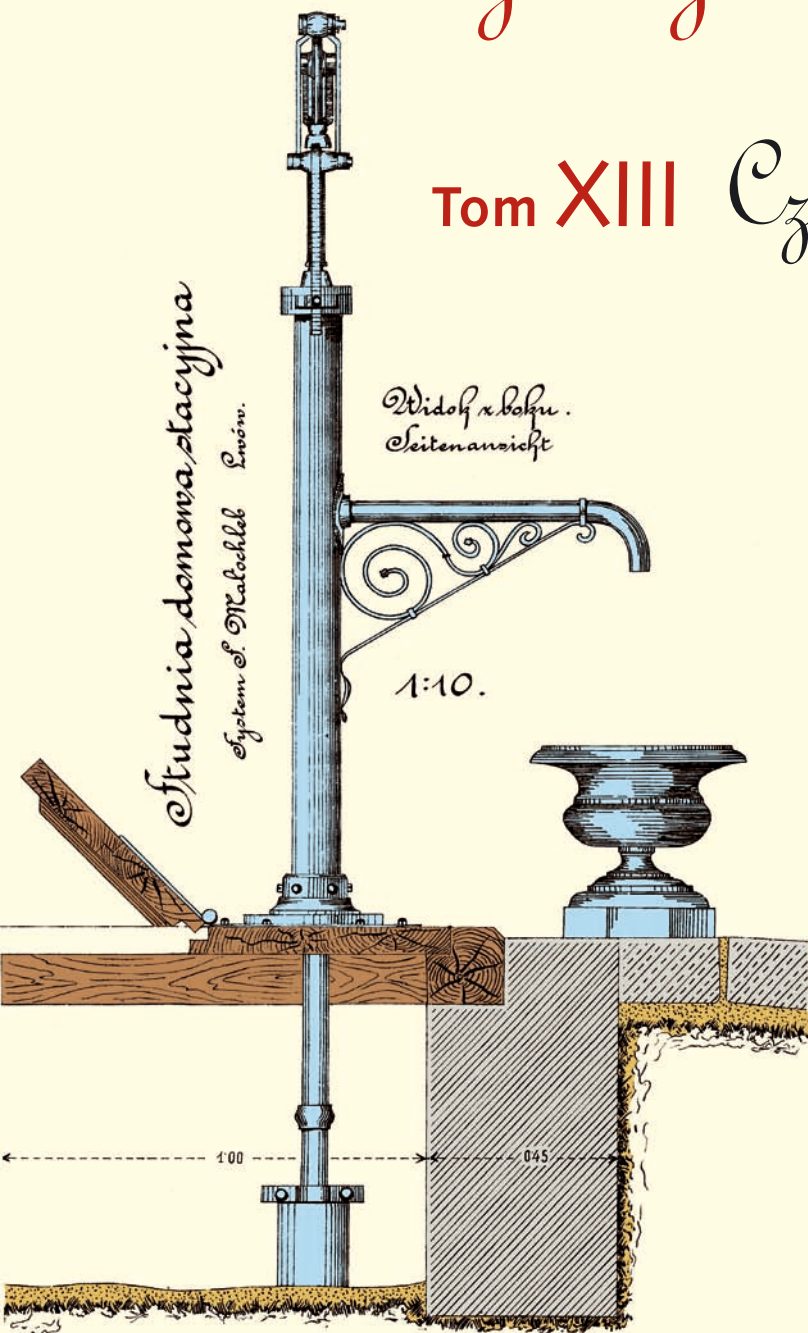


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.



