

Zasoby wód podziemnych obszarów chronionych górnourajskiego poziomu wodonośnego w regionie krakowskim

JACEK RÓŹKOWSKI¹, ANNA ŻUREK²

¹ Katedra Geomorfologii, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, jacek.rozkowski@us.edu.pl

² Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, zurek@agh.edu.pl

Zarys treści: Na podstawie wyników badań modelowych wykonanych w 2000 r. stwierdzono, że o odnawialności wód podziemnych górnourajskiego poziomu wodonośnego decyduje infiltracja wód atmosferycznych. Za miarę odnawialności zasobów wód podziemnych na analizowanym obszarze przyjęto całkowity odpływ podziemny. Moduł tego odpływu wynosi w zlewniach cząstkowych: Prądnika – $6,06 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; Rudawy – $6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; Dłubni – $4,85 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a przeciętnie dla całego modelowanego obszaru $5,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Uwzględniając kryteria hydrogeologiczne i środowiskowe oszacowano, że zasoby dyspozycyjne mogą stanowić w zlewniach cząstkowych: Dłubni i Rudawy – 25%, a w zlewni Prądnika – 10% zasobów odnawialnych.

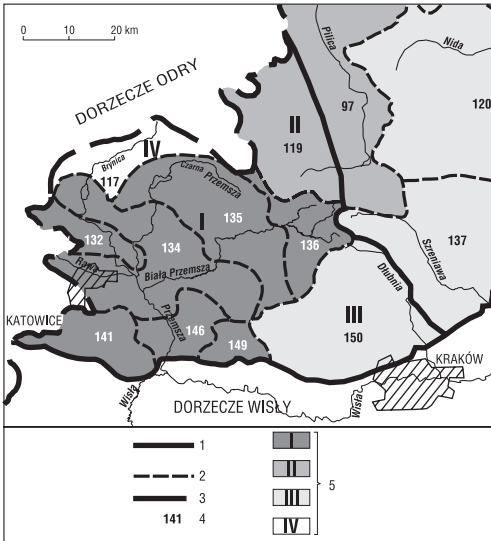
Słowa kluczowe: zasoby wód podziemnych, poziom górnourajski, obszary chronione, okolice Krakowa

Key words: groundwater resources, Upper Jurassic aquifer, protected areas, Krakow region

Wstęp

Ochrona wód podziemnych ma duże znaczenie dla stanu wód powierzchniowych i ekosystemów wodnych lub lądowych. Najważniejszym aktem prawnym Unii Europejskiej regulującym gospodarowanie wodami w krajach członkowskich jest Ramowa Dyrektywa Wodna ukierunkowana (z innymi aktami prawnymi) przede wszystkim na ochronę jakościową zasobów wodnych, zwłaszcza powierzchniowych (*Dyrektywa...* 2000). Wśród zasadniczych zmian w podejściu do gospodarowania wodami, w stosunku do dotychczasowego ustawodawstwa, jest wprowadzenie pojęcia „jednolitej części wód” (water body), jako podstawowej, przestrzennej jednostki, do której należy odnosić charakterystykę stanu wód, oraz dla której należy ustalać cele środowiskowe i programy działań.

Jednolite Części Wód Podziemnych (JCWPd) (groundwater bodies) obejmują wody podziemne, które występują w warstwach wodonośnych o porowatości i przepuszczalności umożliwiającej znaczący pobór dla zaopatrzenia ludności w wodę (średnio więcej niż $10 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ z pojedynczej studni, albo wystarczający dla co najmniej 50 osób) lub przepływ o natężeniu istotnym dla kształtowania pożądanego stanu wód powierzchniowych



Ryc. 1. Systemy krążenia wód podziemnych oraz JCWPd w zachodniej części wyżynnego subregionu środkowej Wisły (Kowalczyk i in. 2007)

1 – granica subregionu środkowej Wisły wyżynnego – część zachodnia, 2 – granica JCWPd, 3 – dział wód powierzchniowych I rzędu, 4 – numer GWB, 5 – systemy wód podziemnych

Fig. 1. Groundwater flow system and GWBs within the upland subregion of the Middle Vistula river – the western part (Kowalczyk et al. 2007)

