

SPECYFIKA SIECI MONITORUJĄCYCH WODY PODZIEMNE NA OBSZARZE KARPAT

THE SPECIFICITY OF THE GROUNDWATER MONITORING NETWORK IN THE CARPATHIANS

PIOTR FREIWALD¹, PIOTR OWSIAK¹, KRZYSZTOF WITEK¹

Abstrakt. Sieć obserwacyjno-badawcza wód podziemnych na obszarze Karpat jest prowadzona przez Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego od 1989 r. Monitoringowi podlegają wahania zwierciadeł wód podziemnych w otworach hydrogeologicznych, studniach kopanych i wydajności źródeł oraz stan chemiczny wód podziemnych. Obecnie (2013 r.), w ramach państwowej służby hydrogeologicznej, obserwacje są prowadzone w 86 punktach badawczych, z czego 48 stanowią studnie wiercone, 34 źródła i 4 studnie kopane. Do specyfiki obszarów górskich, w szczególności Karpat, należy duża gęstość występowania źródeł (nawet powyżej 10 na km²). Ich udział w sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych stanowi 39% wszystkich punktów obserwacyjnych. Wydajność źródeł jest bardzo zmienna i uwarunkowana ich pozycją morfologiczną, litologią warstwy wodonośnej i tektoniką górotworu.

Na obszarze Karpat w wielu punktach obserwacyjnych wyraźnie zaznaczają się wieloletnie (około 20 lat), cykliczne zmiany wydajności źródeł i wahań zwierciadła wód podziemnych.

Słowa kluczowe: Karpaty, monitoring wód podziemnych, cykle hydrogeologiczne.

Abstract. Observation and research network of groundwater in the Carpathian area is carried out by the Carpathian Branch of the Polish Geological Institute – National Research Institute since 1989. The subjects of the monitoring are dynamics and chemical status of groundwater. The Polish Hydrogeological Survey presently (2013) keeps observations in 86 studied points. Among them 48 are drilled wells, 34 springs, and 4 dug wells.

High density of spring occurrence is a characteristic feature of mountain areas, particularly for the Carpathians, where even more than 10 springs per km² are noted. They constitute 39% of all observation points of the groundwater observation and research network. The spring discharge is very variable and depends on the morphological position of the spring, aquifer lithology, and tectonics of the orogen.

In the Carpathian region in many observation points long-term (*ca.* 20 years) cyclic changes in spring discharges and fluctuations of the groundwater table are clearly visible.

Key words: Carpathians, groundwater monitoring, hydrogeological cycles.

WSTĘP

Koncepcję funkcjonowania sieci monitoringu wód podziemnych opracowano w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) na początku lat 70. XX w. Przez kilkadziesiąt lat następował rozwój sieci oraz unowocześnienie systemu gromadzenia danych.

Na obszarze Karpat sieć obserwacyjno-badawcza wód podziemnych jest prowadzona przez Oddział Karpacki PIG-PIB

(OK PIG-PIB) od 1989 r. W jej ramach bada się dynamikę (wahania zwierciadła wód podziemnych, wydajności źródeł) oraz stan chemiczny wód podziemnych. W 1990 r. w Karpatach monitorowano położenie zwierciadła wód podziemnych i wydajności źródeł w 21 punktach badawczych (9 otworów i 12 źródeł), natomiast obecnie (2013 r.) w ramach działalności państwowej służby hydrogeologicznej obser-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; e-mail: piotr.freiwal@pgi.gov.pl, piotr.owski@pgi.gov.pl, krzysztof.witek@pgi.gov.pl

