

## Rozpoznanie udziału wód podziemnych w odpływie ze zlewni rzecznej średniej wielkości

Damian Zięba<sup>1</sup>, Tomasz Michalczyk<sup>2</sup>, Dominika Bar-Michalczyk<sup>2</sup>, Marcin Jaszczur<sup>1</sup>,  
Anna Żurek<sup>2</sup>, Przemysław Wachniew<sup>1</sup>

**Identification of groundwater contributions to streamflow in a medium size catchment.** Prz. Geol., 1161–1165.

*Abstract.* Interactions between the groundwater and surface water affect the qualitative and quantitative status of water resources. Estimation of the fluxes and the associated loadings of contaminants exchanged between the aquifers and river reaches is an important but still not well recognized component of water resources management. Such estimates are available from the numerical models of flow and transport, however, coupling of the groundwater and surface water model domains is difficult. Calibration of the coupled models relies on the knowledge of the exchanged water fluxes, hydraulic conductivities of riverbed sediments and of other parameters. Preliminary application methods allowing for identification and quantification of the groundwater – surface water exchange is presented for the Kocinka catchment in Southern Poland.

**Keywords:** groundwater; rivers, numerical modelling, environmental tracers

Wody podziemne i powierzchniowe są nierozdzielni-  
mi elementami cyklu hydrologicznego (Winter i in., 1998)  
i powinny być tak traktowane we wszelkich zagadnieniach  
związanych z bilansowaniem zasobów i oceną ładunków  
zanieczyszczeń odpływających ze zlewni. Systemy obiegu  
wód podziemnych i powierzchniowych są zazwyczaj ściśle  
powiązane, a wody podziemne stanowią główną składową  
przepływu przy niskich przepływach wód w rzekach, gwa-  
rantującą przepływy nienaruszalne i rozcieńczenie zanie-  
czyszczeń (Witczak i in., 2002). Wody podziemne stano-  
wią duży zbiornik retencyjny nie tylko dla wody, ale także  
dla potencjalnych zanieczyszczeń, którego istnienie powo-  
duje znaczne wydłużenie czasów przepływu wody i migra-  
cji zanieczyszczeń od obszarów zasilania do obszarów dre-  
nażu. Reakcje rzek na ładunek zanieczyszczeń obszar-  
owych wprowadzonych do wód podziemnych na obszarze  
zlewni mogą być opóźnione o kilkanaście do kilkudziesię-  
ciu lat. Podobnie jest opóźniona reakcja rzek na działania  
ochronne mające na celu ograniczenie wielkości ładunku  
zanieczyszczeń przenikających do wód podziemnych (Wit-  
czak i in., 2011).

Ocena wielkości odpływu podziemnego i jednocześnie  
zasobów odnawialnych może być dokonana wieloma me-  
todami (Herbich i in., 2013), z których najistotniejsza jest  
metoda hydrodynamiczna, na której bazują modele nume-  
ryczne przepływu. Uzyskane w efekcie modelowania wiel-  
kości zasobów wód podziemnych są porównywane do od-  
pływu podziemnego określonego metodami tzw. hydrolo-  
gicznymi, analizującymi wieloletnie ciągi pomiarowe  
natężenia przepływu w rzekach. Wieloletnie dane są do-  
stępne tylko dla zlewni opomiarowanych, których liczba  
jest znacznie ograniczona. Analiza danych o przepływach  
w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię lub  
jej część nie dostarcza informacji na temat zasilania pod-  
ziemnego w poszczególnych odcinkach cieków ani o zmieni-  
ności tego zasilania w czasie. Wymuszona środowiskowy-  
mi dyrektywami Komisji Europejskiej (Ramowa dyrekty-

wa wodna, 2000; Dyrektywa, 2006, 2008) konieczność  
dokonywania zintegrowanej oceny stanu i zagrożeń jako-  
ści wód w stosunkowo niewielkich zlewniach rzecznych  
wymaga zastosowania operacyjnych metod pozwalających  
na określenie powiązań między wodami podziemnymi  
a powierzchniowymi także w zlewniach nieopomiarowa-  
nych. Niniejsza praca omawia metody pozwalające okreś-  
lić kierunek oraz wielkość przepływów między wodami  
podziemnymi i rzecznyymi w przykładowej zlewni.