1 – boundary of the upland subregion of the Middle Vistula river – the western part, 2 – boundary of JCWPd, 3 – watershed of the first order, 4 – GWB number, 5 – groundwater systems

cie „dostępne zasoby wód podziemnych”. Są one rozumiane jako średnia z wielolecia wielkość całkowitego zasilania JCWPd, pomniejszona o wielkość przepływu wymaganego do osiągnięcia określonych celów jakości ekologicznej wód powierzchniowych związanych z wodami podziemnymi, tak, aby nie dopuścić do znacznego pogorszenia stanu ekologicznego takich wód oraz do powstania szkód w związanych z nimi ekosystemach lądowych (Kazimierski 2007). Przykładem terenów, dla których w pierwszej kolejności należy oszacować dostępne zasoby wód podziemnych, są obszary chronione w rejonie Krakowa zlokalizowane w zasięgu występowania zbiornika górnourajskiego. Obszary te obejmują głównie doliny rzeczne (zwłaszcza dna dolin), gdzie głębokość do zwierciadła wód podziemnych jest najmniejsza. Tam też obserwuje się silne oddziaływanie wahań zwierciadła wód gruntowych na ekosystemy lądowe, zwłaszcza na rośliny wrażliwe na jego obniżanie.

i ekosystemów lądowych (Dyrektywa... 2000). Obszar Polski spełnia wymagania JCWPd. Wyżyna Krakowska – zgodnie z regionalizacją hydrogeologiczną Polski B. Paczyńskiego i A. Sadurskiego (red. 2007) – znajduje się w regionie środkowej Wisły, subregionie środkowej Wisły wyżynnym w części zachodniej, w obrębie JCWPd o numerach 150 i 136 (ryc. 1; Kowalczyk i in. 2007). JCWPd nr 150 (884,4 km²) obejmuje zlewnie Rudawy, Prądnika i Dłubni, natomiast JCWPd nr 136 (267,1 km²) – zlewnię Białej Przemszy. Na obu tych obszarach, kolektorem wód podziemnych są wapienie górnourajskie o miąższości powyżej 40 m, reprezentujące typ wodonośca szczelinowo-krasowego, o wodoprzepuszczalności odpowiednio $1 \cdot 10^{-7}$ – $3 \cdot 10^{-4}$ m·s⁻¹ (przeciętnie $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-5}$ m·s⁻¹) oraz $1 \cdot 10^{-7}$ – $3 \cdot 10^{-3}$ m·s⁻¹ (przeciętnie $3 \cdot 10^{-5}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ m·s⁻¹). Charakteryzuje je niekorzystny stopień izolacji (3b), oznaczający niską zdolność retencji substancji szkodliwych. Wynika to – pomimo dużych miąższości – z wysokich wartości współczynnika filtracji wapieni górnourajskich (Kowalczyk i in. 2007).

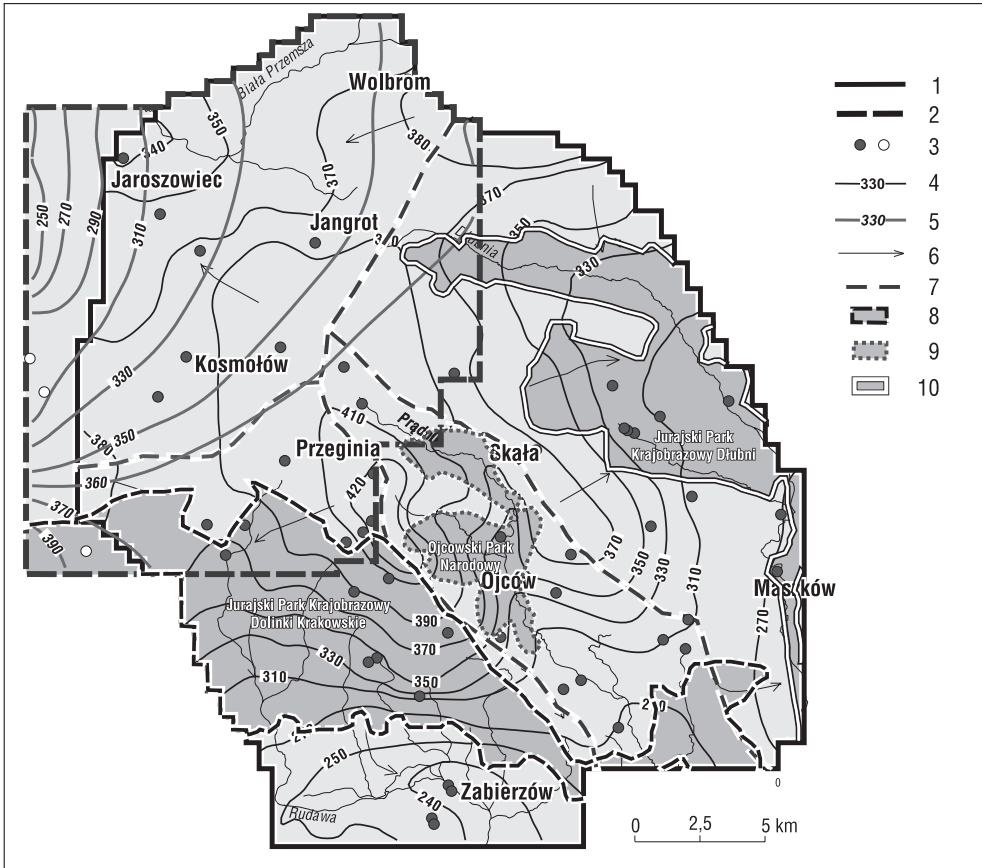
W celu ochrony ilości wód oraz ekosystemów, RDW wprowadziła pojęcie

