

## Kilka uwag o modelowaniu matematycznym zlewni Raby

### A few remarks about Raba River watershed mathematical modeling

Robert Duda, Robert Zdechlik, Magdalena Paszkiewicz

Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej,  
Kraków, e-mail: [duda@agh.edu.pl](mailto:duda@agh.edu.pl), [zdechlik@agh.edu.pl](mailto:zdechlik@agh.edu.pl)

**Abstract:** The paper describes methodology of hydrogeological modelling of Raba river watershed, about 1565 km<sup>2</sup> area, in flysch Outer Carpathians. Hydrodynamic model was a first step in procedure of point out groundwater bodies threatened with the risk of not achieving the European Water Framework Directive environmental aims. There was accepted conceptual model of recharge and groundwater circulation in fissured-porous sandstone-shale material, assuming that groundwater circulation could be reduced to a one aquifer in surface part of flysch rocks, connected with quaternary river valleys. There was adopted effective infiltration coefficient of selected types of surface material. There was pointed the importance of comparison of recharge defined by the infiltration method with underground runoff to rivers described by Wundt-Kille hydrological methodology. There was mentioned the effect of model scale on the precision of hydrogeological conditions projection.

**Key words:** groundwater, groundwater bodies, model, catchment, Raba river watershed, recharge

## 1. Wprowadzenie

Opisany model hydrodynamiczny stanowi podstawę modelu migracji zanieczyszczeń, który realizowano w celu wskazania groundwater bodies (GWB), czyli tzw. jednolitych części wód podziemnych (Typologia..., 2004; Herbich i in., 2005) zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000). Zastosowanie modelowania hydrogeologicznego do oceny antropogenicznych oddziaływań i ich skutków na GWB w zlewniach rzek zalecają odpowiednie wytyczne (Identyfikacja..., 2004). Ocena oddziaływań i skutków jest jednym z pierwszych etapów w szerszym i cyklicznym procesie oceny zagrożenia nieosiągnięcia celów środowiskowych RDW przez wydzielone w dorzeczeniach poszczególne GWB. Opisane tutaj skrótowo modelowanie miało na celu test realnej możliwości dostosowania się do wytycznych, w ramach zadań ściśle określonych

harmonogramem narzuconym przez RDW. Zlewnia Raby została wybrana oficjalnie w Polsce jako jedna z kilku zlewni pilotowych do testowania możliwości, potrzeb i kosztów związanych z tymi zadaniami (Identyfikacja..., 2006).

