

Zmiany stanów i temperatury wód podziemnych w wybranych zlewniach Karkonoszy

Michał Rysiukiewicz¹, Henryk Marszałek¹

Changes in the groundwater level and temperature in selected catchments of the Karkonosze Mts. *Prz. Geol.*, 65: 1239–1243.

Abstract. The paper presents the results of groundwater level and temperature monitoring in the main porous-fissured aquifer occurring in selected catchments of the Karkonosze Mts. The analysis was based on the results of observations carried out in two catchments (Łomnica and Wrzosówka rivers) of the Karkonosze National Park during the period of 2014–2016, where 6 piezometers at depths of 4.80 to 13.45 m were installed. Groundwater monitoring is carried out in an elevation transect, in the range from about 600 to almost 1090 m a.s.l. Significant elevations of the water level were observed after rainfall and melting recharge in the spring, and long regression periods in the summer-autumn season.

Keywords: monitoring, fluctuations of groundwater table and temperature, Karkonosze Mts.

Karkonosze należą do chronionych obszarów Sudetów, w których w latach 80. ub. stulecia doszło do pogorszenia jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Zakwaszenie wód, wywołane emisją szkodliwych zanieczyszczeń pyłowych i gazowych pochodzących ze spalania paliw kopalnych, uruchomiło wiele niekorzystnych zmian, z wylesieniem znacznych połaci Karkonoszy włącznie. Doprowadziło to do zaburzenia naturalnego reżimu wód i zmian w bilansie wodnym, w tym obniżenia przychodów wody z osadów atmosferycznych i wzrostu parowania. Przewodzone przez Dubickiego (1993) badania w zachodniej części Karkonoszy wykazały, że degradacja 85% powierzchni lasów wpłynęła na wzrost odpływu całkowitego o 35%. Działania ochronne w Karkonoskim Parku Narodowym (KPN) i w jego otulinie doprowadziły do wyraźnej poprawy stanu ekosystemów Karkonoszy, w tym środowiska wodnego. Nie oznacza to jednak, że obszar ten nie jest poddawany presji ze strony czynników zewnętrznych, które mogą ponownie naruszyć względną równowagę między poszczególnymi elementami środowiska przyrodniczego tego unikatowego w skali kraju masywu górskiego.

Potrzeba prowadzenia monitoringu stanu ilościowego wód wynika z zagrożeń jakie niesie nasilający się ruch turystyczny oraz jakie niosą nowe inwestycje związane z uprawianiem sportów zimowych, determinujące wzmożony pobór wód z obszaru Karkonoszy. Dlatego w celu śledzenia zmian ilościowych i jakościowych zachodzących w środowisku wodnym tego obszaru uruchomiono monitoring hydrogeologiczny, dotyczący obiegu wody i rozpuszczonych w niej substancji chemicznych w wybranych zlewniach górskich KPN. Realizowane działania ochronne pozwolą na wyeliminowanie potencjalnych zagrożeń ekosystemów Karkonoszy, niezwykle wrażliwych na zanieczyszczenia.

OBSZAR BADAŃ

Do szczegółowych pomiarów wytypowano dwie reprezentatywne zlewnie badawcze położone w różnych częściach KPN. Monitoringiem zostały objęte górne partie zlewni Wrzosówki oraz Łomnicy, do granicy Parku.

W przypadku tej ostatniej, obszar monitoringu obejmuje źródłowy fragment zlewni wraz z Wielkim i Małym Stawem, zamknięty linią przekroju pomiarowego na rzece Łomnicy poniżej dopływu Płasawy. Przy wyborze miejsca lokalizacji piezometrów kierowano się zarówno uwarunkowaniami przyrodniczymi, jak i technicznymi możliwościami ich wykonania oraz prowadzenia pomiarów. W ramach badań realizowanych na Uniwersytecie Wrocławskim w latach 2010–2015 monitoringiem objęto również zlewnię Kamieńczyka, odwadniającą zachodnią część Karkonoszy (Marszałek, Rysiukiewicz, 2014; Rysiukiewicz, 2015).

ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE MONITOROWANYCH ZLEWNI

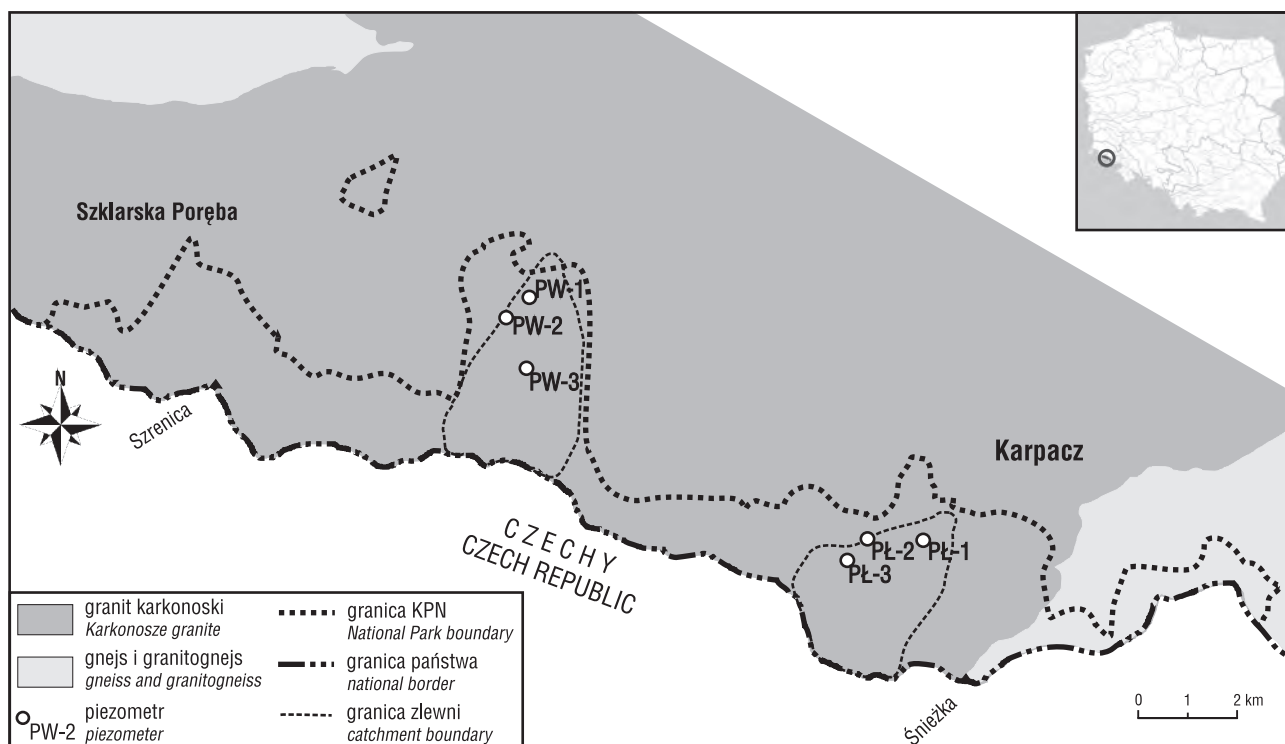
Masyw Karkonoszy na obszarze KPN budują górnokarbońskie granity, zwane karkonoskimi. Na wschód od Śnieżki występują utwory metamorficzne, w tym w przewodzie staropaleozoiczne serie gnejsowo-lupkowe (ryc. 1). Na utworach krystalicznych leżą niewielkiej miąższości pokrywy zwietrzelin, aluwiiów i osadów organicznych (torfów).

Monitorowane fragmenty Karkonoszy odwadniane są przez Wrzosówkę i Łomnicę.

Obszar zlewni Wrzosówki, odwadniającej środkową część Karkonoszy, zbudowany jest w całości z granitu, wykształconego w postaci równoziarnistej w grzbietowej partii masywu lub porfirowatej – w niższych hipsometrycznie fragmentach obszaru. Dolinę Wrzosówki poniżej Czarnego Kotła Jagniątkowskiego, gdzie ma swój obszar źródłowy, wypełniają utwory morenowe i żwiry wodnolodowcowe oraz niewielkiej miąższości osady aluwialne (Mierzejewski, 1980). Ostro wcięta w podłoże skalne dolina ma wyraźne założenia tektoniczne. Powierzchnia monitorowanego fragmentu zlewni do przekroju w Jagniątkowie wynosi 11,8 km² (ryc. 1).

