowską budują miękkie margle górnokredowe o słabo zaburzonym pierwotnym układzie skał (Barbacki i in. 2006), natomiast w granicach Wyżyny Małopolskiej – piaski i piaskowce oraz margle i opoki z wkładkami piaskowców kredy górnej. Kompleksy kredowe przykrywają niezgodnie starsze utwory (Prażak 2007). Południowa część niecki zanurza się pod osady miocenu, a budujące ją utwory tworzą mezozoiczne podłoże zapadliśka przedkarpackiego (Barbacki 2004). Podłoże niecki zbudowane jest ze skał paleozoicznych strefy miechowsko-rzeszowskiej (Stupnicka 1997).

Zapadliśko górnośląskie obejmuje zachodnią część województwa. Podłoże zapadliśka buduje blok prekambryjskich skał krystalicznych, tworzący najniższe piętro strukturalne (piętro krystaliczne obejmujące granitoidy, gnejsy, łupki krystaliczne, zasadowe skały magmowe). Na utworach podłoża zalegają okruchowe i węglanowe skały najwyższego proterozoiku, kambriu, młodszego paleozoiku i triasu, tworząc trzy piętra strukturalne: pokrywowe (osady najwyższego proterozoiku, kambriu, dewonu, dolnego karbonu), molosowe (starsze – osady namuru i westfalu, młodsze – stefanu i permu dolnego) oraz piętro mezozoiczne. Osady triasu i górnej jury przykrywają lokalnie ogniwa starszych skał. Południowa część zapadliśka została przykryta osadami zapadliśka przedkarpackiego, na które nasunęły się płaszczowiny Karpat zewnętrznych (Mizerski 2009).

Zapadlisko przedkarpackie rozciąga się między Karpatami a wyżynami środkowej Polski (Stupnicka 1997) i jest wypełnione klastycznymi osadami mioceniowymi o miąższości do 3 km (Oszczypko 2006). W ich obrębie wyróżniono dwie strefy: zapadlisko wewnętrzne (starsze) i zapadlisko zewnętrzne. Zapadlisko wewnętrzne znajduje się w pozycji autochtonicznej pod płaszczowinami karpackimi oraz w pozycji allochtonicznej przed czołem nasunięcia Karpat fliszowych (jednostka stebnicka). Zapadlisko wewnętrzne wypełniają utwory dolno- i środkowomioceniowe o miąższości do 1500 m, zapadlisko zewnętrzne środkowomioceniowe osady morskie o miąższości od kilkuset metrów (północna i brzeźna część) do około 3 500 m (południowo-wschodnia część) (Peryt 2012).

Karpaty zewnętrzne zbudowane są niemal wyłącznie z kredowo-trzeciorzędowych osadów fliszowych (Oszczypko 2004), nasuniętych na osady zapadliska przedkarpackiego w postaci płaszczowin (Mizerski 2009) reprezentowanych przez trzy grupy: brzeźną, środkową i magurską. Grupa brzeźna obejmuje strefę sfałdowanego miocenu, która przebiega wzdłuż czoła Karpat (jednostka stebnicka i zgłobicka). Grupę średnią (skolska, podskolska, śląska, podśląska i przedmagurska) charakteryzuje zróżnicowany rozwój utworów górnokredowo-paleogeńskich i eoceniowych, oraz jednolity rozwój górnego eocenu i oligocenu. Natomiast grupę magurską cechuje tektoniczny zanik utworów dolnokredowych, sedymentacyjna redukcja miąższości górnej kredy i paleogenu oraz zróżnicowany charakter utworów eocenu i oligocenu (Oszczypko 2011).

Karpaty wewnętrzne obejmują Tatry, Pieniński Pas Skałkowy (PPS) oraz nieckę podhalańską. Obszar **Tatr** obejmuje trzon krystaliczny i osłonę osadową. Trzon krystaliczny budują zróżnicowane pod względem petrograficznym skały zmetamorfizowane (odmiany gnejsów, amfibolitów i łupków krystalicznych, powstałe z przeobrażenia skał osadowych wieku paleozoicznego) lub intruzywne (skały o składzie zbliżonym do granodiorytów lub tonalitów, reprezentujące intruzje granitowe wieku karbońskiego) (Aleksandrowicz 2000). Pokrywę osadową reprezentują mezozoiczne skały osadowe – serie autochtoniczne i nasunięte z południa jednostki allochtoniczne – wierchowa i regłowa (Stupnicka 1997).

Pieniński Pas Skałkowy budują serie skałkowe odporne na proces denudacji. Są to odmiany wapieni i radiolarytów środkowej i górnej jury oraz dolnej kredy i ich osłona wykształcona jako: margle, wapień i łupki górnej kredy i paleogenu. Skały budujące PPS tworzą strome łuski i fałdy diapirowo wciśnięte pomiędzy utwory fliszu podhalańskiego a serie osadowe Karpat zewnętrznych tworzących płaszczowinę magurską (Aleksandrowicz 2000).

