

## WPŁYW OPADU I INFILTRACJI NA ZASILANIE PALEOGEŃSKICH POZIOMÓW WODONOŚNYCH W SKAŁACH FLISZOWYCH BESKIDU SĄDECKIEGO

### INFLUENCE OF PRECIPITATION AND INFILTRATION ON RECHARGE THE PALEOGENE AQUIFERS OF THE BESKID SĄDECKI FLYSCH

SEBASTIAN BUCZYŃSKI<sup>1</sup>, MAREK WCISŁO<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu opadów i infiltracji na zasilanie paleogeńskich poziomów wodonośnych w skałach fliszowych. Badania wskazują, że wielkość zasobów eksploatacyjnych w rejonie Tylicza wiąże się ściśle z reżimem zasilania, dlatego też w pracy określono terminy występowania stanów charakterystycznych zwierciadła wód podziemnych oraz amplitud wzniosu i spadku zwierciadła na tle wielkości opadów i infiltracji.

**Słowa kluczowe:** wahania zwierciadła wód podziemnych, opad, zasilanie, flisz, Karpaty.

**Abstract.** The paper describes research on the effect of precipitation and infiltration on the groundwater recharge of the Palaeogene aquifer. Since the safe yield in the Tylicz region is closely linked to the recharge regime, the dates of occurrence of specific groundwater levels and amplitudes of water table increase and decrease have been characterised. These data have been discussed on the background of precipitation and infiltration rates.

**Key words:** groundwater dynamics, precipitation, recharge, flysch, the Carpathians.

## WSTĘP

Stan wód podziemnych zależy w dużym stopniu od opadów atmosferycznych, które poprzez proces infiltracji zasilają warstwy wodonośne. Odsetek infiltrujących wód opadowych waha się znacząco i zależy od wielu czynników opisywanych w literaturze (Zhang i in., 1996; Macioszczyk, 2006; Rogoż, 2007). Rozpoznanie procesu zasilania wód podziemnych ma szczególnie istotne znaczenie na obszarach intensywnej eksploatacji wód podziemnych, które są związane chociażby z funkcjonowaniem rozlewni i zakładów uzdrowiskowych. Taka sytuacja ma miejsce w rejonie Krynicy-Zdroju i Tylicza,

gdzie na stosunkowo niedużym obszarze o powierzchni 150 km<sup>2</sup> zostały określone i przyjęte zasoby eksploatacyjne wód leczniczych dla około 60 ujęć i kilkunastu źródeł. Pracuje tam obecnie kilkadziesiąt studni eksploatujących naturalne wody mineralne, stołowe oraz ujęcia wód zwykłych i wiele studni gospodarskich (Szczepański, Szklarczyk, 2005).

W obszarach górskich spływ powierzchniowy, przemarzanie gruntu oraz duże zapotrzebowanie na wodę roślin w okresie wegetacyjnym, w sposób znaczący może ograniczać infiltrację. Omawiane obszary jednak, ze względu na

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: sebastian.buczynski@ing.uni.wroc.pl, marek.wcislo@ing.uni.wroc.pl

wysokie opady atmosferyczne oraz niskie parowanie terenne, odznaczają się znacznym zasilaniem wód podziemnych, które w sprzyjających warunkach może stanowić od 32 do ponad 50 % wysokości opadów (Tarka, Staško, 2001). Należy zwrócić również uwagę na fakt, że znaczne ilości wód opadowych mogą infiltrować w głąb górotworu przez warstwy słabo przepuszczalne, charakterystyczne dla formacji fliszowej. W sprzyjających warunkach, przy niskim spadku hydraulicznym, ilość wody infiltrującej przez warstwę mułowców lub skał masywnych, niespękanych o współczynniku filtracji rzędu  $10^{-9}$  m/s na powierzchni  $1 \text{ km}^2$ , może wynosić w ciągu roku ponad 30 tys.  $\text{m}^3$  (Rogoż, 2007).

