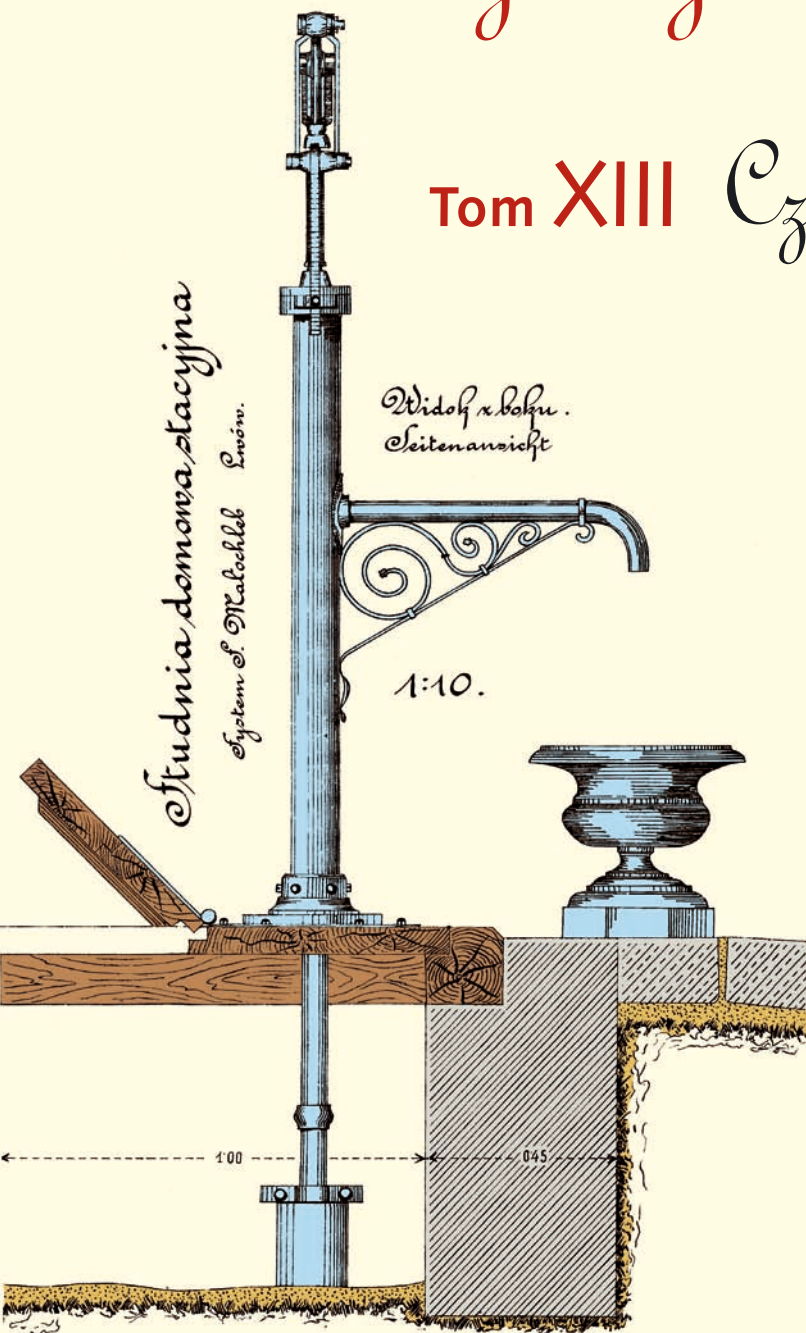


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska  
Wojciech Ciężkowski  
Józef Górski  
Andrzej Kowalczyk  
Ewa Krogulec  
Grzegorz Malina  
Jerzy Małecki  
Marek Marciniak  
Jacek Motyka  
Marek Nawalany  
Jan Przybyłek  
Andrzej Rózkowski  
Andrzej Sadurski  
Andrzej Szczepański  
Stanisław Staško  
Stanisław Witczak  
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku  
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ : pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, [www.pretext.com.pl](http://www.pretext.com.pl)

Druk: ROMA-POL, [www.romapol.pl](http://www.romapol.pl)

ISBN-13 978-83-88927-16-4

**Robert Duda, Magdalena Paszkiewicz,  
Robert Zdechlik**

**Wybrane elementy regionalnego modelu  
hydrogeologicznego zlewni Raby**

**Selected Elements of Raba River Watershed  
Hydrogeological Model**

**Słowa kluczowe** model hydrogeologiczny, zasilanie, warunki brzegowe, zlewnia Raby

**Key words** groundwater flow model, recharge, boundary conditions, Raba River watershed

**Abstract** The paper describes selected aspects of regional groundwater flow model in the Raba River watershed preparation and construction. The watershed, which has a total area of 1565 km<sup>2</sup>, is mainly located in flysch Outer Carpathians, and it's small northern part in the Carpathian Fore-deep area. The paper describes the selection and scope of appropriate source data for regional modelling. There is presented the methodology of assignment spatial distribution of groundwater recharge from pre-cipitation. Calculated groundwater head as a result of modelling is presented.