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

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

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

Robert Duda, Magdalena Paszkiewicz

Wydatek jednostkowy studni podstawą oceny przewodności struktur wodonośnych w zlewni Raby

Specific Capacity of a Well as a Base for the Transmissivity Assessment of Water-Bearing Structures in the Raba River Watershed

Słowa kluczowe

wydatek jednostkowy studni, przewodność hydrauliczna, metoda Jetela-Krasnego, zlewnia Raby

Key words

specific capacity of a well, transmissivity, Jetel-Krasny method, Raba river watershed

Abstract

Based on aquifer tests results transmissivity evaluation of water-bearing structures for the Raba river watershed hydrogeological modelling is presented. Jetel-Krasny method of approximate transmissivity assessment on the basis of a well specific capacity was used. The assessment has been led on the base of data from 220 wells abstracting water from porous Quaternary aquifer and from 65 wells abstracting water from fissured-porous Tertiary-Cretaceous aquifer (flysch). There was selected 7 major types of water-bearing structures in Raba river watershed. There was received approximate variability ranges of Quaternary aquifer transmissivity: fine, silty and loamy sand: 11–200 m²/d, coarse and medium-grained sand with gravel: 22–290 m²/d and gravel and cobbles: 80–1200 m²/d, and variability range of flysch complexes transmissivity: sandstone complex: 1,2–58 m²/d, sandstone-shale complex: 1,2–10 m²/d and shale-sandstone complex: 0,09–1,7 m²/d. There was accepted transmissivity value 0,05 m²/d for shale complex.

1. Wprowadzenie

Konieczność określenia przedziału zmienności przewodności hydraulicznej utworów wodonośnych pojawiła się podczas tworzenia regionalnego modelu przepływu wód podziemnych w zlewni Raby (Duda i in., 2006, 2007; Identyfikacja..., 2006). Model ten stanowił podstawę modelu migracji zanieczyszczeń, który realizowano w celu wskazania jednolitych części wód podziemnych w zlewni Raby, zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000; Identyfikacja..., 2004, 2006).

Przyjęto założenie, że prawidłowe określenie wodoprzewodności regionalnych struktur hydrogeologicznych, jakimi są części wód podziemnych, powinno być oparte na łatwo dostępnej danej empirycznej, która dodatkowo cechuje się relatywnie wysokim wskaźnikiem pewności. Drugim założeniem jest wykorzystanie możliwie dużej liczby danych zawartych w takim źródle informacji, jak np. Bank HYDRO.

Na większości obszaru zlewni Raby utworami wodonośnymi są skały trzeciorzędowo-kredowe (flisz), jest to ośrodek typu szczelinowo-porowego. Charakteryzuje się on znacznym zróżnicowaniem parametrów hydrogeologicznych na granicy między systemem przypowierzchniowych szczelin i spękań, a blokami masywu skalnego (Witczak i in., 2002). Zróżnicowanie parametrów tego ośrodka wynika głównie ze zróżnicowania typów litologicznych skał, występujących naprzemiennie w pakietach poszczególnych warstw fliszowych. To zróżnicowanie, i w konsekwencji niepewność oceny wielkości reprezentatywnej, dotyczy szczególnie współczynnika filtracji skał. Oprócz tego, zawarte w Banku HYDRO współczynniki filtracji utworów szczelinowo-porowych często nie są obliczane właściwie (Józefko, Motyka, 1993), co również wpływa na ich niepewność.

Oceny wielkości przewodności hydraulicznej ośrodka można dokonać na podstawie wyników próbnych pompowań. Wielu badaczy zwraca uwagę na teoretyczny i empiryczny związek między wydajnością jednostkową studni, a przewodnością ujętej strefy wodonośnej, co przypominają m.in. Witczak i in. (1999). Dodatkowo oba te parametry charakteryzują się logarytmiczno-normalnym rozkładem zmienności, podobnie jak współczynnik filtracji. Wykorzystanie tego związku szerzej rozwinęli m.in. Jetel i Krasny, najpierw wspólnie (Jetel, Krasny, 1968), a potem niezależnie (Jetel, 1995a, b; Jetel, Vranovska, 1997; Krasny, 1993a, b, c). W Polsce zależność tę wykorzystywali Staško i Tarka (1995), Staško (1996), a później inni, np. Witczak i in. (1999, 2002) czy Kolber i Leśniak (1999).

W tej sytuacji określenie regionalnej wodoprzewodności struktur piaskowcowych czy piaskowcowo-łupkowych w zlewni Raby, zostało oparte właśnie na wydatku jednostkowym studni czyli danej cechującej się większą pewnością niż współczynnik filtracji.