## 2. Zarys hydrologii i budowy geologicznej

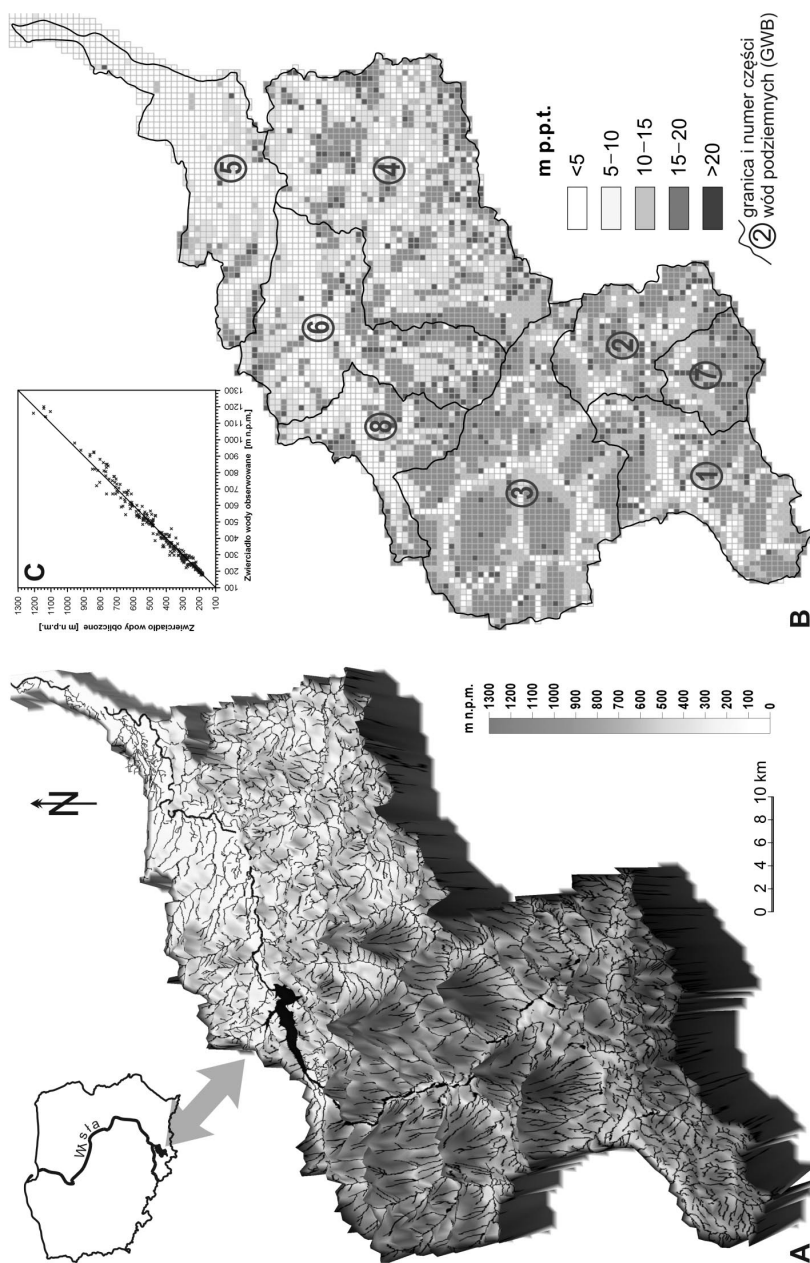
Raba jest prawobrzeżnym dopływem Wisły i uchodzi do niej na wysokości 180 m n.p.m. Powierzchnia zlewni Raby wynosi 1537 km<sup>2</sup>, a jej źródła znajdują się na zachodnim krańcu Gorców na wysokości 785 m n.p.m. (ryc. 1A). W strefie karpackiej znajduje się 86% powierzchni zlewni, co przesądza o górskim charakterze rzeki i jej dorzecza, charakteryzującego się gęstą siecią dopływów o dużych spadkach i wąskich dolinach. Długość zlewni w linii prostej osiąga 76 km, a średnia szerokość około 20 km. Dopływy Raby wykazują znaczne podobieństwo hydromorfologiczne z głównym ciekim (Identyfikacja..., 2006). Średnioroczne opady w zlewni Raby są silnie zróżnicowane przestrzennie oraz zmienne wraz z wysokością terenu, a wahają się od 600 do około 1300 mm/rok.

Zlewnia Raby ma urozmaiconą budowę geologiczną. Zdecydowana większość jej obszaru leży w obrębie masywu fliszowych Karpat zewnętrznych. Jedyne mała północna część zlewni położona jest na obszarze zapadliska przedkarpackiego. Na terenie Karpat fliszowych w obrębie zlewni Raby występuje pięć płaszczowin, różniących się litostratygraficznie i oddzielonych tektonicznie. Od południa są to płaszczowiny: magurska, dukielsko-grybowska, śląska, podśląska i skolska.

Stratygrafię płaszczowiny magurskiej w sąsiednim do zlewni Raby rejonie sądeckim opisują m.in. Oszczypko i in. (1990). W budowie płaszczowiny magurskiej główną rolę odgrywają osady paleogenu. Utwory kredowe mają mniejsze znaczenie, przy czym na powierzchni występują wyłącznie osady kredy górnej. Poniżej jednostki magurskiej występuje jednostka dukielsko-grybowska. Chowa się ona pod płaszczowiną magurską, ukazując się jedynie w oknach tektonicznych, a wykształcona jest w postaci cienkoławicowych piaskowców przeławiconych łupkami oraz łupków menilitowych.