Z drugiej strony, zachodzące w klimacie tendencje związane ze wzrostem temperatury oraz występowaniem ekstremalnych zjawisk, takich jak intensywne opady czy długotrwałe susze, mogą w negatywny sposób wpłynąć na odbudowę zwierciadła wód podziemnych. Analiza danych meteorologicznych z lat 1946–2001 z obszaru basenu karpackiego (Bartholy, Pongrácz, 2007) oraz z lat 1951–2000 z woje-

wództwa małopolskiego (Łupikasa, Bielec-Bąkowska, 2005) dowodzi wzrostu częstotliwości, czasu trwania i intensywności fal gorąca oraz wzrostu ilości opadów ulewnych.

Ponadto zauważa się:

- zwiększenie liczby dni z opadami powyżej 10 i 20 mm, przy jednoczesnym spadku liczby dni z opadami poniżej 5,0, 1,0 oraz 0,1 mm;
- wzrost indeksu HWDI (czas trwania fali ciepła) oraz wydłużenie czasu jego trwania;
- wyraźny wzrost liczby dni z temperaturą powyżej  $20^\circ\text{C}$ .

Badania i wszechstronna, przestrzenna analiza reżimu wód podziemnych jest niezbędna dla wielu praktycznych celów, takich jak: ustalanie zasobów dynamicznych wód podziemnych, prognozowanie stanu wód czy racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi (Konoplancew, Siemionow, 1979; Dąbrowski i in., 2004). Stąd tak istotne wydaje się dla rejonu Krynicy-Zdroju i Tylicza rozpoznanie wpływu wielkości opadów na wahania zwierciadła wód podziemnych.

## OBSZAR BADAŃ

Obszar badań był zlokalizowany w południowej Polsce w województwie małopolskim, w rejonie Tylicza. Średnia temperatura powietrza z okresu 2006–2011 na stacji w Tyliczu wyniosła  $3,8^\circ\text{C}$ . Średnia roczna suma opadów dla okresu 1993–2011 wyniosła 870,7 mm. Na tym tle, rok 2010 zapisał się wyjątkowo z wysokością rocznego opadu 1159 mm. W rozkładzie opadów są widoczne różnice sezonowe. W okresie wiosenno-letnim występuje nasilenie opadów, zaś wyraźne ich zmniejszenie notuje się w okresie jesiennym i zimowym.

Największe zasoby wód zwykłych podziemnych w rejonie Tylicza są związane z paleogeńskimi skałami fliszowymi. Formacja fliszowa nie tworzy typowych poziomów wodonośnych, a występowanie wód jest związane z ze strefami przypowierzchniowych spękań i zwietrzałych skał. Zgodnie z wynikami dotychczasowych badań dolna granica krążenia i wymiany słodkich wód podziemnych określana jest na 60–80 m (Chowaniec, 2006) lub 100 m (Witczak, Duńczyk, 2004). O zasobności wodnej serii fliszowych w głównej mierze decydują ogniwa piaskowcowe, ich wykształcenie, stopień spękania i porowatość.

## METODY BADAŃ

Dane na temat wielkości opadów z okresu 21.07.2011–7.11.2012 pochodzą ze stacji meteorologicznej położonej w dolinie Bradowca. Odczytywane były raz na dobę (o godzinie 6 czasu UTC). Informacje o wielkości infiltracji dobowej pochodzą z lizymetru, położonego 700 metrów na południowy wschód od stacji, w zlewni potoku Zimny, na zboczu góry Szubienica (fig. 1).

Pomiary zwierciadła wód podziemnych, które miały na celu zbadanie relacji pomiędzy położeniem zwierciadła wody a wysokością opadów i wielkością infiltracji wody w lizymetrze, były prowadzone od kwietnia 2011 r. Zwierciadło wód podziemnych paleogeńskiego poziomu wodonośnego było obserwowane w 1-godzinny kroku czasowym

w nieeksploatowanych otworach, które znajdują się w obrębie OG Tylicz I. Odległość pomiędzy najbardziej oddalonymi od siebie, nieeksploatowanymi studniami, wynosi ponad 5 km. Dodatkowo otwory, włączone w sieć obserwacyjną, były zlokalizowane poza zasięgiem promienia leja depresji sąsiednich studni.

Do wstępnej analizy wahań zwierciadła wód podziemnych wytypowano dane pomiarowe pochodzące z odwiertu, położonego na zboczu góry Połyńcia 624,0 m n.p.m., w zlewni potoku Hotarny (fig. 1). Odwiert o głębokości 120 m, ujmuje warstwę piaskowców i jest oddalony od stacji meteorologicznej o 2,5 km, natomiast od lizymetru – o 2 km.