Niecka podhalańska – położona między Tatrami na południu, a PPS na północy – zbudowana jest z dwóch serii: dolnej – węglanowej (eocen numulitowy) i górnej fliszowej (Chowaniec 2009; Kępińska 2004). Osady eocenu numulitowego reprezentuje kompleks zlepieńców, piaskowców grubookruchowych i wapieni numulitowych (Mizerski 2009), a flisz podhalański – osady piaskowcowo-łupkowe (Aleksandrowicz 2000). Miąższość fliszu dochodzi do 3 km i obejmuje warstwy szaflarskie, zakopiańskie, chochołowskie i ostryjskie w zachodniej części obszaru (Kępińska 1997; Cieszkowski i in. 2009; Chowaniec 2009).

2. CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA I HYDROGEOCHEMICZNA

Według Paczyńskiego (1995) wody podziemne Małopolski zaliczone zostały do makroregionu południowego i obejmują trzy regiony hydrogeologiczne: XIV – karpacki, XII – przedkarpacki i częściowo XII – śląsko-krakowski.

Najbardziej południową część województwa małopolskiego obejmuje region karpacki, zawierający dwa subregiony rozdzielone Pienińskim Pasem Skałkowym: Karpaty wewnętrzne (rejon tatrzański i basen podhalański) i Karpaty zewnętrzne. W obrębie jednostki podhalańskiej występuje zbiornik wód termalnych, o temperaturze lokalnie przekraczającej 80°C, niskiej mineralizacji (do ok. kilku g/dm³) (Paczyński 2007) i wysokich wydajnościach ujęć (powyżej 550 m³/h) (Kępińska 2004; Chowaniec 2009; Małecka i in. 2007). Subregion Karpat zewnętrznych otwiera Kotlina Orawsko-Nowotarska, wypełniona kompleksem mioceno-czwartorzędowym oraz Kotliną Nowosądecką. W obu strukturach główne poziomy wodonośne stanowią piaski i żwiry czwartorzędowe. Na pozostałym obszarze utwory wodonośne występują tylko w dolinach rzecznych (na ogół nie przekraczając kilkunastu metrów miąższości). Region ten charakteryzuje dominacja nieciągłych i mało wydajnych (poniżej 10 m³/h) poziomów wodonośnych w piaskowcach i łupkach fliszu, poniżej 5 m³/h w seriach łupkowych i powyżej 10 m³/h w seriach piaskowcowych (Paczyński 2007). Centralną część województwa małopolskiego obejmuje region przedkarpacki, który na analizowanym obszarze reprezentowany jest przez subregion zapadliska przedkarpackiego. Część wschodnią zapadliska (po Bramę Krakowską) charakteryzują odsłonięte czwartorzędowe poziomy wodonośne o miąższości 15–20 m, lokalnie podścielone basenami paleo-geńsko-neo-geńskimi. Część środkowa (od Bramy Krakowskiej do wododziału Odry – Wisły), podścielona jest kompleksem ilastego miocenu i utworami karbonu. Najbardziej północną część województwa obejmuje region śląsko-krakowski, który reprezentuje subregion jurajski, triasu śląskiego i górnośląskiego (Paczyński 1995), obejmujący nieckę miechowską i monoklinę śląsko-krakowską (Kleczkowski 1990). Charakterystyka regionów i subregionów została przedstawiona w tabeli 1.

W obszarze regionów hydrogeologicznych województwa małopolskiego wydzielone zostały 22 jednolite części wód podziemnych (JCWPd) i 23 główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP), z których 9 w całości znajduje się na terenie Małopolski, a 14 tylko fragmentarycznie. Ich lokalizacją przedstawiono na rysunkach 2 i 4.

2.1. Jednolite części wód podziemnych (JCWPd)

W obrębie masywu karpackiego wyróżniono 7 JCWPd, w tym: w Karpatach wewnętrznych – 156, 155 i 5, w Karpatach zewnętrznych – 152, 153, 154, 157, 161. W obrębie zapadliska przedkarpackiego wydzielono 6 JCWPd (138, 139, 142, 147, 148, 151), w części zachodniej subregionu środkowej Wisły – 7 JCWPd (119, 134, 135, 136, 146, 149, 150), a w części centralnej – 2 JCWPd (120, 137). Charakterystykę geologiczną i hydrogeologiczną JCWPd zaprezentowano w tabeli 1, na podstawie prac różnych autorów (Nowicki i in.