## 1. Wprowadzenie

Niniejsza praca jest kontynuacją tematu zapoczątkowanego w publikacji Dudy i in. (2006), gdzie krótko omówiono: warunki hydrologiczne, geologiczne i hydrogeologiczne zlewni Raby, zarys przyjętego koncepcyjnego modelu krążenia wód podziemnych w Karpatach fliszowych, wielkości wskaźników infiltracji utworów przypowierzchniowych oraz porównanie zasilania wód podziemnych z pomiarami hydrologicznymi w jednolitych częściach wód podziemnych tej zlewni. Niektóre pozostałe zagadnienia związane z opracowaniem regionalnego modelu hydrogeologicznego zlewni Raby, omówiono poniżej, a są to:

- zakres materiałów źródłowych niezbędnych do skonstruowania regionalnego modelu hydrogeologicznego zlewni,
- rozkłady przestrzenne wysokości opadów atmosferycznych i zasilania wód podziemnych; zmienność zasilania uzyskano na podstawie rozkładu przestrzennego opadów oraz przyjętych wskaźników infiltracji efektywnej dla 9 typów utworów powierzchniowych wydzielonych w zlewni,
- warunki brzegowe modelu,
- obliczony na modelu układ zwierciadła wód podziemnych i stopień jego dopasowania.

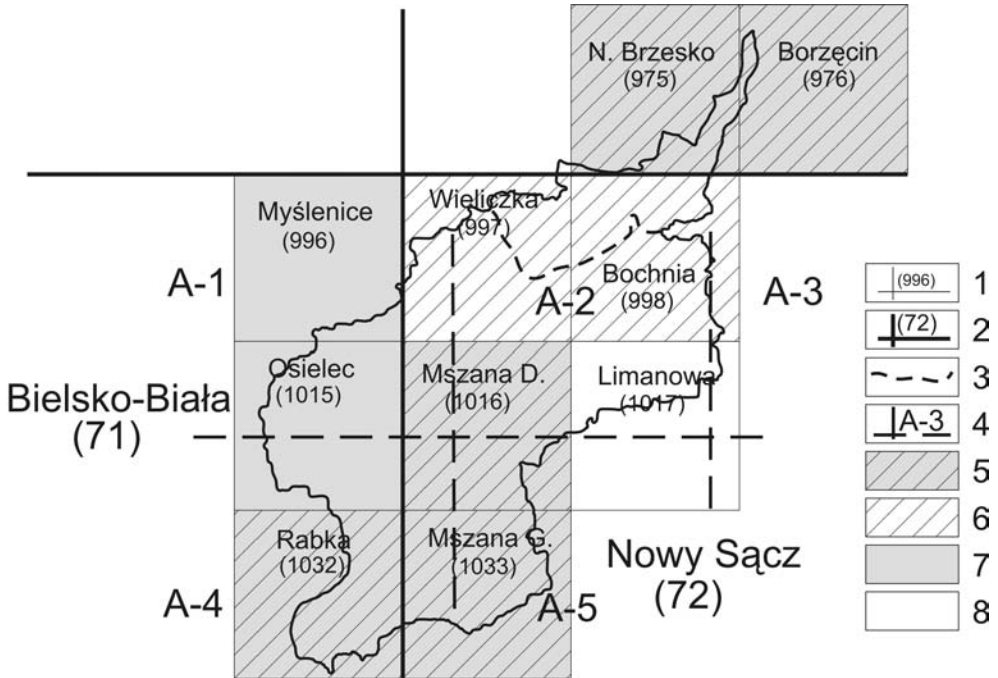
Regionalny model hydrogeologiczny zlewni Raby realizowano w celu wskazania, które wyznaczone w niej jednolite części wód podziemnych mogą nie osiągnąć celów środowiskowych RDW. Sposób wyznaczenia jednolitych części wód podziemnych, oparty na ich bezpośredniej łączności hydrologicznej i hydrograficznej ze zlewniami rzek przedstawiono w Identyfikacji... (2006). Zlewnia Raby została wybrana do uszczegółowienia opracowanej wcześniej metodyki realizacji tego zadania (Identyfikacja..., 2004) i przetestowania możliwości jej praktycznego zastosowania (Duda i in., 2005, 2006; Identyfikacja..., 2006).

## 2. Materiały źródłowe

Opracowanie regionalnego modelu hydrogeologicznego zlewni rzeki wymaga prawidłowego doboru i zakresu materiałów źródłowych, m.in. geologicznych, hydrogeologicznych, kartograficznych i baz danych, w tym również wieloletnich danych hydrologicznych. Regionalny model hydrogeologiczny zlewni Raby, czyli zlewni II rzędu według podziału hydrograficznego Polski, obejmuje obszar o powierzchni około 1565 km<sup>2</sup>. Dyskretyzacji obszaru filtracji dokonano w oparciu o siatkę kwadratową, złożoną ze 107 kolumn i 140 wierszy, w której 6259 pojedynczych bloków ma wymiar 500 na 500 m.