Na północ od obu jednostek rozciąga się płaszczowina śląska. W jej obrębie występuje pełna seria osadów kredy dolnej i górnej, z dominującym udziałem łupków. Płaszczowina podśląska w obrębie zlewni Raby jest silnie zredukowana tektonicznie i tworzy wąską, porozrywaną strefę o małym rozprzestrzenieniu, ukazującą się przed nasunięciem jednostki śląskiej oraz w oknach tektonicznych. Utwory tej jednostki w większości wykształcone są w facji łupkowej, łupkowo-piaskowcowej bądź marglistej (Józefko, 1989). Najniższy element Karpat fliszowych stanowi jednostka skolska, która w obrębie zlewni Raby zajmuje niewielką powierzchnię. Utwory tej jednostki reprezentowane są przez łupki, margle krzemionkowe, margle pstre, warstwy inoceramowe (naprzemianległe piaskowce i łupki), łupki pstre, warstwy hieroglifowe, czyli cienkoławicowe piaskowce przeławicone łupkami (Józefko, 1989).

Na północ od Karpat zewnętrznych występuje zapadlisko przedkarpackie, wypełnione ilasto-mułowcowymi osadami miocenu. Osady te pokrywają utwory



Ryc. 1. A – cyfrowy model terenu zlewni Raby; B – głębokość do zwierciadła wód podziemnych na modelu hydrogeologicznym; C – porównanie obliczonego poziomu zwierciadła wody do obserwowanego w punktach kalibracyjnych  
 Fig. 1. A – digital terrain model of Raba river watershed; B – depth to groundwater table on the hydrogeological model; C – comparison calculated groundwater table with those observed at calibrating points

czwartorzędowe o zmiennej miąższości, uzależnionej od morfologii powierzchni terenu oraz miocénskiego podłoża.

### 3. Warunki hydrogeologiczne

Na obszarze zlewni Raby warunki hydrogeologiczne są zróżnicowane, ze względu na jej występowanie w dwóch różnych regionach hydrogeologicznych, tj. w wewnętrznej części masywu karpackiego oraz w paśmie przedkarpackim w obszarze zapadliska przedkarpackiego (Kleczkowski, 2002).

Na obszarze Karpat Zewnętrznych wody podziemne występują w utworach czwartorzędowych oraz fliszowych, trzeciorzędowo-kredowych.

Pod względem hydrogeologicznym utwory czwartorzędowe dzieli się w tym regionie na: piaszczysto-żwirowe dolin rzecznych o zmiennej wodonośności rzędu kilkudziesięciu m<sup>3</sup>/h oraz gliniasto-rumoszowe pokryw zboczowych o małej wodonośności (Józefko, 1989).

Warstwa wodonośna w dolinach rzecznych wykształcona jest w postaci piasków, żwirów i otoczków, miejscami zaglinionych. Bywają one przykryte cienką i nieciągłą warstwą utworów gliniasto-pylastych lub mad. Zwierciadło wody jest przeważnie swobodne i zwykle znajduje się na głębokości 2–6 m p.p.t., jedynie lokalnie głębiej (ryc. 1B).

Zasilanie odbywa się poprzez opady atmosferyczne na drodze bezpośredniej infiltracji oraz w mniejszym stopniu spływem wód ze zboczy i dopływem wód z wyżej morfologicznie zalegających utworów fliszowych (Józefko, 1989). Występuje przy tym duża ilość wypływów w postaci źródeł, wycieków, wysięków i podmokłości (Wójcik, Rączkowski, 1994). Miąższość warstwy wodonośnej jest zmienna, od około 2 m w górnych odcinkach rzek i potoków, do 10 m w dolinie Raby poniżej Myślenic. Przeważnie wynosi 2–5 m (Józefko, 1989).