2. Zależność przewodności od wydatku jednostkowego studni

Dla ustalonych warunków przepływu wód podziemnych i przy założeniu 100% efektywności studni, rozwiązanie równania Dupuit'a-Thiema ze względu na przewodność (T) ma postać:

$$T = \frac{Q}{s} \frac{1}{2\pi} \ln \frac{R}{r} \quad (1)$$

gdzie: T – przewodność warstwy wodonośnej [L^2T^{-1}], Q – stały wydatek wody ze studni [L^3T^{-1}], s – depresja w studni pompowanej [L], R – promień lejki depresji [L], r – promień studni [L]; skąd otrzymuje się:

$$T = C \frac{Q}{s} \quad (2)$$

gdzie C jest stałą (współczynnikiem) charakteryzującą związek wodoprzewodności (T) z wydatkiem jednostkowym studni (Q/s). Zarówno dla ustalonych, jak i nieustalonych warunków przepływu wód podziemnych, stała C teoretycznie zawiera się w granicach od 0,9 do 1,5, średnio przyjmując wartość 1,2. Jeżeli przewodność wyrażona jest w m^2/d , a wydatek jednostkowy w $l/s/m$, otrzymuje się wartość stałej C bardzo bliską 100, a dokładnie: $1,2 \cdot 86,4 = 103,7$. Wartość stałej C jest specyficzna dla indywidualnego otworu studziennego. Można przyjąć, że rozkład jej zmienności ma charakter normalny, ze średnią bliską 100. Jest to podstawą metody Jetela i Krasnego (1968) przybliżonej oceny przewodności hydraulicznej ośrodka wodonośnego na podstawie wydatku jednostkowego studni.

Korelację przewodności (T) obliczonej na podstawie współczynników filtracji i miąższości zawartych w Banku HYDRO, od wydajności jednostkowej studni (q) uzyskanej empirycznie dla tych samych próbnych pompowań, udowodnili również Witczak i in. (1999).

Zmienność wodoprzewodności ośrodka jest podstawą wydzielenia 6 klas wodoprzewodności, od bardzo wysokiej do nieznacznej (Krasny, 1993a; Staško, Tarka, 1995; Staško, 1996; Witczak i in., 1999). Przyjmując, że rozkład zmiennej ma charakter logarytmiczno-normalny można go modelować, czyli aproksymować linią prostą na wykresie prawdopodobieństwa. Modelowanie to ułatwia ocenę zmienności i jest zalecane, chociaż nie jest bezwzględnie konieczne. Za typowy dla danego ośrodka wodonośnego uznaje się przedział zmienności wodoprzewodności w zakresie ± 1 odchylenia standardowego (σ) od mediany czyli wartości środkowej zbioru. Przedział zmienności odczytuje się z wykresu, na skali przewodności (rys. 1).

Wystąpienie odchyżeń od modelu będącego linią prostą wymaga analizy, czy konieczny jest podział badanej struktury wodonośnej na struktury bardziej szczegółowe. Nachylenie modelu zmienności na wykresie jest graficznym obrazem zmienności parametrów hydrogeologicznych, czyli zróżnicowania środowiska występowania wód podziemnych. Miarą heterogeniczności ośrodka jest wielkość odchylenia standardowego (σ) mierzona na skali wskaźnika (Y) wydajności jednostkowej studni (Krasny, 1993a; Staško, Tarka, 1995; Staško, 1996; Witczak i in., 1999).

3. Warunki hydrogeologiczne zlewni Raby

Większość obszaru zlewni Raby znajduje się w zewnętrznej, fliszowej części masywu Karpackiego, tylko mniejsza, północna część leży w obrębie Zapadliska Przedkarpackiego. Wody podziemne występują w utworach czwartorzędowych oraz trzeciorzędowo-

kredowych, fliszowych. Szczegółowo budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne w zlewni Raby przedstawiają m.in. Józefko (1989), Duda i in. (2006) oraz Identyfikacja... (2006).