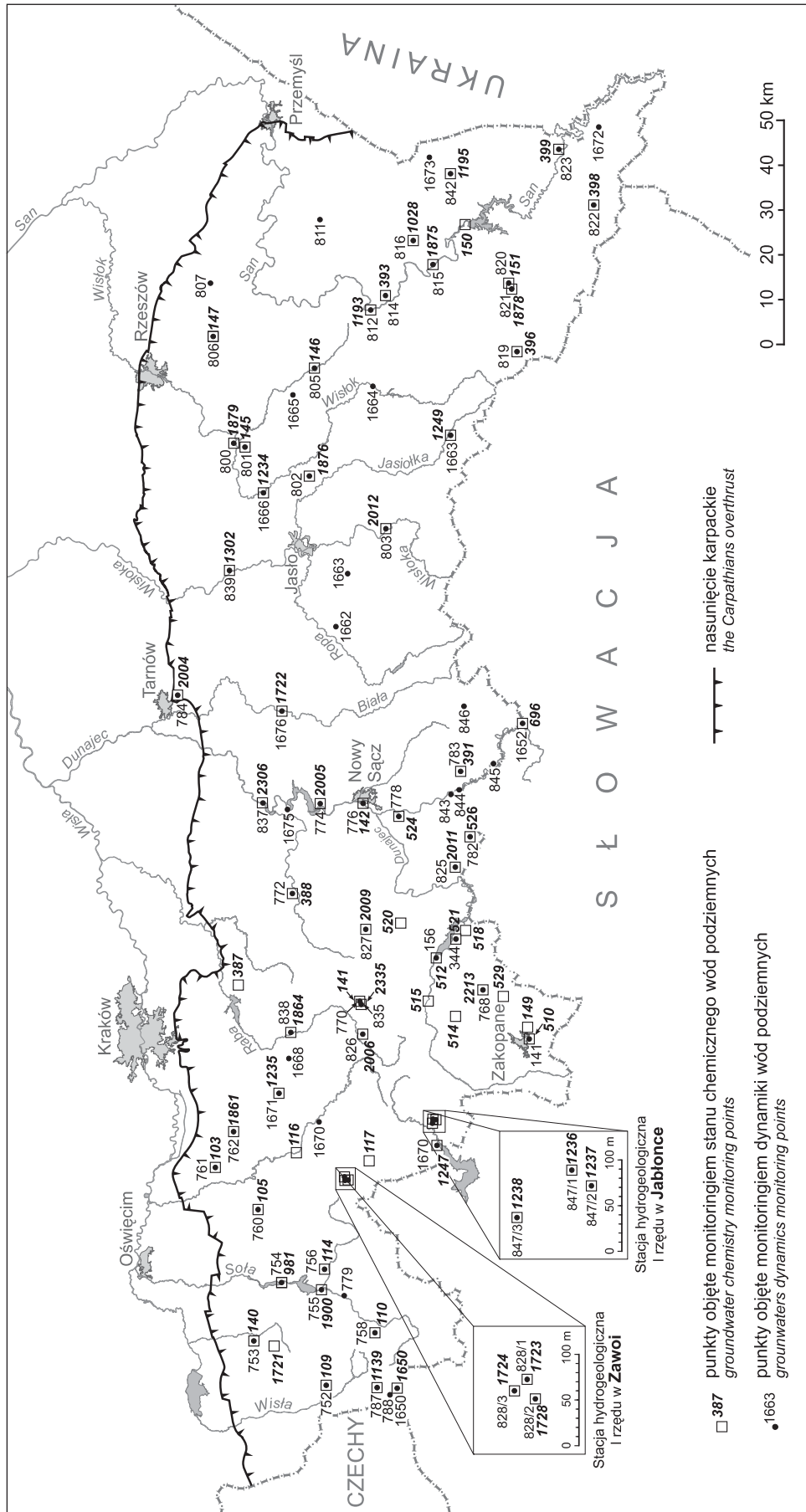


Fig. 1. Lokalizacja punktów obserwacyjno-badawczych należących do bazy danych monitoringu wód podziemnych

Location of monitored points belonging to the groundwater monitoring database

Tabela 1

Charakterystyka punktów obserwacyjno-badawczych należących do bazy danych monitoringu wód podziemnych zlokalizowanych na obszarze Karpat

Characteristics of research points in the Carpathians belonging to the groundwater monitoring database

Liczba punktów	Stratygrafia poziomu wodonośnego									Rodzaj punktu		
	Q	Ng	Pg	K ₂	K ₁	K	Pg-K ₂	J ₂	J	otwór	źródło	studnia kopana
86	19	2	51	5	1	4	1	1	2	48	34	4

wacje są prowadzone w 86 punktach badawczych (48 studni wierconych, 34 źródła i 4 studnie kopane; tab. 1, fig. 1). Od 1991 roku monitoringowi podlega również skład chemiczny wód podziemnych. Według stanu na początek 2013 r. obserwacje jakości wód podziemnych prowadzi się w 70 punktach badawczych. W przyszłości planuje się prowadzenie we wszystkich punktach obserwacyjnych zarówno monitoringu dynamiki, jak i chemizmu wód podziemnych.

