

Sposoby i możliwości ujmowania wód podziemnych na obszarach masywów krystalicznych – na przykładzie granitu Karkonoszy

Mirosław Wąsik¹, Henryk Marszałek¹, Michał Rysiukiewicz¹, Lech Poprawski¹

Possibilities of groundwater abstraction in areas of crystalline massifs – a case study of the Karkonosze granite. *Prz. Geol.*, 68: 263–270; doi: 10.7306/2020.14

Abstract. The article presents an overview of various types of water intakes in the area of the Karkonosze granite massif, with their characteristics and possibilities of use, considering well discharge rates, stability, and water quality. For this purpose, the results of scientific research carried out by the authors in various years, including numerical modelling, were used. Analysis of the water-bearing capacity of the granite massif and intakes work indicates that the construction of a large groundwater intake, covering the needs of even medium-sized cities, could be difficult. Higher discharges are possible for surface and drainage water intakes, but located near a large river. Small towns can be supplied by mixed surface-drainage intakes based on the waters of minor rivers. For small households, the best solution is to make 1–2 well intakes to a depth of 60–100 m, or a spring intake.

Keywords: water intake, hard rocks, Karkonosze granite

Zasobność wodna wyniesionych masywów krystalicznych Sudetów jest ściśle uzależniona od stopnia spękania utworów skalnych i od wielkości infiltracji efektywnej. Duża zmienność występowania w profilu spękanych stref wodonośnych o zróżnicowanej pojemności determinuje sposób ich ujmowania w celu zaopatrzenia miejscowej ludności w wodę pitną. Skały krystaliczne charakteryzują się słabszym zawodnieniem w porównaniu ze skałami osadowymi. Stwarza to gorsze warunki do budowy pionowych ujęć wód podziemnych, szczególnie o dużej wydajności, niezbędnych do zaopatrzenia większych miejscowości. W takiej sytuacji wykorzystuje się inne rozwiązania, polegające na budowie ujęć bazujących przeważnie na wodach powierzchniowych oraz wodach podziemnych występujących w strefie zwietrzelinowej skał krystalicznych. Do dominujących należą ujęcia wód rzecznych i ujęcia drenażowe. Większe otworowe ujęcia wód podziemnych w utworach krystalicznych należą do rzadkości. Stosuje się je do ujmowania wód poziomów czwartorzędowych, zalegających na utworach krystalicznych głównie w dolinach rzecznych. Taka struktura ujęć powoduje, że stabilność zaopatrzenia w wodę jest silnie uzależniona od zasilania przez opady atmosferyczne.

W ostatnich latach coraz głośniejsze mówi się o ociepleniu klimatu. Wyniki badań (Miętus i in., 2011) wskazują, że do 2100 r. w Polsce średnia roczna temperatura powietrza wzrośnie o 0,35°C–0,5°C. Ocieplenie klimatu przyczyni się do zmniejszenia zasilania wód podziemnych – aby zrównoważyć spadek zasobów tych wód, roczne sumy opadów atmosferycznych powinny wzrosnąć o 30 mm (Ziarnicka, 2004). Tymczasem prognozy zmian wysokości opadów atmosferycznych, chociaż nie są jednoznaczne, jednak wskazują raczej na ich utrzymanie na dotychczasowym poziomie. Zupełnie innym problemem jest zróżnicowanie wielkości opadów w ciągu roku. Pojawiające się coraz częściej okresy suszy będą powodowały wzrost deficytu wody. W Sudetach jego pierwsze objawy zaczęły się pojawiać już pod koniec lat 80. ubiegłego stulecia (Staśko i in., 2008). Zarejestrowane w 2003 r. skrajnie niskie wartości natężenia przepływu rzek, będące efektem suszy, spowodowały prawie 3-krotny spadek odnawialnych zasobów wód pod-

ziemnych (Marszałek, 2007). Z problemami zaopatrzenia w wodę od lat zmagają się powiat jeleniogórski, którego przeważająca część znajduje się na obszarze plutonu karkonoskiego, stanowiącego część masywu karkonosko-izerskiego (Żelaźniewicz i in., 2011). W ostatnich latach na obszarze tym, podobnie jak w innych rejonach Sudetów, znacząco zaczyna spadać wydajność ujęć wód powierzchniowych. Część indywidualnych gospodarstw oraz mniejszych podmiotów gospodarczych, nie mogą liczyć na regularne dostawy wody, decyduje się na budowę własnych ujęć wód podziemnych i to głębszego krążenia.

Analizowany obszar występowania granitu karkonoskiego (ryc. 1) znajduje się w Sudetach Zachodnich, które są w Polsce jednym z rejonów najliczniej odwiedzanych przez turystów. Spadek wydajności ujęć wód na tym obszarze, szczególnie w warunkach postępujących zmian klimatycznych, przejawiających się częstym występowaniem długotrwałych, kilkutygodniowych okresów niżówkowych, powoduje brak zaspokojenia istniejących potrzeb i prowadzi do sytuacji konfliktowych w miejscowościach wypoczynkowych. Wymusza to poszukiwanie innych rozwiązań umożliwiających pozyskanie wody. Większość gmin i miast tego regionu stara się uniezależnić od całkowitego poboru wód z ujęć powierzchniowych i drenażowych.

W niniejszym artykule dokonano analizy wydajności oraz możliwości wykorzystania różnych rodzajów ujęć wody wykonanych na obszarze masywu granitowego Karkonoszy. Ze względu na stale powiększający się deficyt wody problem technik ujmowania wód podziemnych w obszarach górskich, poruszany m.in. przez Staśkę i Wojtkowiaka (2004), jest nadal aktualny.

CHARAKTERYSTYKA KARKONOSKIEGO ZBIORNIKA WÓD PODZIEMNYCH

Z występujących w Sudetach intruzji granitowych największe rozprzestrzenienie ma granit Karkonoszy. Zawodnienie granitu jest bardzo zróżnicowane zarówno w ujęciu