Zlewnia Raby obejmuje swym zasięgiem 10 arkuszy map w skali 1:50 000, opracowanych w geodezyjnym układzie współrzędnych 1942. Zgromadzono wszystkie konieczne 10 arkuszy map topograficznych oraz 7 arkuszy map geologicznych zakrytych (rys. 1). Z powodu niewykonania 3 arkuszy, konieczne było posłużenie się w tych obszarach mapą geologiczną w skali 1:200 000, arkusze: Bielsko–Biała (71) i Nowy Sącz (72). Poszczególne arkusze zestawiono w odpowiednim porządku, uzyskując zbiorcze mapy tematyczne: geologiczną i topograficzną. Do opracowania modelu posłużyła także przeglądowa mapa hy-

drogeologiczna w skali 1:200 000. Opracowując model hydrogeologiczny zlewni Raby korzystano także z informacji zawartych w regionalnych dokumentacjach hydrogeologicznych dorzeczy: górnej Raby (Józefko, 1989) i dolnej Raby (Kowalski, Górka, 1989). Spośród map załączonych do tych dokumentacji, wykorzystano mapy: hydrogeologiczne utworów czwartorzędowych i podczwartorzędowych, regionów hydrogeologicznych, opadów atmosferycznych, hydrograficzną i hydrologiczną, odpływu podziemnego, dokumentacyjną i eksploatacji wód podziemnych, wszystkie opracowane w skali 1:50 000. Dane o otworach studziennych i ujętych źródłach umieszczone w tych dokumentacjach poszerzono o informacje zawarte w Banku HYDRO.



**Rysunek 1.** Położenie zlewni Raby na tle arkuszy map geologicznych i topograficznych.

Objaśnienia: 1, 2 – ramka i numer arkusza mapy w skali 1:50 000 (1), 1:200 000 (2); 3 – granica między dokumentacjami górnej Raby i dolnej Raby; 4 – zasięg i numer arkusza mapy w dokumentacji górnej Raby; 5 – arkusz mapy geologicznej z objaśnieniami; 6 – arkusz mapy geologicznej bez objaśnień; 7 – tylko objaśnienia do niewykonanego arkusza mapy geologicznej; 8 – niewykonany arkusz mapy geologicznej i objaśnienia

**Figure 1.** Localization of Raba River watershed on the background of geological maps.

Explanation: 1, 2 – frame and sheet number on map of 1:50 000 (1), 1:200 000 (2); 3 – border between hydrogeological documentation of Upper and Lower Raba River; 4 – frame and sheet number on the map in Upper Raba River documentation; 5 – geological map sheet with explanation; 6 – geological map sheet without explanation; 7 – explanation only to unfulfilled sheet of geological map; 8 – unfulfilled sheet and explanation of geological map

Do opracowania średniego z wielolecia 1956–1980 rozkładu przestrzennego wysokości opadów atmosferycznych w zlewni Raby wykorzystano część danych zamieszczonych na mapach hydrologicznych w dokumentacjach hydrogeologicznych (Józefko, 1989; Kowalski, Górka, 1989) oraz dane pozyskane z oddziału Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Krakowie. Na podstawie uzyskanych ciągów miesięcznych przepływów wód rzecznych rejestrowanych na wodowskazach w zlewni Raby w wieloleciu 1961–2000, oceniono zasoby odnawialne w jednolitych częściach wód podziemnych (Duda i in., 2006).

### 3. Warunki brzegowe modelu

Regionalny model hydrogeologiczny zlewni Raby oparto na modelu koncepcyjnym Witczaka i in. (2002) zakładającym, że aktywne krążenie wód podziemnych w Karpatach fliszowych występuje tylko w jednej strefie wodonośnej obejmującej przypowierzchniową część skał fliszowych wraz z czwartorzędowymi utworami dolin rzecznych. Zgodnie z tym, model numeryczny skonstruowano w oparciu o jedną warstwę wodonośną o charakterze swobodno–naporowym. Obliczenia symulacyjne prowadzono w reżimie filtracji ustalonej.

Warunkiem brzegowym I rodzaju  $H = f(x, y, z, t) = const$ , na modelu odwzorowano pełny kontakt hydrauliczny wód powierzchniowych Zbiornika Dobczyckiego z wodami podziemnymi. W blokach odwzorowujących jego kształt zadano stałe położenie zwierciadła wody na rzędnej +269,9 m n.p.m., odpowiadającej podstawowej rzędnej piętrzenia zbiornika przyzaporowego. Przy pomocy warunków brzegowych II rodzaju  $Q = f(x, y, z, t) = const$  symulowano na modelu wydajności ujęć studziennych i ujętych źródeł, a także wielkość zasilania wód podziemnych pochodzącą z infiltracji opadów atmosferycznych.

