

# Ocena zasobów ujęcia wód podziemnych w Świniarsku k. Nowego Sącza z wykorzystaniem modelowania numerycznego

Robert Zdechlik<sup>1</sup>, Waldemar Morański<sup>1</sup>

Assessment of groundwater resources of the Świniarsko (near Nowy Sącz) intake based on numerical modelling. *Prz. Geol.*, 65: 1411–1415.

*Abstract.* This article presents research to identify the environmental possibilities of groundwater flow into an intake, excluding the technical aspects of its construction and functioning. The purpose of the study was to set down the so-called water intake potential, which is understood as the highest possible amount of extracted water at the well location, without considering constructional and technological aspects. The research object is a groundwater intake near Świniarsko, used for water supply in Nowy Sącz. A numerical hydrogeological model of the capture area was prepared, which, after calibration, was used for quantitative predictions. The results show that the water exploitation potential (11,130 m<sup>3</sup>/d) is significantly higher than the current consumption (2,362 m<sup>3</sup>/d).

**Keywords:** groundwater intake, groundwater resources, water supply, Nowy Sącz

Ujęcia wód podziemnych stanowią ważny element funkcjonowania gospodarki wodnej w kontekście zaopatrzenia w wodę odbiorców komunalnych. Do tych celów, uwzględniając aspekty jakościowe, wody podziemne są zwykle bardziej pożądane niż wody powierzchniowe. O ile kwestie zagwarantowania odpowiedniej do celów pitnych jakości w przypadku wód podziemnych nie są zwykle dużą uciążliwością, o tyle niepokój może budzić problem zapewnienia ich wymaganej ilości. Przyczyny tego mogą być dwojakie: charakterystyka konstrukcyjna lub eksploatacyjna studni albo ujęcia, bądź ograniczenia o charakterze naturalnym, związane z możliwościami dopływu wód.

W artykule zaprezentowano wyniki badań określających środowiskowe możliwości dopływu wód podziemnych do ujęcia, z pominięciem technicznych aspektów jego budowy i funkcjonowania. Celem badań było wyznaczenie tzw. potencjału ujęcia, rozumianego jako największa możliwa do uzyskania ilość wód podziemnych przy istniejących lokalizacjach studni, bez uwzględniania aspektów konstrukcyjnych i technologicznych. Jako obiekt badawczy wytypowano ujęcie wód podziemnych w okolicach miejscowości Świniarsko, wykorzystywane do zaopatrzenia w wodę Nowego Sącza. Przygotowano numeryczny model hydrogeologiczny rejonu ujęcia, który po wykalibrowaniu posłużył do ilościowych obliczeń prognostycznych.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

### Lokalizacja

Objęty badaniami rejon miejscowości Świniarsko jest zlokalizowany w województwie małopolskim, powiecie nowosądeckim; fizycznogeograficznie jest to region Karpacki, prowincja Karpaty Zachodnie (Kondracki, 2009). Miejscowość Świniarsko, położona we wschodniej części obszaru w widłach Dunajca, Popradu oraz Kamienicy Nawojowskiej, na wysokościach 280–300 m n.p.m., przynależy do Kotliny Sądeckiej. Część zachodnia obszaru zali-

cza się do Beskidu Wyspowego, charakteryzującego się równoleżnikowym przebiegiem pasm górskich oraz niski i średniogórska rzeźbą.