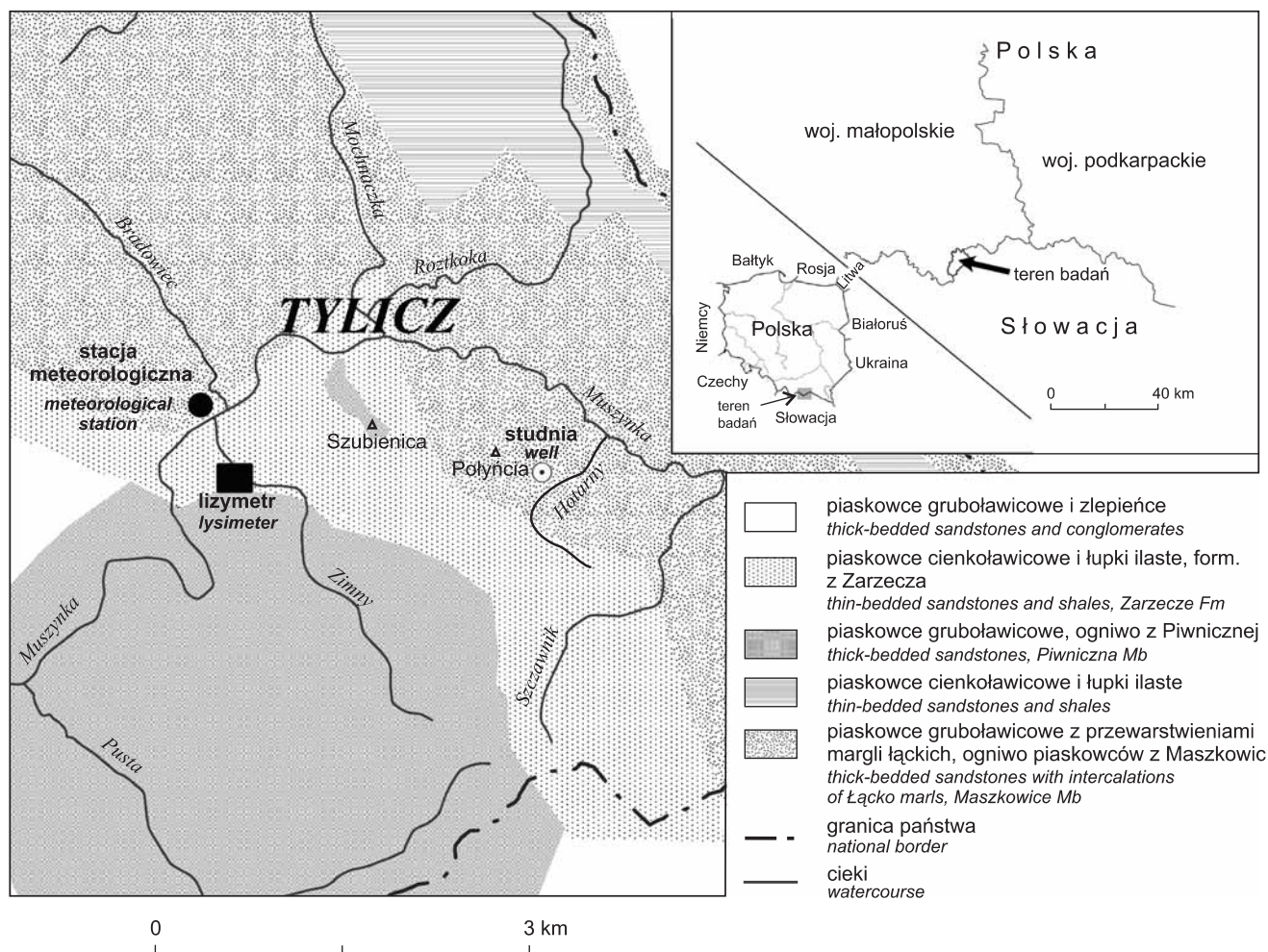


Fig. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

Location of measuring points

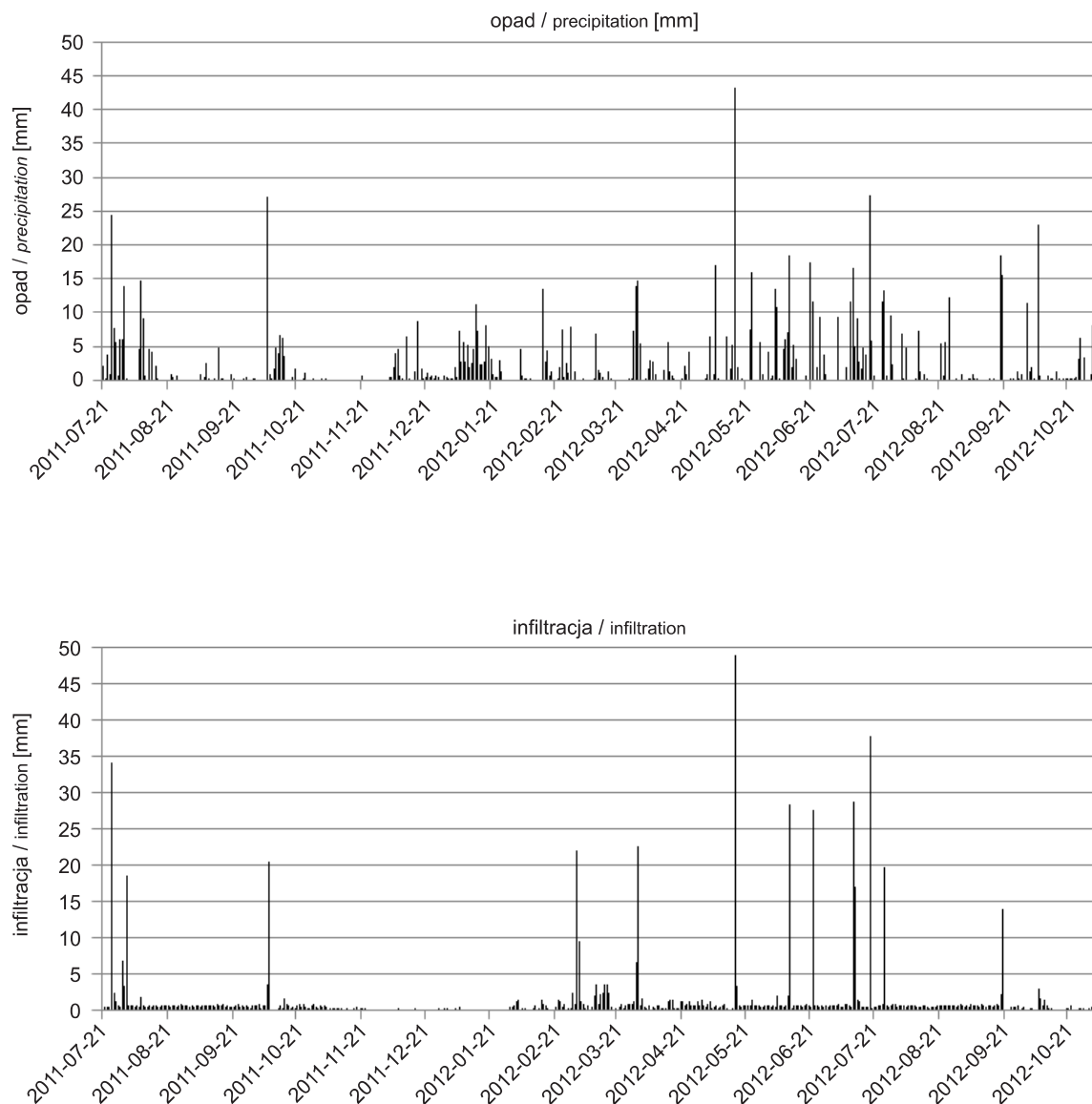
## WYNIKI BADAŃ

W analizowanym okresie wysokość infiltracji wyniosła 612 mm przy sumarycznej wielkości opadów równej 951 mm. Największą infiltrację i opad zanotowano 16.05.2012 r. (fig. 2). Wysokość infiltracji w tym dniu przewyższyła wysokość opadu i wyniosła 49 mm przy opadzie równym 43 mm. Tak duża wielkość infiltracji była spowodowana opadami w dniach poprzedzających, gdy zanotowano wysokość opadów równą 31 mm przy równoczesnej infiltracji wynoszącej 3 mm. Biorąc pod uwagę cały okres obserwacji, współzależność pomiędzy ilością opadów a infiltracją była wysoka ( $r = 0,61$ ), uzyskując w półroczu ciepłym współczynnik korelacji 0,71 zaś w chłodnym 0,27.