Zasoby wód podziemnych w świetle numerycznych badań modelowych

Badania modelowe zbiornika wód podziemnych w utworach wodonośnych jury górnej przeprowadzono dla południowej części Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP nr 326 Częstochowa E), pokrywającego się w znaczącym stopniu z JCWPd o numerach 150 i 136 (Rózkowski i in. 2001, 2002). Dla obszaru Wyżyny Olkuskiej, doliny Dłubni i Rowu Krzeszowickiego o powierzchni 703 km² skonstruowano hydrogeologiczny model numeryczny z użyciem programu MODFLOW (ryc. 2). Celem wykonanych badań modelowych było określenie systemu krążenia wód podziemnych, zestawienie bilansu tych wód, ocena odnawialności i określenie zasobów poziomu wodonośnego jury górnej (Raport... 2000). Na obszarze badań modelowych znajduje się Ojcowski Park Narodowy (OPN), około 90% powierzchni Dłubniańskiego Parku Krajobrazowego (DPK), centralna i wschodnia część Parku Krajobrazowego Dolinki Krakowskie (PKDK) oraz niewielki fragment Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (TPK). Na obszarze objętym modelowaniem wyróżniono cząstkowe zlewnie podziemne, odpowiadające lokalnym i pośrednim systemom przepływu wód podziemnych, drenowanym przez rzeki. Działy wód zlewni podziemnych wykazują w większości przypadków zgodność z działami powierzchniowymi. OPN jest zlokalizowany w zlewni Prądnika, DPK – w zlewni Dłubni, PKDK, i część TPK – w zlewni Rudawy.

Na podstawie wyników badań modelowych stwierdzono, że odpływ wód podziemnych w górnourajskim poziomie wodonośnym formuje się głównie w wyniku infiltracji efektywnej wód opadowych. Infiltracja efektywna opadów atmosferycznych na obszarze bilansowym wynosi średnio 21% średniej rocznej sumy opadu z wielolecia. Wskaźnik infiltracji efektywnej w zlewniach Prądnika, Rudawy i Dłubni wynosi odpowiednio: 26%, 19% i 20% (tab. 1). Głównym elementem drenażu są doliny czterech największych rzek: Białej Przemszy, Dłubni, Prądnika i Rudawy. Drenują one około 59% sumy odpływu całkowitego. Znaczącą rolę w kształtowaniu się systemu krążenia i drenażu wód poziomu górnourajskiego w zlewni Białej Przemszy stanowi przesączanie pionowe wód do niżej leżącego poziomu triasowego (27% odpływu całkowitego), wymuszone drenażem górniczym kopalń rejonu rudnego. Około 11,8% odpływu całkowitego stanowi odpływ poza granice boczne, głównie ze zlewni Rudawy i Prądnika w kierunku północno-wschodnim, przejawiający się m.in. wysoką wydajnością niektórych źródeł i studni wierconych w zlewni Dłubni. Za miarę odnawialności zasobów wód podziemnych na analizowanym obszarze przyjęto całkowity odpływ podziemny. Moduł tego odpływu na modelowanym obszarze poziomu górnourajskiego wyniósł przeciętnie 5,50 dm³·s⁻¹·km⁻² (173 mm·rok⁻¹), przy czym był on zróżnicowany terytorialnie i w poszczególnych zlewniach cząstkowych wynosił: w zlewni Prądnika – 6,06 dm³·s⁻¹·km⁻² (191 mm·rok⁻¹), w zlewni Rudawy – 6,00 dm³·s⁻¹·km⁻² (189 mm·rok⁻¹), w zlewni Dłubni – 4,85 dm³·s⁻¹·km⁻² (153 mm·rok⁻¹; tab. 1). Zasoby odnawialne w zlewniach cząstkowych objętych granicami modelowania wyniosły odpowiednio: 51 tys., 96 tys., 88 tys. m³·d⁻¹ (tab. 2).