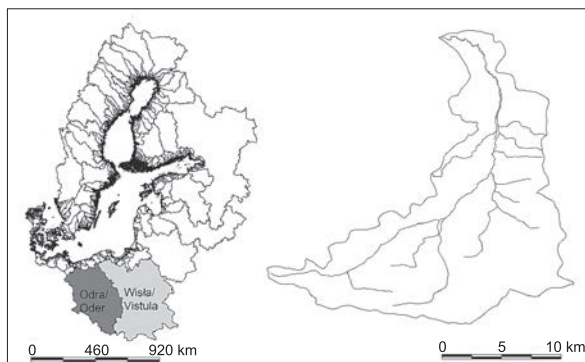
Zlewnia rzeki Kocinki jest jednym z poligonów ba-  
dawczych projektu Soils2Sea ([www.soils2sea.eu](http://www.soils2sea.eu)) realizo-  
wanego w ramach międzynarodowego programu badań dla  
Bałtyku – BONUS-185. Cele projektu są związane z okreś-  
leniem dróg transportu oraz transformacji jakim ulegają  
w zlewni pierwiastki biogenne pochodzące z rolnictwa.  
Wiedza ta ma się przyczynić do stworzenia nowych zasad  
gospodarowania nawozami uwzględniających zróżnicowa-  
nie zdolności gleb, wód podziemnych i cieków wodnych  
do zatrzymywania i usuwania azotu oraz fosforu.

### OBSZAR BADAŃ

Zlewnia Kocinki (powierzchnia 257,8 km<sup>2</sup>, długość  
40,2 km), położona w zlewni Górnej Warty, sięga w swojej  
południowej części po granice administracyjne Częstocho-  
wy (ryc. 1). Utworami budującymi obszar zlewni są górn-  
jurajskie wapienie przykryte osadami czwartorzędowymi  
o miąższości od 1 do 33 m (Paczyński & Sadurski, 2007).  
Warstwy jurajskie obejmują jeden z najzasobniejszych  
w Polsce Główny Zbiornik Wód Podziemnych nr 326. Na  
terenie zlewni dominują gleby piaszczyste i gliniaste. Po-  
wierzchnia terenu jest lekko pofalowana, z wysokościami  
bezwzględnyymi w zakresie od 185 do 317 m n.p.m. Klimat  
jest umiarkowany, ze średnią roczną sumą opadów 600–  
700 mm oraz średnią temperaturą powietrza od 7,5 do 8°C.  
Średni przepływ (SQ) oraz średni niski przepływ (SNQ)  
dla lat 1980–1991 w monitorowanym profilu wyniosły

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, ul. Reymonta 19, 30-059 Kraków; rogozyn@gmail.com, jaszczur.m@gmail.com, wachniew@agh.edu.pl.

<sup>2</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tmmichalczyk@gmail.com, dominika\_bar1989@onet.eu, zurek@agh.edu.pl.



Ryc. 1. Zlewnia Kocinki na tle dorzecza Odry i zlewiska Morza Bałtyckiego (źródło: HELCOM Map and Data Service, maps.helcom.fi, zmienione)

Fig. 1. The Kocinka catchment in the Odra and Baltic Sea basins (source: HELCOM Map and Data Service, maps.helcom.fi, modified)

odpowiednio 1,201 i 0,350 m<sup>3</sup>/d. Teren zlewni jest w przeważającej części użytkowany rolniczo, tylko w dolnej części dominują lasy sosnowe.