Warunkiem brzegowym III rodzaju  $Q = f(H_w, T_{dna\ rzeki})$ , odwzorowano na modelu ograniczony kontakt hydrauliczny wód rzek z warstwą wodonośną. Dla bloków obliczeniowych, w obrębie których biegnie ciek, określano: przewodność pionową osadów dennych, rzędną zwierciadła wody w cieku i rzędną spągu osadów dennych. Przyjęte współczynniki filtracji pionowej trzech rodzajów osadów dennych rzek w zlewni Raby podają Duda i in. (2006).

Rzędne zwierciadła wody w ciekach i długości cieków w obrębie bloków modelu określano na podstawie mapy topograficznej. W blokach modelu położonych pomiędzy punktami pomiarowymi, rzędne zwierciadła wody w ciekach określano na zasadzie interpolacji liniowej. Średnie szerokości cieków w obrębie bloków, typ litologiczny osadów dennych oraz ich miąższość, przyjmowano na podstawie bezpośrednich obserwacji terenowych.

Zdolności filtracyjne ośrodka wodonośnego charakteryzowano za pomocą przewodności hydraulicznej. Pozwala to na pominięcie deklaracji na modelu hydrodynamicznym rzędnych stropu i spągu odwzorowywanych struktur, a także współczynnika filtracji utworów przepuszczalnych. Metodę określenia zakresów zmienności wodoprzewodności struktur wodonośnych w zlewni Raby oraz jej wartości, które przyjmowano jako początkowe do kalibracji modelu hydrodynamicznego, omawiają Duda i Paszkiewicz (2007).

## 4. Zasilanie wód podziemnych z infiltracji opadów

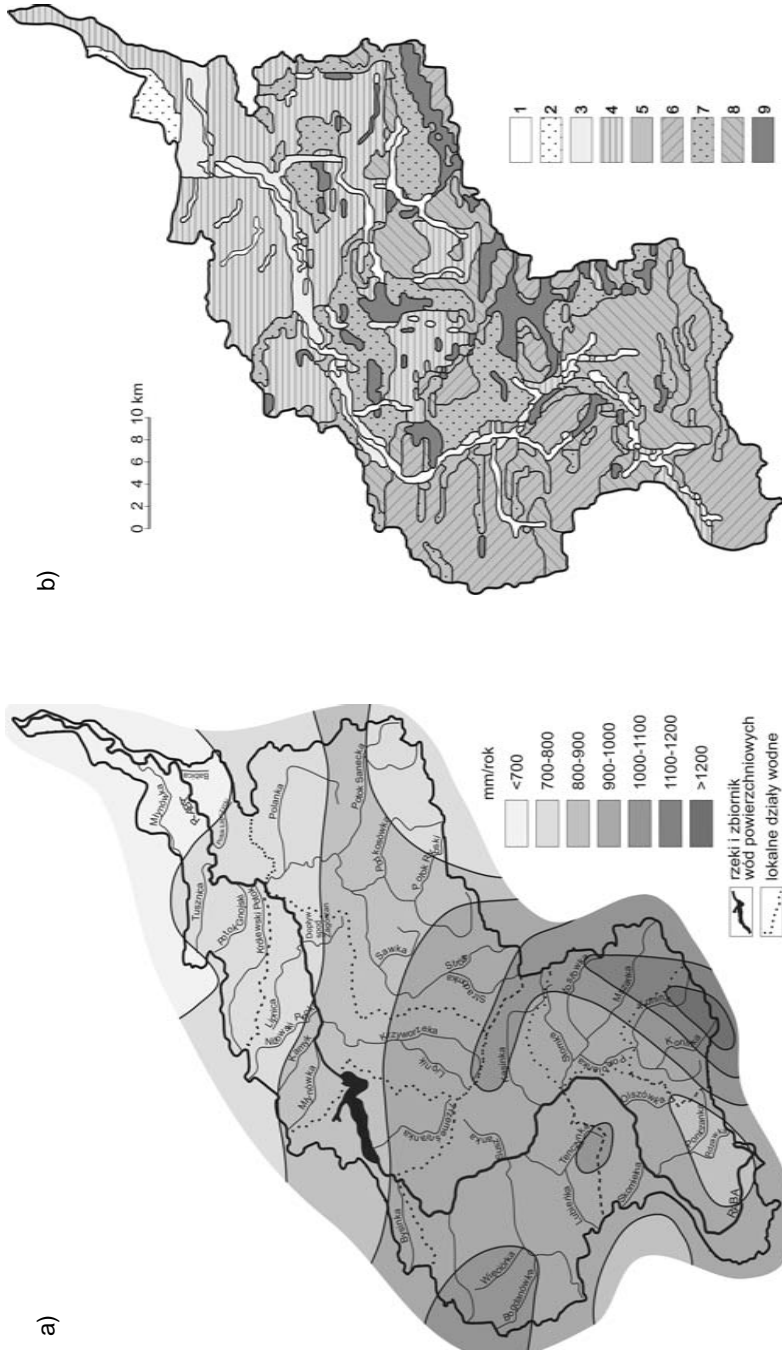
Zasilanie z infiltracji opadów atmosferycznych w poszczególnych blokach modelu obliczono jako iloczyn średniego wieloletniego opadu atmosferycznego w obrębie bloku i wskaźnika infiltracji efektywnej dla utworów powierzchniowych uznanych za przeważające w bloku. Zaczepnięty z dokumentacji hydrogeologicznych rozkład przestrzenny wysokości opadów pomiędzy stacjami pomiarowymi, wyznaczony metodą wieloboków, skorygowano lokalnie w celu uwzględnienia wpływu wysokości terenu na wysokość opadów. Uzyskano w ten sposób rozkład przestrzenny wysokości średnich opadów atmosferycznych w zlewni Raby (rys. 2a).