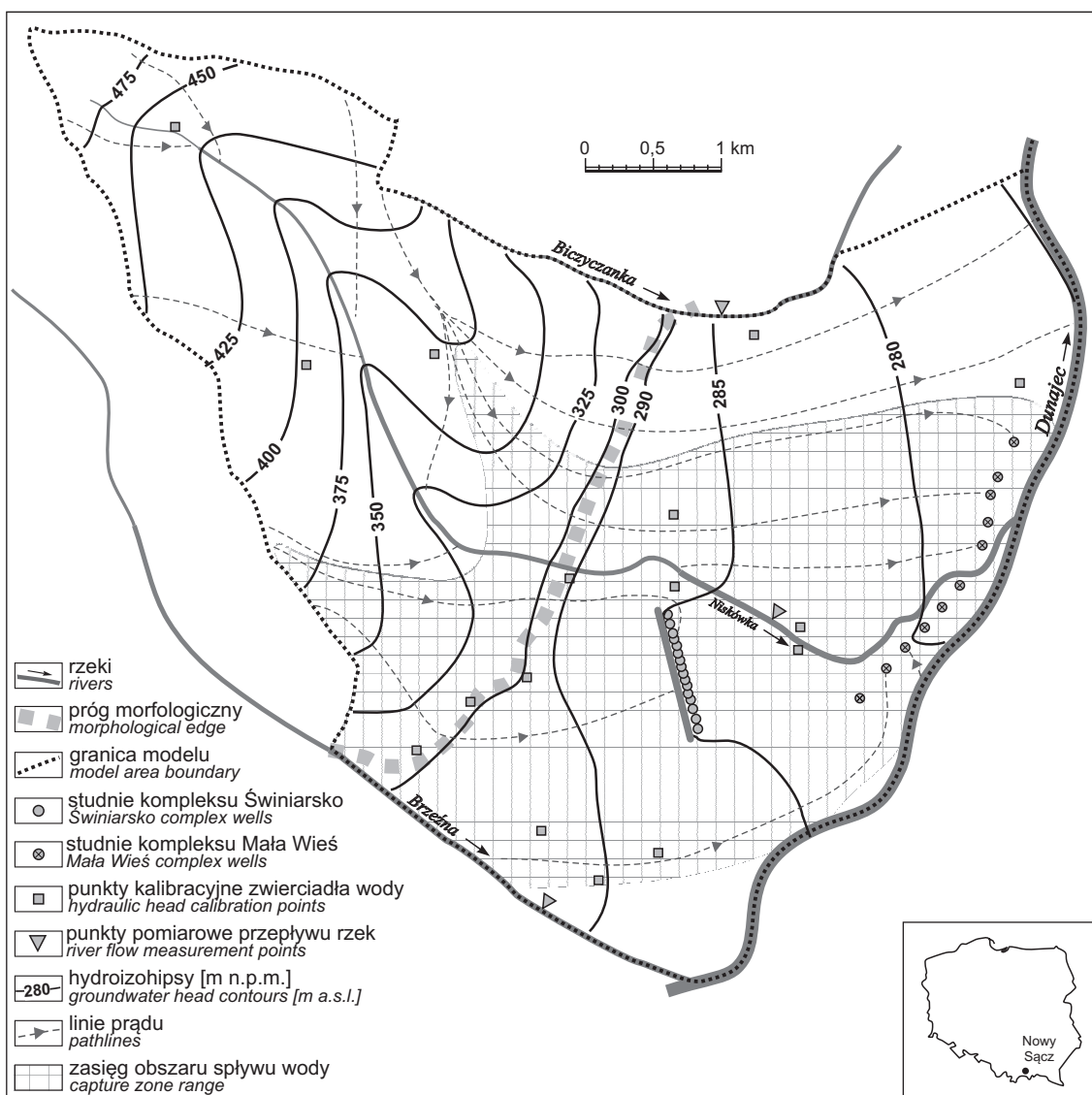
Ujęcie wód podziemnych w Świniarsku stanowią dwa kompleksy studni (ryc. 1), różniące się pod względem technicznym. Starszy, tzw. kompleks Świniarsko, położony w centralnej części, tworzy 16 studni kopanych o głębokościach od 10 do 12 m, wspomaganych przez rów nawadniany wodami powierzchniowymi pochodzącymi z Dunajca. Młodszy, tzw. kompleks Mała Wieś, położony we wschodniej części, jest złożony z 11 studni wierconych o głębokościach od 8 do 11 m, zlokalizowanych w odległości ok. 200 m od Dunajca.