#### METODY OKREŚLANIA UDZIAŁU ODPLYWU PODZIEMNEGO W PRZEPLYWIE RZECZNYM

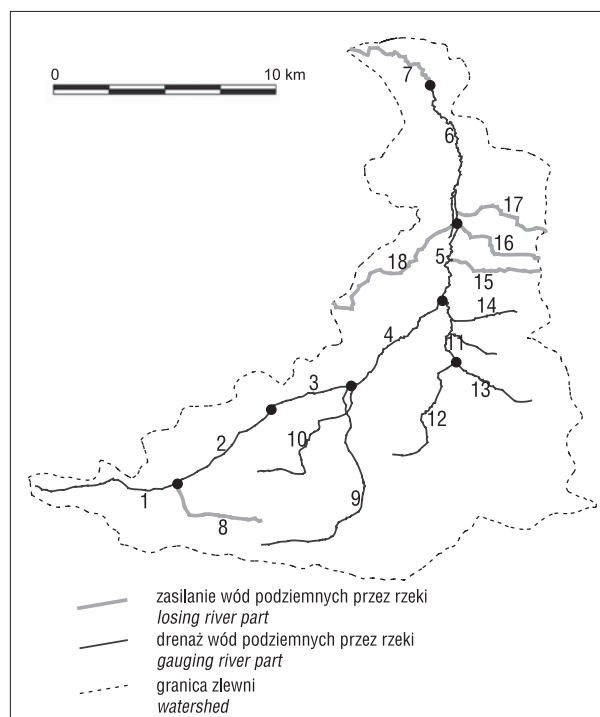
Ogólnego obrazu kierunków oraz wielkości przepływów między poziomami wodonośnymi i wodami powierzchniowymi w skali zlewni mogą dostarczyć hydrologiczne modele numeryczne. Jednak w większości przypadków modele te w uproszczony sposób uwzględniają warunki brzegowe w strefie kontaktu z wodami powierzchniowymi (Furman, 2008). Naturalnym ograniczeniem ich stosowalności jest niedostateczna przestrzenna rozdzielczość siatki obliczeniowej – dla typowego modelu przepływów regionalnych nie mniejsza niż 100 × 100 m – uniemożliwiająca dokładne odwzorowanie przestrzennego zróżnicowania przepływów pionowych (Brunner i in., 2010). Lepsze zintegrowanie domen podziemnej i powierzchniowej w modelach numerycznych wymaga m.in. danych na temat wielkości przepływu między domenami osiągalnych przez zastosowanie empirycznych metod właściwych dla danej skali przestrzennej (Kalbus i in., 2006).

Bezpośrednie oszacowanie wielkości wymiany między wodami podziemnymi i ciekami uzyskuje się przez porównanie, wyznaczonych metodami hydrometrycznymi, przepływów przez przekroje zamykające dany odcinek cieku. Określoną w ten sposób wielkość wymiany netto można rozdzielić na składowe z i do wód podziemnych, wyznaczając przepływy przez te same przekroje z wykorzystaniem chemicznego znacznika, najczęściej łatwo rozpuszczalnej soli (Harvey & Wagner, 2000). Również obserwacje zmian zawartości znaczników środowiskowych (izotopów tlenu i wodoru w wodzie, niereaktywnych jonów, przewodności elektrycznej, rozpuszczonych w wodzie gazów antropogenicznych) wzdłuż biegu cieku pozwalają wyznaczyć wielkość odpływu podziemnego (Cook, 2013). Jako specyficzny znacznik środowiskowy można traktować temperaturę wody, a właściwie różnicę temperatur między wodą przepływającą w cieku i w aluwium (Anderson, 2005; Constantz, 2008). Zaletą tej metody jest łatwość i bezpośredniość pomiaru temperatury. Pomiar taki pozwala szybko określić w jakościowy sposób kierunki i przestrzenne zróżnicowanie intensywności

przepływów, natomiast ilościowa interpretacja wyników wymaga zastosowania odpowiednich modeli matematycznych. Odrębną kategorię stanowią metody wykorzystujące prawo Darcy'ego (Kalbus i in., 2006), dające oszacowania wielkości przepływu w skali lokalnej. Metody te pozwalają również określić punktową wartość współczynnika filtracji dla osadów dennych (Landon i in., 2001), będącego ważnym parametrem modeli numerycznych. W najprostszej wersji tych metod, obserwacje poziomów wody w piezometrach pozwalają określić kierunek przepływu wody.