Tabela 1

Charakterystyka geologiczna i hydrogeologiczna jednolitych części wód podziemnych województwa małopolskiego (na podstawie Nowicki i in. 2008; Malecka i in. 2007; Kowalczyk i in. 2007; Prażak 2007)

Table 1

Geological and hydrogeological characterization of groundwater bodies within the Malopolska (based on Nowicki i in. 2008; Malecka et al. 2007; Kowalczyk et al. 2007; Prażak 2007)

Nr JCWPd	Stratygrafia	Litologia	Miąższość [m]	Typ wodonośca	Wodoprzepuszczalność k [m/s]	Stopień izolacji	Głębokość ujmowania wód słodkich [m p.p.t.]
1	2	3	4	5	6	7	8
REGION GÓRNEJ WISŁY							
Subregion Karpat wewnętrznych							
156	Pg, T2, C	wapienie, dolomity, granity	>40	szczelinowy, słabo przepuszczalny	$1 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-4}$	3c	0–150*
155	Q/Pg	piaski, żwiry/ piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	3c	0–500*
Subregion Karpat zewnętrznych							
154	Q/Pg	piaski, żwiry/ piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	3c	0–50*
153	Q/Pg	piaski, żwiry/ piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	3c	0–50*
157	Q/Pg	piaski, żwiry/ piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$	3c	0–50*
152	Q, Pg, K	piaski, żwiry, piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	3c	0–50*
161	Q/Pg	piaski, żwiry, piaskowce	<10/10–20	porowaty/słabo przepuszczalny	$3 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$ $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-5}$	3c	0–50*
Subregion zapadliska przedkarpackiego							
142	Q	piaski	<10, 10–20	porowaty	$1 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4}$	3a	>400
147	C ₂	piaskowce	>40	słabo przepuszczalny	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5}$	2	do 300–450**
148	Q	piaski	<10, 10–20	porowaty	$1 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4}$	3a	200–350
151	Q	piaski	<10, 10–20	porowaty	$1 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4}$	3c	0–200*
138	Q	piaski, żwiry	<10, 10–20	porowaty	$1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$	2a	ok. 100
139	Q/Pg	piaski, żwiry, piaskowce	<10, 10–20/>40	porowaty/porowaty	$1 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	2a/1b	5–150*
REGION ŚRODKOWEJ WISŁY							
Subregion środkowej Wisły wyżynny część zachodnia							
149	T1, T2	dolomity, wapienie, margle	>40	mało wydajny, zmienny układ warstw	$2 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3}$ śr. $3 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	2b	do 300

Tab. 1 cd.

Tab. 1 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8
146	T ₁ ,T ₂	dolomity, wapienie, margle	>40	szczelinowy i krasowy	$2 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3}$ śr. $3 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	3c	200 (lokalnie 350)
136	J ₃	wapienie	>40	szczelinowy i krasowy	$1 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-4}$ śr. $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	3b	400
135	T ₁ ,T ₂	dolomity, wapienie, margle	>40	porowaty	$1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-3}$	3b	do 300
134	C ₂	piaskowce	>40	mało wydajny	$1 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-5}$ śr. $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$	2b	do 300
119	J ₃	wapienie	<10 – >40	szczelinowy i krasowy	$1 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-3}$ śr. $3 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	3b	b.d.
Subregion środkowej Wisły wyżyny część centralna							
137	Q, Ng(miocen), K ₂	piaski, margle, opoki, piaskowce	80–120	porowy, szczelinowy, szczelinowo-porowy	$1 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-4}$	3	400–600
120	Q, K ₂ , J ₃	piaski, margle, opoki, piaskowce, wapienie	80–120 (max.250)	porowy, szczelinowy, szczelinowo-porowy, szczelinowo-krasowy	$3 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-4}$	3	400–600

Stratygrafia: Q – czwartorzęd, Pg – paleogen, K – kreda, J – jura, T – trias, C – karbon