Współczynnik korelacji pomiędzy opadem a stanem wód podziemnych wyniósł 0,08, natomiast pomiędzy infiltracją a stanem wód podziemnych 0,13. W obu przypadkach zarówno w półroczu chłodnym, jak i ciepłym uzyskano bardzo słabą współzależność.

Analiza danych wykazała, że amplituda wahań zwierciadła wód w studni od 7.04.2011 r. do końca października

2012 r., wyniosła 1,95 m. Maksymalną rzędną zwierciadła wód podziemnych (621,32 m n.p.m.) zanotowano 2.08.2011 r., natomiast minimalną (619,37 m n.p.m.) 20.02.2012 r. (fig. 3). Wyniki pomiarów położenia zwierciadła wody w poziomie paleogeńskim na przestrzeni 15 miesięcy (07.2011–10.2012) ukazują dwa maksima. Pierwsze jest związane z zasilaniem w okresie lipcowych opadów, kiedy amplituda wzniosu zwierciadła wyniosła 1,32 m, natomiast drugie maksimum to wynik marcowego zasilania roztopowego z amplitudą wzniosu zwierciadła równą 1,57 m. Po osiągnięciu maksymalnych stanów zwierciadła wód podziemnych w lipcu 2011 r. (621,32 m n.p.m.; fig. 3), poziom zwierciadła ulega wyraźnej, praktycznie niezaburzonej, regresji letniej do stanu zasilania roztopowego w marcu 2012 r. Dzieje się tak, pomimo epizodów zasilania stwierdzonych w tym samym czasie w lizymetrze. Następne wiosenne odnowienie zasobów, mimo wzniosu zwierciadła do niższej rzędnej (620,96 m n.p.m.) niż w lipcu 2011 r., charakteryzowało się większą amplitudą, a regresja była przerywana niewielkimi



**Fig. 2. Wysokość opadów i wielkość infiltracji w rejonie Tylicza (21.07.2011–7.11.2012)**

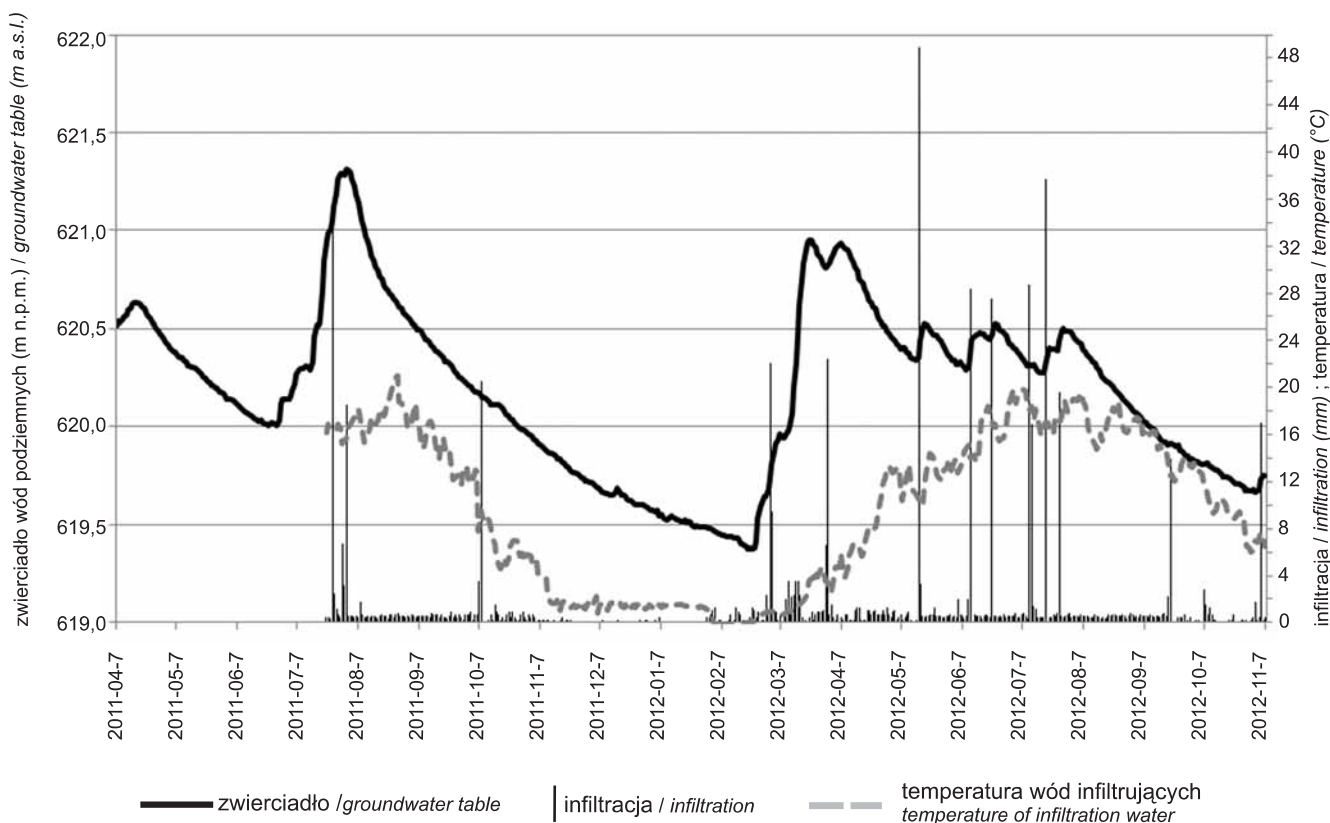
Precipitation and infiltration in the Tylicz area (21.07.2011–07.11.2012)