Punkty monitoringowe dzieli się na I i II rzędu. Punkty I rzędu stanowią stacje hydrogeologiczne znajdujące się w Zawoi (trzy punkty obserwacyjne wód podziemnych oraz jeden punkt, w którym bada się wahania wód powierzchni-

wych na rzece Skawica) oraz w Jabłonce (trzy punkty obserwacyjne wód podziemnych). W stacjach I rzędu prowadzi się codzienne obserwacje dynamiki wód podziemnych, natomiast w stacjach II rzędu – raz w tygodniu, w poniedziałki rano.

Od 2008 r. w ramach państwowej służby hydrogeologicznej funkcjonuje również monitoring wód podziemnych w strefie przygranicznej Polski i Słowacji. W skład tej sieci wchodzi 21 punktów badawczych I i II rzędu. Do sieci monitoringu granicznego zakwalifikowano punkty należące do krajowej sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych, znajdujące się nie dalej niż 5 km od granicy państwa.

CHARAKTERYSTYKA SIECI MONITORINGOWYCH

Wszystkie analizowane w artykule punkty sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych są zlokalizowane na obszarze karpackiego (XIV) regionu hydrogeologicznego charakteryzującego się skomplikowanymi warunkami geologicznymi i hydrogeologicznymi (Paczyński red., 1993, 1995; Chowaniec, 2009). Wody podziemne, których dynamikę i chemizm obserwuje się w ramach monitoringu, występują w obrębie pięciu pięter wodonośnych:

- czwartorzędowego – związanego ze żwirowo-piaszczystymi osadami akumulacji rzecznej oraz z osadami fluwioglacjalnymi występującymi w kotlinach;
- neogeńskiego – związanego z piaszczystymi osadami Kotliny Orawsko-Nowotarskiej;
- eoceńskiego – związanego z utworami węglanowymi paleogenu tatrzańskiego;
- fliszowego (kredowego, paleogeńskiego i kredowo-paleogeńskiego) – związanego z utworami fliszowymi Karpat zewnętrznych i wewnętrznych;
- jurajskiego – związanego z osadami węglanowymi pieńńskiego pasa skałkowego.

Punkty obserwacyjne ujmujące fliszowe piętro wodonośne stanowią 71% wszystkich punktów badawczych, natomiast czwartorzędowe – 22%. W pozostałych punktach hydrogeologicznych, stanowiących 7%, obserwuje się dynamikę i jakość wód podziemnych neogeńskiego, eoceńskiego i jurajskiego piętra wodonośnego.

Do specyfiki obszarów górskich, w szczególności Karpat, należy duża gęstość występowania źródeł. Współczyn-

nik krenologiczny jest bardzo zróżnicowany i waha się od kilku do ponad 30 źródeł na km² (Dynowska, 1986). Ma to zasadniczy wpływ na duży udział źródeł w sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych Karpat. Stanowi on 39% wszystkich punktów obserwacyjnych.

Monitoring wydajności źródeł należących do sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych potwierdza niewielkie wydajności źródeł w Karpatach, rzadko przekraczające 1 l/s (3,6 m³/h; Kazimierski red., 2003–2012; MhP, 1997–2004). Do źródeł o małej wydajności należy np. źródło nr 760 w Poniżku, którego średnia wydajność w roku hydrologicznym 2012 wyniosła 0,29 m³/h (0,080 l/s). Źródło to znajduje się w Beskidzie Małym i odwadnia kredowy poziom wodonośny warstw godulskich. Podobnie niską średnią roczną wydajnością charakteryzuje się źródło nr 803 w Kątach koło Żmigrodu o wydajności 0,14 m³/h (0,039 l/s), które odwadnia północną część Beskidu Niskiego zbudowanego w tym rejonie z oligoceńskich warstw krośnieńskich. Do najbardziej wydajnych źródeł z obszaru Karpat fliszowych należy źródło nr 758 w Kamesznicy o średniej wydajności rocznej wynoszącej 3,4 m³/h (0,94 l/s), wypływające w obrębie Beskidu Śląskiego, zbudowanego w tej okolicy z oligoceńskich warstw krośnieńskich. We wschodniej części Karpat stosunkowo wysoką wydajnością charakteryzuje się źródło w Bystrym-Rabe nr 820 o średniej rocznej wydajności wynoszącej 2,8 m³/h (0,78 l/s). Źródło odwadnia zachodnią część Bieszczad Zachodnich zbudowaną z oligoceńskich warstw krośnieńskich (fig. 2).