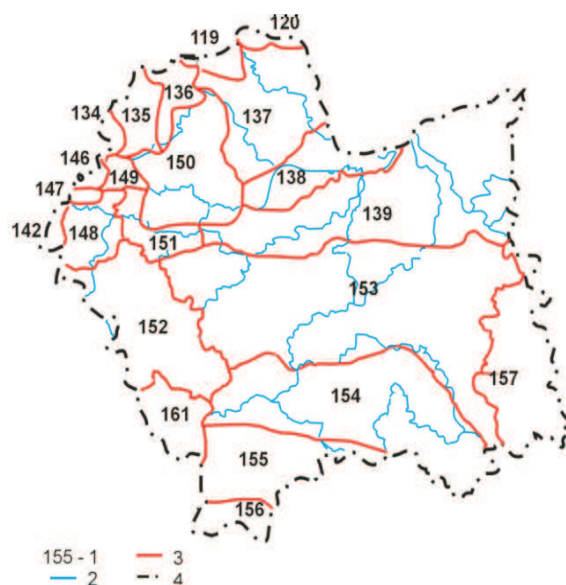
Stopień izolacji jednolitych części wód podziemnych: 1 – KORZYSTNY: a – ciągły nakład wód podziemnych ze spoiwymi warstw o rozległym rozmieszczeniu i miąższości >10 m, b – hydraulicznie napięte, w szczególności warunki artezyjskie, c – średnie działanie ochronne, poziom zasilania wód podziemnych <100 mm/a (np. ił, muł, margiel); 2 – ŚREDNI: a – przeważający nakład wód podziemnych ze spoiwymi warstw, z silnie zmieniającą się miąższością, b – większa filtracja/wodoprzepuszczalność (niska zdolność retencji substancji szkodliwych, przy bardzo dużej miąższości, np. ilaste piaski, zeszczelinowany iłowiec i margiel); 3 – NIEKORZYSTNY: a – przeważający nakład wód podziemnych ze spoiwymi warstw o miąższości <10 m, b – duża miąższość, wysoka filtracja/wodoprzepuszczalność i niska zdolność retencji substancji szkodliwych, c – średnie działanie ochronne, poziom zasilania wód podziemnych >200 mm/a.

* Na podstawie rozpoznania regionalnego.

** W zależności od obecności izolujących utworów miocenu, b.d. – brak podstaw do oceny.

2008; Małecka i in. 2007; Kowalczyk i in. 2007; Prażak 2007). Spośród wymienionych JCWPd, pięć (119, 120, 134, 142, 146) położone jest w północno-zachodniej części i tylko w niewielkim stopniu obejmuje wody województwa małopolskiego (rys. 2). Z JCWPd nr 150 ujmowane są wody słodkie z głębokości powyżej 500 m, dlatego zgodnie z przyjętymi założeniami (głębokość do 500 m), w dalszej części JCWPd nr 150, nie jest analizowana.

W obrębie Karpat dominują mieszane typy ośrodków – porowo-szczelinowe – z których wody eksploatowane są z utworów czwartorzędowych dolin rzecznych i kotlin śródgórskich, natomiast w obrębie zapadliska przedkarpackiego dominuje typ porowy oraz odsłonięte poziomy wodonośne (o zróżnicowanej miąższości i możliwościach eksploatacyjnych) (Małecka i in. 2007). Na obszarze Wyżyny Śląsko-Krakowskiej użytkowe wody podziemne występują w dwóch systemach: jednopoziomowym i dwupoziomowym, w których poziomy wodonośne związane są z utworami triasu i jury. Mniejsze rozprzestrzenienie posiadają



Rys. 2. Jednolite części wód podziemnych (JCWPd) na obszarze województwa małopolskiego (na podstawie Nowicki i in. 2008)

Objaśnienia: 1 – numer JCWPd, 2 – rzeki, 3 – granice JCWPd, 4 – granice województwa

Fig. 2. Groundwater bodies (GWB) within the Malopolska (base on Nowicki i in. 2008)

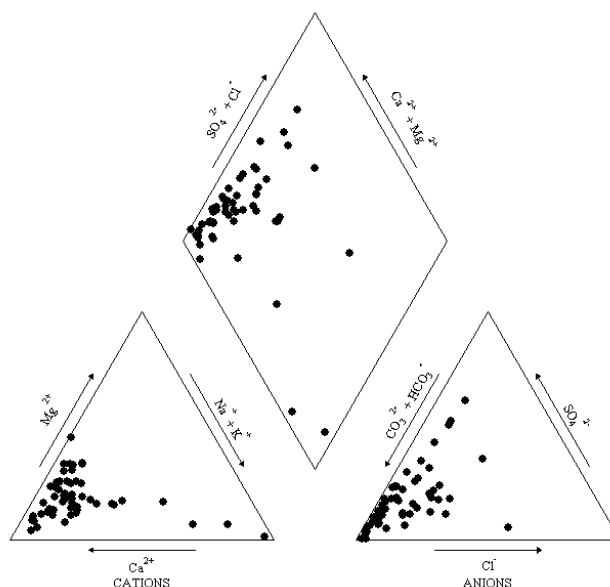
poziomy w utworach karbonu i dewonu, natomiast użytkowych poziomów wodonośnych nie wyróżniono w utworach plejstocenu (Prażak 2007).

Wody podziemne występujące w wymienionych zbiornikach wykazują głównie typ wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowy (27,87%), wodorowęglanowo-wapniowy (26,23%), wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowy (13,11%), wodorowęglanowo-siarczanowo-wapniowo-magnezowy (8,20%) i wodorowęglanowo-chlorkowo-wapniowo-sodowy (3,28%) (Cebalska i in. 2012).