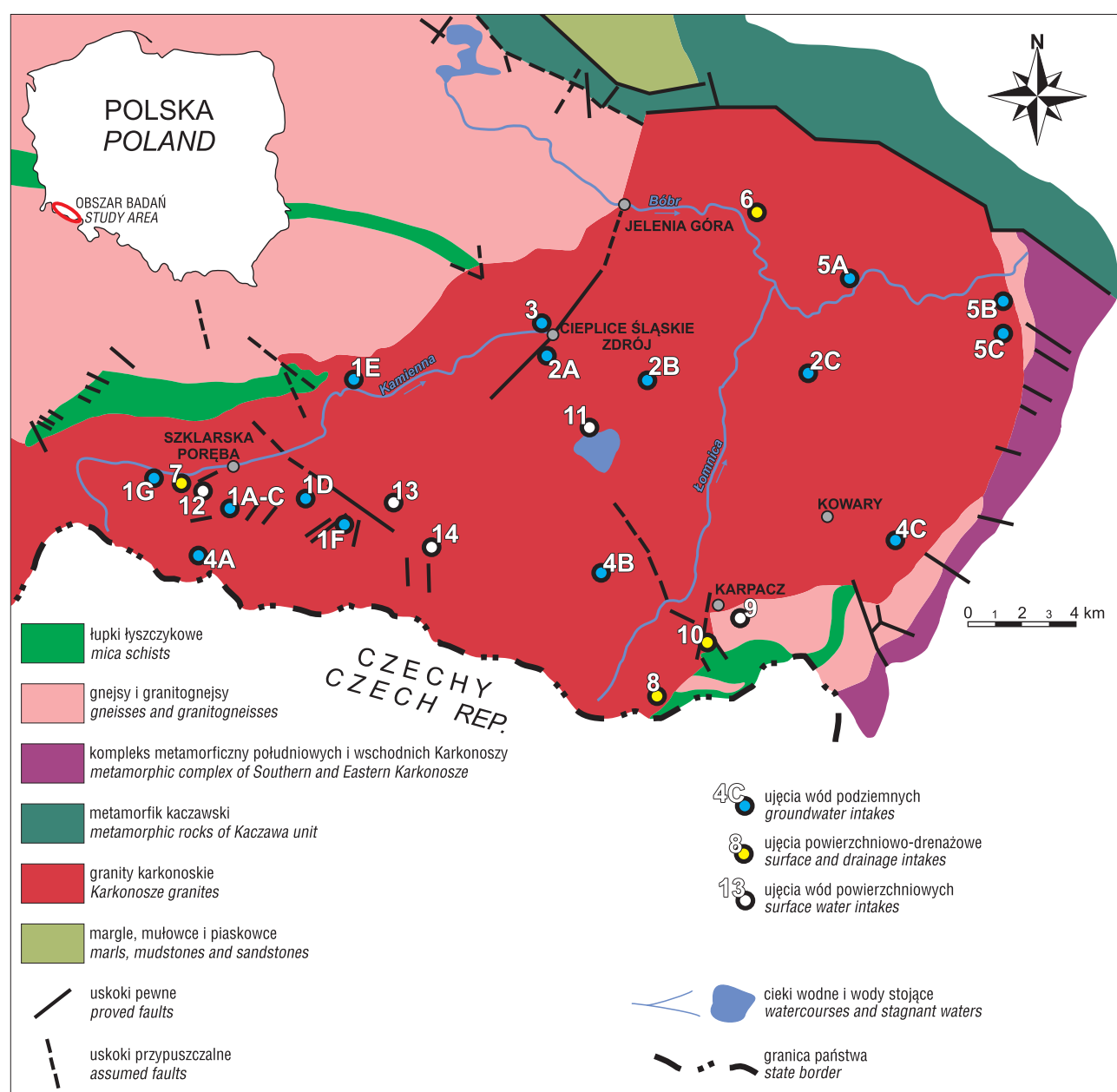
¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. Maksa Borna 9, 50–204 Wrocław; miroslaw.wasik@uwr.edu.pl; henryk.marszalek@uwr.edu.pl; michal.rysiukiewicz@uwr.edu.pl; lech.poprawski@uwr.edu.pl

przestrzennym, jak i głębokościowym. Anizotropia ośrodka skalnego wiąże się głównie ze stopniem spękania masywu, wpływającym na jego wodonośność. Liczba stref wodonośnych, uwarunkowana szczelinowatością skał, może się zmieniać na stosunkowo niedużym obszarze. W otworach do głębokości 100 m występuje jedna lub kilka stref, niekiedy połączonych hydraulicznie, charakteryzujących się zróżnicowaną wodonośnością i właściwościami fizykochemicznymi wód (Marszałek, 2007; Marszałek, Wąsik, 2005).

Największą zasobnością cechuje się pierwszy od powierzchni terenu zbiornik wód porowo-szczelinowych, obejmujący strefę szczelin wietrzeniowych (do głębokości 20–30 m) wraz z zalegającymi na niej pokrywami zwierzelin. Z niego czerpie wodę większość ujęć wód podziemnych. W opracowaniach regionalnych zbiornik ten przyjmuje nazwę zbiornika karkonoskiego (m.in. Janicki i in., 1994; Zaleska i in., 1999; Marszałek, 2007). Na

początku lat 90. ubiegłego wieku był on zaliczany do Głównych Zbiorników Wód Podziemnych Polski (GZWP nr 344 Zbiornik Karkonosze), o zasobach dyspozycyjnych $3,86 \text{ dm}^3/(\text{s} \times \text{km}^2)$ (Kleczkowski, 1990), jednak ze względu na niski odczyn wód pod koniec lat 90. usunięto go z rejestru GZWP. Wśród trzech podstawowych stref wodonośnych, wydzielanych w całym krystaliniku sudeckim, zbiornik ten reprezentuje pierwszą, najpłytszą strefę aktywnej wymiany wód (Kowalski, 1992; Marszałek, 2007; Staško, Tarka, 2002). Jej wodonośność jest uzależniona od stopnia spękania masywu, determinującego jej miąższość, rozprzestrzenienie oraz wielkość parametrów hydrogeologicznych ośrodka skalnego, i ściśle związana z czynnikami hydrometeorologicznymi i geomorfologicznymi.

Zmienna miąższość strefy aeracji wynosi od kilkudziesięciu centymetrów do nawet kilkunastu i więcej metrów. Im bliżej stref wododziałowych, tym bardziej wzrasta



Ryc. 1. Lokalizacja wybranych ujęć wody na tle budowy geologicznej masywu karkonoskiego (mapa wg Kozdrój i in., 2001 – zmieniona)
Fig. 1. Location of selected water intakes on the geology background of the Karkonosze Massif (map after Kozdrój et al., 2001 – changed)

głębokość zalegania pierwszego od powierzchni terenu zwierciadła wód podziemnych (Marszałek, 2007). Strefę aktywnej wymiany wód podziemnych cechują najwyższe wartości parametrów filtracyjnych. Wartości współczynnika filtracji przekraczają nawet 87 m/d, a wielkości modułów odpływu podziemnego w skrajnych przypadkach w najwyższej położonych zlewniach Karkonoszy wynoszą 10–15 dm³/(s × km²). Na tak wysokie wskaźniki zasobów odnawialnych wpływa zarówno intensywne spękanie granitu w górnej, przypowierzchniowej części, jak i duża infiltracja efektywna, a także opady atmosferyczne przekraczające w grzbietowych partiach Karkonoszy 1300 mm/r.