Drugi typ występowania wód w utworach czwartorzędowych związany jest z utworami koluwalno-osuwiskowymi (Wójcik, Rączkowski, 1994). Zawodnienie gliniasto-rumoszowych utworów pokryw zboczowych jest niewielkie z uwagi na wykształcenie litologiczne niesprzyjające gromadzeniu wody, małą miąższość oraz nieciągłość. Przeważają obszary o lokalnym występowaniu warstwy wodonośnej o miąższości tylko 1–2 m (Józefko, 1989).

W trzeciorzędowo-kredowej jednostce fliszowej warunki hydrogeologiczne wiążą się głównie z facją piaskowcową. Zasilanie odbywa się na drodze bezpośredniej infiltracji opadów atmosferycznych na wychodniach, systemem szczelin i spękań, oraz poprzez pokrywę zwietrzelinową. Zasilanie może występować lokalnie także z czwartorzędowej warstwy wodonośnej (Józefko, 1989).

W utworach fliszowych wodonośność ma charakter szczelinowo-porowy. Szczeliny otwarte, o objętości ocenianej na 1–3%, wpływają na przepływ wody w kompleksie skalnym, natomiast pory międzyziarnowe (10–15%) mają znaczenie dla zasobności wodnej. Strefa aktywnej wymiany, w której bierze udział ponad 90% wód, sięga do głębokości około 60 m p.p.t. O przepuszczalności i wydajności struktur fliszowych decyduje więc głównie szczelinowatość (Witczak i in., 2002).

Wodonośność skał fliszowych jest, ogólnie biorąc niska, i silnie zróżnicowana przestrzennie. Szczególnie na obszarze występowania jednostki podśląskiej, śląskiej, dukielsko-grybowskiej i północnej strefy jednostki mazurskiej, wodonośność utworów fliszowych jest ograniczona. Jednostki te tworzą głównie utwory ilaste, piaskowców jest mniej, stąd wydajność studni nie przekracza 2 m<sup>3</sup>/h. Wodonośność serii piaskowców gruboławicowych warstw lgockich, godulskich, istebniańskich dolnych i krośnieńskich dolnych wynosi do 5 m<sup>3</sup>/h. W strefach dyslokacji tektonicznych możliwe są większe wydajności studni, czasem do 20 m<sup>3</sup>/h (Malinowski i in., 1991).

Warunki krążenia wód pogarszają się dość szybko z głębokością, z którą maleje szczelinowatość, a w konsekwencji także współczynnik filtracji skał. Krążenie wód może więc zostać uproszczone do jednej strefy wodonośnej w przypowierzchniowej części skał fliszowych łączącej się z czwartorzędowymi dolinami rzecznyymi. Strefa aktywnej wymiany sięga do głębokości około 60 m p.p.t., a szybkość wymiany wód wynosi 100–300 m/rok (Witczak i in., 2002). W strefie tej występują zarówno wody o zwierciadle swobodnym, jak i napiętym.

W zlewni Raby na obszarze zapadliska przedkarpacciego wody podziemne występują głównie w czwartorzędowych aluwialnych piaskach ze żwirami, wypełniających dno doliny Raby w obrębie jej tarasów zalewowych i nadzalewowych. Miąższość warstwy nie przekracza 10 m, zwierciadło ma charakter swobodny, a wydajność studni wynosi do 30 m<sup>3</sup>/h, lokalnie do 70 m<sup>3</sup>/h. Poza dolinami występują piaski, piaski gliniaste, gliny i lessy o ograniczonej wydajności. Poniżej zalegają praktycznie nieprzepuszczalne ility miocenijskie. Zwierciadło wód gruntowych występuje przeważnie płytko: od 0,5 do 2,5 m p.p.t.