Rzeka Łomnica odwadnia wschodnią część Karkonoszy. Jej źródła znajdują się na Równi pod Śnieżką na wysokości ok. 1407 m n.p.m. W budowie geologicznej tego fragmentu Karkonoszy dominują również granity, jednak w części wschodniej występują utwory metamorficzne.

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; michal.rysiukiewicz@uwr.edu.pl, henryk.marszalek@uwr.edu.pl.



Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów badawczych na tle budowy geologicznej Karkonoszy
Fig. 1. Location of sampled points on the geology background of the Karkonosze Mts.

Grzbietowe partie zlewni, szczególnie w rejonie Równi pod Śnieżką, pokrywają utwory torfowe, a doliny rzeczne wypełniają osady aluwialne. U wylotu kotłów lodowcowych występują osady morenowe. Powierzchnia monitorowanej części zlewni wynosi 7,1 km² (ryc. 1).

Warunki klimatyczne na terenie obu zlewni są podobne. Średnia temperatura powietrza w grzbietowych partiach masywu wynosi ok. 0,5–2,0°C, a roczna suma opadów osiąga 1200–1300 mm. Wraz ze spadkiem wysokości terenu średnia temperatura powietrza rośnie, osiągając w dolnych częściach zlewni ok. 5–6°C. Na granicy Karkonoszy i Kotliny Jeleniogórskiej zmniejsza się również do ok. 800 mm wielkość opadów atmosferycznych (Marszałek, 2007; Sobik i in., 2013).

METODA BADAŃ

Charakterystykę wahań zwierciadła i zmian temperatury wód podziemnych oparto na wynikach monitoringu wód KPN prowadzonego przez autorów od 2014 r. w 6 piezometrach o głębokościach 4,80–13,45 m. Dla zlewni Wrzosówki wybrano do analizy dane z 3-letniego okresu obserwacji (2014–2016) prowadzonych w 3 punktach – od położonego w najniższych partiach zlewni (605 m n.p.m.) piezometru PW-1 do zainstalowanego na wysokości ok. 900 m n.p.m. PW-3 (tab. 1). Pomiary w zlewni Łomnicy obejmują okres 2 lat (2014–2015) i również były wykonywane w 3 punktach – PŁ-1, PŁ-2, PŁ-3 (tab. 1). Pełniejszy okres obserwacji w przypadku środkowej części Karkonoszy wynika z włączenia zlewni Wrzosówki do systemu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Obserwacje na pozostałych obszarach KPN mają natomiast charakter okresowy. Zarówno pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych, jak i ich

temperatury, są rejestrowane w sposób ciągły co godzinę za pomocą urządzeń typu OTT Orpheus Mini.

ZMIANY STANÓW I TEMPERATURY WÓD PODZIEMNYCH

Obserwację reżimu hydrogeologicznego w wybranych zlewniach Karkonoszy wykonuje się w związku z ochroną zasobów wodnych, niekiedy nadmiernie eksploatowanych przez istniejące na obszarze Parku ujęcia wody. Monitoring położenia zwierciadła pierwszego od powierzchni terenu poziomu wodonośnego i temperatury wody jest prowadzony w trasce wysokościowym, w przedziale od 605 do prawie 900 m n.p.m. w zlewni Wrzosówki i od 855 do 1088 m n.p.m. w zlewni Łomnicy (tab. 1). Wszystkie punkty pomiarowe ujmują wody podstawowego zbiornika wodonośnego (tzw. zbiornika karkonoskiego), obejmującego strefę spękanych granitów wraz z ich zwietrzelinami do głębokości 25–30 m (Marszałek, 2007). Górne, najbardziej spękane partie profilu wietrzeniowego o miąższości 10–15 m i o wysokich wartościach parametrów filtracyjnych, odpowiadają strefie intensywnej wymiany wód podziemnych. Większość punktów jest zlokalizowana w tzw. strefie stokowej, jednej z trzech klimatycznych stref wysokościowych o różnych warunkach formowania się zasobów wód podziemnych (Marszałek, 2007). Obejmuje ona obszar masywu krystalicznego pomiędzy strefą wysokogórską (partie grzbietowe) a obniżeniem śródgórskim w obrębie Kotliny Jeleniogórskiej. Najwyżej położone w obu zlewniach punkty mogą już reprezentować warunki klimatyczne typowe dla strefy grzbietowej Karkonoszy.