Na podstawie map geologicznych zakrytych w skalach 1:50 000 i 1:200 000, wydzielono rejony występowania 9 głównych typów utworów powierzchniowych (rys. 2b). Korzystanie z map w skali 1:200 000 rodziło komplikacje na stykach tych arkuszy z arkuszami map w skali 1:50 000. Autorzy arkuszy map w obu tych skalach, stosują różną terminologię dla utworów tego samego typu litologiczno-stratygraficznego i przyjmują różny stopień szczegółowości wydzielenia utworów powierzchniowych. Dodatkowo, w skali regionalnej wymagającej wykorzystania kilku arkuszy map, skutkuje to dużą łączną liczbą wydzieleni litologicznych. Z tych względów oraz z powodu przyjętego stopnia dyskretyzacji modelowanego obszaru, konieczne było grupowanie w poszczególnych blokach modelu niektórych typów litologicznych utworów powierzchniowych, nieco różniących się między sobą genetycznie i stratygraficznie.

W zlewni Raby, w obrębie Karpat zewnętrznych, wyróżniono 4 typy utworów fliszowych na podstawie ich zróżnicowania litofacjalnego: piaskowce, kompleks piaskowcowo-łupkowy, kompleks łupkowo-piaskowcowy oraz łupki (Józefko, 1989).

Utwory czwartorzędowe występują zarówno na obszarze Karpat zewnętrznych, jak i Zapadliska Przedkarpackiego. Utwory te podzielono na 5 typów litologicznych. Osady koryt rzecznych i kamieńce, a także żwiry, piaski oraz namuły koryt rzecznych zaklasyfikowano do jednej grupy, określając jako żwiry i piaski aluwialne holocenu. Drugi typ utworów czwartorzędowych to plejstocenijskie piaski grube i średnioziarniste ze żwirami. Piaski i gliny rzeczne tarasów erozyjno-akumulacyjnych określono zbiorczo jako gliny piaszczysto-pylaste. Czwarty typ określono zbiorczo jako koluwia osuwiskowe, utwory deluwialne i soliflukcyjne. Ostatnia grupa utworów czwartorzędowych to gliny pylaste, pyły, lessy, gliny zwietrzelinowe, utwory pokryw zwietrzelinowych i stokowych na fliszu.

Wydzielonym w powyższy sposób 9 głównym typom utworów powierzchniowych przypisano reprezentatywne dla nich wielkości wskaźników infiltracji efektywnej, które zamieszcza Duda i in. (2006). Następnie w poszczególnych blokach modelu obliczono zasilanie warstwy wodonośnej w wodę, określając w ten sposób zmienność przestrzenną zasilania w zlewni (rys. 3a). Rozkład przestrzenny zasilania wód podziemnych w zlewni Raby wynika ze zróżnicowania wykształcenia litologicznego utworów powierzchniowych (rys. 2b) oraz wyraźniej zmienności przestrzennej wysokości opadów atmosferycznych (rys. 2a).



**Rysunek 2.** a) Średnie opady atmosferyczne w zlewni Raby; b) litologia utworów powierzchniowych wydzielonych na modelu. Objęcia: 1 – żwiry i piaski; 2 – piaski grubo- i średnioziarniste ze żwirami; 3 – gliny piaszczysto-pylaste; 4 – gliny pylaste, pyły, gliny zwietrzelinowe, utwory zwietrzelinowe; 5 – koluwia osuwiskowe, utwory deluwialne; 6-8 – fliszowe serie piaszkowcowe; 9 – tępki  
**Figure 2.** a) Mean precipitation in Raba River watershed; b) lithology of surface material accepted on the model. Explanation: 1 – gravel and sand; 2 – coarse and medium-grained sand with gravel; 3 – sandy and silty loam; 4 – silty loam, silt, weathered loam, weathered cover strata; 5 – colluvial till, deluvial and solifluction material; 6-8 – flysch sandstone series; 9 – flysch shale