Według klasyfikacji Szczukariewa–Prikłońskiego, wody masywu tatrzańskiego należą do wód słodkich i ultrasłodkich, w których dominują wody wodorowęglanowe, wapniowe i magnezowe ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$), o znikomej zawartości żelaza i manganu oraz zawartości azotu azotanowego w granicach 0–6,9 mg/dm³.

Obszar Karpat fliszowych charakteryzuje się współwystępowaniem wód zwykłych i mineralnych. Wody słodkie występujące w utworach czwartorzędowych i stropowych partiach fliszu, posiadają charakter infiltracyjny oraz przewagę jonów wodorowęglanowych i wapniowych. Ich mineralizacja jest niska, rzędu 200–500 mg/dm³ (lokalnie > 500 mg/dm³). Oprócz prostych wód dwujonowych typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, licznie występują wody $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$, jak również $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl-Ca-Mg}$, o zawartości chlorków nieprzekraczającej 40 mg/dm³, żelaza w granicach 0,15–1,5 mg/dm³ oraz znacznym udziale siarczanów. Podobne właściwości posiadają wody piętra czwartorzędowego zapadliska przedkarpackiego. Na pozostałym obszarze województwa małopolskiego do-

minują głównie wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, zarówno w niecce miechowskiej jak i monoklinie śląsko-krakowskiej (Prażak 2007; Kowalczyk i in. 2007). Zmienność składu chemicznego wód Małopolski przedstawiona została na diagramie Piper'a (rys. 3).



Rys. 3. Diagram Piper'a – skład chemiczny wód podziemnych Małopolski (na podstawie Cabalska i in. 2012)

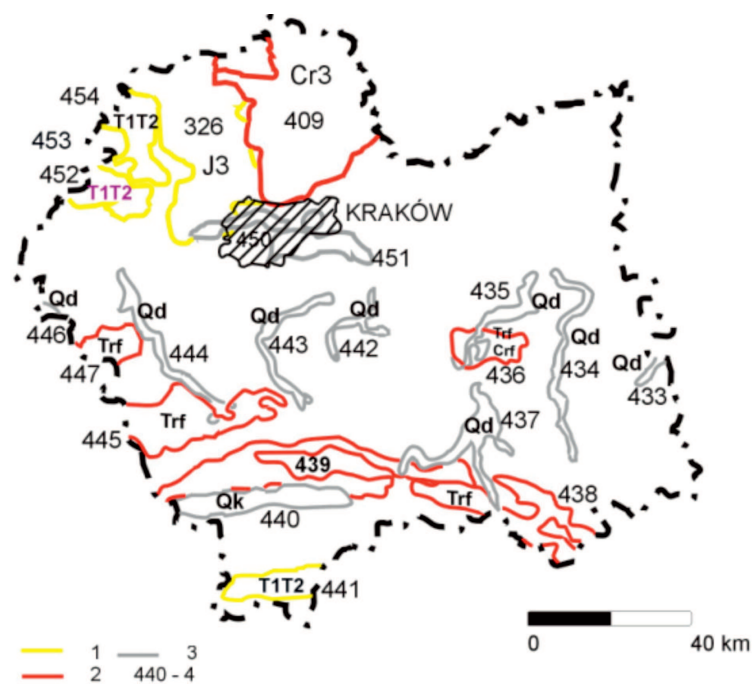
Fig. 3. Piper diagram – the chemical composition of groundwater within the Malopolska (based on Cabalska et al. 2012)

2.2. Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP)

Według podziału wprowadzonego przez Kleczkowskiego (1990) na obszarze Małopolski znajdują się 23 GZWP (9 w całości i 14 fragmentarycznie) (rys. 4). Są to:

- zbiorniki wód porowatych w utworach piaszczysto-żwirowych,
- zbiorniki wód szczelinowo-porowych,
- zbiorniki wód szczelinowo-krasowych.

W obrębie regionu karpackiego Małopolski wydzielono 15 GZWP, z czego 1 w Subregionie Karpat wewnętrznych (441) i 14 w Subregionie Karpat zewnętrznych (433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 442, 443, 444, 445, 446, 447). Na obszarze zapadliska przedkarpackiego – 3 GZWP (326, 450, 451), śląsko-krakowskiego – 5 GZWP, z czego 2 GZWP (408, 409) na obszarze niecki miechowskiej i 3 monokliny krakowsko-śląskiej (452, 453, 454). Położenie, typ zbiornika oraz stratygrafię przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) w obrębie województwa małopolskiego (na podstawie bazy danych PSH, zmienione)

Objaśnienia: 1 – zbiorniki wód szczelinowo-krasowych, 2 – zbiorniki wód szczelinowo-porowych, 3 – zbiorniki porowe, 4 – numer zbiornika; Q – czwartorzęd (Qd – dolin, Qk – dolin kopalnych), Tr – trzeciorzęd, flisz: Trf – trzeciorzęd, Crf – kreda, Cr3 – kreda górna, J3 – jura górna, T1T2 – trias