#### WYNIKI

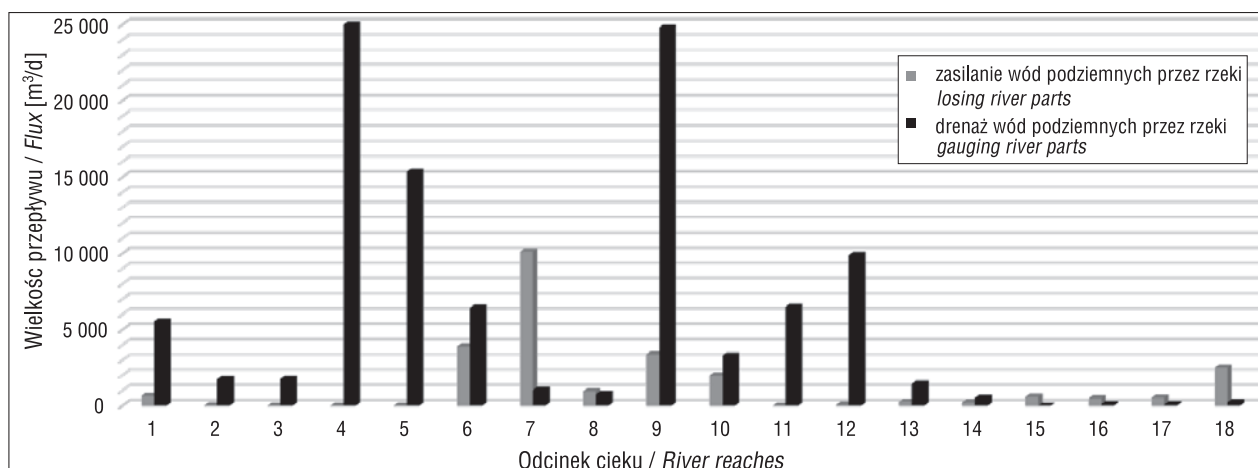
Badania modelowe wykonano dla istniejącego modelu przepływu i transportu fragmentu GZWP 326 autorstwa Szklarczyka i Kania, zrealizowany w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w ramach projektu FP7 Genesis (Kania i in., 2014). Model obejmuje badaną zlewnię rzeki Kocinki wraz z sąsiednimi zlewniami lewobrzeżnych dopływów rzeki Warty i Liswarty. Obszar badań zdystryktowano siatką kwadratową o kroku  $\Delta x = \Delta y = 100$  m (297 wierszy i 450 kolumn). W obszarze badań modelowych znalazło się 95 154 aktywnych bloków obliczeniowych o sumarycznej powierzchni 951,5 km<sup>2</sup>. Każdą z dwunastu modelowanych warstw symulowano tą samą liczbą bloków aktywnych. Model numeryczny początkowo był kalibrowany do stanu pola hydrodynamicznego oraz przepływów wód powierzchniowych, a następnie został zrekalibrowany (Kania i in., 2014) za pomocą znaczników środowiskowych (tryt). Następnie w ramach prac modelowych uzyskano bilanse wód podziemnych dla siedmiu odcinków Kocinki oraz dla cieków niższego rzędu. Pozwoliło to wskazać odcinki cieków o drenującym i zasilającym charakterze oraz oszacować wielkość zasilania cieków



Ryc. 2. Sieć hydrograficzna zlewni Kocinki  
Fig. 2. River network of the Kocinka catchment

**Tab. 1.** Zestawienie wielkości drenażu i zasilania przez wody podziemne odcinków cieków oznaczonych na rycinie 2  
**Table 1.** List of fluxes of water exchanged between groundwater and surface water through river reaches numbered as in Figure 2