Aby zagwarantować wymaganą przez RDW dostępność zasobów wód podziemnych, przy ocenie zasobów dyspozycyjnych należało stosować zarówno kryteria hydrogeologiczne jak i środowiskowe. Kryteria środowiskowe odnoszą się do ekosystemów wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych powiązanych bezpośrednio z wodami



Ryc. 2. Hydroizohipsy poziomu wodonośnego jury górnej i kompleksu wodonośnego triasu dla 1998 r.; wynik modelowania (Rózkowski i in. 2001)

1 – granice modelu warstwy I, 2 – granice modelu warstwy II, 3 – studnie ujmujące wody kompleksu wodonośnego triasu, poziomu jury górnej, 4 – hydroizohipsy poziomu wodonośnego górnourajskiego, 5 – hydroizohipsy kompleksu wodonośnego triasowego, 6 – kierunki przepływu wód podziemnych, 7 – granice zlewni podziemnych, 8 – Park Krajobrazowy Dolinki Krakowskie, 9 – Ojcowski Park Narodowy, 10 – Park Krajobrazowy Dłubnia

Fig. 2. Groundwater contours of the Upper Jurassic aquifer and the Triassic water-bearing complex in 1998; result of modelling (Rózkowski et al. 2001)

1 – boundary of the first layer of model, 2 – boundary of the second layer of model, 3 – wells taking water from the Triassic and the Upper Jurassic aquifers, 4 – groundwater contours of the Upper Jurassic aquifer, 5 – groundwater contours of the Triassic carbonate water bearing complex, 6 – groundwater flow directions, 7 – boundaries of underground water drainage basins, 8 – Dolinki Krakowskie Landscape Park, 9 – Ojcowski National Park, 10 – Dłubnia River Landscape Park

podziemnymi. Mają one zapewnić zachowanie odpowiednich warunków wodnych ekosystemom, w warunkach poboru wód w wysokości zasobów wnioskowanych do zatwierdzenia. Zachowanie kryteriów środowiskowych na obszarach prawnie chronionych jest szczególnie trudne do ich utrzymania. Z uwagi na walory przyrodnicze należy bowiem uwzględnić dodatkowo zachowanie pożądanego przez ekosystemy lądowe położenia

Tab. 1. Zasoby wód podziemnych górnourajskiego J3 poziomu wodonośnego (Rózkowski i in. 2001)
 Table 1. Groundwater resources of the Upper Jurassic aquifer (Rózkowski et al. 2001)

Zlewnia Catchment	Powierzchnia Area [km ²]	Odpływ podziemny = zasoby dynamiczne QD Underground runoff = dynamic resources		Odnawialność z infiltracji opadów QI Renewal from infiltration of precipitation			
		[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	[mm·rok ⁻¹]	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	[mm·rok ⁻¹]	P* [%]	QD [%]
1. Dłubnia	211	4,85	153	4,44	140	21	20
2. Prądnik	98	6,06	191	5,99	189	27	26
3. Rudawa	186	6,00	189	4,42	139	16	19
Obszar modelowanego poziomu górnourajskiego The area of Upper Jurassic aquifer model	652	5,50	173	4,80	151	24	21

* P_{sr} = 716 mm

Tab. 2. Wybrane elementy bilansu wód podziemnych w zlewniach cząstkowych obejmujących obszar poziomu górnourajskiego J3 (Rózkowski i in. 2001)
 Table 2. Some elements of groundwater balance in particular drainage basins in the area of Upper Jurassic aquifer (Rózkowski et al. 2001)