Najniższe wielkości zasilania wód podziemnych, poniżej 70 mm/rok, obserwuje się w północnej części zlewni, na obszarze Zapadliska Przedkarpaccyckiego w rejonie ujścia Raby do Wisły. Związane jest to z najniższymi w całej zlewni opadami atmosferycznymi, wynoszącymi około 700 mm/rok, oraz z wykształceniem utworów przypowierzchniowych w postaci glin i glin pylastych. Większe zasilanie, do 150 mm/rok, związane jest z wykształceniem utworów przypowierzchniowych w postaci glin piaszczystych i pylastych. Zasilanie wód podziemnych wynoszące do 220 mm/rok lokalnie obserwuje się w rejonie Młynówki w północnej części zlewni Raby, gdzie przy powierzchni występują utwory piaszczysto-żwirowe o wskaźniku infiltracji efektywnej 22%.

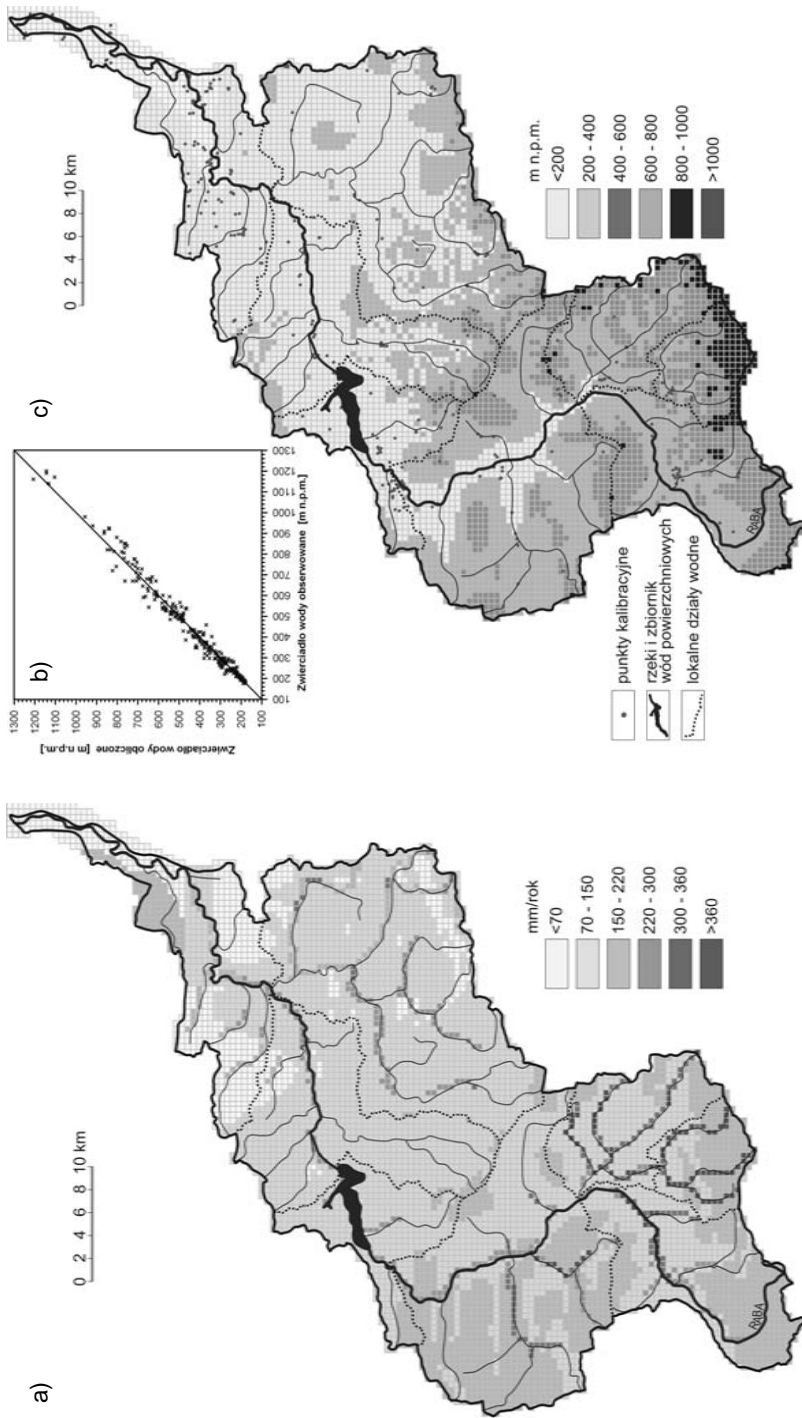
W centralnej części zlewni Raby zasilanie wód podziemnych zawiera się w przedziale od 70 do 150 mm/rok. Związane jest to z występującymi tutaj różnymi typami serii fliszowych, a także glin pylastych, pyłów i glin zwietrzelinowych, o niewielkich wskaźnikach infiltracji efektywnej, wynoszących od 8,5 do 16,5%. Na wielkość zasilania w tym rejonie mają również wpływ opady atmosferyczne w wysokości od 700 do 1000 mm/rok. Jedynie w samej dolinie Raby, gdzie występują żwiry i piaski aluwialne o wskaźniku infiltracji efektywnej przyjętym jako 30%, zasilanie zawiera się w przedziale od 150 do 220 mm/rok.