Wodonośność skał fliszowych generalnie jest niska, silnie zróżnicowana przestrzennie i ma charakter szczelinowo-porowy, gdzie o przepuszczalności ośrodka i wydajności studni decyduje szczelinowatość (Nałęcki i in., 2002). Warunki krążenia wód szybko pogarszają się 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 rzeczny. Strefa aktywnej wymiany wód sięga do głębokości około 60–100 m p.p.t. (Witczak i in., 2002).

Na podstawie map geologicznych w skali 1:50 000 i 1:200 000, które wymieniają Duda i in. (2007), opracowano mapę występowania 7 głównych typów litologicznych struktur wodonośnych (rys. 2).

Czwartorzędowe struktury wodonośne występujące na obszarze Karpat zewnętrznych i Zapadliska Przedkarpacciego podzielono na 3 typy. Do pierwszego typu, o największej wodonośności, zaliczono warstwę wodonośną w utworach akumulacyjnych dolin rzecznych, głównie Raby i Stradomki, wykształconą jako żwiry i otoczaki. Pozostałe 2 typy struktur, o niższej wodonośności, występują głównie w obszarze Zapadliska Przedkarpacciego. Do tych struktur zaliczono piaski grube i średnie ze żwirami w obrębie tarasów zalewowych i nadzalewowych Raby, a także występującą poza dolinami rzek warstwę wodonośną w piaskach drobnych, pylastych i gliniastych.

Struktury wodonośne w skałach fliszowych podzielono na 4 typy. Wstępnie przyjęto podział ze względu na zróżnicowanie wydajności eksploatacyjnej studni zaproponowany przez Józefko (1989). Następnie podział ten zmodyfikowano na podstawie wielkości wydatków jednostkowych studni. Za najbardziej wodonośne uznano kompleksy średnio- i gruboławicowych, szczelinowatych piaskowców, wykształcone jako piaskowce magurskie, ciężkowickie, osieleckie i pasierbickie. Występują one szczególnie w południowej i zachodniej części zlewni oraz w rejonie źródłiskowym Raby. Do kompleksów o niższej wodonośności, piaskowcowo-łupkowych, zaliczono warstwy lgockie, istebniańskie, podmagurskie, krośnieńskie, hieroglifowe, gezowe dolne. Wykształcone są w postaci piaskowców cienko-, średnio- lub gruboławicowych z przelawiczeniami łupków. Kolejny typ struktur wodonośnych to kompleksy łupkowo-piaskowcowe, które obejmują warstwy łąckie, belowskie, inoceramowe (ropianieckie). Zbudowane są z naprzemianległych cienko- i średnioławicowych piaskowców z łupkami, które dominują nad piaskowcami. Do tej grupy zaliczono także margle. Za czwarty typ struktur w skałach fliszowych uznano bardzo słabo wodonośne kompleksy łupkowe.

4. Ocena przewodności struktur wodonośnych

Wydatki jednostkowe studni zlokalizowanych w zlewni Raby określono na podstawie wyników próbnych pompowań zawartych w Banku HYDRO. Dodatkowo zanalizowano dane z kilku otworów, które były zawarte w regionalnych dokumentacjach hydrogeologicznych

(Józefko, 1989; Kowalski, Górka, 1989). Zanalizowano dane z 65 studni ujmujących wody szczelinowo-porowego fliszowego poziomu trzeciorzędowo-kredowego i 220 studni ujmujących wody porowego poziomu czwartorzędowego.

Wydatki jednostkowe studni naniesione na wykres prawdopodobieństwa, stały się podstawą oceny zakresu zmienności wodoprzewodności głównych typów struktur wodonośnych wydzielonych w zlewni Raby (rys. 1, tab. 1). W tabeli 1 zamieszczono również wartości median wodoprzewodności poszczególnych typów struktur, przyjęte jako wartości początkowe do procesu dalszej kalibracji modelu hydrogeologicznego zlewni. W trakcie kalibracji, metodą prób i błędów korygowano wielkości przewodności struktur wodonośnych tak, aby obliczony na modelu poziom zwierciadła wód podziemnych był jak najbliższy rzeczywistemu. Korektę realizowano w dopuszczalnym przedziale będącym zakresem zmienności przewodności poszczególnych typów ośrodków wodonośnych. Stopień dopasowania poziomu zwierciadła wód podziemnych obliczonego na modelu do poziomu zwierciadła obserwowanego w rzeczywistości zamieszczają Duda i in. (2007).