### Morfologia i hydrografia

W rejonie objętym badaniami można wyróżnić dwie odmienne morfologicznie części (ryc. 1). Część zachodnią tworzy dolina rzeki Niskówki, o urozmaiconej rzeźbie (wysokości bezwzględne od 310 do 540 m n.p.m., nachylenia stoków do 15°), powstała na skutek erozji eoceńskich piaskowców i łupków. Część wschodnia, w której są zlokalizowane obydwa kompleksy studni, jest położona w płaskiej dolinie rzecznej Dunajca (rzędne 275–300 m n.p.m.), gdzie wyróżniają się dwa tarasy wieku holoceneskiego, stosunkowo płaskie, z niewielkim nachyleniem w kierunku koryta rzeki.

Hydrograficznie obszar przynależy do zlewni Dunajca. W jego obrębie występują mniejsze ciek: Brzeźna, Niskówka oraz Biczyczanka, oddzielone działami wodnymi II rzędu. Dunajec, o średnim rocznym przepływie w okolicach ujęcia w wysokości 60 m<sup>3</sup>/s, stanowi główną bazę drenażu całej Kotliny Sądeckiej. Bezpośrednie otoczenie ujęcia w Świniarsku w większości leży w zlewni Niskówki, o powierzchni 15,8 km<sup>2</sup>. Długość ciek to 9,5 km, a średni roczny przepływ wynosi ok. 0,05 m<sup>3</sup>/s. Zagospodarowanie obszaru ma charakter rolniczy, na wzniesieniach występują niewielkie połacie lasów.

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; robert.zdechlik@agh.edu.pl.



**Ryc. 1.** Mapa dokumentacyjna obszaru objętego badaniami, wraz z układem hydrodynamicznym pierwszego poziomu wodonośnego, dla stanu prognozowanego przy założeniu największych możliwych wydajności studni

**Fig. 1.** Documentation map of the study area, including the hydrodynamic system of the first aquifer, for the predicted state assuming the highest possible withdrawal of the wells

### Budowa geologiczna

Główną jednostką tektoniczną w okolicach Świniarska jest płaszczowina magurska, a odrębnym elementem jest Kotlina Sądecka. Najstarsze osady tworzące podłoże geologiczne to utwory fliszowe płaszczowiny magurskiej. Młodsze piętro strukturalne budują utwory neogeńskie, zwłaszcza mioceneskie. Najmłodsze piętro strukturalne, najwyższe i najmniej miękkie, to czwartorzęd (rumosze skalne, koluwia osuwiskowe, gliny oraz zwietrzelina). Holocen reprezentują osady rzeczne (żwiry i otoczaki tarasów erozyjno-akumulacyjnych i akumulacyjnych, piaski oraz mułki z domieszką piasków, o miąższości do 10 m). Najmłodsze i o najmniejszym zasięgu są osady żwirowe z otoczkami lub z piaskiem.

### Warunki hydrogeologiczne

Przeważająca część obszaru jest położona w granicach GZWP nr 437 – Dolina Rzeki Dunajec (Nowy Sącz), o powierzchni 145 km<sup>2</sup>. Jest to zbiornik o charakterze poro-

wym, związany bezpośrednio z wodami powierzchniowymi Dunajca, Popradu i Kamienicy (Gryczko-Gostyńska, Olędzka, 2009). Rejon Świniarska przynależy do JCWPd nr 166, charakteryzującej się występowaniem wód słodkich do głębokości 50 m p.p.t.

Warunki hydrogeologiczne są ściśle związane z geologią rejonu. Występują dwa poziomy wodonośne. Czwartorzędowy, związany hydraulicznie z Dunajcem, zajmuje wschodnią część obszaru. Budują go aluwialne osady żwirowo-piaszczyste, gdzieśgdzie zaglinione, o miąższości do ok. 11 m, podścielone przez ropy i muły mioceneskie. Zasilanie z opadów atmosferycznych następuje na drodze bezpośredniej infiltracji, częściowo ze splywu powierzchniowego. Zwierciadło wód podziemnych zalega z reguły na głębokości do 4 m, ma charakter swobodny, tylko lokalnie występuje pod niewielkim ciśnieniem. Współczynniki filtracji mieszczą się w przedziale 10<sup>-4</sup> do 10<sup>-2</sup> m/s.