| Zona bilansu<br>Zone balance | Numer na mapie<br>Number on the map | Nazwa długa<br>Long name   | Nazwa własna<br>Short name        | Zasilanie wód podziemnych przez rzeki<br>River leakage in [m <sup>3</sup> /d] | Drenaż wód podziemnych przez rzeki<br>River leakage out [m <sup>3</sup> /d] |
|------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|---|---|
| 24                           | 1                                   | Kocinka 1 (Czarna Oksza) od źródła do Dopływu w Grodzisku                                | Kocinka 1                         | 640,980   | 5 536,300   |
| 40                           | 2                                   | Kocinka 2 od Dopływu w Grodzisku do mostu w Kamyku                                       | Kocinka 2                         | 23,319  | 1 748,100   |
| 41                           | 3                                   | Kocinka 3 od mostu w Kamyku do ujścia Białej-Kocinki                                     | Kocinka 3                         | 0,000   | 1 757,800   |
| 42                           | 4                                   | Kocinka 4 od ujścia Białej-Kocinki do ujścia Sękawicy                                    | Kocinka 4                         | 0,000   | 24 991,000  |
| 44                           | 5                                   | Kocinka 5 od ujścia Sękawicy do ujścia Dopływu poniżej Kocina Starego                    | Kocinka 5                         | 0,000   | 15 365,000  |
| 37                           | 6                                   | Kocinka 6 od ujścia Dopływu poniżej Kocina Starego do Kuźnicy ujścia Kocinki do Liswarty | Kocinka 6                         | 3 893,400   | 6 423,200   |
| 38                           | 7                                   | Kocinka 7 od Kuźnicy do ujścia   | Kocinka 7                         | <b>10 114,000</b>   | 1 036,600   |
| 26                           | 8                                   | Dopływ w Grodzisku   | Dopływ w Grodzisku                | 946,230   | 754,610   |
| 28                           | 9                                   | Biała-Kocinka (Szarlejka)  | Biała                             | 3 381,100   | 24 814,000  |
| 27                           | 10                                  | Dopływ spod Gruszewni  | Dopływ spod Gruszewni             | 1 978,900   | 3 309,600   |
| 33                           | 11                                  | Sękawica od dopływu Tylinki do ujścia  | Sękawica za Tylinką               | 0,000   | 6 497,900   |
| 35                           | 12                                  | Tylinka (Sękawica)   | Tylinka                           | 44,483  | 9 896,100   |
| 34                           | 13                                  | Sękawica od źródła do Tylinki (Wierzchownia)   | Sękawica przed Tylinką            | 250,420   | 1 460,700   |
| 36                           | 14                                  | Dopływ spod Kokawy   | Dopływ spod Kokawy                | 221,350   | 514,260   |
| 31                           | 15                                  | Dopływ od Cykarczewa Starego   | Dopływ od Cykarczewa Starego      | 581,750   | 0,000   |
| 32                           | 16                                  | Dopływ od Cykarczewa Południowego  | Dopływ od Cykarczewa Południowego | 479,590   | 100,980   |
| 30                           | 17                                  | Dopływ spod Rusinowa   | Dopływ spod Rusinowa              | 530,930   | 82,655  |
| 43                           | 18                                  | Dopływ poniżej Kocina Starego  | Dopływ poniżej Kocina Starego     | 2 495,100   | 232,760   |