epizodami zasilania w maju, czerwcu i lipcu. Stopniowy, niezaburzony spadek zwierciadła wody w roku 2011 jak i 2012 rozpoczął się tego samego dnia – 29 lipca.

Obserwacja wielkości infiltracji wskazuje na wyraźne powiązanie wysokich epizodów infiltracyjnych (>15 mm) z początkiem wzniosu zwierciadła. Zjawisko to występuje jednak wyłącznie w okresie marzec–lipiec, natomiast w okresie regresji (lipiec–marzec), nawet znaczne epizody zasilania (>15 mm) nie wpływały na odnawialność zasobów (fig. 3). Trudno o jednoznaczną hipotezę tłumaczącą obserwowane zjawisko ze względu na stosunkowo krótki czas obserwacji. Reakcja zwierciadła może się uwidaczniać powy-

żej określonego stanu wód podziemnych, odpowiadającemu poziomowi 620,25 m n.p.m. (fig. 3). Wówczas parowanie wód infiltrujących jest niższe, gdyż szybciej osiągają strop warstwy (strefy) wodonośnej. Infiltracja o natężeniu kilku mm/d nie wywołuje reakcji wzniosu zwierciadła, ale nie jest wykluczone, że wpływa na mniejszą intensywność regresji.

Pomiary temperatury wody prowadzone w lizymetrze wskazały, że proces zasilania zasobów wód podziemnych rozpoczął się w pierwszym dniu, w którym sonda pokazała dodatnią temperaturę wody tj. 20 lutego 2012 r. Proces ten trwał nieprzerwanie do 23 marca, kiedy zanotowano maksymalne stany zwierciadła wód podziemnych w 2012 r. (620,96 m n.p.m.).



**Fig. 3. Wahania zwierciadła w odwiercie na tle wielkości infiltracji i temperatury wody w lizymetrze (07.2011–10.2012)**

Groundwater level fluctuations on the background of infiltration and water temperature in a lysimeter (07.2011–10.2012)