Znajdujący się w zachodniej części rejonu paleogeński poziom wodonośny (piaskowce warstw magurskich) jest związany głównie ze spękaną stropową częścią utworów fliszowych, reprezentowanych przez piaskowce grubo-

i średnio ziarniste z wkładkami łupków. Warstwa wodonośna ma miąższość ok. 15 m, średni współczynnik filtracji wynosi 1 m/d (Gryczko-Gostyńska, Olędzka, 2009). Poziom jest zasilany na drodze infiltracji opadów atmosferycznych bezpośrednio na wychodniach lub przez cienką warstwę utworów czwartorzędowych. Położenie zwierciadła wód podziemnych zależy od uwarunkowań lokalnych i od opadów, średnio zwierciadło zalega na głębokości ok. 4 m. Przepływ wód odbywa się w kierunku doliny Dunajca.

Wody podziemne mają bezpośredni kontakt z wodami powierzchniowymi Dunajca i Niskówki, co w znacznym stopniu wpływa na ich chemizm. Przeważają wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , o mineralizacji w granicach 400–600 mg/dm<sup>3</sup>. Wody podziemne piętra czwartorzędowego charakteryzują się dobrą jakością, okresowo są obserwowane przekroczenia dopuszczalnych dla wód pitnych zawartości żelaza, azotanów i azotynów. Brak naturalnej izolacji powoduje, że jakość wód piętra czwartorzędowego jest niestała (Gryczko-Gostyńska, Olędzka, 2009).

### NUMERYCZNY MODEL HYDROGEOLOGICZNY

Numeryczne modelowanie przepływu wód podziemnych jest jedną z metod badawczych wykorzystywanych m.in. do określania możliwości zasobowych struktur hydrogeologicznych i eksploatacyjnych ujęć. Rezultaty licznych praktycznych realizacji tego typu zagadnień (m.in. Haładus i in., 2012, 2016; Treichel i in., 2015) wskazują, że w rozpatrywanym zakresie badania modelowe można traktować jako metodę wiarygodną i dokładną.

#### Konstrukcja modelu

Model hydrogeologiczny okolic ujęcia w Świniarsku opracowano w programie Processing Modflow (Chiang, Kinzelbach, 2001; Kulma, Zdechlik, 2009; Morański, 2016), jednym z kilku wykorzystujących bazujący na metodzie różnic skończonych (FDM) symulator Modflow (Zdechlik, 2016). Dyskretyzacji dokonano, stosując siatkę nieregularną (100 i 50 m), otrzymując łącznie 104 kolumny i 92 wiersze (28,2 km<sup>2</sup>). Mniejsze bloki zastosowano w rejonie studni, gdzie były znane szczegółowe dane hydrogeologiczne.

Przyjęto odwzorowanie układu hydrodynamicznego w postaci pojedynczej warstwy modelu. Warstwę wodonośną w zachodniej części tworzą spękane piaskowce i łupki paleogeńskie, w Kotlinie Sądeckiej zastępowane przez piaszki i żwiry. Dolną granicę warstwy wodonośnej w piaskowcach stanowią utwory niespękane, natomiast w części wschodniej rolę tę pełnią mioceńskie iły. W całej warstwie przyjęto swobodny charakter zwierciadła wody.

Ograniczenia horyzontalne modelu stanowiły rzeki i działy wód. Dunajec, będący wschodnią granicą modelu, odwzorowano warunkiem brzegowym I rodzaju. Mniejsze ciek (Niskówkę, Brzeźną i Biczyczanekę), z uwagi na ograniczony kontakt hydrauliczny wód powierzchniowych z podziemnymi (mulki wyścielające koryta), odwzorowano warunkami brzegowymi III rodzaju. Niskówka, biegnąca w centralnej części doliny, z której wody spływają do ujęcia w Świniarsku, jest w całości położona w obrębie modelu. Dwie pozostałe rzeki stanowią fragmenty zewnętrznych granic modelu: południowej (Brzeźna) i północnej (Biczyczanekę). Parametry koryt określono, wykorzystując własne obserwacje terenowe, a spadki hydrauliczne przyjęto na podstawie danych udostępnianych przez Geoportal. Od strony północno-zachodniej i zachodniej ograniczenie modelu stanowi granica zlewni Niskówki.