Wyjątkiem są źródła krasowe (wywierzyiska) występujące w Tatrach, których wydajność dochodzi nawet okresowo do 21 600 m³/h (6000 l/s, Wywierzyisko Olczyjskie – Kazimierski i in., 1999; Barczyk, 2008; Chowaniec, Freiwald red., 2010). Źródłem odwadniającym systemy krasowe i obserwowanym w ramach monitoringu wód podziemnych jest źródło Pod Capkami (źródło nr II/141a/1), które wypływa z eoceńskich wapieni numulitowych na północnym stoku góry Krokiew. Maksymalna zmierzona wydajność w okresie prowadzenia pomiarów (1989–2013 r.) wyniosła 475 m³/h (132 l/s; Kazimierski red., 2003–2012).

Niezależnie od pozycji morfologicznej źródła w Karpatach stanowią lokalną bazę drenażu. Często obserwuje się bardzo szybką reakcję wzrostu wydajności źródeł bezpośrednio po wystąpieniu opadów atmosferycznych, co świadczy o płytkim systemie krążenia wód podziemnych. Potwierdza to bardzo niska mineralizacja wód, często nieprzekraczająca wartości 100 mg/dm³ (Kazimierski red., 2003–2012). Zdecydowana większość źródeł, w których są prowadzone obserwacje wydajności, to źródła bardzo zmienne o wskaźniku zmienności wieloletniej powyżej 50 (np. źródło nr 156 w Dębnie, nr 752 w Ustroniu Dobce), nie obserwuje się natomiast źródeł stałych (wskaźnik zmienności wieloletniej 1–2) (Maillet, 1905; Pazdro, Kozerski, 1990). W większości przypadków źródła w Karpatach odwadniają niewielkie systemy hydrogeologiczne, gdzie krążenie wód odbywa się w strefie przypowierzchniowej. Wskazuje na to duża amplituda wahań wydajności oraz krótki odstęp czasu pomiędzy

opadem atmosferycznym a przyrostem wydajności źródła. Źródła, w których występuje również dopływ wód podziemnych głębszego krążenia, charakteryzują się stosunkowo niewielką amplitudą zmian wydajności oraz pewnym progiem minimalnej wydajności, który nie jest przekraczany nawet w okresach posusznych, np. źródło nr II/803/1 w Kątach w Beskidzie Niskim. Wskaźnik zmienności wieloletniej wynosi 4, zatem zalicza się ono do małowzmiennych. Złożone warunki geologiczne Karpat powodują, że systemy krążenia wód podziemnych w utworach fliszowych są bardzo skomplikowane i trudne do odwzorowania modelowego i kartograficznego. Rozbudowa sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych o nowe punkty ujmujące piętro fliszowe umożliwi dokładniejsze rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, dlatego w 2011 r. odwiercono dwa nowe piezometry (w Jaworzynie i Muczynym), w których rozpoczęto obserwację dynamiki fliszowego piętra wodonośnego.

Pod względem chemizmu wody podziemne na obszarze Karpat charakteryzują się dobrą jakością. Najczęściej spotykane typy wód to: HCO₃-Ca-Mg oraz HCO₃-Ca. Rzadziej występują wody typu HCO₃-SO₄-Ca-Mg, HCO₃-Ca-Mg-Na, HCO₃-Na-Ca oraz HCO₃-Na. Obecność jonów sodu w wodzie wskazuje na udział wód głębszego krążenia. Wody takie występują np. w otworach w Zawoi nr I/828/2, w Jabłonce nr I/847/3 oraz w Jaworzynie nr II/1650/1. Najczęściej spotykane przekroczenia dopuszczalnych norm dla wód pitnych dotyczą jonów Fe i Mn (I/847/2 – Jabłonka, II/1653/1 – Jaśliska, II/1651/1 – Lipnica Wielka).