Wyraźnie zaznaczające się w morfologii masywu strefy zrównań grzbietowych i stokowych, występujące na różnych poziomach, tworzą dogodne warunki do zasilania wód podziemnych. Silne rozcięcie morfologiczne granitu w jego górskiej, karkonoskiej, części sprzyja wpływowi licznych źródeł, najczęściej o małej wydajności, w okresach suchych wynoszącej od 0,1 do 0,5 dm³/s, a w czasie roztopów wiosennych nawet powyżej 16 dm³/s (Marszałek, 2007). Przepuszczalność szczelinowatego granitu, na głębokości kilkudziesięciu metrów określana za pomocą próbnego pompowania, jest raczej niska i wynosi średnio 0,1–0,9 m/d. Jego przewodność hydrauliczna mieści się głównie w przedziale 1–40 m²/d (ryc. 2) i rzadko przekracza 100 m²/d (Marszałek, 2007). Wydajność pojedynczych studni zmienia się w szerokim zakresie – od 0,1 do 25 m³/h, zwykle nie przekracza 3 m³/h (Marszałek, Wąsik, 2002).

Zbiorniki wód porowych w dnie Kotliny Jeleniogórskiej są najlepiej wykształcone w czwartorzędowych utworach piaszczysto-żwirowych w dolinie Bobru, Kamiennej i Łomnicy. Ze względu na większą zasobność w porównaniu z otoczeniem stanowią poziomy użytkowe o miąższości od kilku do ponad 19 m w centrum kotliny (Marszałek, 2007). Tworzą one czwartorzędowy zbiornik wód podziemnych Jelenia Góra, w warstwie wodonośnej o miąższości 5–10 m i zróżnicowanych parametrach filtracyjnych. Współczynniki filtracji zmieniają się w nim od ok. 2 do ponad 1200 m/d, najczęściej w przedziale 10–100 m/d, a wodoprzewodność od kilkudziesięciu do 1000 m²/d, a w

skrajnych przypadkach nawet kilku tysięcy m²/d. Przeważnie jednak wynoszą 100–500 m²/d (Marszałek, 2007). Wysokie wartości parametrów filtracyjnych przekładają się na wydajność otworów studziennych, która lokalnie osiąga ponad 90 m³/h. Większość studni charakteryzuje się jednak wydajnością nieprzekraczającą 10 m³/h.

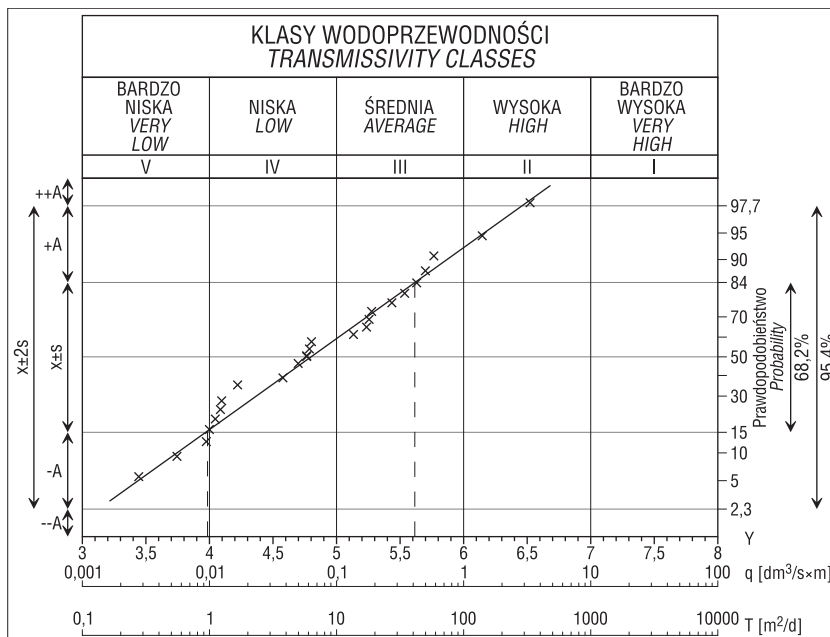
METODYKA

W pracy wykorzystano wyniki własnych badań naukowych, wykonanych na obszarze krystaliniku karkonosko-izerskiego w różnych latach, w tym dane oraz wyniki modeli numerycznych opracowanych w celu oceny zasobów eksploatacyjnych ujęcia wody *Grabarów* w Jeleniej Górze, a także możliwości wykorzystania do budowy ujęć w Kotlinie Jeleniogórskiej czwartorzędowego piętra wodonośnego (Marszałek, Wąsik, 2012; Marszałek i in., 2008). Pomocne były również opracowania przeglądowe zawierające informacje o ujęciach wód podziemnych w masywie granitowym Karkonoszy (Błachuta i in., 2016; Marszałek, 2007). Jesienią 2019 r. przeprowadzono testy hydrogeologiczne w otworach badawczych zlokalizowanych na stokach Karkonoszy. Polegały one na wykonaniu krótkotrwałych pompowań, zalewań badawczych otworu oraz obserwacji wzniosu zwierciadła wody po zaprzestaniu pompowania. Pozwoliły one ustalić wydajność otworu, wydatek jednostkowy oraz obliczyć wartość współczynnika filtracji.

WAŻNIEJSZE UJĘCIA WODY W OBSZARZE WYSTĘPOWANIA GRANITU KARKONOSKIEGO

Ze względu na znaczną liczbę stałych mieszkańców i intensywny ruch turystyczny obszar wschodni granitu karkonoskiego w Kotlinie Jeleniogórskiej, wyniesionego morfologicznie grzbietu Karkonoszy oraz zachodnich stoków Rudaw Janowickich należy do części Sudetów o dużym zapotrzebowaniu na wodę. Największym ośrodkiem miejskim jest w nim Jelenia Góra (ok. 80 tys. mieszkańców), stanowiąca centrum przemysłowo-turystyczne i ośrodek komunikacyjno-usługowy regionu.

W jej otoczeniu znajduje się wiele miejscowości wypoczynkowych, licznie odwiedzanych przez turystów. Należą do nich m.in. Karpacz, Szklarska Poręba, Kowary, Podgórzyn, Piechowice i Janowice Wielkie. W granicach miasta znajdują się również Cieplice Śląskie-Zdrój, które są jednym z najstarszych polskich uzdrowisk, wykorzystujących wody termalne. Zaopatrzenie w wodę ludności



Ryc. 2. Wodoprzewodność granitu karkonoskiego (Marszałek, 2007 – zmieniona)
Fig. 2. Transmissivity of Karkonosze granite (after Marszałek, 2007 – modified)

regionu, szacowanej na ponad 200 tys. osób, wymaga ujmowania zarówno wód podziemnych, jak i powierzchniowych. Wody powierzchniowe są ujmowane ze zbiornika retencyjnego Sosnówka oraz z sieci rzek i potoków, w tym Bobru. Zdecydowana większość studni wierconych i kopanych ujmuje wodę z utworów czwartorzędowych wypełniających współczesne doliny głównych rzek (Bobru i jego karkonoskich dopływów, czyli Kamiennej i Łomnicy). Studnie zaopatrują w wodę przede wszystkim Jelenią Górę, natomiast miejscowości położone w górskiej części obszaru bazują na ujęciach wód potoków górskich i ujęciach drenażowych, a rzadziej na źródłach oraz studniach wierconych i kopanych.