Zwierciadło pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego nawiercono na różnych głębokościach, od

Tab. 1. Charakterystyka monitorowanych piezometrów na obszarze KPN**Table 1.** Characteristics of monitored points in the KPN area

Nr No.	Lokalizacja Location	Rzędna [m n.p.m.] Elevation [m a.s.l.]	Głębokość Depth [m]	Głębokość zw. wody [m p.p.t.] Depth to groundwater [m b.g.l.]	Rzędna zw. wody [m n.p.m.] Elevation of the groundwater table [m a.s.l.]	Litologia strefy wodonośnej Lithology of the water-bearing zone
zlewnia Wrzosówki / Wrzosówka catchment						
PW-1	w pobliżu Skalnych Baszt close to Skalne Baszty	605	13,1	8,70	596,30	spękany granit fractured granite
PW-2	G. Leśniak, przy II Drodze Sudeckiej Leśniak Mt., near II Sudecka Road	808	15,0	7,42	800,58	spękany granit fractured granite
PW-3	w pobliżu mostu na Polskim Potoku, przy II Drodze Sudeckiej close to bridge on Polski Potok, near II Sudecka Road	897	12,5	8,58	888,42	spękany granit fractured granite
zlewnia Łomnicy / Łomnica catchment						
PŁ-1	powyżej wodospadu na Łomnicy above the waterfall on the Łomnica river	855	13,45	4,0	851	spękany granit wraz ze zwietrzeliną fractured granite with saprolite
PŁ-2	Polana	1056	5,80	4,0	1051	spękany granit wraz ze zwietrzeliną fractured granite with saprolite
PŁ-3	w pobliżu Koziego Mostku close Kozí Bridge	1088	4,80	2,20	1084,8	osady morenowe moraine deposits

2,20–4,0 m p.p.t w przypadku piezometrów w zlewni Łomnicy do 7,4–8,7 m p.p.t w punktach zlewni Wrzosówki (tab. 1). Należy zaznaczyć, że w krystalniku sudeckim pierwszy poziom wodonośny można uznać za ciągły tylko w ujęciu regionalnym. Lokalnie tworzą go strefy wodonośne wykształcone w spękanych utworach krystalicznych, w których objętość nagromadzonej wody jest uzależniona od stopnia szczelinowości masywu. Na zróżnicowaną głębokość położenia zwierciadła w obu zlewniach wpływa wiele czynników, m.in. miąższość i przepuszczalność pokrywy zwietrzelinowej oraz stopień spękania masywu, wpływających na zasięg strefy aeracji, usytuowanie punktów w różnych hipsometrycznie partiach masywu i uwarunkowania geomorfologiczne.