## WNIOSKI

Wyniki, prowadzonych od lipca 2011 r. prac, pozwalają na tym etapie badań wyciągnąć jedynie wstępne wnioski. Liczne istotne prawidłowości, które są zauważalne, mogą być pozorne ze względu na krótki czas obserwacji. Niemniej dotychczasowe spostrzeżenia wskazują, że wiosenna infiltracja, związana z topieniem pokrywy śnieżnej rozpoczynającym się w marcu, wyznacza początek wzrostów stanów zwierciadła wody do wartości maksymalnych. Wzrost ten zachodzi dokładnie w momencie, gdy temperatura wody w lizymetrze wzrośnie powyżej 0°C i gdy przez dłuższy okres każdego dnia, infiltracja utrzymuje się na poziomie od 2–3 do kilkunastu mm. Najwyższe dobowe wartości infiltracji są związane z opadami notowanymi od maja do końca lipca. Maksymalna wartość infiltracji nierzadko przekracza wówczas 15 mm/d co wpływa na wzrost zwierciadła wód podziemnych o 20–25 cm (fig. 3). W przypadku serii wysokich opadów i związanych z nimi epizodów infiltracji, zwierciadło wód podziemnych może również w sezonie letnim osiągnąć wysoki wzrost, co miało miejsce w lipcu 2011 r.

W okresie od sierpnia do marca opady i związana z nimi infiltracja praktycznie nie wpłynęły na wzrost zwierciadła wód podziemnych i odnowienie zasobów wodnych. W związku z tym maksymalne stany wód podziemnych były związane z wiosennymi roztopami (marzec–kwiecień) lub letnimi opadami (lipiec). Maksymalny stan kwietniowej wyżówki prawdopodobnie wpłynął na kształtowanie poziomu minimum jesiennych. Potwierdzenie tej tezy, bazującej na długookresowych obserwacjach, daje perspektywę opracowania modelu szacowania zasobów w okresie niżówkowym już w pod koniec wiosennych roztopów. Byłaby to niezwykle istotna, praktyczna informacja, którą trudno przecenić np. dla planów eksploatacyjnych rozlewni wód.

*Autorzy pragną podziękować Panom Tomaszowi Mateńko i Pawłowi Lupie za pomoc w badaniach terenowych i konstruktywne komentarze.*

## LITERATURA

- BARTHOLY J., PONGRÁČZ R., 2007 — Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Glob. Planet. Change*, **57**: 83–95.
- CHOWANIEC J. 2006 — Hydrogeologia Karpat. *Prz. Geol.*, **54**, 10: 846–847.
- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 — Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- KONOPLANCEW A., SIEMIONOW S. M., 1979 — Prognozowanie i kartograficzne odwzorowanie reżimu wód gruntowych. Wyd. Geol., Warszawa.
- ŁUPIKASZA, E., BIELEC-BAKOWSKA, Z., 2005 — Synoptyczne uwarunkowania dni ekstremalnych pod względem termicznym w Małopolsce w drugiej połowie XX wieku. *Fol. Geogr.*, **35/36**: 93–112.
- MACIOSZCZYK A. (red.), 2006 — Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- ROGOŹ M., 2007 — Dynamika wód podziemnych. GIG, Katowice.
- SZCZEPAŃSKI A., SZKLARCZYK T., 2005 — Zagrożenia w gospodarowaniu zasobami wód leczniczych na przykładzie rejonu Krynicy i Muszyny. *Współczesne problemy hydrogeologii*, **12**: 695–700.
- TARKA R., STAŠKO S., 2001 — Zasilanie wód podziemnych na obszarze masywu Śnieżnika. *Współczesne problemy hydrogeologii*, **10**, 1: 271–278.
- WITCZAK S., DUŃCZYK L., 2004 — Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpacciego na przykładzie zlewni kryniczanki (płaszczowina magurska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **404**: 263–290.
- ZHANG Y., BAI E., LIBRA R., ROWDEN R., LIU H., 1996 — Simulation of spring discharge from a limestone aquifer in Iowa, USA. *J. Hydrogeol.*, **4**, 4: 41–54.

## SUMMARY

Preliminary results of studies in the Tylicz area indicate that the highest daily value of infiltration is related to precipitation that occurred from May to the end of July. The maximum value of infiltration exceeds 15 mm/d, thus causing the increase in the groundwater table level by 20–25 cm. Precipitation practically does not affect the groundwater levels and the restoration of groundwater resources in the Tertiary

aquifer in the period from August to March. Therefore, the maximum groundwater level is in March and April or July. The amplitude of groundwater fluctuations during the period (04.2001–10.2012) is 1.95 m. Low correlation with the amount of precipitation and the groundwater level has been shown.