L.p. No.	Składnik bilansu Element of balance	Zlewnia Dłubnia Dłubnia catchment A ₂ = 211 km ²		Zlewnia Prądnik Prądnik catchment A ₃ = 98 km ²		Zlewnia Rudawy Rudawa catchment A ₄ = 186 km ²		Obszar modelowanego poziomu J ₃ Area of J ₃ aquifer model A = 652 km ²	
		[m ³ ·d ⁻¹]	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	[m ³ ·d ⁻¹]	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	[m ³ ·d ⁻¹]	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]	[m ³ ·d ⁻¹]	[dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²]
1	Infiltracja opadów Infiltration of precipitation	81 000	4,44	50 750	5,99	71 072	4,42	269 911	4,79
2	Drenaż wód do rzek Drainage to rivers	57 870	3,17	36 898	4,36	72 456	4,50	181 907	3,23
3	Odpływ całkowity ze zlewni Total runoff	88 382	4,85	51 363	6,06	96 471	6,00	311 350	5,50

zwierciadła, by nie dopuścić do zmian sukcesyjnych (tzw. ochrona siedliskowa) oraz zachowanie odpowiedniej głębokości do zwierciadła wody dla zabezpieczenia odpowiedniej wielkości parowania terenowego, co pozwoli na zachowanie na powierzchni terenu astatycznych i okresowych zbiorników wodnych, przez niedopuszczenie do zbyt intensywnego przesiąkania wód infiltrujących do warstw wodonośnych. Dlatego też, w określonych przypadkach, należy zrezygnować z modyfikacji warunków wodnych przez zaniechanie tam poboru wód podziemnych i określenie ich zasobów dyspozycyjnych (Kazimierski 2007).

Przy szacowaniu zasobów dyspozycyjnych obszaru modelowanego przyjęto założenie, że ze względu na zróżnicowane formy ochrony przyrody, a także mało korzystne techniczno-hydrauliczne warunki ujmowania wód na tym obszarze (niewielkie wydajności ujęć studziennych oraz większości źródeł), zasoby dyspozycyjne mogą stanowić w zlewniach Dłubni i Rudawy jedynie 25% (odpowiednio $1,21$ i $1,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$), zaś w zlewni Prądnika zaledwie 10% oszacowanych zasobów odnawialnych ($0,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$). Zbliżoną wartość podaje A.S. Kleczkowski (1991) dla Monokliny Krakowskiej ($1,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$). Przedstawiona próba oszacowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na analizowanym obszarze wymaga dalszych badań. Jest to bowiem obszar specyficzny zarówno pod względem cech wodonośca (porowo-szczelinowo-krasowy) rzutujących na możliwości ujmowania wody studniami, jak i z uwagi na objęcie tego obszaru różnymi formami ochrony przyrody. Należy szczegółowo sformułować warunki ograniczające możliwości eksploatacji wód podziemnych oraz zaprogramować i wykonać odpowiednie symulacje modelowe w celu określenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych poziomu górnojurajskiego (*Raport...* 2000). Niewielkie dostępne zasoby mogą determinować ograniczoną eksploatację zasobów odnawialnych wód podziemnych na obszarach chronionych Wyżyny Krakowskiej i Wyżyny Miechowskiej, a zwłaszcza na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego.

Zakończenie

Po wdrożeniu RDW w Polsce, w procedurze oceny stanu i wielkości zasobów oraz gospodarki nimi wprowadzono dwa rodzaje obszarów (Kazimierski 2007):

- obszar bilansowania z jednostkami bilansowymi – dla oceny ilości zasobów dyspozycyjnych i podejmowania działań związanych z ich zagospodarowaniem,
- JCWPd – dla oceny stanu zasobów wodnych oraz działań w zakresie monitoringu, ochrony stanu wód i ekosystemów od nich zależnych.