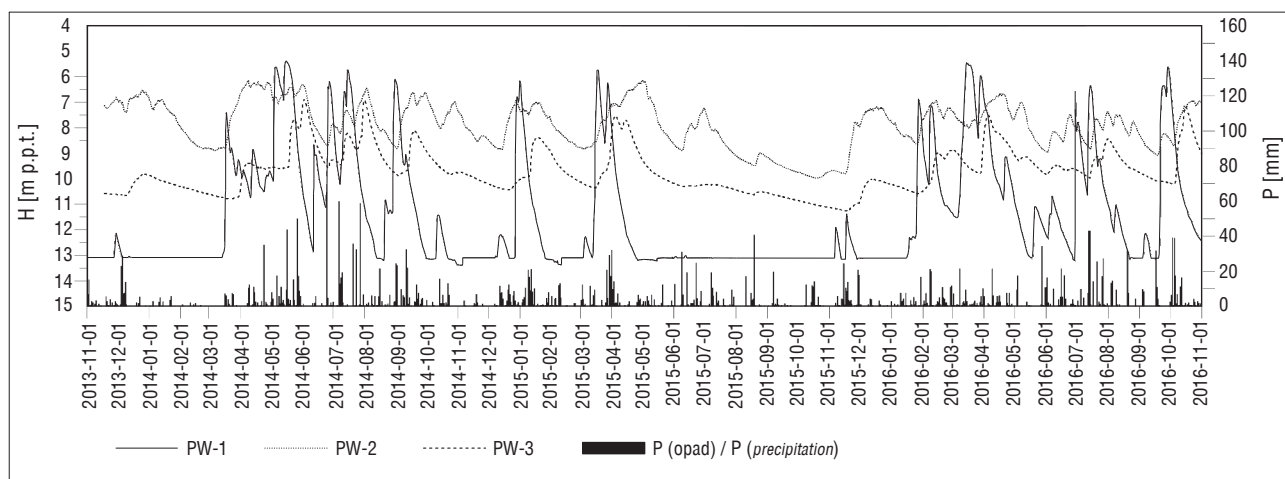
W obrazie dynamiki zwierciadła jest widoczny zbliżony przebieg wahań w przypadku wyżej położonych piezometrów obu zlewni. Obserwuje się wyraźne jego wzniosy po zasilaniu opadowym i roztopowym w okresie wiosennym oraz długie okresy regresyjne w sezonie letnio-jesiennym (ryc. 2, 3). Reakcja zwierciadła na opady nie jest na-

tychmiastowa. Kilkundniowe opóźnienie często świadczy o dłuższym czasie przepływu wód infiltracyjnych do stref wodonośnych. W obu zlewniach najniższe położenie zwierciadła zaznacza się w okresie zimowym, trwającym w większości punktów do kwietnia. Reakcją na roztopowe zasilanie wiosenne jest wyraźny i stopniowy jego wznios, osiągający maksimum najczęściej w maju. Po odbudowaniu zasobów po niżówkach zimowych następuje spadek zwierciadła, z widoczną reakcją na opady letnie. W przypadku niektórych punktów (PŁ-2) był widoczny zaburzony, szczególnie w pierwszej fazie pomiarów, obraz wahań zwierciadła (ryc. 3). Wiązało się to z problemami technicznymi w strefie przyfiltrów piezometru. Po przeprowadzonych zabiegach oczyszczających obraz zmian położenia zwierciadła w otworze wykazywał większą regularność.

Nieco odmienną rytmikę wahań obserwuje się w przypadku punktów zlokalizowanych w dolnych partiach obu zlewni. W piezometrze PW-1 zwierciadło zarówno szybko podnosi się po zasilaniu opadowym, jak i opada w okresie suchym (ryc. 2). Duża amplituda wahań, przekraczająca