Fig. 4. Main groundwater bodies within the Malopolska (PSH data base, modified)

3. PROGRAM BADAŃ DLA OCENY POTENCJAŁU ENERGII NISKOTEMPERATUROWEJ

Dalsze prace, mające na celu rozpoznania i wskazanie najbardziej perspektywicznych obszarów pod względem możliwości pozyskania energii niskotemperaturowej z wód podziemnych w Małopolsce przewidują wykonanie szeregu analiz, w szczególności:

1. Oceny danych geologicznych, hydrogeologicznych i hydrogeochemicznych (w tym temperatury wód) w odniesieniu do wydzielonych JCWPd na obszarze województwa małopolskiego. Zmienna wydajność ujęć wód w poszczególnych zbiornikach hydrogeologicznych, jak również specyfika fizykochemiczna ujmowanych wód podziemnych może mieć istotny wpływ na pracę systemu pomp ciepła w długiej perspektywie czasowej. Stąd konieczne jest zweryfikowanie, na podstawie dostępnych danych, potencjału hydrodynamicznego ujęć wód podziemnych. Informacje te możliwe są do pozyskania z banku HYDRO,

w którego zasobach gromadzone są dane znajdujące się w dokumentacjach hydrogeologicznych poszczególnych ujęć wód podziemnych, przy uwzględnieniu dokładnej lokalizacji obiektu hydrogeologicznego, stratygrafii i litologii ujmowanych skał. Szczególnej uwadze poddane zostaną również wskaźniki fizykochemiczne wody, które mogą odgrywać istotną rolę w powstawaniu skalingu lub korozji instalacji. Informacje z banku HYDRO uzupełnione zostaną w tym przypadku danymi z realizowanego monitoringu wód podziemnych.

2. Weryfikacji danych hydrogeochemicznych, mającej na celu ustalenie poprawności wykonania analiz, weryfikacji statystycznej danych i wskazania zakresu zmienności wybranych wskaźników jakości wody w określonych, wydzielonych jednostkach hydrogeologicznych. Scharakteryzowane zostaną analizowane zbiorniki wód podziemnych i określone zakresy zmian wytypowanych wskaźników, takich jak temperatura, odczyn wody, przewodnictwo elektrolityczne właściwe, zawartość jonów głównych, szczególnie wodorowęglanów, siarczanów, wapnia i magnezu. Te związki wpływają w głównej mierze na twardość węglanową i niewęglanową wód podziemnych, prowadząc w określonych warunkach pH i temperatury do skalingu i/lub korozji poszczególnych elementów, przez które przepływa woda podziemna.

3. Uwarunkowań sozologicznych i specyfiki zagospodarowania przestrzennego. Dla głównych ujęć wód podziemnych stanowiących zasoby wód pitnych ustanowione zostały strefy ochrony bezpośredniej i pośredniej. Ich celem jest ochrona ujęć przed zagrożeniami wpływającymi na jakość i ilość ujmowanych wód. Na terenie województwa małopolskiego chronione są w ten sposób również ujęcia wód leczniczych, współwystępujące z wodami zwykłymi. Za celowe należy więc uznać przeanalizowanie zapisów ujętych w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego w predysponowanych rejonach.

4. Uwarunkowań prawnych, wynikających z wymagań stawianych przez Unię Europejską i unormowania krajowe oraz lokalne obwarowania służące ochronie środowiska.

Analiza podstawowych, wymienionych uwarunkowań geologiczno-gospodarczych będzie stanowiła podstawę dla wykreślenia map obszarów perspektywicznych w zakresie możliwości wykorzystania wód podziemnych w geotermii niskotemperaturowej (występujących na głębokości do ok. 500 m p.p.t.), właściwości hydrochemicznych, a także stref, w których wykorzystanie zasobów wód podziemnych, jest ograniczone. Pozwoli także na oszacowanie prognozy skalingu i korozji instalacji geotermalnych. Wskazanie potencjalnych zagrożeń, wynikających ze specyfiki wód podziemnych pozwoli na podejmowanie odpowiednich decyzji w zakresie technicznego doboru elementów instalacji odpornych na potencjalne zagrożenia. Tak kompleksowe ujęcie zagadnienia może stanowić przyczynek dla rozwoju geotermii w analizowanym regionie.

PODSUMOWANIE

Członkostwo Polski w strukturach Unii Europejskiej obliguje nasz kraj do podejmowania – między innymi – działań ukierunkowanych na wdrażanie proekologicznych

systemów energetycznych. Niskotemperaturowe zasoby wód podziemnych wykorzystywane są już na szeroka skalę m.in. w Niemczech, Austrii i Holandii.