Rzędne spągu warstwy wodonośnej w części dolinnej określono, wykorzystując materiały archiwalne (głównie profile otworów). Z części zachodniej (spękane piaskowce i łupki) brak jest danych porządkowych wskazujących głębokość zalegania spągu warstwy. Przepuszczalność piaskowców mioceńskich sięga do głębokości 80–90 m (Gryczko-Gostyńska, Olędzka, 2009). Ze względu na brak jednoznacznych wskazań, założono miąższość strefy aktywnej wymiany wody do głębokości nie większej niż 70 m, co odpowiada rzędnym od ok. 290 m n.p.m. przy granicy ze strefą dolinną do ok. 450 m n.p.m. przy granicy zachodniej.

Wartości współczynnika filtracji oraz porowatości aktywnej (tab. 1) przyjęto na podstawie wyników próbnych pompowań studni ujęcia (opracowania dokumentacyjne), uzupełniając informacjami literaturowymi (Duda i in., 2013). W części wschodniej, aluwialnej, przyjmowane wartości są wyraźnie wyższe niż w części zachodniej, fliszowej.

Do określenia zasilania z infiltracji opadów atmosferycznych wykorzystano wartość średniego rocznego opadu z posterunku meteorologicznego IMGW w Nowym Sączu (720 mm/r). Dla poszczególnych wydzieleni utworów przypowierzchniowych przyjęto typowe wartości wskaźnika infiltracji (Duda i in., 2013).

Ujęcie wód podziemnych w Świniarsku ma charakter ujęcia infiltracyjnego. Eksploatacja wód jest prowadzona studniami zgromadzonymi w dwóch kompleksach (ryc. 1): 11 aktualnie użytkowanych studni położonych wzdłuż Dunajca (kompleks Mała Wieś) oraz 16 studni (w tym 13 eksploatowanych) zlokalizowanych wzdłuż rowu nawadniającego (kompleks Świniarsko). Na modelu studnie odwzorowano w postaci warunków brzegowych II rodzaju, zadając w poszczególnych blokach wartości uśrednionych wydatków rzeczywistych za 2015 r. (kompleks Mała Wieś – łącznie 713 m<sup>3</sup>/d, kompleks Świniarsko – łącznie

**Tab. 1.** Przyjęte wartości współczynnika filtracji oraz porowatości aktywnej  
**Table 1.** Assumed values of hydraulic conductivity and active porosity

Osady Deposits	Współczynnik filtracji Hydraulic conductivity [m/d]	Porowatość aktywna Active porosity [-]
Żwiry i głazy, piaski tarasu zalewowego / Gravels and rocks, sands of the floodplain	200	0,28
Żwiry i głazy, piaski tarasu nadzalewowego / Gravels and rocks, sands of the abandoned floodplain	80	0,24
Piaskowce cienkoławicowe i łupki / Thin bed sandstones and shales	1	0,12
Łupki pstre / Variegated shales	0,8	0,1

**Tab. 2.** Możliwości zasobowe [ $m^3/d$ ] ujęcia w Świniarsku (bez uwzględniania aspektów technicznych)  
**Table 2.** Resource possibilities [ $m^3/d$ ] of the Świniarsko intake (without taking into consideration technical aspects)

Kompleks Świniarsko <i>Swiniarsko complex</i>		Kompleks Mała Wieś <i>Mala Wies complex</i>		Całe ujęcie <i>Whole intake</i>		
wydajność rzeczywista (2015) <i>actual withdrawal</i>	potencjał resources <i>potential</i>	wydajność rzeczywista (2015) <i>actual withdrawal</i>	potencjał resources <i>potential</i>	wydajność rzeczywista (2015) <i>actual withdrawal</i>	zasoby zatwierdzone <i>approved resources</i>	potencjał resources <i>potential</i>
1649	3730	713	7400	2362	9673,9	11130

1409  $m^3/d$ ). Ponadto warunkiem brzegowym II rodzaju symulowano również pracę napełnianego wodą z Dunajca rowu nawadniającego, zadając w 16 blokach zasilanie warstwy wodonośnej w sumarycznej wysokości 1280  $m^3/d$  (średnio 80  $m^3/d$  na blok).