Obecnie mieszkańcy Kotliny Jeleniogórskiej i otaczających ją masywów górskich są zaopatrywani w wodę pobieraną za pomocą ujęć powierzchniowych, infiltracyjnych i podziemnych. Ujęcia te eksploatują wody zwykłe, o mineralizacji poniżej 500 mg/dm^3 , z zastosowaniem różnych rozwiązań technicznych. Do ujmowania wód podziemnych są wykorzystywane studnie pionowe (szybowe, wiercone), poziome (drenaże) i studnie kombinowane (infiltracyjne), a wody powierzchniowe są ujmowane z zastosowaniem progów piętrzących. Eksploatowane są przede wszystkim wody pochodzące z wodonośnych utworów piętra czwartorzędowego, a w mniejszym stopniu z piętra

karbońskiego. W ostatnich latach podaż wody ze wszystkich ujęć Jeleniej Góry kształtowała się na zbliżonym poziomie ok. $20 \text{ tys. m}^3/\text{d}$, w tym wody podziemne stanowiły poniżej 20%. Zasoby eksploatacyjne wszystkich ujęć szacuje się na $39\,775 \text{ m}^3/\text{d}$ (Błachuta i in., 2016).

Do największych w regionie należą: ujęcie wód powierzchniowych zbiornika Sosnówka i ujęcie powierzchniowo-infiltracyjno-podziemne Grabarów. Oddane w 2002 r. ujęcie wód powierzchniowych zbiornika retencyjnego nr 11 Sosnówka (ryc. 1, tab. 1) jest pod względem możliwości poboru wody największym tego typu obiektem na terenie Kotliny Jeleniogórskiej. W ujęciu tym są pobierane wody powierzchniowe pochodzące w 70% z rzeki Podgórnej, w 20% z potoku Czerwonka i w 10% z potoku Sośniak (Błachuta i in., 2016). Maksymalna pojemność tego zbiornika, o powierzchni 145–175 ha, wynosi 14 mln m^3 , a pojemność użytkowa – 8 mln m^3 . Zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym pobór wody może osiągać $25 \text{ tys. m}^3/\text{d}$ (Zawistowski, Michniewicz, 2009).

W ujęciu nr 6 Grabarów (ryc. 1, tab. 1) pobór wody wynosi $13,5 \text{ tys. m}^3/\text{d}$, co stanowi ok. 70% wszystkich wód ujmowanych przez ujęcia komunalne (Marszałek, Wąsik, 2012). Eksploatacja wód podziemnych, infiltracyjnych i powierzchniowych jest prowadzona za pomocą dwóch różnych i niezależnych od siebie systemów, w tym utwo-

Tab. 1. Charakterystyka wybranych ujęć wody z obszaru granitu karkonoskiego
Table 1. Characteristics of selected water intakes from the Karkonosze granite area

Nr No	Typ i nazwa ujęcia Type and name of intake	Ujęte wody Captured waters	Główne obiekty ujęcia Main objects of intake	Q_{st}/Q_{zr} [m^3/h] $Q_{ujęcia}$ [m^3/d]	s [m]	q [$\text{m}^3/\text{h} \times \text{m}$]	k [m/d]	Wskaźniki obniżające jakość wody Indicators lowering water quality
1A–G	wód podziemnych groundwater	piętra karbońskiego Carboniferous multiaquifer formation	studnie o gł. do 100 m wells up to 100 m deep	0,12–2,7 –	1,1–18 –	0,01–0,5	0,02–0,86	pH, Ż niska twardość pH, low hardness
2A–C	wód podziemnych groundwater	piętra karbońskiego Carboniferous multiaquifer formation	studnie o gł. od kilkuset do 2 tys. m wells with several hundreds m to 2 km of depth	20,5–45 –	97 –	0,21	0,29	F
3	wód podziemnych Ceglana (nieczynne) groundwater “Ceglana” (inactive)	piętra czwartorzędowego Quaternary multiaquifer formation	3 studnie wiercone 5 kopanych studni szybowych 3 drilled and 5 dug wells	11,7–16,8 2 500	1,5–1,9 4,4	6,4–11,2 2,68	46,9–65,0 17,1	Fe, Mn, bakterie, barwa, mętność, utlenialność Fe, Mn, bacteria, colour, turbidity, oxidability
4A–C	wód podziemnych groundwater	piętra karbońskiego Carboniferous multiaquifer formation	źródła springs	0,1–5,1 –	– –	– –	– –	pH, Ż niska twardość pH and low hardness
5A–C	wód podziemnych groundwater	piętra karbońskiego Carboniferous multiaquifer formation	sztolnia, szyb well, shaft	1–20 –	– –	– –	– –	Rn
6	infiltracyjne Grabarów infiltration “Grabarów”	rzeki Bóbr, podziemne piętra czwartorzędowego the Bóbr River, Quaternary multiaquifer formation	studnie szybowe, stawy infiltracyjne, studnie drenażowe dug wells, infiltration ponds, drainage wells	30–80 13 500	3,3–4,1 1,6–2,9	8,3–23,5 16,4–64,6	22,5–63,4 86,4–414,7	Fe

Objaśnienia / *Explanations*: Q_{st} – wydajność studni / well discharge; Q_{zr} – wydajność źródła / spring discharge; $Q_{ujęcia}$ – wydajność ujęcia / intake discharge; s – depresja / depression; q – wydatek jednostkowy / specific discharge; k – współczynnik filtracji / hydraulic conductivity

Ciąg dalszy tab. 1. Charakterystyka wybranych ujęć wody z obszaru granitu karkonoskiego
Continuation of table 1. Characteristics of selected water intakes from the Karkonosze granite area