## 4. Model hydrogeologiczny zlewni Raby

### 4.1. Konstrukcja modelu

Na modelu zadeklarowano jedną warstwę wodonośną o charakterze swobodno-naporowym. Zarówno to, jak i inne założenia oparto na przyjętym generalnym modelu koncepcyjnym krążenia wód podziemnych w Karpatach fliszowych, według Witczaka i in. (2002). Ich doświadczenia, uzyskane podczas tworzenia modelu zlewni Kryniczanki, wskazują na możliwość opracowania wiarygodnych modeli matematycznych systemów wodonośnych regionów zlewni rzecznych o silnym zróżnicowaniu geomorfologicznym, hydrograficznym, geologicznym i hydrogeologicznym w podgórskich rejonach silnie sfałdowanych, a więc i nachylnych skał fliszowych. Dotyczy to również takich zagadnień, jak sposób tworzenia modelu hydrogeologicznego tego typu zlewni w oparciu o przewodność warstwy wodonośnej czy też modelowania wzajemnych związków hydraulicznych systemów wodonośnych pomiędzy sąsiadującymi ze sobą zlewniami. Granice zlewni powierzchniowych (morfologicznych) praktycznie pokrywają się z granicami zlewni podziemnych w efekcie oddziaływania gradientów hydraulicznych generowanych przez morfologię terenu górskiego (*op. cit.*).

Jednak poza podobieństwem podstawowych założeń koncepcyjnych, oba modele różnią się od siebie całkowicie, począwszy od celu, w jakim zostały opracowane. Powierzchnia zlewni Raby jest aż 35 razy większa od zlewni Kryniczanki, szczegółowo modelowanej przez Witczaka i in. (2002), którą dyskretyzowano blokami o wymiarze 100 na 100 m w celu m.in. ustalenia zasobów eksploatacyjnych złożeń wód leczniczych.

Modelowaną warstwę wodonośną w zlewni Raby podzielono regularną siatką 107 kolumn i 140 wierszy, o rozmiarze pojedynczego bloku 500 na 500 m. Rzędne terenu w blokach obliczeniowych określono w oparciu o mapy topograficzne (ryc. 1A). Przeglądowa Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:200 000, dane z Banku HYDRO i dokumentacji hydrogeologicznych (Józefko, 1989; Kowalski, Górka, 1989) posłużyły do wyznaczenia rzędnych zwierciadła wód podziemnych. W zlewni Raby głębokość występowania wód podziemnych jest zróżnicowana (ryc. 1B): od poniżej 5 m p.p.t. (średnio 2–3 m p.p.t.) w obszarach doliny Raby i jej dopływów oraz pradoliny Wisły, do około 40 m p.p.t. lokalnie w obszarach górskich.

Na podstawie map geologicznych w skalach 1:50 000 i 1:200 000, sprowadzonych do wspólnej roboczej skali 1:100 000, opracowano mapę rejonów występowania wydzielonych w zlewni 7 typów litostratygraficznych utworów warstwy wodonośnej (Identyfikacja..., 2006). Za pomocą warunku brzegowego III rodzaju  $Q = f(H_w, T_{dna\ rzeki})$  na modelu odwzorowano rzeki, zakładając ich częściowo ograniczony kontakt hydrauliczny z warstwą wodonośną. Współczynniki filtracji wydzielonych trzech typów osadów dennych rzek przyjęto w uproszczeniu, zakładając odpowiednio dla: żwirów 400 m/d, piasków z mułkami 5 m/d, mułków 0,5 m/d. Postąpiono tak, gdyż nie dysponowano jeszcze podziałem rzek zlewni Raby na typy hydromorfologiczne, których charakterystyka zawiera m.in. opis osadów dennych (Typologia..., 2004).

## 4.2. Zasilanie warstwy wodonośnej

Na podstawie map geologicznych zakrytych w skali 1:50 000 i 1:200 000 wyznaczono rejon występowania wydzielonych w zlewni dziewięciu typów utworów przypowierzchniowych. Wskaźniki infiltracji efektywnej przyjęte dla tych utworów zawiera tabela 1. Średni z wielolecia 1956–1980 rozkład przestrzenny wysokości opadów atmosferycznych zaczerpnięto z opracowań Józefki (1989) i Kowalskiego, Górki (1989). Lokalnie, na obszarach, gdzie wysokość terenu przekracza 600 m n.p.m., interpretacja zmienności przestrzennej opadów pomiędzy stacjami pomiarowymi została skorygowana w zależności od wysokości terenu nad poziom morza. Podobne postępowanie zalecają m.in. Staško i Tarka (2002).