Wody podziemne województwa małopolskiego posiadają znaczny potencjał energetyczny możliwy do wykorzystania w systemach geotermii niskotemperaturowej. W obrębie województwa wydzielono 22 jednolite części wód podziemnych (JCWPd) i 23 główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) obejmujące region górnej i środkowej Wisły. Największe znaczenie pod względem rozprzestrzenienia utworów wodonośnych posiadają zbiorniki czwartorzędowe, w mniejszym stopniu trzeciorzędowe (miocenijskie).

W niniejszej pracy omówiono pokrótce warunki geologiczne i hydrogeologiczne, jako pierwszy etap do rozpoznania potencjału energii niskotemperaturowej w województwie małopolskim. Dalsze prace badawcze pozwolą na uszczegółowienie informacji dotyczących możliwości wykorzystania wód podziemnych w geotermii niskotemperaturowej. Należy mieć nadzieję, że kompleksowe rozpoznanie dostępnych do zagospodarowania niskotemperaturowych zasobów wód podziemnych w Małopolsce przyczyni się do wzrostu zainteresowania potencjalnych inwestorów ich wykorzystaniem, a przez to wzrostu udziału OZE w bilansie energetycznym kraju.

LITERATURA

- ALEKSANDROWICZ Z., 2000 — Zarys budowy geologicznej. [W:] Ochrona georóżnorodności w Polskich Karpatach (red. Z. Aleksandrowicz, D. Poprawa), PIG, Warszawa, s. 16–26.
- BARBACKI A.P., 2004 — Zbiorniki wód geotermalnych niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Studia Rozprawy Monografie Nr 125, Wyd. CPPGSMiE PAN, s. 123.
- BARBACKI A.P., BUJAKOWSKI W., PAJĄK L., 2006 — Atlas zbiorników geotermalnych Małopolski. IGSMiE PAN, Kraków, s. 41.
- Baza danych PSH – GZWPd – <http://epsh.pgi.gov.pl/epsh/>
- Baza danych PSH – JCWPd – <http://spdpsh.pgi.gov.pl/PSHv7/>
- BUJAKOWSKI W., 2001 — Potencjalne możliwości wykorzystania energii geotermalnej w Małopolsce. [W:] IV Seminarium nt. Energia geotermalna w Małopolsce – dziś i jutro, Bukowina Tatrzańska, 8–10 października, IGSMiE PAN s. 43–66.
- BUJAKOWSKI W., KĘPIŃSKA B., NEY R., MALENTA Z., KOZŁOWSKI T., 2006 — Opis funkcjonujących instalacji geotermalnych w Polsce. [W:] Atlas zasobów geotermalnych na Niżu polskim (red. W. Górecki), Wyd. KSE AGH, Kraków, s. 44–50.
- BUJAKOWSKI W., 2010 — Wykorzystanie wód termalnych w Polsce (stan na rok 2009). Przegląd Geologiczny 58 (7), 580–588.
- CABALSKA J., GALCZAK M., KAZIMIERSKI B., MIKOŁAJCZYK A., PALAK-MAZUR D., 2012 — Rocznik hydrogeologiczny Państwowej Służby Hydrogeologicznej. Rok hydrologiczny 2012, PIG, Warszawa, s. 533 (http://www.psh.gov.pl/plik/id,6866,v,artykul_5141.pdf).
- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, Nr 434, z. VIII, PIG, Warszawa, s. 98.