Nr No	Typ i nazwa ujęcia Type and name of intake	Ujęte wody Captured waters	Główne obiekty ujęcia Main objects of intake	Q_{st}/Q_{zr} [m ³ /h] $Q_{ujęcia}$ [m ³ /d]	s [m]	q [m ³ /h × m]	k [m/d]	Wskaźniki obniżające jakość wody Indicators lowering water quality
7	powierzchniowo-drenażowe Huta Julia surface-drainage "Huta Julia"	potoku bez nazwy i wód piętra karbońskiego unnamed stream and groundwater of Carboniferous multiaquifer formation	zbiornik ujęciowy, rura poborowa, 2 studnie ujęciowe outlet reservoir, intake pipe, 2 intake wells	– 200	– –	– –	– –	
8	powierzchniowo-drenażowe Słaski Dom surface-drainage "Słaski Dom"	Złotego Potoku, podziemne piętra czwartorzędowego i karbońskiego the Złoty Potok River, groundwater of Quaternary and Carboniferous multiaquifer formation	zbiornik ujęciowy, rura poborowa; obudowane źródło intake reservoir, intake pipe, encased spring	34 1522	– –	– –	– –	niska twardość, pH, barwa, BZT5, związki organiczne, bakterie low hardness, pH, colour, BZT5, organic compounds, bacteria
9	powierzchniowo-drenażowe Wilcza I surface-drainage "Wilcza I"	rzeki Łomnica, podziemne piętra czwartorzędowego i karbońskiego the Łomnica River, groundwater of Quaternary and Carboniferous multiaquifer formation	zbiornik ujęciowy, rura poborowa, ciągi drenażowe outlet reservoir, intake pipe, drainage lines	– 1100	– –	– –	– –	
10	powierzchniowo-drenażowe Wilcza Poręba II surface-drainage "Wilcza Poręba II"	rzeki Czerniawka, podziemne piętra czwartorzędowego i karbońskiego the Czerniawka River, groundwater of Quaternary and Carboniferous multiaquifer formation	zbiornik ujęciowy, rura poborowa, ciągi drenażowe intake reservoir, intake pipe, drainage lines	– 300	– –	– –	– –	
11	wód powierzchniowych Sosnówka surface water "Sosnówka"	potoków Czerwonka, Sośniak i Podgórną the Czerwonka, Sośniak and Podgórną Rivers	zbiornik o pow. 175 ha i objętości 8 mln m ³ reservoir with an area of 175 ha and 8 mln m ³ of volume	– 25 000	– –	– –	– –	pH, Mn, Fe
12	wód powierzchniowych Kamieńczyk surface water "Kamieńczyk"	potoku Kamieńczyk the Kamieńczyk River	zbiornik ujęciowy, studnia ujęciowa intake reservoir and well	– 590	– –	– –	– –	barwa, pH, utlenialność colour; pH, oxidability
13	wód powierzchniowych Kamienna Wieża surface water "Kamienna Wieża"	Polskiego Potoku the Polski Potok River	zbiornik ujęciowy, studnia ujęciowa intake reservoir and well	– 320	– –	– –	– –	barwa, pH, utlenialność colour; pH, oxidability
14	wód powierzchniowych Leśniczówka surface water "Leśniczówka"	potoku Sopot the Sopot River	zbiornik ujęciowy, studnia ujęciowa intake reservoir and well	– 675	– –	– –	– –	barwa, pH, utlenialność colour; pH, oxidability

Objaśnienia / *Eksplanations*: Q_{st} – wydajność studni / well discharge; Q_{zr} – wydajność źródła / spring discharge; $Q_{ujęcia}$ – wydajność ujęcia / intake discharge; s – depresja / depression; q – wydatek jednostkowy / specific discharge; k – współczynnik filtracji / hydraulic conductivity

rzanego na początku lat 70. jednostopniowego systemu pierwotnego, bazującego na zespole studni szybowych usytuowanych wzdłuż lewego brzegu Bobru. Studniami szybowymi pobiera się wody pochodzące z infiltracji brzegowej (naturalnej) oraz z dopływu podziemnego, w ilości 610 m³/h. 92% (561,2 m³/h) tego poboru przypada na infiltrację brzegową wód Bobru, natomiast udział wód ujmowanych z dopływu podziemnego wynosi zaledwie 8%

(Marszałek, Wąsik, 2012). Drugim systemem ujęcia *Grabarów* jest wykonany w latach 80. ubiegłego wieku system dwustopniowy. Pierwszy stopień polega na poborze wód rzeki Bóbr przez ujęcie brzegowe *Wojanów* i na przesyłaniu ich grawitacyjnie rurowciągiem do dziewięciu stawów infiltracyjnych ujęcia *Grabarów*, natomiast drugi stopień polega na drenażu pionowo-poziomym z zastosowaniem studni wierconych i drenażowych, ujmujących wodę infiltrującą

z tych stawów. Studnie wiercone i drenażowe tego nowszego systemu są rozmieszczone w dwóch równoległych do siebie szeregach w bezpośrednim otoczeniu kompleksu stawów infiltracyjnych.

W rejonie Kotliny Jeleniogórskiej i Karkonoszy występuje również wiele mniejszych ujęć wód powierzchniowych, m.in.: *Kamienna Wieża* na Polskim Potoku, *Leśniczówka* na potoku Sopot, *Biały Potok* powyżej Karpacza, oraz ujęcia na rzekach Podgórną w Podgórznynie, Mała Kamienna w Górzyńcu, Kamięńczyk, Ciekotka i Szrenicki Potok (ujęcia: *Na stoku Szrenicy* i *Łabski Szczyt*), Szlifierska Struga (ujęcie *Biała Dolina*), a także na ciekach bez nazwy (ujęcia: *Jutrzenka* i *Polanka*).

Ujęcie nr 14 – *Leśniczówka* na potoku Sopot (ryc. 1, tab. 1) ma największą wydajność spośród trzech górskich ujęć wód powierzchniowych zlokalizowanych w Jagniątkowie, administracyjnie należącym do Jeleniej Góry, jednak geograficznie do Karkonoszy. Ujęcie zaopatruje w wodę przede wszystkim Jagniątków oraz część Sobieszowa, stanowiącego dzielnicę Jeleniej Góry. Pozwolenie wodnoprawne zezwala na pobór 90 m³/h wód powierzchniowych, z zaleceniem zachowania w potoku Sopot poniżej stopnia piętrzącego wody ujęcia 0,057 m³/s przepływu nienaruszalnego. W 2014 r. pobór wody wyniósł 0,246 mln m³, co stanowiło 4% sumarycznego poboru wody dla Jeleniej Góry.

Ujęcie nr 13 – *Kamienna Wieża* (ryc. 1, tab. 1) dla potrzeb Jagniątkowa ujmuje na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego wody powierzchniowe Polskiego Potoku. Aktualne pozwolenie wodnoprawne zezwala na pobór wód powierzchniowych w ilości 700 m³/d, przy zachowaniu przepływu nienaruszalnego 2,70 dm³/s. W 2014 r. pobór wody z tego ujęcia wyniósł 0,118 mln m³, co stanowiło zaledwie 2% sumarycznego poboru wody dla Jeleniej Góry.

Wydajność pozostałych wymienionych ujęć wód powierzchniowych jest zróżnicowana – wynosi od kilkudziesięciu do kilkuset m³/d (*Polanka* – 60 m³/d; *Kamięńczyk* – 590 m³/d).