Zasilanie wód podziemnych obliczono dla ośmiu GWB (ryc. 1B) zgodnych zlewniowo z częściami wód powierzchniowych wydzielonymi w zlewni Raby (Identyfikacja..., 2006). Następnie kontrolnie porównano zasilanie określone hydrogeologiczną metodą infiltracyjną z odpływem podziemnym do rzek, określonym hydrologiczną metodą rachunkową Wundta-Killego. Założono, że wielkość zasilania wód podziemnych pochodzącego z opadów atmosferycznych w zlewni jest równa odpływowi podziemnemu do rzek.

Tabela 1. Wskaźniki infiltracji efektywnej utworów przypowierzchniowych przyjęte na modelu

Table 1. Effective infiltration coefficients of surface material accepted on the model

Utwory przypowierzchniowe		Wskaźnik infiltracji $\omega_i$ [-]
1	żwiry i piaski aluwialne (holocen)	0,30
2	piaski grube i średnie ze żwirami (plejstocen)	0,22
3	gliny piaszczysto-pylaste	0,12
4	gliny pylaste, pyły, lessy, gliny zwietrzelinowe, utwory pokryw zwietrzelinowych i stokowych na fliszu	0,10
5	koluwia osuwiskowe, utwory deluwialne i soliflukcyjne	0,085
6	w-wy magurskie, piaskowce ciężkowickie, osieleckie, pasierbickie	0,165
7	w-wy lgockie, w-wy godulskie środkowe lub nierozdzielone, w-wy istebniańskie, w-wy biotytowe, w-wy inoceramowe, w-wy przedmagórskie	0,13
8	w-wy cieszyńskie górne, grodziskie, w-wy gezowe górne, w-wy krośnieńskie, w-wy godulskie dolne i górne, w-wy hieroglifowe, w-wy nadmagórskie, w-wy łączkie, w-wy beloweskie, utwory jednostki podśląskiej	0,11
9	łupkowe serie fliszowe: łupki wierzowskie, łupki pstre, margle pstre, łupki istebniańskie, łupki menilitowe, w-wy grabowieckie	0,085

W metodzie Wundta-Killego odpływ podziemny utożsamiany jest ze średnim wieloletnim niskim przepływem SNQm, wyznaczonym na podstawie minimalnych przepływów miesięcznych w poszczególnych latach hydrologicznych (Jokiel, 1994; Chelmiński, 2003). Do wyznaczenia odpływów podziemnych z ośmiu GWB w zlewni Raby wykorzystano ciągi przepływów charakterystycznych z wielolecia 1961–2000 (Identyfikacja..., 2006).

Jeżeli na modelu hydrogeologicznym w poszczególnych GWB wartości zasilania były zbliżone do wielkości SNQm w ciągu wieloletnim (tab. 2), uznawano, że zarówno wielkości wskaźników infiltracji efektywnej, jak i wysokości opadów, zostały poprawnie przyjęte. Zasilanie i odpływ podziemny nie mogły być sobie do-

Tabela 2. Porównanie zasilania z obserwacjami hydrologicznymi w wybranych GWB zlewni Raby

Table 2. Recharge comparison to hydrological observation in selected GWB of the Raba watershed

Przekrój wodowskazowy	GWB	Średni wieloletni SNQm [m <sup>3</sup> /d]	Zasilanie na modelu [m <sup>3</sup> /d]
Raba – Mszana Dolna	1	79 256	77 313
Mszanka – Mszana Dolna	2	49 610	50 464
Raba – Stróża	3	128 017	135 215
Stradomka – Stradomka	4	110 991	111 921
Raba – Proszówki	5	60 135	52 459
Porębianka – Niedźwiedź	7	50 488	37 078

kładnie równe, ponieważ do ich obliczenia wykorzystano dostępne ciągi danych ale dotyczące różnych wieloleci: opady z lat 1956–1980, a przepływy charakterystyczne rzek z lat 1961–2000. Porównania nie dokonano dla dwóch GWB (nr 6 i 8 na ryc. 1B) związanych bezpośrednio z zaporą i zbiornikiem w Dobczycach, z uwagi na zaburzenie naturalnych przepływów wody w Rabie poniżej zapory na skutek działań regulacyjnych.