W południowej części zlewni Raby zasilanie jest wysokie i generalnie mieści się w przedziale od 150 do 220 mm/rok. Związane jest to przede wszystkim z występowaniem w tym rejonie spękanych, szczelinowatych i ławicowych piaskowców w obrębie jednostki magurskiej, którym przypisano wskaźnik infiltracji 16,5%, oraz z opadami atmosferycznymi w wysokości od 900 do 1100 mm/rok. Największe zasilanie, powyżej 300 mm/rok, występuje tylko lokalnie po północnej stronie Gorców, w dolinach strumieni górskich, szczególnie w zlewniach Porębianki i Mszanki, w okolicach Mszany Dolnej i w dolinie Olszówki. Na taką wielkość zasilania wpływ mają najwyższe w całym obszarze zlewni Raby opady atmosferyczne, w Gorcach i po ich północnej stronie przekraczające nawet 1200 mm/rok.

Zasilanie wód podziemnych w zlewni Raby obliczono dla 8 części wód podziemnych, zgodnych zlewniowo z częściami wód powierzchniowych (rys. 3a). Częściami wód powierzchniowych są główne dopływy Raby wraz z ich zlewniami (Identyfikacja..., 2006).

W celu zwiększenia stopnia wiarygodności uzyskanych wyników przeprowadzono procedurę kontrolną. Duda i in. (2006) zamieszczają porównanie zasilania wód podziemnych określone przestrzennie hydrogeologiczną metodą infiltracyjną w poszczególnych częściach wód podziemnych, z wielkościami odpływu podziemnego do rzek. Wielkości odpływu podziemnego określono hydrologiczną metodą Wundta–Killego (Jokiel, 1994; Chelmiński, 2003). Odpływ ten określony jest punktowo w przekrojach wodowskazowych zamykających części wód powierzchniowych.

Hydrologiczna metoda Wundta–Killego jest całkowicie niezależna od danych geologicznych i hydrogeologicznych wykorzystywanych w procesie modelowania. Ponadto cechuje się udowodnionym wysokim stopniem precyzji, związanym ze statystycznym wykorzystaniem wieloletnich empirycznych pomiarów przepływu wody w rzekach. Z tych względów wyniki oceny odpływu podziemnego do rzek uzyskane tą metodą, mogą być zastosowane jako właściwe odniesienie dla wyników oceny zasilania wód podziemnych określonych przestrzennie metodą infiltracyjną.



**Rysunek 3.** a) Zasilanie wód podziemnych z infiltracji opadów atmosferycznych przyjęte na modelu; b) porównanie obliczonej na regionalnym modelu hydrogeologicznym wysokości zwierciadła wód podziemnych do obserwowanej w punktach kalibracyjnych; c) wysokość zwierciadła wód podziemnych obliczona na regionalnym modelu hydrogeologicznym

**Figure 3.** a) Groundwater recharge from precipitation accepted on the model; b) comparison between groundwater head calculated on the regional hydrogeological model and observed at calibrating points; c) groundwater head calculated on the model

## 5. Układ zwierciadła wód podziemnych

Kalibracja modelu polegała na dopasowywaniu, metodą prób i błędów, przewodności hydraulicznej struktur wodonośnych, aby odwzorowany na regionalnym modelu hydrogeologicznym układ zwierciadła wód podziemnych (rys. 3c) był jak najbliższy rzeczywistości.

Punkty kalibracyjne stanowiły 322 studnie i 85 źródeł z określoną rzędną położenia zwierciadła wody. Rozmieszczenie przestrzenne tych punktów w zlewni jest nierównomierne, liczniej zlokalizowane są w północnej części zlewni i w rejonie Zbiornika Dobczyckiego.

Stopień dopasowania położenia zwierciadła wód podziemnych obliczonego na regionalnym modelu hydrogeologicznym do obserwowanego w punktach kalibracyjnych generalnie jest zadowalający. Jednak na modelu nie udało się całkowicie wyeliminować miejsc, gdzie lokalnie różnice pomiędzy tymi wysokościami są duże (rys. 3b). Różnice te wynikają między innymi z przyjętej wielkości bloków modelu regionalnego, w centrum których obliczana jest wysokość położenia zwierciadła wody. Natomiast punkty obserwacyjne, w których określona jest przyjęta do porównania wysokość położenia zwierciadła wody, często zlokalizowane są w bloku z dala od jego centrum. Na regionalnym modelu zlewni Raby odległość między rzeczywistym położeniem punktu kalibracyjnego a centrum bloku może wynosić do 250 m. W celu zmniejszenia skutków tej różnicy stosuje się interpolację. W punkcie obserwacyjnym obliczana jest średnia ważona wysokość wynikowego zwierciadła wody, gdzie wagą jest odległość między tym punktem a 4 najbliższymi centrami bloków modelu (Chiang, Kinzelbach, 2001). Jednak na modelu zlewni Raby, w wyniku znacznych deniwelacji terenu w obszarach górskich (Duda i in., 2006), nadal pozostaje pewna różnica pomiędzy interpolowaną w punktach obserwacyjnych wysokością położenia zwierciadła wody a jej rzeczywistą wartością.