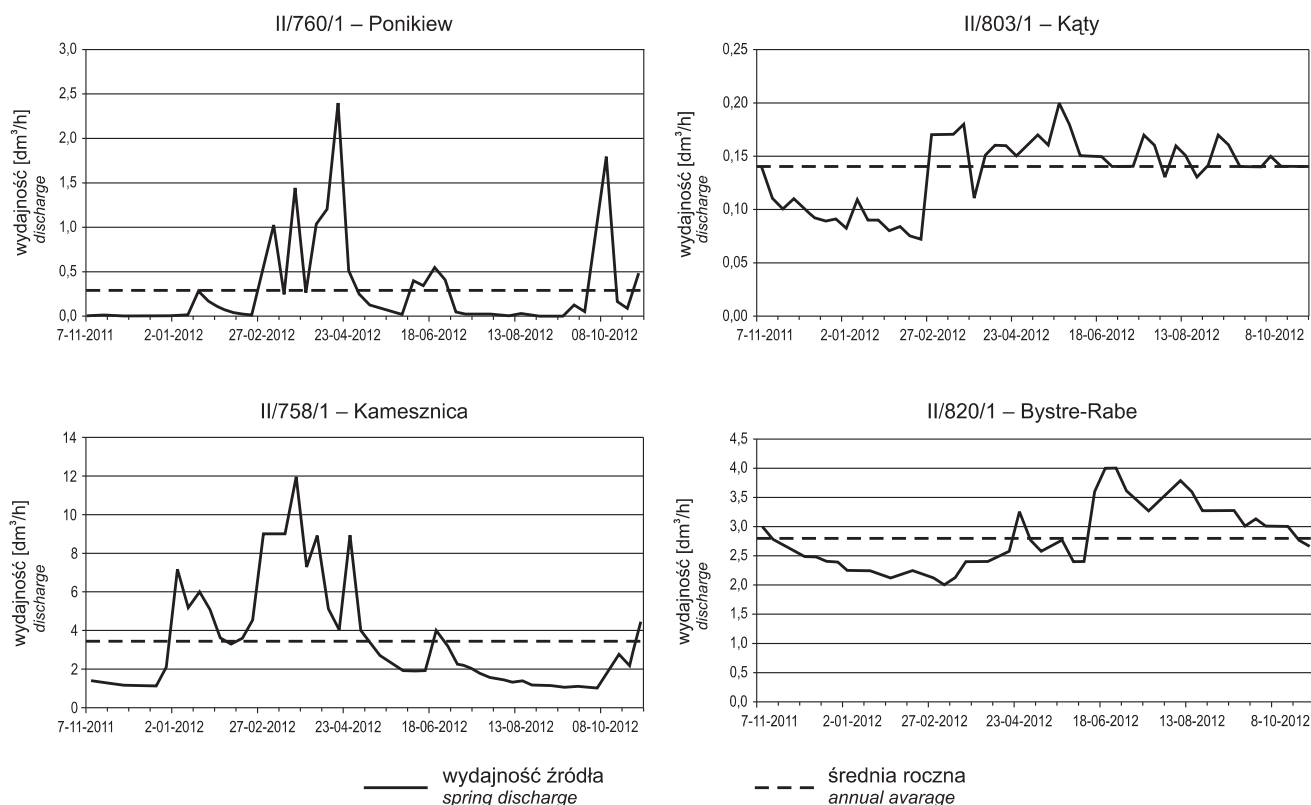


Fig. 2. Wykresy wahań wydajności wybranych źródeł w roku hydrologicznym 2012

Fluctuations of spring discharge of chosen springs in 2012 hydrological year

CYKLE HYDROGEOLOGICZNE

Na obszarze Karpat w wielu punktach obserwacyjnych wyraźnie zaznaczają się wieloletnie (ok. 20 lat), cykliczne zmiany wydajności źródeł czy wahań zwierciadła wód podziemnych (fig. 3). Cykle te składają się z czterech etapów: (1) obniżania się zwierciadła wody w okresie posuszonym, (2) względnej równowagi hydrodynamicznej w okresie posuszonym, (3) podnoszenia się zwierciadła wody w okresie mokrym i (4) względnej równowagi hydrodynamicznej w okresie mokrym (Herbich i in., 2009). Ponieważ czas obserwacji dynamiki wód podziemnych w punktach monitoringowych należących do sieci monitoringu wód podziemnych na obszarze Karpat jest zbyt krótki, w celu wyznaczenia cykli zmian wydajności źródeł czy wahań zwierciadła wody przeanalizowano również wieloletnie obserwacje prowadzone w punktach monitoringowych należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW). Dla punktów poste-