Tabela 1. Wielkości przewodności struktur wodonośnych (T) wydzielonych w zlewni Raby
Table 1. Transmissivity of water-bearing structures (T) selected in the Raba river watershed

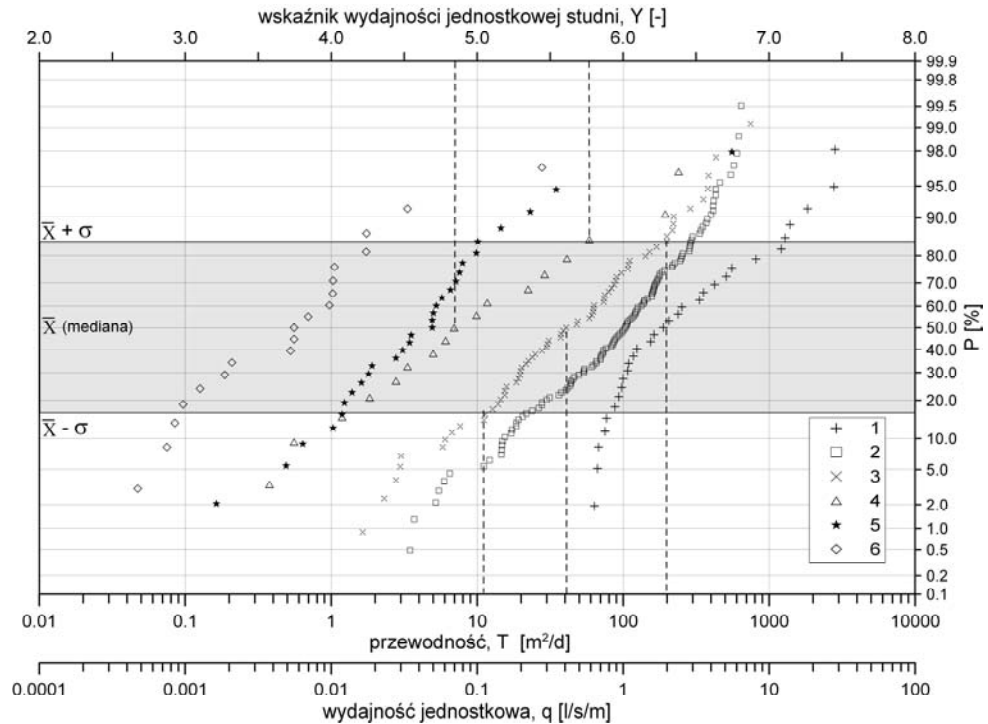
UTWORY WODONOŚNE		PRZEWODNOŚĆ (T), m ² /d	
		Zakres zmienności	Wartość początkowa przed kalibracją modelu
Czwartorzęd	Żwiry, otoczaki	80-1200	190
	Piaski grube i średnie ze żwirami	22-290	100
	Piaski drobne, pyłaste, gliniaste	11-200	41
Trzeciorzęd – kreda	Kompleksy piaskowcowe: magurskie, ciężkowickie, osieleckie, pasierbickie	1,2-58	6,9
	Kompleksy piaskowcowo-lupkowe: warstwy: lgockie, istebniańskie, podmagurskie, krośnieńskie, hieroglify, gezwowe dolne, godulskie środkowe lub nierozdzielone, biotyowe	1,2-10	4,9
	Kompleksy lupkowo-piaskowcowe: warstwy: łąckie, beloweskie, inoceramowe (ropianieckie), cieszyńskie górne, grodziskie, gezwowe górne, godulskie dolne i górne, nadmagórskie, margle	0,09-1,7	0,56