W zlewni Raby widoczny jest stopniowy wzrost położenia zwierciadła wód podziemnych, od około 180 m n.p.m. u ujścia Raby do Wisły, aż do około 1200 m n.p.m. w szczytowych partiach Gorców. W północnej części zlewni występuje stosunkowo płaski obszar równinny z niewielkimi gradientami hydraulicznymi wód podziemnych. Ku południowi, wraz ze wzrostem deniwelacji terenu w rejonie podgórskim i górskim, radykalnie wzrastają także gradienty hydrauliczne. Krążenie wód podziemnych w zlewni generalnie na charakter lokalny, z silnie zmiennymi kierunkami przepływu wód podziemnych, uwarunkowanymi przepływem wód ze szczytowych partii wzniesień i gór do lokalnych baz drenażu.

## 6. Wnioski

Prawidłowy i szeroki zakres różnotematycznych materiałów źródłowych, m.in. geologicznych, hydrogeologicznych, geograficzno-kartograficznych, jak również baz danych hydrogeologicznych i wieloletnich danych hydrologicznych, wydatnie ułatwia opracowanie regionalnego modelu zlewni rzeki.

Brak całkowitego pokrycia obszaru Polski arkuszami szczegółowej mapy geologicznej w skali 1:50 000 znacznie utrudnia opracowanie regionalnych modeli zlewni rzek, ze

względu na trudności w jednolitym wydzieleniu i grupowaniu pod względem litologicznym utworów powierzchniowych na zbiorczej mapie geologicznej zlewni.

Dyskretyzacja powierzchni zlewni górskiej o takim stopniu skomplikowania hydrogeologicznego i geomorfologicznego jak zlewnia Raby, siatką o wymiarach bloków 500 na 500 m, jest zbyt uproszczona. W przypadku modelowania zlewni podobnych do zlewni Raby, zaleca się dyskretyzację w oparciu o siatkę bloków nie większych niż 250 na 250 m.

## Literatura

- Chelmicki W., 2003: *Odptyw podziemny*. [w:] Pociask–Karteczka J. [red], Zlewnia. Właściwości i procesy. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz., Wyd. Uniw. Jagiellońskiego, p.207–214, Kraków.
- Chiang W.-H., Kinzelbach W., 2001: *3D-Groundwater Modeling with PMWIN*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Duda R., Zdechlik R., Paszkiewicz M., 2005: *Ocena antropogenicznych oddziaływań na stan jakości wód podziemnych i ich skutków w kontekście RDW – przykład zlewni Raby*. [w:] Sadurski A., Krawiec A. [red], Współczesne problemy hydrogeologii. T. XII, p. 181–188, Toruń.
- Duda R., Zdechlik R., Paszkiewicz M., 2006: *Kilka uwag o modelowaniu matematycznym zlewni Raby*. [w:] Dragon K. i in. [red], Modelowanie przepływu wód podziemnych, Geologos (10), Inst. Geologii, Uniw. A. Mickiewicza, Poznań, p.47–56.
- Duda R., Paszkiewicz M., 2007: *Wydatek jednostkowy studni podstawą oceny przewodności struktur wodonośnych w zlewni Raby*. [w:] Współczesne problemy hydrogeologii. T. XIII, Kraków–Krynica (w niniejszym tomie).
- 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. Inż. Środowiska, Monografia nr 318, 192p., Kraków.
- Identyfikacja..., 2006: *Identyfikacja i ocena antropogenicznych oddziaływań na zasoby wodne zlewni Raby dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych*. Nachlik E. [red.], Wyd. Politechniki Krakowskiej, ser. Inż. Środowiska, Monografia nr 340, Kraków.
- Jokiel P., 1994: *Zasoby, odnawialność i odptyw wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*. Acta Geograph. Lodz., nr 66–67: 236p., Łódź.
- Józefko I., 1989: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rozpoznanych w kategorii „C” w rejonie dorzecza górnej Raby*. Przedsiębiorstwo Geologiczne, Kraków (nie publ.).
- 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 publ.).
- Witczak S., Duńczyk L., Motyka J., Oszczytko N., 2002: *Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpackiego na przykładzie zlewni Krynicy (Płaszczowina Magurska)*. Biul. PIG, 404:263–290, Warszawa.

*Badania zostały częściowo zrealizowane i sfinansowane w ramach prowadzonych w Zakładzie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie badań statutowych (umowa 11.11.140.139) i badań własnych (umowa 10.10.140.167).*