### Kalibracja modelu

Obliczenia numeryczne przepływu wód podziemnych w reżimie filtracji ustalonej prowadzono symulatorem MODFLOW-96 (Harbaugh, McDonald, 1996), wykorzystując procedurę obliczeniową (solver) PCG2 (Hill, 1990). Model poddano procesowi kalibracji metodą „trial-end-error”. Korekcie podlegały wartości współczynnika filtracji (nieznaczna obniżka w części fliszowej) oraz przepuszczalności koryt mniejszych rzek. Przyjętymi kryteriami kalibracji były: minimalizacja różnic między wysokościami zwierciadła wód podziemnych pomierzonymi w 16 studniach gospodarskich (ryc. 1) a wysokościami wyinterpolowanymi z rozkładu matrycowego uzyskanego w procesie obliczeniowym, oraz minimalizacja różnic między pomierzonym w terenie przepływem Niskówki a drenażem rzeczny otrzymanym na modelu dla odcinka rzeki w górę od przekroju pomiarowego. W efekcie kalibracji ponad 80% różnic między zwierciadłem obliczonym a pomierzonym mieści się w granicach  $\pm 1$  m, jedynie w części fliszowej różnice są nieznacznie większe (do  $\pm 1,5$  m). Korekta parametrów koryta rzeczno wiążała się ze zwiększeniem przewodności osadów dennych Niskówki. Porównanie obliczonych na modelu ilości wód odbieranych przez ten ciek na odcinku powyżej przekroju pomiarowego (ryc. 1), z wielkością przepływu określoną pomiarami terenowymi w przyjętym przekroju (0,02  $m^3/s$ ), pozwoliło uznać osiągniętą zbieżność za zadowalającą (różnica względna wynosiła ok. 13% przepływu).

### Obliczenia prognostyczne

Wykalibrowany model wykorzystano do określenia tzw. potencjału ujęcia w Świniarsku, rozumianego jako największa możliwa do uzyskania ilość wód podziemnych przez istniejące studnie, przy ich zespołowej eksploatacji. Założono wielkość wspomagającego zasilania warstwy wodonośnej z rowu infiltracyjnego na obecnym poziomie. W rozważaniach nie uwzględniano aspektów konstrukcyjnych i technologicznych studni, dlatego w rzeczywistości przy obecnych rozwiązaniach technicznych pobór w symulowanej wysokości niekoniecznie byłby możliwy. Nie uwzględniano również wielkości zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Celem obliczeń prognostycznych było wykazanie, jakie są hipotetyczne możliwości dostarczania wody do studni w ich rzeczywistych lokalizacjach przez warstwę wodonośną. Uzyskane wyniki wskazują, że po-

tencjalne możliwości eksploatacji wód zdecydowanie przewyższają aktualne pobory (tab. 2): w przypadku studni kompleksu Świniarsko – ponad dwukrotnie, dla studni kompleksu Mała Wieś – ponad dziesięciokrotnie. Tak duże zróżnicowanie dla obu kompleksów jest w znacznej mierze powodowane rozmieszczeniem studni względem siebie: w kompleksie Mała Wieś studnie są położone ok. 250 m od siebie, a w kompleksie Świniarsko – ok. 50 m. W zdecydowany sposób wpływa to na interferencję oddziaływań hydrodynamicznych, skutkując obniżeniem wydatków poszczególnych studni. Znaczne potencjalne możliwości eksploatacyjne studni ujęcia wynikają z ich lokalizacji w części aluwialnej, gdzie kształtuje się przeważająca część zasobów modelowanej hydrostruktury. Prognozowana eksploatacja studni z potencjalnie najwyższymi możliwymi do uzyskania wydajnościami modyfikuje układ pola hydrodynamicznego (ryc. 1), przewidywany obszar spływu wód podziemnych (OSW) zajmuje ok. połowy powierzchni modelowanego obszaru.