Odrębną grupę stanowią ujęcia drenażowe, liczne na opisywanym obszarze, lub drenażowo-powierzchniowe. Ujęcia drenażowe ujmują wody podziemne występujące płytko pod powierzchnią terenu, głównie w pokrywach zwietrzelinowych. W górnych partiach zachodniej części Karkonoszy ujęcie drenażowe zaopatrujące schronisko na Hali Szrenickiej ma średnią wydajność 17,3 m³/d, natomiast grupa ujęć drenażowo-powierzchniowych nr 7 – *Huta Julia* (ryc. 1, tab. 1) w Szklarskiej Porębie – ponad 200 m³/d. W ujęciu tym są pobierane wody powierzchniowe bezimiennego potoku oraz wody podziemne strefy przypowierzchniowej.

W górnej części zlewni Łomnicy funkcjonują ujęcia powierzchniowo-drenażowe służące do zaopatrzenia w wodę pitną miasta Karpacz. Ujęcie *Wielki Staw* składa się z ujęcia wód powierzchniowych *Kozi Mostek* na Białym Potoku oraz ujęcia wód podziemnych *Wielki Staw*, czerpiącego wodę z utworów czwartorzędowych (Juda, 2000; Krukowski, 2010). Łączna wydajność całego ujęcia wynosi 831,2 m³/d, z czego na ujęcie *Kozi Mostek* przypada 207,2 m³/d, a na ujęcie *Wielki Staw* 624 m³/d (Juda, 2000). Zgodnie z pozwoleniem wodnoprawnym średni pobór wody z ujęcia *Wielki Staw* wynosi 621 m³/d.

Ujęcie *Mały Staw* składa się z ujęcia powierzchniowego na Łomnicy (w 18 km jej biegu) oraz 8 studni drenażowych w rejonie Małego i Wielkiego Stawu. Wydajność ujęcia wód podziemnych określono na 864 m³/d, natomiast ujęcia wód powierzchniowych na 630,7 m³/d (Kluczyński, 2011). Wydane pozwolenie wodnoprawne zezwala na korzystanie z wód ujęcia *Mały Staw* w maksymalnej ilości do 621 m³/d i średniej wydajności równej 423 m³/d. Inne ujęcia powierzchniowo-drenażowe Karpacza – *Śląski Dom*, *Wilcza I* oraz *Wilcza Poręba II* (kolejno nr 8, 9 i 10, ryc. 1, tab. 1) – pracują z wydajnością od 300 do 1522 m³/d.

Ujęcie *Śnieżne Kotły*, zlokalizowane w zlewni Wrzosówki, zaopatruje w wodę pitną mieszkańców Michałowic i część Jagniątkowa. Średni pobór wody z tego ujęcia wynosi 254 m³/d.

Jednym z większych ujęć wód podziemnych na opisywanym obszarze jest, należące do Agencji Mienia Wojskowego, ujęcie przy ul. Podchorążych w Jeleniej Górze, z zasobami 1080 m³/d, oraz ujęcie w Jeżowie Sudeckim o zasobach 1750 m³/d. Ujęcie nr 3 *Ceglana* (ryc. 1, tab. 1) w Jeleniej Górze (obecnie nieeksploatowane) zaspokajało ok. 4% całkowitego zapotrzebowania miasta na wodę. Zasoby tego ujęcia, składającego się z 5 studni szybowych i 3 wierconych, określono na 2,5 tys. m³/d. Wydajność eksploatacyjna poszczególnych studni tego ujęcia wynosi od 11,7 do 16,8 m³/h. Studnie te ujmują wody czwartorzędowego piętra wodonośnego. Pozostałe ujęcia wód masywu krystalicznego, zwykle 1–2 otworowe, zaopatrują poszczególne obiekty przemysłowe, użyteczności publicznej i prywatne posesje. Ich wydajność mieści się zwykle w przedziale od 0,2 do 2,7 m³/h (tab. 1).

W Cieplicach Śląskich-Zdroju na terenie Jeleniej Góry, eksploatuje się słabo zmineralizowane (600–850 mg/dm³) lecznicze wody termalne, osiągające na wypływie temperaturę ok. 87°C w otworze nr 2A (ryc. 1, tab. 1). Wody termalne są również ujmowane otworami nr 2B w Stanisławowie i 2C w Karpnikach. Wszystkie są związane ze strefami dyslokacyjnymi w granicie karkonoskim (ryc. 1). Ich zasoby eksploatacyjne wynoszą od 20,5 do 45 m³/h (tab. 1) (Liber-Makowska, Łukaczyński, 2016).

Na obszarze granitowego masywu Karkonoszy stosunkowo często są ujmowane wody źródeł. Ze względu na niską wydajność (często poniżej 0,5 dm³/s) służą one do zaopatrzenia w wodę pojedynczych gospodarstw lub ośrodków wczasowych, najzasobniejsze z nich osiągają wydajność ponad 5 dm³/s. Warto również wspomnieć o wypływach ze sztolni, które są liczne na analizowanym obszarze. Niektóre z nich, o wydajności od 1 do 20 m³/h, są wykorzystywane do zaopatrzenia lokalnych gospodarstw, a nawet mniejszych miejscowości.

DYSKUSJA

Analiza warunków hydrogeologicznych karkonoskiego masywu granitowego i przegląd ujęć wód funkcjonujących na jego obszarze wskazują na utrudnienia w budowie dużego ujęcia wód podziemnych, które pokryłoby zapotrzebowanie na wodę miasta średniej wielkości. Większą wydajność można uzyskać instalując ujęcia wód powierzchniowych oraz ujęcia drenażowe, zlokalizowane w sąsiedztwie dużej rzeki. W przypadku tego typu ujęć problemów przysparza nieodpowiednia jakość wód powierzchniowych, które w opisywanym regionie należą

do III klasy jakości, a niektóre wskaźniki, np. zawartość bakterii grupy coli i bakterii coli typu kałowego, świadczą o IV czy V klasie czystości.

Na obszarach pozbawionych większych cieków pewnym rozwiązaniem jest budowa ujęcia bazującego na wodach powierzchniowych kilku mniejszych cieków. Przykładem jest *Sosnówka*, największe ujęcie zaopatrujące w wodę Jelenią Górę. Korzystanie z niego nie odbywa się jednak bezproblemowo. W okresach suchych zasilenie przez mniejsze potoki jest bardzo mocno ograniczone, co poza zmniejszeniem możliwych do wykorzystania zasobów skutkuje również pogorszeniem jakości wody. Pojawiają się zakwity glonów, spada natlenienie wody w zbiorniku oraz w cieku poniżej niego. Odczyn wody w zbiorniku oraz zawartość w niej Fe i Mn przekraczają normę dla wód pitnych.