### 4.3. Przewodność warstwy wodonośnej

W kolejnym etapie konstrukcji modelu określano przewodności hydrauliczne 7 typów utworów wodonośnych wyznaczonych w zlewni Raby (Identyfikacja..., 2006). Na większości obszaru zlewni utwory wodonośne to ośrodek szczelinowo-porowy. Charakteryzuje się on znacznym zróżnicowaniem parametrów hydrogeologicznych na granicy między systemem przypowierzchniowych szczelin i spękań a blokami masywu skalnego (Witczak i in., 2002). To zróżnicowanie i w konsekwencji niepewność, jaka wielkość jest reprezentatywna, dotyczy również współczynnika filtracji skał. Oprócz tego zawarte w Banku HYDRO współczynniki filtracji utworów szczelinowo-porowych często nie są obliczane właściwie (Józefko, Motyka, 1993), stąd ich wielkości również są niepewne.

W tej sytuacji określenie wodonośności regionalnych struktur piaskowcowych czy piaskowcowo-łupkowych w zlewni Raby zostało oparte na danej cechującej się wyższą pewnością, czyli wydatku jednostkowym studni. Zmienność przewodności wydzielonych 7 typów utworów wodonośnych określono metodą Jetela (Betel, 1995; Staśko, 1996; Witczak i in., 1999). Opiera się ona na powiązaniu teoretycznym i empirycznym wydatku jednostkowego z przewodnością ujętej strefy wodonośnej. Dopasowanie obliczonego na modelu poziomu zwierciadła wód podziemnych do zwierciadła obserwowanego w rzeczywistości przedstawia rycina 1C. Jako punkty kalibracyjne wykorzystano studnie i źródła zawarte w Banku HYDRO oraz pracach Józefko (1989) i Kowalskiego, Górki (1989).

## 5. Wnioski

Dyskretyzacja modelu zlewni tej wielkości oraz stopniu skomplikowania hydrogeologicznego, geomorfologicznego i hydrograficznego, jak zlewnia Raby, siatką o wymiarach bloków 500 na 500 m jest zbyt uproszczona. W przypadku modeli podobnych zlewni, opracowywanych na potrzeby zadań związanych z RDW, zaleca się dyskretyzację w oparciu o siatkę o wymiarach bloków nie większych niż 250 na 250 m.

Mając na uwadze cele zawarte w obowiązujących wytycznych związanych z oceną stanu GWB wraz z oceną zagrożenia nieosiągnięcia celów środowiskowych RDW, przyjęte założenia oraz ograniczony czas, w którym podobne do tutaj opisanego modelowania mają być realizowane zgodnie z obowiązującym w RDW harmonogramem, można stwierdzić, że modelowanie takie, mimo znacznego uproszczenia, jest możliwe. Standardowo przyjęte w środowisku hydrogeologów szczegółowe kryteria i precyzyjne miary wiarygodności modelu nie powinny być

ściśle brane pod uwagę w przypadku modelowania tego typu, jak opisane. Wynika to z faktu, że te kryteria i miary zostały opracowane na ogół dla modeli szczegółowych w czasach, kiedy nie było jeszcze Ramowej Dyrektywy Wodnej, natychmiastowo wymuszającej określoną aktywność w nadrzędnym celu poprawy jakości wszystkich wód i ich przyszłej ochrony.

Pilnego opracowania wymaga zagadnienie porównania zasilania i odpływu podziemnego określonego hydrologicznie, w częstym w południowej Polsce przypadku GWB związanych ze zlewniami zbiorników przyzaporowych i z zaporami. Bezpośrednie porównanie jest utrudnione w wyniku nienaturalnych, tzn. zaburzonych na skutek regulacji, przepływów rzek poniżej zapór.