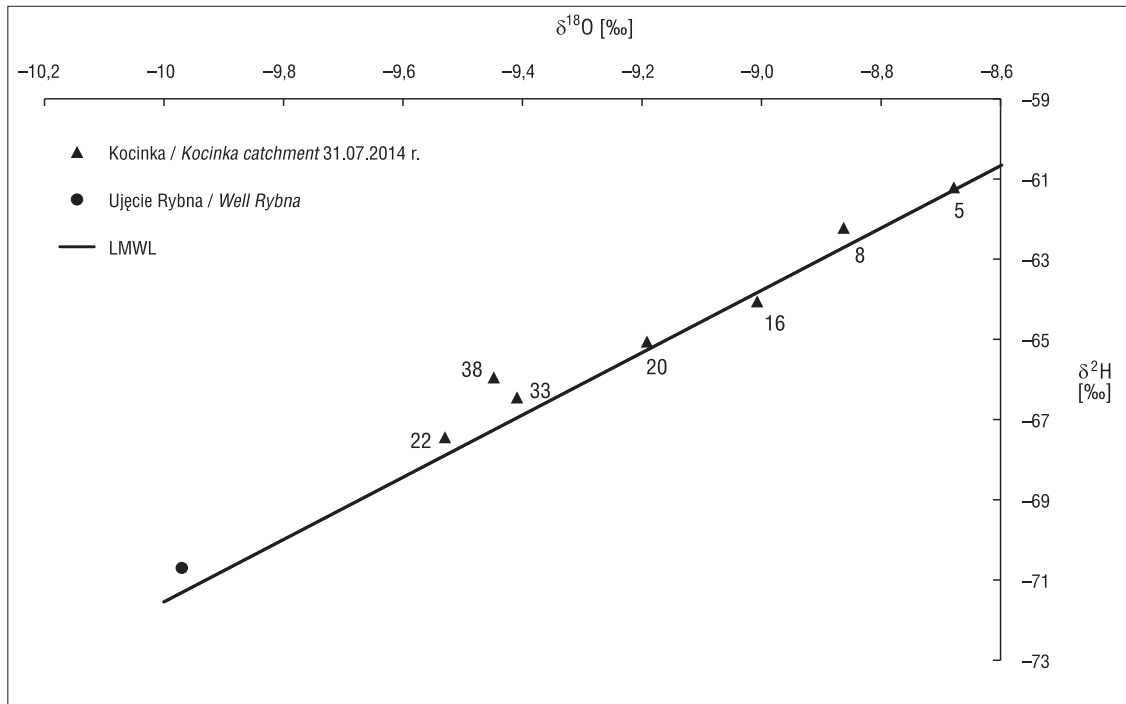


**Ryc. 3.** Wielkości drenażu i zasilania przez wody podziemne dla poszczególnych odcinków cieków oznaczonych na rycinie 2  
**Fig. 3.** Fluxes of water exchanged between groundwater and surface water through river reaches numbered as in Figure 2

przez wody podziemne (ryc. 2, 3; tab. 1). Charakter zasilający ma tylko kilka mniejszych dopływów oraz końcowy odcinek samej Kocinki.

Na rycinie 4 pokazano zmienność składu izotopowego wody wzdłuż biegu Kocinki w lipcu 2014 r. Wyraźny spa-

dek wartości  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^2\text{H}$  pomiędzy 5 a 22 kilometrem wynika z rosnącego w przepływie rzeczonym udziału wód podziemnych reprezentowanych przez skład izotopowy wody pobranej z poziomu wodonośnego. Odwrócenie tego trendu pomiędzy kilometrami 22 a 33 oddaje przewagę zasilania



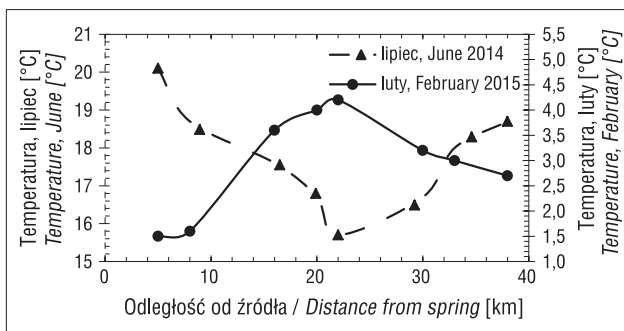
**Ryc. 4.** Porównanie składu izotopowego wody w Kocince ze składem izotopowym wód podziemnych i opadów atmosferycznych. Liczby przy trójkątach oznaczają kilometry biegu rzeki od źródła, LMWL – lokalna linia wód opadowych dla Krakowa

**Fig. 4.** A comparison of the isotopic composition of water in the Kocinka with groundwater and atmospheric precipitation. Numbers at the triangles denote kilometers of river course from its source. LMWL – Local Meteoric Water Line for Krakow

tego odcinka rzeki przez wody płytkiego krążenia o składzie izotopowym właściwym dla opadów atmosferycznych w porze letniej. Praktyczny brak zmiany składu izotopowego w dalszym biegu rzeki wskazuje na brak zasilania w tym odcinku. Obraz ten znajduje potwierdzenie w danych pokazujących zmienność temperatury wody latem i zimą przedstawiony na rycinie 5. Pomiaru temperatury dokonano we wszystkich przypadkach za pomocą tego samego czujnika temperatury umieszczonego na końcu pręta wbijanego w osady. Latem temperatura wody maleje wzdłuż górnego biegu rzeki ze względu na dopływ wód podziemnych o temperaturze 8–10°C. Dopiero po ustaniu takiego dopływu temperatura wody rośnie, zbliżając się do temperatury powietrza. Przebieg temperatury zarejestro-

wany w lutym oddaje odpowiednio wzrost temperatury wody pod wpływem wód podziemnych i późniejszy jej spadek do temperatury powietrza. Stosunkowo wysoka temperatura wody w źródłowym odcinku rzeki latem i niska zimą, pomimo prawdopodobnego zasilania przez wody podziemne, może wynikać z szybkiego równoważenia termicznego z otoczeniem cieku o niewielkim wydatku płynącego w otwartej i podmokłej dolinie.