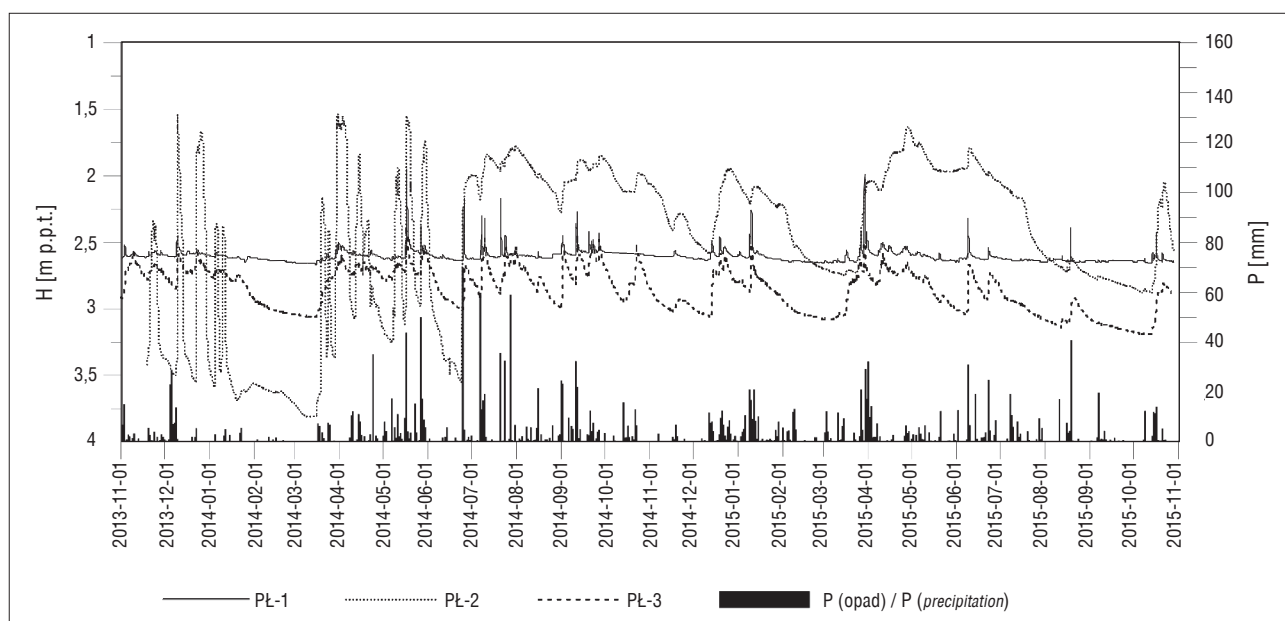
Tab. 2. Zmiany położenia zwierciadła i temperatury wód podziemnych w piezometrach zlewni Wrzosówki (w latach 2014–2016) i Łomnicy (w latach 2014–2015)**Table 2.** Groundwater level and temperature changes in piezometers of the Wrzosówka (in the period of 2014–2016) and Łomnica (in the period of 2014–2015) catchments

Nr No.	H _{max} [m p.p.t.]	H _{min} [m p.p.t.]	H _{sr} [m p.p.t.]	ΔH [m]	T _{max} [°C]	T _{min} [°C]	T _{sr} [°C]	ΔT [°C]
PW-1	13,40	5,38	11,57	8,02	9,2	4,6	6,9	4,6
PW-2	11,26	6,90	9,71	4,36	6,9	6,5	6,7	0,4
PW-3	9,97	6,14	7,88	3,83	7,8	4,4	5,9	3,4
PŁ-1	2,67	1,95	2,61	0,72	7,0	4,9	5,8	2,1
PŁ-2	3,19	2,38	2,86	0,81	9,6	3,8	6,6	5,8
PŁ-3	3,81	1,54	2,49	2,27	7,0	2,7	5,5	4,3



Ryc. 2. Zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych (H) w piezometrach zlewni Wrzosówki na tle wielkości opadów atmosferycznych (P)

Fig. 2. Changes of groundwater level in piezometers (H) of the Wrzosówka River catchment on the background of precipitation (P)



Ryc. 3. Zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych (H) w piezometrach zlewni Łomnicy na tle wielkości opadów atmosferycznych (P)

Fig. 3. Changes of groundwater level in piezometers (H) of the Łomnica River catchment on the background of precipitation (P)

8 m (tab. 2), może wiązać się z wpływem stanów wód w pobliskim Polskim Potoku. Otwór ten jest zlokalizowany bowiem w pobliżu ujścia Polskiego Potoku do Wrzosówki, której głęboko wcięta w podłoże dolina założona jest w strefie uskokowej. Dolny zakres pomiarów w tym punkcie jest limitowany głębokością otworu, który w trakcie badań niejednokrotnie był suchy, co zobrazowano na wykresie – ryc. 2. W punkcie tym zarejestrowano również w 2015 r. największą amplitudę wahań, wynoszącą 7,67 m. W przypadku położonych w wyższych partiach zlewni Wrzosówki piezometrów PW-2 i PW-3 amplituda była prawie dwukrotnie mniejsza i dla 3-letniego okresu obserwacji wynosiła odpowiednio 4,36 m i 3,83 m (tab. 2).