runkowych IMiGW (studnie kopane) obserwacje zmian dynamiki wód podziemnych najczęściej były prowadzone od lat 60. ubiegłego wieku do 2000 r. W okresie tym można wyróżnić i porównać trzy wieloletnie cykle zmian stanu retencji. Każdy z wymienionych cykli rozpoczyna się wysokimi stanami wód podziemnych, po nich są obserwowane stany niżówkowe, a następnie stany wysokie kończące dany cykl. Na obszarze Karpat, na podstawie wieloletnich obserwacji, obecnie stwierdza się spadkową tendencję położenia zwierciadła wód podziemnych. Obserwowane niższe stany wód podziemnych wynikają prawdopodobnie z trwającego obecnie względnej równowagi w okresie posuszonym. W związku z tym tendencja niskich stanów wód podziemnych może jeszcze potrwać nawet przez kilka lat (Chowaniec i in., 2007, 2008).

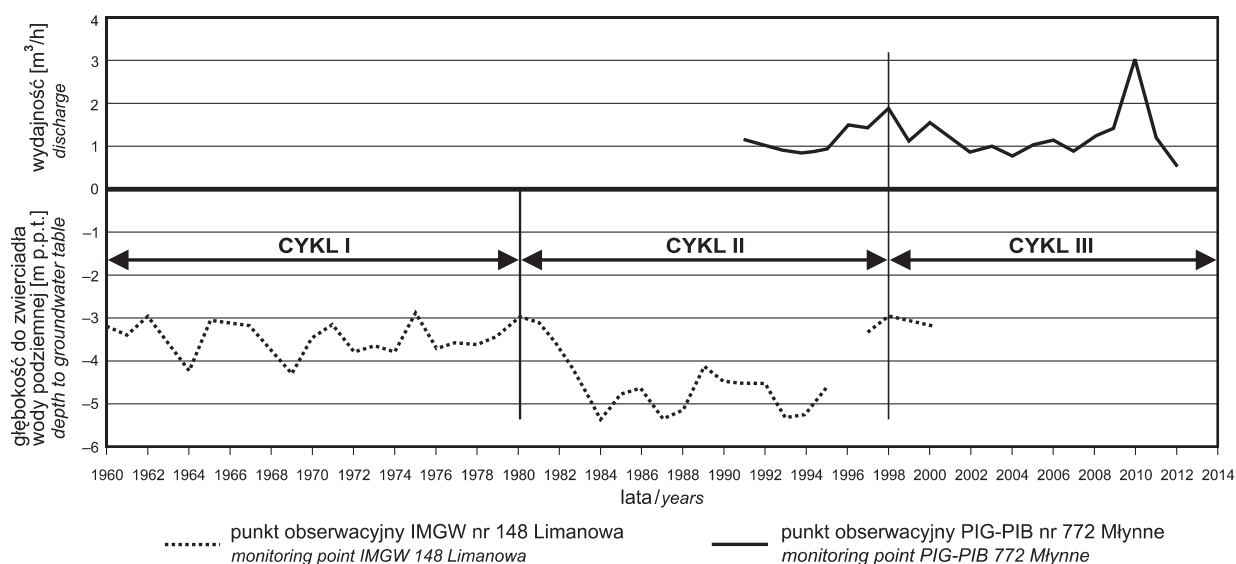


Fig. 3. Wieloletnie cykle zmian położenia zwierciadła wód podziemnych na przykładzie średnich rocznych wahań wydajności źródła nr 722 Młynne i średnich rocznych wahań zwierciadła wody w studni nr 148 w Limanowej

Long-term cycles of groundwater table changes based on annual average spring discharge fluctuations in the spring 772 Młynne, and annual average fluctuations of water table in the well 148 at Limanowa

PODSUMOWANIE

Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego prowadzi obserwacje dynamiki i jakości wód podziemnych na obszarze Karpat od 1989 r. Punktami obserwacyjnymi są źródła i otwory hydrogeologiczne, w większości których monitoruje się fliszowe (kredowe, paleogeńsko-kredowe, paleogeńskie) piętro wodonośne. W związku z tym, że obserwacje są prowadzone na obszarze górskim, w skład sieci obserwacyjno-badawczej wchodzi duża liczba źródeł. Wydajność źródeł na obszarze Karpat z reguły jest niewielka, co potwier-

dzają obserwacje prowadzone przez OK PIG-PIB. Wyjątek stanowią źródła krasowe występujące na obszarze Tatr, których wydajności mogą okresowo dochodzić do kilku tysięcy litrów na sekundę. Na obszarze Karpat charakterystyczne jest zjawisko szybkiego reagowania stanu wód podziemnych na opad atmosferyczny. Tego typu reakcje obserwuje się przede wszystkim w źródłach oraz otworach hydrogeologicznych ujmujących czwartorzędowy poziom wodonośny, zlokalizowanych w obrębie obszarów aluwialnych rzek karpackich.