- CIESZKOWSKI M., UCHMAN A., CHOWANIEC J., 2009 — Litostratygrafia sukcesji osadowej niecki podhalańskiej. [W:] Budowa geologiczna Tatr i Podhala ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk geotermalnych na Podhalu, LXXIX Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego, PIG, s. 29–40.
- KAPUŚCIŃSKI J., RODZUCH A., 2006 — Geotermia niskotemperaturowa w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, s. 148.
- 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.
- KĘPIŃSKA B., 1997 — Model geologiczno-geotermalny niecki podhalańskiej. Studia Rozprawy Monografie Nr 48, Wyd. CPPGSMiE PAN, s. 111.
- KĘPIŃSKA B., 2004 — Podhalański system geotermalny i projekt ciepłowniczy – przegląd problematyki. [W:] Międzynarodowe Dni Geotermalne Polska 2004 (red. B. Kępińska, K. Papouski), Kraków–Skopje, s. 243–257.
- KĘPIŃSKA B., 2011 — Historia badań i wykorzystania wód geotermalnych. [W:] Atlas Zasobów geotermalnych Karpat Zachodnich, Wyd. GOLDRUK, Kraków, s. 126–140.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 — Charakterystyka wydzielonych GZWP w Polsce wymagających szczególnej ochrony [W:] Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1:500 000, AGH, Kraków, s. 16–60.
- KOWALCZYK A., RUBIN H., WAGNER J., RUBIN K., MOTYKA J., RÓŹKOWSKI J., PACHOLEWSKI A., 2007 — Subregion środkowej Wisły wyżynny część zachodnia. [W:] Charakterystyka hydrogeologiczna regionów wodnych. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski (red. B. Paczyński, A. Sadurski), t. 1, PIG, Warszawa, s. 159–174.
- MAŁECKA D., CHOWANIEC J., MAŁECKI J.J., 2007 – Region górnej Wisły. [W:] Charakterystyka hydrogeologiczna regionów wodnych. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski (red. B. Paczyński, A. Sadurski), t. 1, PIG, Warszawa, s. 108–159.
- MIZERSKI W., 2009 — Karpaty [W:] Geologia Polski, Wyd. PWN, Warszawa, s. 196–225.
- NOWICKI Z. (red), CHMURA A., CHOWANIEC J., CHUDZIK L., CUDAK J., CZERSKI M., CZERWIŃSKA-TOMCZYK J., FREIWALD P., GIL R., HERBICH P., HOC R., HORBOWY K., KACZOROWSKI Z., KIELCZAWA J., KRAWCZYK A., KOWALCZYK A., LICHTARSKI G., LIDZBARSKI M., ŁUSIAK R., MICHNIEWICZ M., MIKOŁAJCZYK M., OLĘDZKA D., PACHOLEWSKI A., PASIEROWSKA B., RATORSKI R., PIECHÓWKA A., PRAŻAK J., PRZYTUŁA E., RYSAK A., SOKOŁOWSKI K., STĘPOIŃSKA-DRYGAŁA I., WAGNER J., WIJURA A., WIŚNIEWSKI A., WITEK K., WOJTKOWIAK A., ZAWISTOWSKI K., 2008 — jednolite części wód podziemnych w Polsce. Charakterystyka hydrogeologiczna.
http://www.psh.gov.pl/artykuly_i_publicacje/publikacje/jednolite-czesci-wod-podziemnych-charakterystyka-geologiczna-i-hydrogeologiczna.html
- OSZCZYPKO N., 2004 — The structure position and tectonosedimentary evolution of the Polish Outer Carpathians. *Przegląd Geologiczny* 52, s. 780–791.
- OSZCZYPKO N., 2006 — Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny* vol. 54, nr 5, s. 396–403.
- OSZCZYPKO N., 2011 — Charakterystyka tektoniczna i geologiczna polskich Karpat Zachodnich. [W:] Atlas zasobów wód i energii geotermalnej Karpat Zachodnich (red. W. Górecki), Wyd. GOLDRUK, Kraków, s. 62–92.
- PACZYŃSKI B. (red.), 1995 — Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Cz. II, Wyd. PAE PA, Warszawa, s. 53.

- PACZYŃSKI B., 2007 — Ogólna charakterystyka jednostek słodkich wód podziemnych. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski (red. B. Paczyński, A. Sadurski), t. 1, PIG, Warszawa, s. 70–81.
- PERYT T., 2012 — Zarys budowy geologicznej zapadliska przedkarpackiego. [W:] Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego (red. W. Górecki), Wyd. KSE AGH, Kraków, s. 24–36.
- PGG, 2011 — Prawo Geologiczne i Górnicze, Dz.U. z 2011 r., Nr 163, poz. 981.
- PRAŻAK J., 2007 — Subregion środkowej Wisły wyżynny część centralna. [W:] Charakterystyka hydrogeologiczna regionów wodnych. [W:] Hydrogeologia regionalna Polski (red. B. Paczyński, A. Sadurski), t.1, PIG, Warszawa, s. 174–187.
- ROSIK-DULEWSKA CZ., GRABDA M., 2001 — Utilization of low-temperature geothermal waters heat for protected crop production. [W:] Proceedings of International Scientific Conference “Geothermal Energy in Undergrounds Mines”, November 21–23, Ustroń, Poland, s. 163–173.
- STUPNICKA E., 1997 — Geologia regionalna Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, s. 348.

THE RESEARCH PROGRAM TO DETERMINE LOW-TEMPERATURE GEOHERMAL POTENTIAL BASED ON GROUNDWATER WITHIN THE MALOPOLSKA

ABSTRACT

Malopolska region has the low-temperature geothermal resources, which usage may contribute in the development of the region. This results from the potential of usage of groundwater resources, occurring at a depth of approximately 500 m below the ground. At that depth the temperature outlet of the intake is lower than 20°C. This paper contains an analysis of geological and hydrogeological conditions of the studied region and the basic principles for a research program, which is focused on the possibility of use of groundwater in the low-temperature energy systems based on heat pumps. In a further stage the hydrogeological and hydrogeochemical parameters in various reservoirs and sozological conditions will be evaluated. The analysis will identify the most promising areas in this regard.

KEY WORDS

Low – temperature geothermal, groundwater body (GWB), Malopolska