W zlewni Łomnicy zwierciadło wód podziemnych zalega znacznie bliżej powierzchni terenu w porównaniu ze zlewnią Wrzosówki. Także amplitudy wahań zwierciadła wód podziemnych w piezometrach są znacznie niższe niż w zlewni Wrzosówki (ryc. 3). Największą amplitudę

wahań (2,27 m) dla okresu 2014–2015 (tab. 2) zaobserwowano w najwyższym położonym w zlewni Łomnicy piezometrze PŁ-3. W dwóch pozostałych punktach amplituda była niewielka i wynosiła 0,72 m (PŁ-1) oraz 0,81 m (PŁ-2).

Pomocne w analizie wahań zwierciadła wody są wyniki obserwacji temperatury wód we wszystkich obserwowanych punktach. Rejestrowany w sposób ciągły zapis temperatury wód podziemnych wykazywał jej zmiany w przedziale 2,7–9,6°C (tab. 2), przy czym zakresy wahań w poszczególnych punktach były różne. Najmniejszą amplitudę wahań, wynoszącą tylko 0,4°C, zanotowano w wodach piezometru PW-2, co wskazuje na ich krążenie w strefie położonej poniżej głębokości wpływu temperatury otoczenia. Niedużą amplitudę wahań temperatury ($\Delta T = 2,1^\circ\text{C}$) zanotowano w położonym na obrzeżach Karpacza piezometrze PŁ-1 (tab. 2). Najwyraźniejszy wpływ czynników zewnętrznych na temperaturę wody jest widoczny w piezometrze PŁ-2 ($\Delta T = 5,8^\circ\text{C}$). Średnia głębo-

kość położenia w nim lustra wody wynosi 2,86 m p.p.t. Rozkład temperatury układu się w wyraźną sinusoidę z wartościami najniższymi na przełomie marca i kwietnia, a najwyższymi w październiku. Podobne wartości amplitudy określono dla piezometru PW-1 – położonego w pobliżu Jagniątkowa w najniższych partiach obszaru KPN ($\Delta T = 4,6^{\circ}\text{C}$), i piezometru PŁ-3 – usytuowanego poniżej kotłów Wielkiego i Małego Stawu ($\Delta T = 4,3^{\circ}\text{C}$). We wszystkich otworach jest widoczna tendencja obniżania się temperatury wody w okresach roztopowych i jej wzrostu w okresach letnich, co potwierdza duży udział fazy roztopowej w zasilaniu stref wodonośnych.

Obliczone średnie temperatury wód podziemnych są zbliżone do średnich temperatur powietrza jedynie w przypadku wód z piezometru PŁ-1 ($T_{sr} = 5,8^{\circ}\text{C}$), położonego powyżej Karpacza (tab. 2). Wszystkie pozostałe punkty charakteryzują się wyższą średnią temperaturą wody niż średnia roczna temperatura powietrza. Określone bowiem dla wybranych stacji pomiarowych Karkonoszy, usytuowanych na różnych wysokościach, wartości średnich temperatur zmieniają się – $7,9^{\circ}\text{C}$ w Miłkowie (rzędna 443 m n.p.m.), $6,7^{\circ}\text{C}$ dla Karpacza (650 m n.p.m.), $4,2^{\circ}\text{C}$ dla Polany (1077 m n.p.m.) oraz $1,3$ i $0,7^{\circ}\text{C}$ odpowiednio dla Śnieżnych Kotłów i Śnieżki (Sobik i in., 2013).

Stosunkowo krótki, bo 2–3-letni okres pomiarowy, nie pozwala na prześledzenie wieloletniej tendencji wahań zwierciadła wód podziemnych w masywie Karkonoszy. Dostarcza jednak informacji na temat zmian sezonowych i dobowych (nie analizowanych w artykule). W obrazie zmian położenia zwierciadła wód podziemnych widoczna jest, podobnie jak w innych rejonach Karkonoszy, tendencja do jego wzniosu w okresie wzmoczonego zasilania związanego z wiosennymi roztopami oraz letnimi i jesieniami opadami, z różnym okresem rozpoczęcia tej fazy w zależności od położenia hipsometrycznego. W najwyższych partiach Karkonoszy wznios zwierciadła przypada na okres od kwietnia do lipca, natomiast najgłębsza niżówka występuje pod koniec zimy (Tomaszewski, 1990).