W wielu punktach obserwacyjnych zaznaczają się cykliczne wahania stanu wód podziemnych. Zjawisko to obserwuje się zarówno w źródłach, jak i w otworach hydrogeologicznych. Długość cyklu wynosi ok. 20 lat. Od 2011 r. obserwuje się etap względnej równowagi hydrodynamicznej w okresie posuszny.

Wyniki systematycznych obserwacji zmian dynamiki i chemizmu wód podziemnych umożliwiają prognozowanie stanu retencji wód podziemnych, bilansowanie ich zasobów, tworzenie map tematycznych w celu prezentacji oceny stanu jakości wód, np. w układzie wskaźników czy też pięter wodonośnych dla obszaru kraju i jego wybranych rejonów.

LITERATURA

- BARCZYK G., 2008 — Tatrzańskie wywierzyska. Krasowe systemy wywierzyskowe Tatr Polskich. Tatrzański Park Narodowy, Zakopane.
- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **434**.
- CHOWANIEC J., FREIWALD P., 2010 — Atlas hydrogeoróżnorodności województwa małopolskiego. Wyd. Kartograf. „COMPASS”, Kraków.
- CHOWANIEC J., FREIWALD P., WITEK K., 2007 — Wahania zwierciadła wód podziemnych i wydajności źródeł na obszarze zachodniej części fliszowych Karpat zewnętrznych. *W: XIII Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii”*. Kraków–Krynica 21–23 czerwca 2007: 501–508.
- CHOWANIEC J., FREIWALD P., WITEK K., 2008 — Trendy zmian położenia zwierciadła wód podziemnych w rejonie Pogórza Dynowskiego. *W: Walory przyrodniczo-historyczne pogórzy. Monografia. Materiały pokonferencyjne*. Dąbrowka Starzeńska. 59–68.
- DYNOWSKA I., 1986 — Regionalne zróżnicowanie źródeł w Polsce. *Folia Geographica, ser. Geogr.-Phys.*, **18**: 5–30.
- HERBICH P., PRAŻAK J., PRZYTUŁA E., 2009 — Dynamika stanu retencji płytkich wód podziemnych w hydrogeologicznych jednostkach bilansowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **436**: 159–164.
- KAZIMIERSKI B. (red.), 2003–2012 — Rocznik hydrogeologiczny państwowej służby hydrogeologicznej. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- KAZIMIERSKI B., MAŁECKA D., RÓŻKOWSKI A., 1999 — Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **388**: 79–114.
- MAILLET E., 1905 — *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Paris.
- MHP, 1997–2004 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. 993–1069. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PACZYŃSKI B. (red.), 1993 — Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Cz. I. Systemy zwykłych wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B. (red.), 1995 — Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Cz. II. Zasoby, jakość, ochrona zwykłych wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.

SUMMARY

Observation and research network of groundwater in the Carpathian area is being carried out by the Carpathian Branch of the Polish Geological Institute – National Research Institute since 1989. The observation points are springs and hydrogeological boreholes. At these points mainly flysch (Cretaceous, Cretaceous–Paleogene, Paleogene) aquifers are being monitored. Since observations are being conducted in a mountainous area, a great number of springs is included in the monitoring-research network. The spring discharge in the Carpathian region in general is rather low what was confirmed by the research conducting by OK PIG-NRI. The exception are the karst springs in the Tatra Mts. and their discharges periodically may attain several thousand litres per second. In the area of the Carpathians a phenomenon of fast reacting of the groundwater level to the precipitation is cha-

racteristic. Reactions of this type are being observed especially in springs and hydrogeological boreholes capturing the Quaternary aquifers located within the alluvial areas of the Carpathian rivers.

At many observation points ca. 20 years long cyclic changes of the groundwater level are noticeable. It is observable in springs as well as in hydrogeological boreholes. The relative hydrodynamics equilibrium during a drought period is observed since 2011.

Results of systematic observation of the dynamics and chemistry of groundwater make possible predicting of the state of groundwater retention, estimation of its resources, and the creation of thematic maps in order to present assessments of water quality or multiaquifer formations of the country and its selected areas