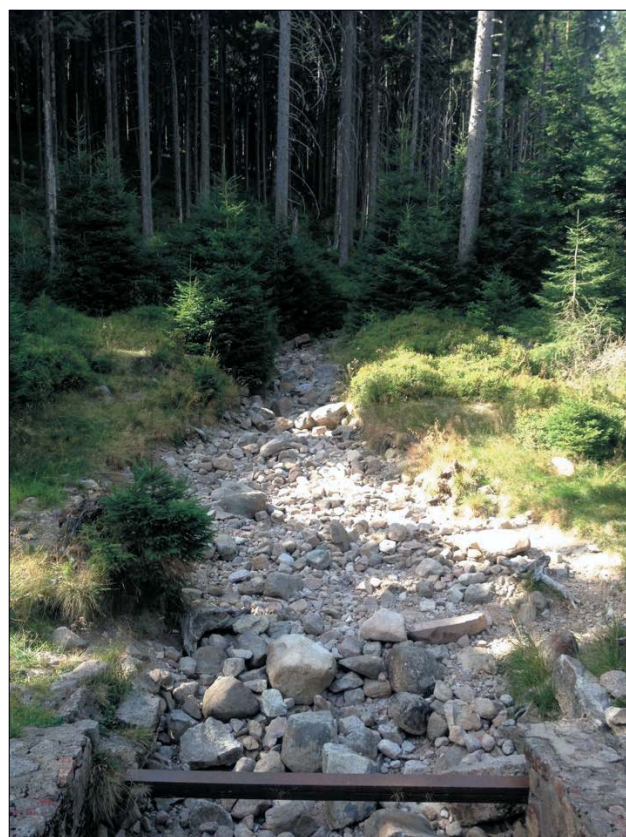
Ujęcia powierzchniowo-drenażowe są powszechne na badanym obszarze, szczególnie w jego górskiej części. Charakteryzują się one zróżnicowaną wydajnością – od kilkuset do dwóch tysięcy m³/d. Z ujęć tego typu, ujmujących wody małych potoków oraz wody podziemne występujące do głębokości kilku metrów, korzystają głównie miejscowości Karpacz, Szklarska Poręba i Kowary. Mankamentem tego typu ujęć jest ich niestabilna wydajność, w dużym stopniu uzależniona od zasilania atmosferycznego. W ostatnich latach wydajność tego typu ujęć znacznie spadła. W okresach suchych bywają one wyłączane ze względu na brak wody, a jakość ujmowanych wód wymusza konieczność ich uzdatniania.

Określony w połowie lat 80. schemat występowania rocznych opadów w klimatycznym subregionie karkonosko-izerskim, wykazujący dwa wyraźne maksima: główny w miesiącach letnich i niewiele niższy w miesiącach jesienno-zimowych (Kwiatkowski, Hołdys, 1985), ulega w ostatnich latach znacznym zmianom. Coraz częściej obserwuje się głębokie niżówki zarówno w okresie letnim, jak i w zimowym. Z powodu nasilającego się ruchu turystycznego, generującego wzmożone zapotrzebowanie na wodę, często dochodzi do nadmiernej eksploatacji ujęć i poboru znacznie przekraczającego wielkości ustalone w pozwoleniach wodnoprawnych. Skutki takiego postępowania obserwowano koło ujęcia *Wielki Staw*, gdzie w okolicy Koziego Mostku dochodziło nawet do całkowitego wyschnięcia Białego Potoku (ryc. 3). Istniejące tam ujęcie wody powierzchniowej, należące do zespołu ujęć *Wielki Staw*, w okresach wzmożonego zapotrzebowania i niskich stanów wód pobiera prawie cały przepływ wody w potoku. Nie są więc respektowane ograniczenia poboru wody w zakresie zachowania przepływu nienaruszalnego, nie mówiąc już o przepływie biologicznym. W roku hydrolo-

gicznym 2015, ze względu na ciągły pobór wody przy długotrwałym braku opadów atmosferycznych, przez ok. 170 dni potok w dolnej części poniżej ujęcia był suchy.

Na obszarze krystalicznego masywu Karkonoszy wody podziemne są pobierane z utworów czwartorzędowych oraz karbońskich, ale tylko w tych pierwszych występują główne użytkowe poziomy wodonośne, najbardziej perspektywiczne do lokalizacji ujęć wód podziemnych (Kielczawa, Czerski, 1997; Marszałek, Wąsik, 2002). Wyniki badań modelowych, wykonanych na obszarze Kotliny Jeleniogórskiej, wykazały możliwość budowy kilkuotworowych ujęć o wydajności 2–3,5 tys. m³/d na obszarach o większym nagromadzeniu osadów czwartorzędowych (Marszałek, Wąsik, 2012).

Rozwiązaniem dla mniejszych osad oraz pojedynczych gospodarstw, rozproszonych na obszarze masywu karkonoskiego, są ujęcia jedno-, dwuotworowe o głębokości do



Ryc. 3. Biały Potok w okolicach Koziego Mostku – poniżej ujęcia wód powierzchniowych *Wielki Staw* (stan w dniu 27.08.2015 r.)

Fig. 3. Biały Potok stream near Kozí Mostek – downstream of the water intake *Wielki Staw* (as of 27.08.2015)

Tab. 2. Wyniki testów hydrogeologicznych przeprowadzonych w otworach badawczych wywierconych w granitach karkonoskich
Table 2. Results of hydrogeological tests carried out in boreholes drilled in the Karkonosze granites

Nr otworu Borehole No	Głębokość otworu Borehole depth	Wydajność Discharge rate [m ³ /h]	Depresja Depression [m]	Wydatek jednostkowy Specific discharge [m ³ /h × m]	Przewodność Transmissivity [m ² /d]	Współczynnik filtracji Hydraulic conductivity [m/d]
1A	17,6	0,25	2,75	0,09	0,85	0,22
1B	6,7	0,13	1,11	0,12	1,2	0,28
1C	12,6	0,12	2,92	0,04	0,92	0,12

60–100 m, ujmujące wody szczelinowe karbońskiego masywu granitowego. Wydajność takich ujęć wynosi najczęściej od poniżej 1 do kilku m³/h (tab. 1, 2). O ich większej wydajności decyduje lokalizacja studni w strefie silnie zaangażowanej tektonicznie, charakteryzującej się większą gęstością spękań. Chociaż ujęcia te nie należą do bardzo wydajnych, to jednak charakteryzują się większą stabilnością wydajności i składu chemicznego wód.

Należy również wspomnieć o głębokich otworach, ujmujących wody z głębokości od kilkuset do 2000 m p.p.t., które do tej pory były wykonywane w celu ujęcia wód termalnych, wykorzystywanych jako źródło energii cieplnej oraz w balneologii. Ostatnio coraz częściej zaczynają pojawiać się rozwiązania, w których jednym ze sposobów kaskadowego wykorzystania tych wód ma być cel konsumpcyjny. Uwzględniając wydajność eksploatacyjną dotychczas wykonanych głębokich otworów, rozwiązania te wydają się realne.

Ważnym typem ujęć, popularnym szczególnie na obszarach górskich, są ujęcia źródeł. Ich wydajność gwarantuje zaopatrzenie w wodę o stosunkowo dobrej jakości pojedynczych gospodarstw domowych (a czasem nawet kilku).