Na rycinie 6 pokazano zróżnicowanie temperatury wody w osadach dennych w uregulowanym, prostym odcinku rzeki o długości ok. 75 m, wskazanym jako uzyskujący odpływ podziemny zarówno przez model numeryczny, jak i przez powyższe obserwacje własności wody. Widoczne przestrzenne zróżnicowanie intensywności dopływu wód podziemnych może wiązać się ze strukturą przepływu w szczelinowo-krasowym poziomie wodonośnym lub ze zmienną przepuszczalnością osadów dennych. W tym samym odcinku rzeki przeprowadzono obserwację różnic ciśnienia hydrostatycznego między rzeką a osadami. We wbitych w osady na głębokość ok. 25 cm przezroczystych rurach z tworzywa sztucznego poziom wody ustalił się wyżej niż w rzece, określając kierunek i wielkość gradientu hydraulicznego (0,033–0,050).

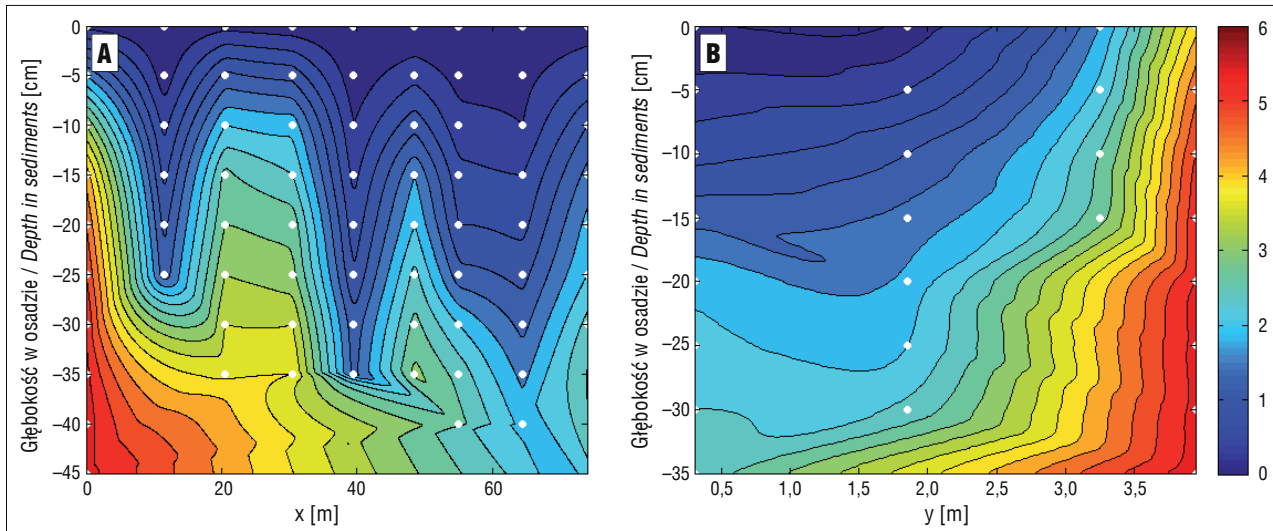


**Ryc. 5.** Zmienność temperatury wody w Kocince wzdłuż jej biegu latem i zimą

**Fig. 5.** Longitudinal variations of water temperature in the Kocinka in summer and winter

## PODSUMOWANIE

Zademonstrowane w niniejszej pracy empiryczne metody rozpoznawania udziału wód podziemnych w odpływie rzeczonym potwierdziły przewidywania modelu numerycznego. Nawet jednorazowa obserwacja zmian własności wody wzdłuż rzeki może wskazać odcinki zyskujące wodę z poziomu wodonośnego, o ile znane są własności



**Ryc. 6.** Temperatura wody w osadach dennych względem temperatury wody w rzece (3,2°C) w profilu podłużnym (A) i poprzecznym (B). Profil poprzeczny zebrano w dolnym końcu profilu podłużnego (75 m). Białe punkty oznaczają punkty pomiarowe