Dla płytko położonych zbiorników porowo-szczelinowych, występujących w spękanych skałach krystalicznych wraz z ich pokrywą zwietrzelinową, wielkość amplitudy wahań zwierciadła jest uzależniona od położenia punktu w stosunku do strefy wododziałowej (Marszałek, 2007). Im bliżej wododziału tym amplituda jest wyższa.

PODSUMOWANIE

Znaczna dynamika zmian położenia zwierciadła wód podziemnych, ściśle uzależniona od czynników klimatycznych (głównie wielkości opadów i temperatury powietrza),

oraz różna reakcja na zasilanie lub jej brak w analizowanych punktach potwierdza potrzebę dalszego prowadzenia monitoringu środowiska wodnego w Karkonoskim Parku Narodowym. Objęte obserwacjami płytko położone strefy wodonośne, tworzące w ujęciu regionalnym podstawowy zbiornik wodonośny, nie zawsze charakteryzują się podobnym reżimem hydrogeologicznym. Mimo podobnych warunków przyrodniczych obszarów (geologicznych, hydrogeologicznych, klimatycznych), w których są zlokalizowane punkty obserwacyjne, w obrazie dynamiki stanów wód i ich termiki obserwuje się pewne zróżnicowanie. Wynika to ze znacznej anizotropii masywu skalnego i zróżnicowania warunków klimatycznych w skali lokalnej. Szybkie i niekiedy długotrwałe obniżenie zwierciadła w okresach suchych powoduje znaczny ubytek zasobów odnawialnych Karkonoszy, które formują się przede wszystkim w objętym monitoringiem porowo-szczelinowym zbiorniku. Przejawia się to drastycznym (niekiedy kilkukrotnym) spadkiem wartości modułu odpływu podziemnego (Marszałek, 2007). Udział wód głębszego przepływu (przejściowego i regionalnego) w kształtowaniu wielkości zasobów jest znacznie mniejszy. W monitorowanych zlewniach oraz w całym masywie karkonoskim dominującą rolę odgrywiają przepływy wód o charakterze lokalnym.

Autorzy wyrażają podziękowania dla Recenzentów niniejszej pracy. Artykuł opracowano na podstawie wyników prac badawczych realizowanych w ramach zadania „Długookresowe badania klimatologiczne, hydrologiczne i fizykochemiczne w leśnych zlewniach górskich w Karkonoskim Parku Narodowym”, finansowanych ze środków funduszu leśnego zarządzanych przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych.

LITERATURA

- DUBICKI A. 1993 – Sezonowe zmiany odpływu w Sudetach jako następstwo procesu wylesienia. [W:] Mat. Sesji Nauk. „Geoekologiczne problemy Karkonoszy”. Wyd. UWroc., Wrocław.
- MARSZAŁEK H. 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. Acta Univ. Wratisl. Hydrogeol., 2993.
- MARSZAŁEK H., RYSIUKIEWICZ M. 2014 – Raport o stanie środowiska wodnego w rejonie Szrenicy w zachodniej części Karkonoskiego Parku Narodowego wraz z jego otuliną w roku 2014. Arch. ZHS ING UWroc., Wrocław (niepubl.).
- MIERZEJEWSKI M.P. 1980 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów 1:25 000, ark. Szklarska Poręba. Wyd. Geol., Warszawa.
- RYSIUKIEWICZ M. 2015 – Kształtowanie odpływu podziemnego w warunkach klimatu umiarkowanego i polarnego na przykładzie zlewni Kamieńczyka (Karkonosze) i Steinvika (Spitsbergen). Arch. ZHS ING UWroc., Wrocław (rozpr. doktor.).
- SOBIK M., BŁAŚ M., MIGAŁA K., GODEK M., NASIÓLKOWSKI T. 2013 – Klimat. [W:] Knapik R., Raj A. (red.). Przyroda Karkonoskiego Parku Narodowego. Wyd. KPN, Jelenia Góra.
- TOMASZEWSKI J.T. 1990 – Charakter wahań zwierciadła górnego poziomu wód podziemnych. Stud. Geogr., 49.