*Praca została częściowo zrealizowana i sfinansowana w ramach prowadzonych w Zakładzie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie badań statutowych (umowa 11.11.140.139) i badań własnych (umowa 10.10.140.167).*

## Literatura

- Chelmicki W., 2003. Odpływ podziemny. W: Pociask-Karteczka J. (red.). Zlewnia. Właściwości i procesy. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz., Wyd. Uniw. Jagiellońskiego, Kraków, s. 207–214.
- Herbich P. i in., 2005. Jednolite części wód podziemnych (hydrogeosomy) w Polsce. W: Sadowski A., Krawiec A. (red.). Współczesne problemy hydrogeologii. T. XII, s. 269–274.
- Identyfikacja..., 2004. Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych. Nachlik E. (red.). Wyd. Politechniki Krakowskiej, ser. Inżynieria Środowiska, Monografia 318, 192 s.
- Identyfikacja..., 2006. Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych. Przykład zlewni Raby. Nachlik E. (red.). Wyd. Politechniki Krakowskiej, Monografia, ser. Inżynieria Środowiska, Kraków (w druku).
- Jetel J., 1995. Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates in regional assessment of permeability and transmissivity. Slovak Geol. Mag. 1: 7–18.
- Jokić P., 1994. Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce. Acta Geograph. Łódź. 66–67, 236 s.
- Józefko I., 1989. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rozpoznanych w kategorii „C” w rejonie dorzecza górnej Raby. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Kraków (nie publikowane).
- Józefko I., Motyka J., 1993. Wodoprzepuszczalność skał górnej kredy i górnej jury w rejonie Krakowa. W: Poprawski L., Bocheńska T. (red.). Współczesne problemy hydrogeologii. T. VI, s. 73–78. Wrocław.
- Kleczkowski A.S., 2002. Regionalizacja hydrogeologiczna. W: Dowgiałło J. i in. (red.). Słownik hydrogeologiczny. Min. Środowiska, Państwowy Inst. Geologiczny. Wyd. PIG, Warszawa.
- Kowalski J., Górka J., 1989. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rozpoznanych w kategorii „C” na obszarze dorzeczy Raby, Uszwicy i Dunajca w obrębie zapadliska przedkarpackiego. Kraków (nie publikowane).

- Malinowski J. i in., 1991. Budowa geologiczna Polski. T. VII: Hydrogeologia. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- Oszczypko N., Dudziak J., Malata E., 1990. Stratygrafia osadów płaszczowiny magurskiej (kreda–paleogen) w Beskidzie Sądeckim, Karpaty Zewnętrzne. Stud. Geol. Pol. 47: 109–181.
- RDW, 2000. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z 23.10.2000 w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej.
- Staśko S., 1996. Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Prace Geol.-Min., LIII, 86 s. Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław
- Staśko S., Tarka R., 2002. Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w masywie Śnieżnika. Acta Univer. Wratislaviensis 2528, 63 s., Wrocław.
- Typologia..., 2004. Typologia wód powierzchniowych i wyznaczenie części wód powierzchniowych i podziemnych zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE. Konsorcjum: IMGW, PIG, IOŚ, IM pod kierunkiem M. Maciejewskiego (nie publikowane).
- Witczak S., Duda R., Foryciarz K., 1999. Wydatek jednostkowy studni jako proponowana podstawowa charakterystyka wodonośności dla potrzeb MhP 1: 50 000. W: Krajewski S., Sadurski A. (red.). Współczesne problemy hydrogeologii. T. IX, s. 357–364, Warszawa–Kielce.
- Witczak S., Duńczyk L., Motyka J., Oszczypko N., 2002. Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpackiego na przykładzie zlewni Kryniczanki (Płaszczowina Magurska). Biul. PIG, 404: 263–290.
- Wójcik A., Rączkowski W., 1994. Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000 Arkusz Osielec (1015). PIG, Warszawa.