Czwartorzędowe utwory aluwialne dolin rzek, głównie Raby i Stradomki, wykształcone jako żwiry i otoczaki (rys. 2), charakteryzują się wodoprzewodnościami od 80 do 1200 m²/d, są zatem strukturami o generalnie wysokiej przewodności hydraulicznej. Szacunkowa wydajność studni ujmujących wodę z tych ośrodków wodonośnych przy depresji 5 m wynosi 18–180 m³/h. Piaski grube i średnie ze żwirami tarasów zalewowych i nadzalewowych Raby, charakteryzują się wodoprzewodnościami od 22 do 290 m²/d, są więc strukturami o średniej i wysokiej przewodności hydraulicznej. Niższy zakres zmienności przewodności utworów czwartorzędowych, wynoszący od 11 do 200 m²/d, obserwuje się dla piasków drobnych,

pylastych i gliniastych występujących poza dolinami rzek. Są to więc generalnie struktury o średniej przewodności hydraulicznej. Szacunkowa wydajność studni ujmujących wodę z tego ośrodka wodonośnego przy depresji 5 m mieści się w zakresie 1,8–18 m³/h.

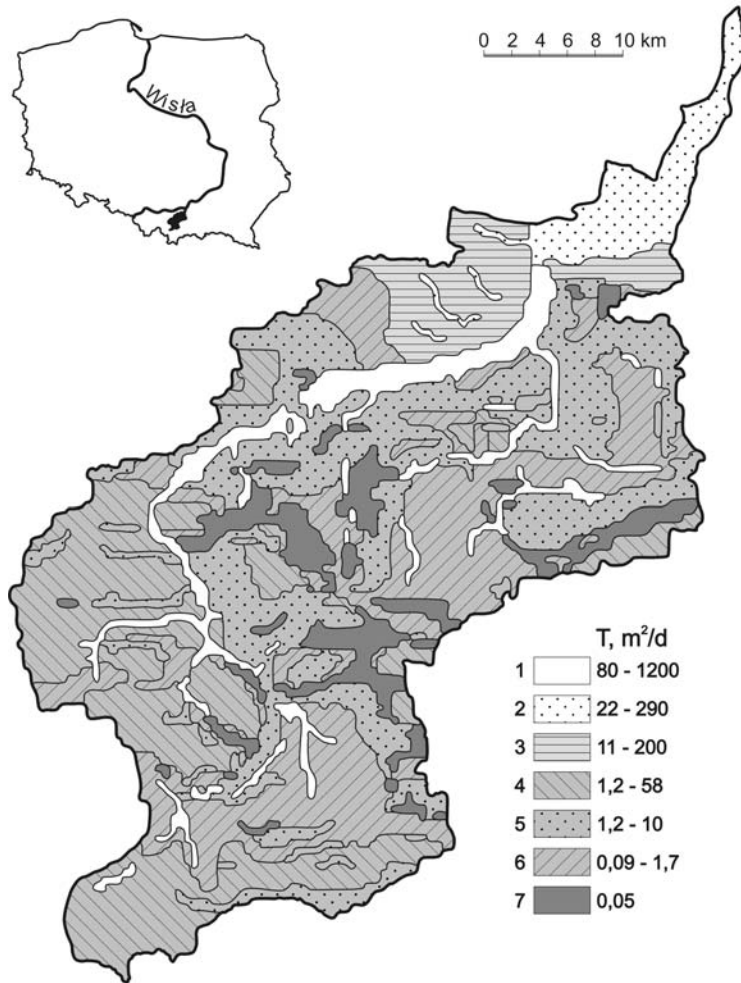
Odchylenia standardowe wartości wskaźnika wydajności jednostkowej studni (Y) wszystkich 3 typów czwartorzędowych struktur wodonośnych w zlewni Raby, zawierają się w przedziale 0,55–0,6. Według klasyfikacji Staški (1996) świadczy to o średniej zmienności wodoprzewodności struktur wodonośnych, czyli o średnim zróżnicowaniu wewnętrznym tych środowisk występowania wód podziemnych.

Kompleksy piaskowcowe skał fliszowych charakteryzują się przewodnościami wynoszącymi od 1,2 do 58 m²/d. Zaliczają się zatem do struktur o niskiej i średniej przewodności hydraulicznej, a szacunkowa wydajność studni ujmujących wodę z tych ośrodków wodonośnych przy depresji 5 m, mieści się w przedziale 0,18–18 m³/h.