### PODSUMOWANIE

Przygotowany numeryczny model hydrogeologiczny rejonu ujęcia w Świniarsku wykorzystano do określenia tzw. potencjału ujęcia, czyli największej możliwej do uzyskania ilości wód podziemnych w rzeczywistych lokalizacjach studni. Otrzymane wyniki wskazują, że potencjalne możliwości eksploatacji wód (11 130  $m^3/d$ ) zdecydowanie przewyższają aktualne pobory (2362  $m^3/d$ ). Przebieg badań i osiągnięte rezultaty sugerują, że w ocenie możliwości dostarczania wody przez ujęcie warto sprawdzić, czy przy zakładanych uwarunkowaniach technicznych warstwa wodonośna jest w stanie dostarczyć potrzebną ilość wody, a zarazem jakie są potencjalne możliwości dopływu wody, co pozwoliłoby na uwzględnienie w planach ewentualnych rezerw zasobowych. Odpowiedź na takie pytania można uzyskać w zasadzie jedynie na drodze badań modelowych, obejmujących swym zasięgiem strukturę hydrogeologiczną w obrębie której znajduje się obszar zasilania ujęcia.

Prace badawcze realizowano m.in. w ramach badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie (11.11.140.797). Autorzy dziękują za recenzję artykułu panu dr. hab. Jackowi Gurwinowi.

### LITERATURA

- CHIANG W.H., KINZELBACH W. 2001 – 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.  
 DUDA R., WINID B., ZDECHLIK R., STĘPIEŃ M. 2013 – Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie, AGH, Kraków.  
 GRZYCKO-GOSTYŃSKA A., OLEŹDZKA D. 2009 – Nowy Sącz. [W:] Nowicki Z. (red.), Wody podziemne miast Polski. Miasta powyżej 50 000

- mieszkańców. Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej, Państw. Inst. Geol., Warszawa: 259–274.
- HAŁADUS A., KANIA J., SZCZEPAŃSKI A., ZDECHLIK R., WOJTAL G. 2012 – Prognozowanie warunków eksploatacji ujęć zaopatrujących w wodę aglomerację tarnowską. [W:] Witkowski A.J., Sadurski A. (red.), Modelowanie przepływu wód podziemnych. Biul. Państw. Inst. Geol., 451, Hydrogeologia: 73–80.
- HAŁADUS A., ZDECHLIK R., SZCZEPAŃSKI A., BUKOWSKI P., WOJTAL G. 2016 – Ocena zasobów eksploatacyjnych ujęć położonych w obrębie międzyrzecza Dunajca i Białej, na podstawie badań modelowych. [W:] Witeczak S., Żurek A. (red.), Praktyczne metody modelowania przepływu wód podziemnych, Kraków: 45–54.
- HARBAUGH A.W., McDONALD M.G. 1996 – User's Documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey Open-File Report 96–485, Reston, Virginia.
- HILL M.C. 1990 – Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2), a computer program for solving ground-water flow equations. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 90-4048, Denver, Colorado.
- KONDRACKI J. 2009 – Geografia regionalna Polski, PWN, Warszawa.
- KULMA R., ZDECHLIK R. 2009 – Modelowanie procesów filtracji. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- MORAŃSKI W. 2016 – Potencjał i ochrona zasobów ujęcia wód podziemnych w Świniarsku z wykorzystaniem modelowania numerycznego. Praca mgr, AGH w Krakowie (niepubl.).
- TREICHEL W., HAŁADUS A., ZDECHLIK R. 2015 – Simulation and optimization of groundwater exploitation for the water supply of Tarnów agglomeration (southern Poland). Bull. Geogr., Physical Geography Series, 9: 21–29.
- ZDECHLIK R. 2016 – A review of applications for numerical groundwater flow modeling. 16th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM 2016, Conf. Proc., 1314–2704, 3 (3): 11–18.