**Fig. 6.** Water temperature in bottom sediments relative to the river (3.2°C) along the longitudinal (A) and lateral (B) profiles. The lateral profile was measured at the downstream end of the longitudinal profile (75 m). The hollow circles mark the measurement points

wód podziemnych. W innym przypadku obserwacje te muszą objąć przepływ podstawowy i przepływ ze znaczącym udziałem wód płytkiego krążenia. Obserwacje temperatury wody w aluwium i inne opisane metody dają obraz przepływów pionowych w dowolnie małej skali przestrzennej. Wszystkie te metody dostarczają informacji niezbędnych do kalibracji modelu numerycznego w odniesieniu do jego zdolności odwzorowania oddziaływań między wodami podziemnymi i powierzchniowymi.

Niniejsze opracowanie wykonano w ramach projektu Soils2Sea realizowanego w ramach programu BONUS-185 oraz prac statutowych AGH w Krakowie (projekty nr 11.11.140.026 oraz 11.11.220.01).

## LITERATURA

- ANDERSON M.P. 2005 – Heat as a ground water tracer. *Ground Water*, 43: 951–968.
- BRUNNER P., SIMMONS C.T., COOK P.G. & THERRIEN R. 2010 – Modeling Surface Water-Groundwater Interaction with MODFLOW: Some Considerations. *Ground Water*, 48: 174–180.
- CONSTANTZ J. 2008 – Heat as a tracer to determine streambed water exchanges. *Water Resources Res.*, 44.
- COOK P.G. 2013 – Estimating groundwater discharge to rivers from river chemistry surveys. *Hydrol. Proc.*, 27: 3694–3707.
- DYREKTYWA 2006/118/WE – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.
- DYREKTYWA 2008/105/EC – Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/105/WE z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej, Dz.Urz. UE L 348/84, 24.12.2008 r.
- DZIENNIK Urzędowy Unii Europejskiej, L 372, T. 49, 27 grudnia 2006 r.
- FURMAN A. 2008 – Modeling coupled surface-subsurface flow processes: A review. *Vadose Zone J.*, 7: 741–756.
- HARVEY J.W. & WAGNER B.J. 2000 – Quantifying hydrologic interactions between streams and their subsurface hyporheic zones. *Streams and ground waters*. Academic Press, San Diego: 3–44.
- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K. & RODZIOCH A. 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowanych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodogospodarczych. *Poradnik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- KALBUS E., REINSTORF F. & SCHIRMER M. 2006 – Measuring methods for groundwater – surface water interactions: a review. *Hydrol. and Earth Sys. Sci.*, 10: 873–887.
- KANIA J., SZKLARCZYK T., WITCZAK S., RÓŻAŃSKI K. & DULIŃSKI M. 2014 – Weryfikacja dostępnych zasobów wód podziemnych w oparciu o badania znaczników środowiska i wynikającą stąd ocenę zagrożenia komunalnych ujęć wód podziemnych. [W:] *Aktualne zagrożenia komunalnych ujęć wód podziemnych*. PZliTS, Częstochowa: 7–20.
- LANDON M.K., RUS D.L. & HARVEY F.E. 2001 – Comparison of instream methods for measuring hydraulic conductivity in sandy streambeds. *Ground Water*, 39: 870–885.
- PACZYŃSKI B. & SADURSKI A. (red.) 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski*. T.1. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RAMOWA DYREKTYWA WODNA 2000 – Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. *Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich* L 327, T. 43, 22 grudnia 2000 r.
- WINTER T.C., HARVEY J.W., FRANKE O.L. & ALLEY W.M. 1998 – *Ground Water and Surface Water: A Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular 1139. Denver, Colorado.
- WITCZAK S., DUDA R. & ŻUREK A. 2011 – Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie w skali 1 : 500 000. AGH, Kraków.
- WITCZAK S., PRAŻAK J. & ŻUREK A. 2002 – Wody podziemne i powierzchniowe jako niepodzielny zasób środowiska wodnego. *Gospodarowanie zasobami wód podziemnych*. XIV konferencja z cyklu „Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej”. PZliTS, Częstochowa: 19–28.