Rysunek 1. Zmienność przewodności struktur wodonośnych (T) i wydajności jednostkowej studni (q) ujmujących wody podziemne w zlewni Raby. Objaśnienia: 1 — żwiry i otoczaki; 2 — piaski grube i średnie ze żwirami; 3 — piaski drobne, pylaste i gliniaste; 4 — kompleksy piaskowcowe; 5 — kompleksy piaskowcowo-łupkowe; 6 — kompleksy łupkowo-piaskowcowe

Figure 1. Variation of aquifer transmissivity (T) and specific capacity of wells (q) abstracting groundwater in Raba river watershed. Explanations: 1 — gravel and cobbles; 2 — coarse and medium-grained sand with gravel; 3 — fine, silty and loamy sand; 4 — sandstone complex; 5 — sandstone-shale complex; 6 — shale-sandstone complex



Rysunek 2. Litologia i przewodność struktur wodonośnych (T) w zlewni Raby. Objasnienia:

1 — żwiry i otoczaki; 2 — piaski grube i średnie ze żwirami; 3 — piaski drobne, pylaste i gliniaste; 4 — kompleksy piaskowcowe; 5 — kompleksy piaskowcowo-łupkowe; 6 — kompleksy łupkowo-piaskowcowe; 7 — kompleksy łupkowe

Figure 2. Lithology and transmissivity of water-bearing structures (T) in Raba river watershed. Explanations: 1 — gravel and cobbles; 2 — coarse and medium-grained sand with gravel; 3 — fine, silty and loamy sand; 4 — sandstone complex; 5 — sandstone-shale complex; 6 — shale-sandstone complex; 7 — shale complex

Kompleksy piaskowcowo-łupkowe charakteryzują się mniejszymi przewodnościami, wynoszącymi od 1,2 do 10 m²/d. Są to kompleksy skał o niskiej przewodności hydraulicznej. Szacunkowa wydajność studni ujmujących wodę z tych ośrodków wodonośnych, przy depresji 5 m wynosi 0,18–1,8 m³/h. Dla kompleksów łupkowo-piaskowcowych określono jeszcze mniejsze wodoprzewodności, od 0,09 do 1,7 m²/d. Jest więc to kompleks skał

o bardzo niskiej przewodności hydraulicznej. Szacunkowa wydajność studni ujmujących wodę z tych ośrodków wodonośnych, przy depresji 5 m wynosi tylko 0,018–0,18 m³/h. Kompleksy tego typu skał występują szczególnie w południowo-zachodniej części zlewni.

Odchylenie standardowe wartości wskaźnika wydajności jednostkowej studni (Y) dla kompleksów piaskowcowych wynosi 0,83, zawierając się w przedziale świadczącym o bardzo dużej zmienności wodoprzewodności, czyli o bardzo zróżnicowanym środowisku hydrogeologicznym. Dla kompleksów piaskowcowo-łupkowych wynosi około 0,5 czyli charakteryzują się one średnią zmiennością wodoprzewodności i średnim zróżnicowaniem hydrogeologicznym ośrodka. Natomiast dla kompleksów łupkowo-piaskowcowych odchylenie standardowe wskaźnika Y wynosi około 0,65 co świadczy o dużej zmienności wodoprzewodności, czyli o bardzo zróżnicowanym środowisku hydrogeologicznym.

Kompleksy łupkowe zaliczają się do struktur wodonośnych o nieznacznej przewodności hydraulicznej i jako wartość reprezentatywną przyjęto dla nich 0,05 m²/d. Te praktycznie niewodonośne kompleksy występują na niewielkich obszarach, na ogół w centralnej części zlewni Raby.

5. Wnioski

Wodoprzewodność struktur wodonośnych w skałach fliszowych w zlewni Raby jest generalnie niska i silnie zróżnicowana przestrzennie. Im większy jest udział facji piaskowcowej w kompleksach skał fliszowych, tym wyższa jest ich przewodność.

Potwierdzono efektywność metodyki wykorzystania wydajności jednostkowej studni do klasyfikacji zmienności przewodności ośrodka. Jest to więc metoda odpowiednia do zadań związanych z tworzeniem modeli hydrogeologicznych, realizowanych w celu ocen presji oraz stanu części wód podziemnych. Oceny te dążą do wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych Ramowej Dyrektyw Wodnej.

Literatura

- Duda R., Paszkiewicz M., Zdechlik R., 2007: *Wybrane elementy regionalnego modelu hydrogeologicznego zlewni Raby*. [w:] Współczesne problemy hydrogeologii. T. XIII, Kraków-Krynica.
- 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, p. 47-56, Poznań.
- Identyfikacja..., 2004: *Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych*. Nachlik E. [red.], Wyd. Politech. Krakowskiej, ser. Inżynieria Środowiska, Monografia nr 318, p.192, 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. Politech. Krakowskiej, ser. Inżynieria Środowiska, Monografia nr 340, Kraków.
- Jetel J., 1995a: *Acquisition of Data for Regional Assessment of Permeability and Transmissivity*. Proc. of First Croatian Geolog. Congress, Opatija. p. 251-254, Zagreb.
- Jetel J., 1995b: *Utilizing data on specific capacities of wells and water-injection rates in regional assessment of permeability and transmissivity*. Slovak Geol. Mag., 1: 7-18.

- Jetel J., Krasny J., 1968: *Approximative Aquifer Characteristics in Regional Hydrogeological Study*. Vest. Ustr. Ust. Geol., Praha, 51(1): 47-50.
- Jetel J., Vranovska A., 1997: *Priepustnost' a prietocnost' hornin Hornadskej kotliny*. Mineralia Slovaca, 29: 218-226.
- 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, p. 73-78, Wrocław.
- Kolber E., Leśniak J., 1999: *Możliwość wykorzystania metod Krasnego przy ustalaniu granic Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP 409) – Niecka Miechowska SE* [w:] Krajewski S., Sadurski A. [red.], *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX, p.141-146, Warszawa-Kielce.
- Kowalski J., Górka J., 1989: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych rozpoznanych w kategorii „C” na obszarze dorzeczy Raby, Uszwicy i Dunajca w obrębie zapadliska przedkarpaccyckiego*. Kraków (nie publikowane).
- Krasny J., 1993a: *Classification of transmissivity magnitude and variation*. Ground Water, 31(2): 230-236.
- Krasny J., 1993b: *Prevailing transmissivity of rocks in the Czech part of the Krkonose and Jizerske Hory Mountains*. [w:] Poprawski L., Bocheńska T. [red.], *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. T. VI, p. 79-86, Wrocław.
- Krasny J., 1993c: *Hydrogeological Map of the Czech Republic: a quantitative and standardized approach to hard rocks representation*. Proc. of 23rd Congress IAH, Oslo.
- Nałęcki P., Reško D., Schmalz A., Witczak S., 2002: *Charakterystyka parametrów hydrogeologicznych szczelinowo-porowego złoża wód leczniczych w Krynicy*. Biul. PIG, 404: 145-163, Warszawa.
- RDW, 2000: *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej*. Official Jour. of Euro.Com., L 327, Brussels.
- Staško S., 1996: *Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich*. Prace Geol.-Min., v.LIII, Wyd. Uniw. Wrocławskiego, 86 p., Wrocław.
- Staško S., Tarka R., 1995: *Przewodność hydrauliczna skał krystalicznych bloku przedsudeckiego*. Przegląd Geologiczny, 43(9): 767-771.
- Witczak S., Duda R., Foryciarz K., 1999: *Wydatek jednostkowy studni jako proponowana podstawowa charakterystyka wodonośności dla potrzeb MhP 1: 50000*. [w:] Krajewski S., Sadurski A. [red.], *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX, p. 357-364, Warszawa-Kielce.
- Witczak S., Duńczyk L., Motyka J., Oszczytko N., 2002: *Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpaccyckiego na przykładzie zlewni Kryniczanki (Płaszczowina Magurska)*. Biul. PIG, 404: 263-290, Warszawa.

Badania częściowo zrealizowano i sfinansowano 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).