Nieodzowne jest ustalenie relacji pomiędzy tymi obszarami, aby uzgodnić ocenę ilości i stanu zasobów i umożliwić korelację działań gospodarczych i ekologicznych. Zróżnicowane podejście do dokumentowania zasobów w zależności od potrzeb, powinno odnosić się zarówno do zlewni, jak i obszarów GZWP, rejonów intensywnie eksploatowanych oraz JCWPd. Dyspozycyjność zasobów nie powinna być traktowana jako stała część zasobów odnawialnych ustalanych dla warunków średnich z wielolecia, lecz jako wartość zmienna w czasie – w zależności od zmian warunków zasilania i drenażu, zależna od przyjętych kryteriów ograniczających (Rejman, Rodzoch 2007).

Opracowanie wykonano w ramach projektu KBN Nr 9T12B03514 pt. *Wody szczelinowo-krasowe Jury Krakowskiej – występowanie, systemy przepływu, zasoby i chemizm* kierowanego przez dr inż. J. Rózkowskiego.

Literatura

- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty z dn. 23.10.2000 r. w sprawie ustanowienia ram dla działalności wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej, Official Journal UE L. 327/1, 22.12.2000.
- Kazimierski B., 2007, *Określenie i kontrola stanu zasobów wód podziemnych zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej*, [w:] A. Szczepański, E. Kmiciek, A. Żurek (red.), *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 13, 2, Kraków–Krynica, 457–464.
- Kleczkowski A. S., 1991, *Zasoby wód podziemnych*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, t. 1, PWN, Warszawa–Kraków, 283–285.
- Kowalczyk A., Rubin H., Wagner J., Rubin K., Motyka J., Rózkowski J., Pacholewski A., 2007, *Charakterystyka hydrogeologiczna regionów wodnych. Prowincja Wisły, Region środkowej Wisły. Subregion środkowej Wisły wyżynny część zachodnia*, [w:] B. Paczyński, A. Sadurski (red.), *Hydrogeologia regionalna Polski*, t. 1. *Wody słodkie*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 159–173.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007, *Hydrogeologia regionalna Polski*, t. 1. *Wody słodkie*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, ss. 542.
- Raport z wykonanych badań w ramach Projektu KBN Nr 9T12B03514, kierowanego przez dr inż. J. Rózkowskiego, nt.: Wody szczelinowo-krasowe Jury Krakowskiej – występowanie, systemy przepływu, zasoby i chemizm. Część 2. Badania modelowe*, 2000, Zespół wykonawców: A. Kowalczyk (kier.), K. Rubin, W. Treichel, J. Rózkowski, J. Wróbel, Sosnowiec, ss. 26.
- Rejman W., Rodzoch A., 2007, *Zakres i metodyka prac i badań hydrogeologicznych – nowe wyzwania*, [w:] A. Szczepański, E. Kmiciek, A. Żurek (red.), *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 13, 1, Kraków–Krynica, 71–100.
- Rózkowski J., Kowalczyk A., Rubin K., Wróbel J., 2001, *Odnawialność wód szczelinowo-krasowych poziomu górnourajskiego w obszarze Wyżyny Krakowskiej – na podstawie modelowania matematycznego*, [w:] T. Bocheńska, S. Staśko (red.), *Współczesne problemy hydrogeologii*, 10, Uniwersytet Wrocławski, Oficyna Wyd. SUDETY, Wrocław–Krzyżowa, 245–252.
- Rózkowski J., Kowalczyk A., Rubin K., Wróbel J., 2002, *Szacowanie bilansu odnawialność i zasobów wód na Wyżynie Krakowskiej*, [w:] *Materiały XIV Konferencji Naukowo-Technicznej „Problemy wykorzystania wód w gospodarce komunalnej. Gospodarowanie zasobami wód podziemnych”*, Częstochowa, 44–52.

Jacek Rózkowski, Anna Żurek

Groundwater resources of the Upper Jurassic aquifer within selected protected areas of the Krakow region

Summary

According to modelling studies carried out in 2000 (KBN Project No 9T12B03514) it was stated that infiltration of precipitation water is a decisive factor in renewal of the Upper Jurassic aquifer groundwater. The total underground runoff was taken as a renewal rate. The undergro-

und runoff module in the particular drainage basins was as follows: of the Prądnik river 6.06, of the Rudawa river 6.00, of the Dłubnia river 4.84, and the average for the whole area under modeling $5.50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Taking into account hydrogeologic and environmental criteria it was estimated that the disposable resources may represent in the particular drainage basins: of the Dłubnia and Rudawa rivers 25% and of the Prądnik river 10% of renewable resources.