Ciekawym i zarazem kuszącym rozwiązaniem są próby ujęć wód kopalnianych, wpływających sztolniami i szybami nieczynnych, zalanych kopalń. Głównym powodem realizacji takich przedsięwzięć jest zwykle ich względnie wysoka wydajność, sięgająca nawet kilkudziesięciu dm³/s. Niestety, często zła jakość tych wód wyklucza możliwość ich wykorzystania. W opisywanym regionie funkcjonuje kilka tego typu ujęć (np. w Janowicach Wielkich), których wody, po prostym uzdatnieniu, są kierowane do odbiorców.

PODSUMOWANIE

O wielkości zasobów wodnych krystalicznego masywu Karkonoszy decyduje głównie stopień spękania skał zbiornikowych i wielkość opadów atmosferycznych zasilających wody sieci rzecznej oraz zbiorniki wód podziemnych. Zasoby te maleją wraz obniżeniem wielkości zasilania infiltracyjnego, szczególnie w okresach długotrwałych susz, które powodują drastyczne spadki objętości przepływu wód powierzchniowych, niekiedy doprowadzając do prawie całkowitego wyschnięcia mniejszych potoków oraz silnego zmniejszenia natężenia przepływu większych rzek. Naturalny reżim cieków powierzchniowych zostaje wtedy wyraźnie naruszony, a możliwość ujmowania z nich wód do celów zaopatrzenia w wodę jest ograniczona.

Ujęciami wód podziemnych, gwarantującymi zarówno stabilność wydajności, jak i stosunkowo dobrą jakość wód, są studnie wiercone o głębokości minimum kilkudziesięciu metrów. Ich liczba i rozkład powinny być dostosowane do wielkości zapotrzebowania oraz lokalnych warunków hydrogeologicznych.

LITERATURA

BLACHUTA J., KONOWSKI R., MARSZAŁEK H., POPRAWSKI L., RYSIUKIEWICZ M., WĄSIK M. 2016 – Koncepcja zaopatrzenia w

wodę Miasta Jelenia Góra. Arch. Fundacji dla Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.

JANICKI B., KRAWCZYK J., KRYZA J., NOWACKI F. 1994 – Bilans wodno-gospodarczy wraz ze sformułowaniem warunków korzystania z wód zlewni rzeki Bóbr do przekroju powyżej zbiornika Pilchowice w zakresie wód podziemnych na podstawie dotychczasowych wyników badań na tym obszarze. Arch. PG *Proxima*, Wrocław.

JUDA W. 2000 – Operat wodnoprawny na pobór wód z zespołu ujęć *Wielki Staw* dla potrzeb miejskiej sieci wodociągowej w Karpaczu. Arch. Biura Projektowego SYNTECH, Jelenia Góra.

KIEŁCZAWA J., CZERSKI M. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Jelenia Góra. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

KLECZKOWSKI A.S. (red.) 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1:500 000. Wyd. IHiG AGH, Kraków.

KLUCZYŃSKI H. 2011 – Operat wodnoprawny na pobór wód z ujęcia *Mały Staw*. Arch. Biura Projektów i Konsultingu PROJEKT s.c., Jelenia Góra.

KOWALSKI S. 1992 – Czynniki naturalne warunkujące występowanie wód podziemnych w regionie sudeckim. Acta Univ. Wratisl., 1324, Prace Geol.-Miner. XXV, Wrocław.

KOZDRÓJ W., KRENTZ O., OPLETAŁ M. 2001 – Mapa geologiczna Lausitz–Jizera–Karkonosze (bez osadów kenozoicznych) w skali 1:100000, Państw. Inst. Geol., Warszawa.

KRUKOWSKI R. 2010 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych *Wielki Staw* z utworów czwartorzędowych w Karpaczu. Arch. ZUGiI HYDROB, Jeżów Sudecki.

KWIATKOWSKI J., HOŁDYS T. 1985 – Klimat. [W:] Jahn A. (red.), Karkonosze polskie. Ossolineum, Wrocław.

LIBER-MAKOWSKA E., ŁUKACZYŃSKI I. 2016 – Charakterystyka nowo rozpoznanego złoża wód termalnych w Karpnikach na tle warunków geotermicznych Kotliny Jeleniogórskiej. Tech. Posz. Geol. – Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 2: 5–16.

MARSZAŁEK H. 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. Acta Univ. Wratisl., 2993, Hydrogeologia. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław.

MARSZAŁEK H., WĄSIK M. 2002 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Wojcieszów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

MARSZAŁEK H., WĄSIK M. 2005 – Wodonośność skał krystalicznych metamorfiku kaczawskiego i izerskiego na podstawie wyników próbnych pompowań. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, tom XII, Wyd. UMK, Toruń: 491–497.

MARSZAŁEK H., WĄSIK M. 2012 – Ocena możliwości ujęcia czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. Biul. Państw. Inst. Geol., 451: 169–176.

MARSZAŁEK H., WĄSIK M., KUDŁACIK J. 2008 – Ocena zasobów eksploatacyjnych ujęcia wody Grabarów w Jeleniej Górze. Biul. Państw. Inst. Geol., 431: 145–152.

MIĘTUS M., ŁYSIAK-PASTUSZAK E., ZALEWSKA T., KRZEMIŃSKI W. (red.) 2011 – Projekt KLIMAT, Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo, zad.1 Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych. IMGW, Warszawa–Gdynia–Kraków.

STAŚKO S., TARKA R. 2002 – Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w Masywie Śnieżnika. Acta Univ. Wratisl., 2528, Hydrogeologia, Wrocław.

STAŚKO S., WOJTKOWIAK A. 2004 – Występowanie i jakość wód podziemnych w skałach krystalicznych Sudetów na podstawie badań ujęć. Prz. Geol., 52 (1): 69–75.

STAŚKO S., OLICHWER T., TARKA R. 2008 – Susza hydrogeologiczna w Sudetach. Materiały konferencyjne, XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna *Zarządzanie zasobami wodnymi w dorzeczu Odry*, 11–14.05.2008 r., Szklarska Poręba: 37–46.

ZALESKA M., ŚLIWKA R., KUDŁACIK J., HAŁADAJ J. 1999 – Dokumentacja hydrogeologiczna regionu sudeckiego – zlewnie górnych biegów Nysy Łużyckiej i Bobru wraz z oceną zasobów poziomów wodonośnych. Arch. Arcadis Ekokonrem, Wrocław.

ZAWISTOWSKI K., MICHNIEWICZ M. 2009 – Wody podziemne miast Polski. Miasta powyżej 50 000 mieszkańców – Jelenia Góra. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

ZIERNICKA A. 2004 – Globalne ocieplenie a efektywność opadów atmosferycznych. Acta Agrophys., 3 (2): 393–397.

ŻELAZNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARKOWSKI P.H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław.