

# Odnawialność systemu wodonośnego zlewni Prosny według badań modelowych i oceny odpływu podziemnego metodami hydrologicznymi

Stanisław Dąbrowski<sup>1</sup>, Witold Rynarzewski<sup>1</sup>, Roman Śliwka<sup>2</sup>

**Renewability of the water Prosna river catchment water-bearing system based on modelling and assessment of groundwater runoff using hydrological methods.** *Prz. Geol.*, 65: 1189–1196.

*Abstract.* This paper presents the results of renewability research and evaluation of groundwater runoff in the Prosna river catchment of. The drainage basin is characterized by a considerable variation in geomorphology, hydrography and geology. The evaluation of groundwater renewability has been compared using both hydrological methods and mathematical modelling. Hydrological research consisted of genetic separation of the hydrograph for 1951–1980, and the Wundt and Kille methods based on low river flows for 1981–2010. Mathematical modelling has been conducted for the hydrodynamic state for 2014. The obtained results show a high convergence of about 3.7% in the case of the methods: Wundt, genetic separation hydrograph and mathematical modelling methods. On the contrary, a divergence of about 8–11% can be observed between these methods and the Kille method. Tables 1 and 2 present the results of renewability and groundwater runoff research in the Prosna river catchment. In conclusion, the mathematical modelling methods are considered as the most reliable for the evaluation of renewability and groundwater resources in catchments, due to spatial and various multilayer groundwater circulation systems.

**Keywords:** groundwater renewability, groundwater runoff, Prosna river catchment, modelling, water-bearing system

Powierzchnia zlewni Prosny wynosi 4913,1 km<sup>2</sup> przy długości rzeki głównej 216,8 km. Zlewnia charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem pod względem geomorfologicznym, geologicznym i hydrogeologicznym, zwłaszcza w górnym odcinku o charakterze wyraźnie wyżynnym. W latach 1993–2015 zlewnię poddano szczegółowej ocenie odnawialności kenozoiczno-mezozoicznego systemu wodonośnego w celu ustalenia zasobów wód podziemnych.

W artykule przedstawiono wyniki badań odpływu podziemnego w zlewni według metod hydrologicznych Wundta i Killego na podstawie niskich przepływów z wielolecia 1981–2010 w 6 profilach wodowskazowych na Prośnie i jej dopływach (Rynarzewski i in., 2015), oraz metodą opartą o genetyczny rozdział hydrogramu dla 30 zlewni obliczeniowych ustalonych na podstawie codziennych (dobowych) przepływów rzecznych z lat 1951–1980 (Kowalczak i in., 1993). Szczegółową odnawialność zlewni poprzez ocenę zasilania infiltracyjnego opadów i drenaże cieków dokonano w badaniach modelowych jej systemu wodonośnego obejmującego krążenie wód podziemnych w utworach czwartorzędu, miocenu, kredy i jury. Porównano uzyskane wyniki zasilania podziemnego zlewni na podstawie różnych metod i dokonano oceny ich wiarygodności w nawiązaniu do zasobów wód podziemnych. Celem artykułu jest porównanie wyników badań odnawialności wód podziemnych metodami hydrologicznymi i modelowania matematycznego, realizowanych w latach 1974–2015 dla zlewni Prosny.

## SYSTEM WODONOŚNY ZLEWNI PROSNY

Dorzecze Prosny rozciąga się na długości ok. 120,0 km i szerokości do 30,0 km o ukierunkowaniu ku NNW, z Prośną w jej środkowej części (ryc. 1). Tylko w górnym odcin-

ku, na długości ok. 80,0 km, ma ona charakter wyżynny, zaś w biegu środkowym i dolnym – nizinny, gdzie przyjmuje 19 większych cieków stanowiących zlewnie cząstkowe. Dorzecze cechuje się brakiem jezior naturalnych, natomiast na ciekach dopływowych takich jak: Ciemna, Ołobok, Śwędźnia, Pokrzywnica zbudowano 4 zbiorniki retencyjne. Wskaźniki opadowe dla poszczególnych zlewni w dorzeczu Prosny wykazują zmienność obszarową od 533 mm, w części środkowej i dolnej do 624,5 mm w części górnej (dane z lat 1951–80). Przepływ średni Prosny w roku suchym wynosi 10,7 m<sup>3</sup>/s, średnim – 24,3 m<sup>3</sup>/s i mokrym – 32,0 m<sup>3</sup>/s (dane z Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej, RZGW, w Poznaniu z lat 1951–2010).

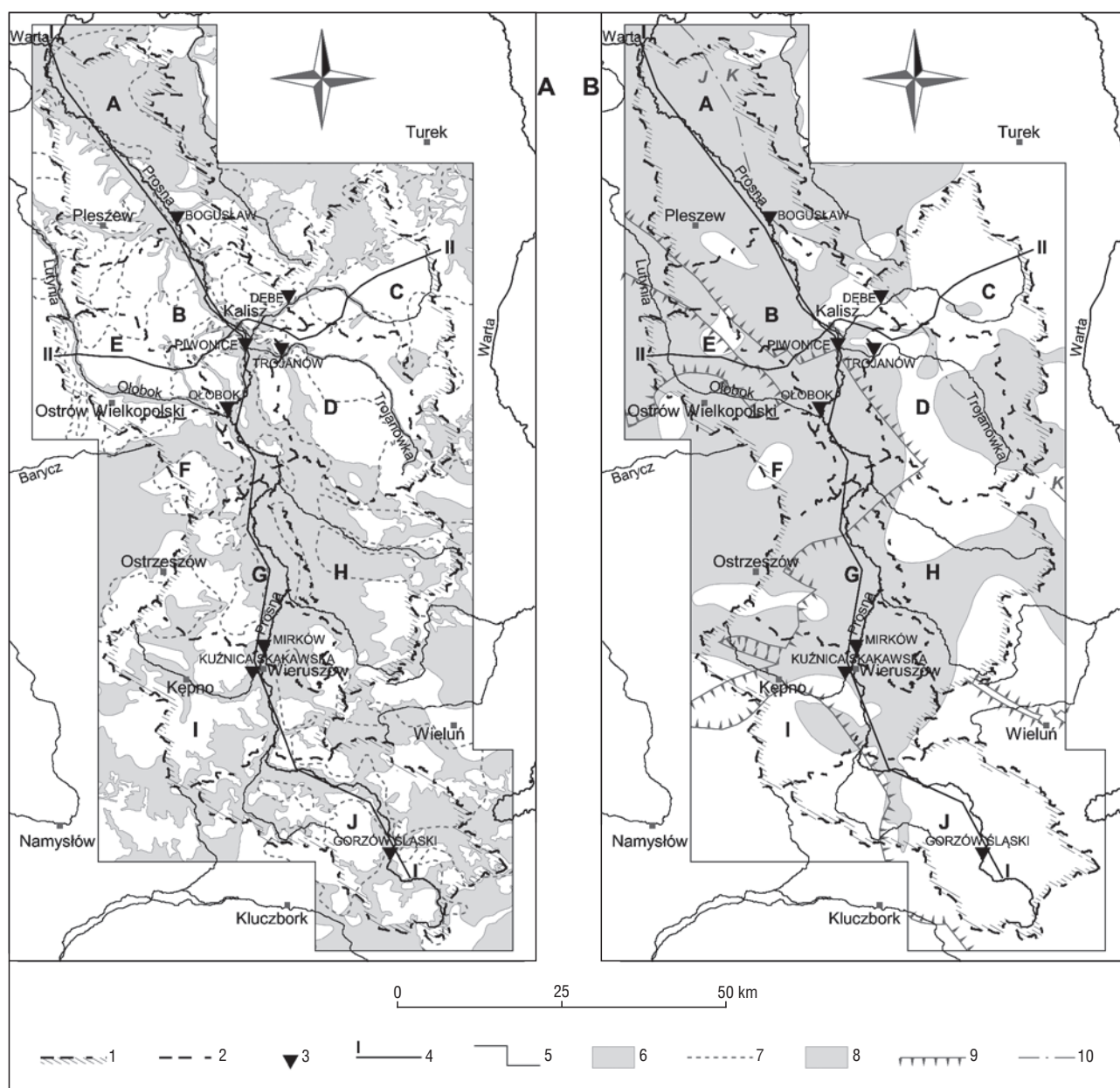
Obszar występowania zwykłych wód podziemnych w granicach zlewni Prosny stanowi wielowarstwowy system wodonośny wód podziemnych w utworach kenozoicznych i mezozoicznych, który jest powiązany układem krążenia z wodami powierzchniowymi. Granice systemu są granicami hydrodynamicznymi, stąd należy on do systemów przejściowo zamkniętych (Szymanko, 1980).

Prosna jest osią drenażu wszystkich poziomów wodonośnych, zaś jej dopływy są związane hierarchicznie z poszczególnymi drenażami poziomów: w strefach wododziałowych cieki zwykle drenują pierwszy poziom, przeważnie wód w utworach czwartorzędowych, zaś w dolnym swym biegu stopniowo są zasilane z poziomów wód głębszych – ryciny 1, 2 i 3 (Dąbrowski, 1994; Rynarzewski i in., 2015).

Działy wód podziemnych są w większości zgodne z działami hydrograficznymi, z wyjątkiem części zachodniej w poziomach wód głębszych neogenu i jury, i słabo się zaznaczają w wyniku eksploatacji wód podziemnych. Działy wód podziemnych zlewni Prosny w obrębie poziomów wodonośnych wynikają ze współdziałania z drenażami

<sup>1</sup> Hydroconsult Sp. z o.o., ul. Smardzewska 15, 60-161 Poznań; poznan@hydroconsult.pl.

<sup>2</sup> ARCADIS Sp. z o.o., ul. Wołoska 22a, Warszawa; Biuro Wrocław, ul. J. Długosza 60; roman.sliwka@arcadis.com.



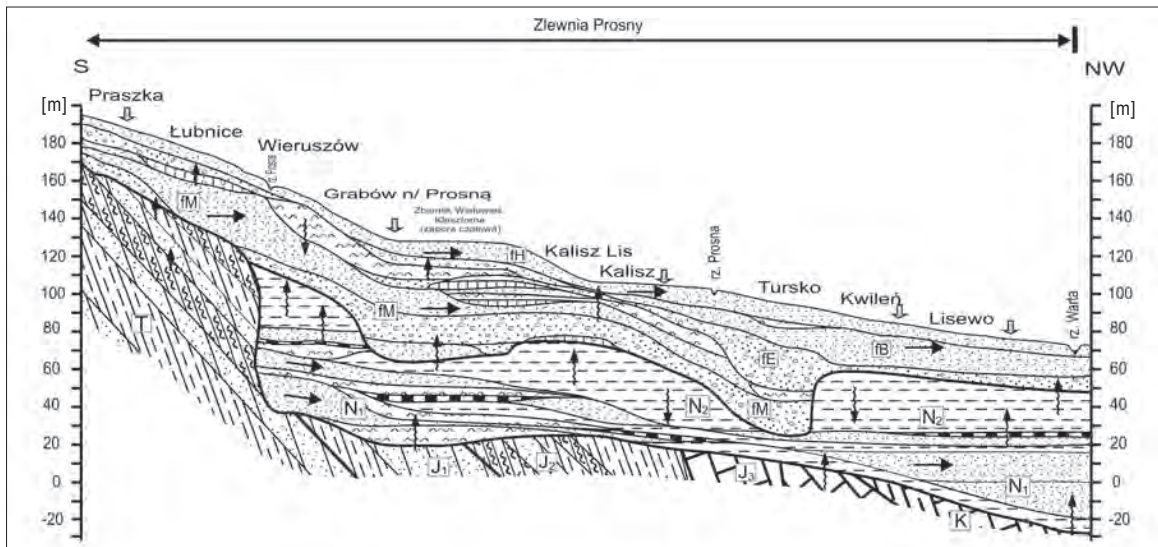
**Ryc. 1.** Mapy występowania w zlewni Prosny poziomów: **A** – gruntowego i międzyglinowego; **B** – miocenijskiego i mezozoicznych: kredy i jury; 1 – granica obszaru bilansowego zlewni Prosny; 2 – granice rejonów wodno-gospodarczych; 3 – wodowskazy; 4 – linie przekrojów geologicznych; 5 – granica badań modelowych; 6 – obszar występowania poziomu gruntowego; 7 – granica obszaru występowania poziomu międzyglinowego; 8 – obszar występowania poziomu miocenijskiego; 9 – granica obszaru występowania poziomów mezozoicznych; 10 – granica stratygraficzna między piętrami kredy i jury

**Fig. 1.** Occurrence of aquifers in the Prosna river catchment: **A** – surficial and intertill; **B** – Miocene and Mesozoic: Cretaceous and Jurassic; 1 – boundary of the Prosna river catchment balance region; 2 – boundaries of water-management regions; 3 – river gauges; 4 – lines of geological cross-sections; 5 – boundary of modelled area; 6 – surficial aquifer occurrence area; 7 – boundary of intertill aquifer occurrence area; 8 – boundary of Miocene aquifer occurrence area; 9 – Boundary of Mesozoic aquifer occurrence area; 10 – stratigraphic boundary between the Jurassic and Cretaceous systems

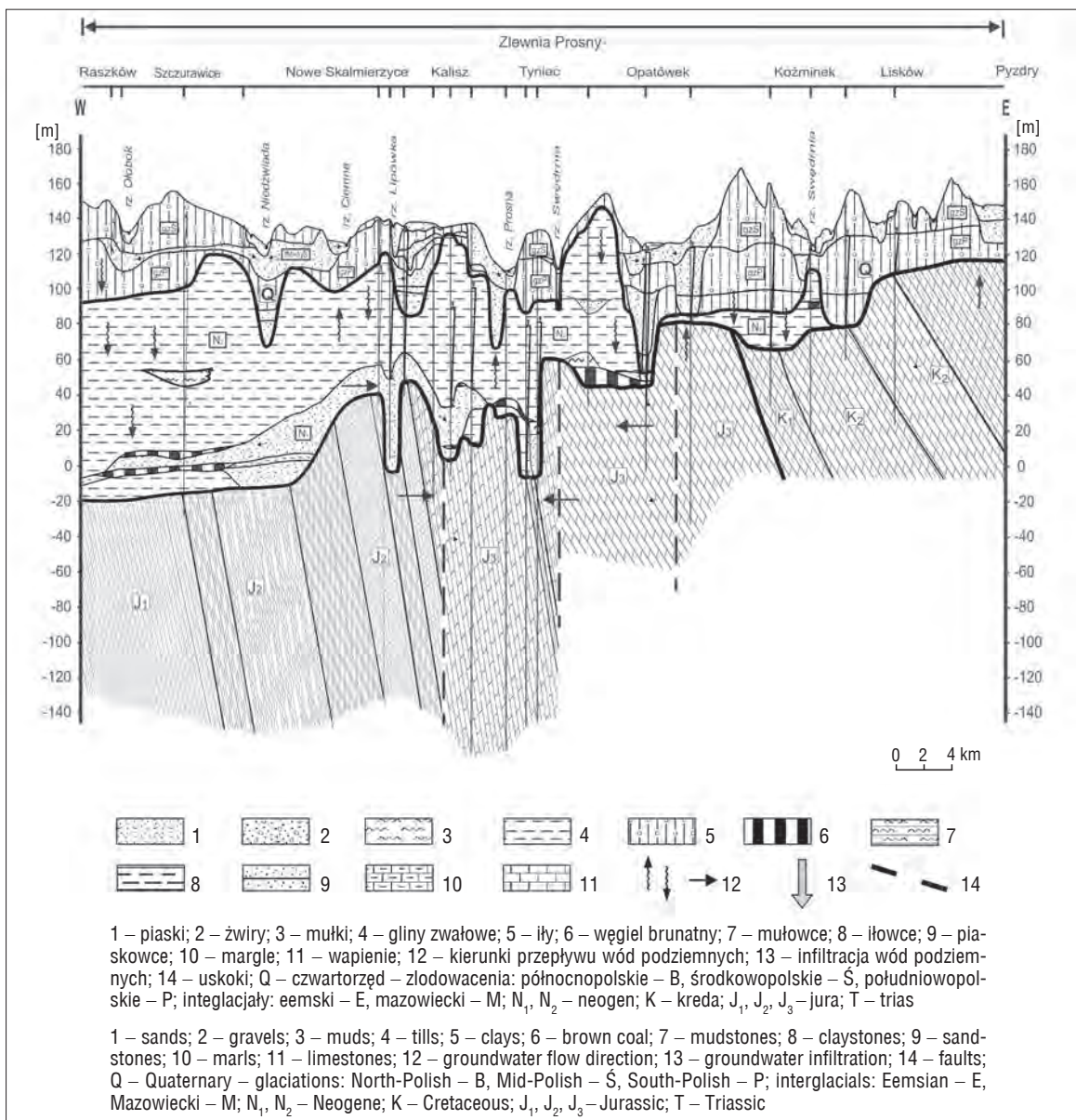
mi sąsiednich zlewni. Schemat układu hydrostrukturalnego i krążenia wód podziemnych przedstawiono na rycinie 4.

W układzie pionowego krążenia wód górną granicę systemu stanowi powierzchnia terenu ze strefą aeracji w poziomie gruntowym lub gliny morenowe i ły słabo przepuszczalne, zaś dolną granicę systemu, słabo zarysowaną i występującą na głębokości 250 do ponad 600 m, stanowi układ warstw ilasto-mułkowatych lub granica odnawialności wód w poziomach wód kredy i jury.

Strukturę hydrogeologiczną systemu tworzy bardzo zróżnicowany układ warstw przepuszczalnych, słabo przepuszczalnych i bardzo słabo przepuszczalnych w utworach czwartorzędu, neogenu–miocenu, kredy i jury (ryc. 2 i 3). W utworach czwartorzędu można wydzielić poziom wód gruntowych i poziom wód wgłębnych. Poziomy te tworzą piaski o różnym uziarnieniu, piaski ze żwirem i żwiry o zmiennej miąższości, lokalnie do 50–70 m i rozprzestrzenieniu związanym z różną genezą hydrostruktur. Ich zasilanie odbywa się poprzez infil-



Ryc. 2. Przekrój geologiczny I-I  
Fig. 2. Geological cross-section I-I



Ryc. 3. Przekrój geologiczny II-II  
Fig. 3. Geological cross-section II-II

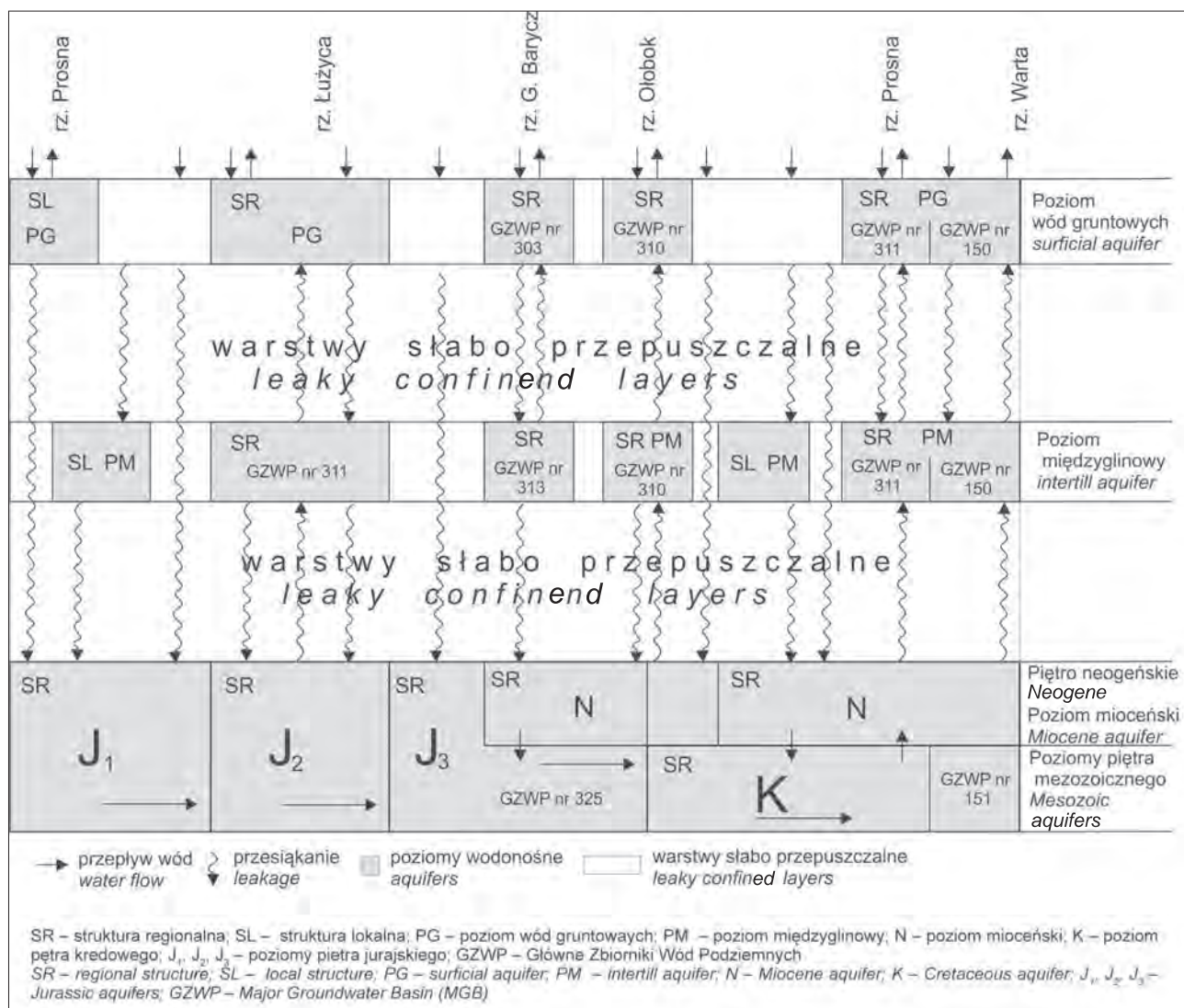
trację opadów, przesiąkanie z poziomów leżących nad i poniżej i wynosi 4–28 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>, średnio 8–9 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>. Poziomy te są ściśle związane z wodami powierzchniowymi. W utworach neogenu występuje jeden mioceński poziom wodonośny regionalnego basenu wód podziemnych Wielkopolski, którego wschodnia granica przebiega w zlewni Proсны. Poziom ten tworzy przeważnie jedna warstwa piasków drobnych i pyłastych o miąższości do 20 m i przewodności 2–9 m<sup>2</sup>/h. Poziom jest zasilany w wyniku przesiąkania z poziomów czwartorzędowych lub infiltracji poprzez nadkład warstw słabo i bardzo słabo przepuszczalnych o wielkości od 0,1 do 2,9 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>, najczęściej poniżej 1 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>. Drenuje go rzeka Proсны oraz ujęcia wody.

W dolnej części zlewni poziomy wodonośny z mezozoiku stanowią poziomy piętra kredowego oraz jurajskiego występujące w wapieniach i marglach na zróżnicowanych głębokościach: od kilku metrów w strefach wododziałowych na międzyrzeczu Proсны–Warty na wschodzie, do ponad 100–150 m w części północno-zachodniej zlewni. Prze-

wodność poziomu jest bardzo zmienna i waha się od kilku do ponad 75 m<sup>2</sup>/h; najczęściej 1–10 m<sup>2</sup>/h.

Poziomy są zasilane poprzez przesiąkanie z nadległych poziomów czwartorzędowych i lokalnie poziomu mioceńskiego oraz przez bezpośrednią infiltrację, która jest zróżnicowana w zależności od głębokości występowania: od 0,5 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup> w części zachodniej do ok. 4–10 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup> w strefach wododziałowych.

W górnej części zlewni Proсны poziomy wodonośny piętra mezozoiku występują w utworach piasków i piaskowców jury dolnej i środkowej. Występowanie poziomów jest bardzo zmienne, zależne od wykształcenia litologicznego utworów, tektoniki oraz głębokości poniżej powierzchni terenu. Często w strefie wododziałowej są one jedynymi poziomami wodonośnymi obszaru i prowadzą wody o zwierciadle swobodnym, ściśle związane z wodami powierzchniowymi Proсны i jej dopływów, by przy zagłębieniu się w kierunku NE, zgodnie z upadem warstw, przejść w układy wód naporowych.



Ryc. 4. Schemat układu hydrostrukturalnego i krążenia wód podziemnych  
Fig. 4. Hydrostructural system and groundwater circulation scheme

Przewodność warstw jurajskich wynosi 0,1–40 m<sup>2</sup>/h, najczęściej do 15 m<sup>2</sup>/h. Zasilanie poziomów odbywa się drogą infiltracji opadów lub przesiąkania z nadległych warstw i jest bardzo zmienne od 0,1 do 10 m<sup>3</sup>/h/km<sup>2</sup>.

### ASPEKTY METODYCZNE OCENY ODNAWIALNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Obiektem badań w obu przyjętych metodach oceny odnawialności wód podziemnych jest zlewnia, w rozumieniu wielkości obszarowej w granicach hydrograficznych traktowana jako:

– w ocenie hydrologicznej – system jednorodny, jedno-warstwowy, wykazujący zróżnicowane zasilanie między punktami pomiarowymi,

– w ocenie hydrogeologicznej – system wielowarstwowy o zróżnicowanym układzie hydrostrukturalnym i hydrodynamicznym.

W badaniach hydrologicznych zasilanie podziemne systemu zlewni stanowi część przepływu całkowitego, mierzonego w przekroju wodowskazowym, w którym z przepływu całkowitego należy wydzielić odpływ podziemny, zmienny w czasie. Z założenia przyjmuje się, że w okresach przepływów niskich, cały lub większość mierzonego przepływu stanowi odpływ podziemny. Stąd określenie wielkości zmiennej w czasie zależy od dokładności metody pomiaru przepływu dla okresu obserwacji i przyjętej metody. W kwestii wydzielenia z odpływu całkowitego odpływu podziemnego istnieją dwie grupy metod: metody bazujące na badaniu odpływów niżówkowych w okresie wielolecia – tu najczęściej stosowane aktualnie metoda Wundta i Killego oraz metoda oparta o analizy hydrogramów odpływu na podstawie ciągłych zmian odpływów w czasie.

Do najbardziej istotnych zagadnień związanych z określeniem charakterystyk hydrologicznych należy problem długości okresu stanowiącego podstawę wiarygodnych obliczeń. Przyjmuje się, że optymalnym okresem obserwacji jest 30 lat (Dąbrowski i in., 1994; Kowalczak i in., 1994; Herbich i in., 2013). W pierwszym etapie badań zbudowano wielowarstwowy model hydrogeologiczny systemu i jego otoczenia. Następnie, poprzez odwzorowanie parametrycznego układu hydrostrukturalnego i hydrodynamicznego oraz drenaży (cieki i jeziora, eksploatacja wód podziemnych) na określony stan hydrodynamiczny, stworzono model matematyczny. Na jego podstawie określono wielkość zasilania opadowego i z wód powierzchniowych, drenaż cieków i jezior, dopływy i odpływy w systemie.

Schematyzację hydrogeologiczną systemu wodonośnego zlewni Proсны dla potrzeb sporządzenia modelu matematycznego sprowadzono do układu 3 warstw wodonośnych. Są one rozdzielone i powiązane w układzie krążenia przez 2 warstwy słabo przepuszczalne oraz znajdują się we wzajemnej więzi z wodami cieków powierzchniowych i nielicznych sztucznych zbiorników wodnych. Wyróżnione warstwy wodonośne na obszarze zlewni Proсны stanowią (ryc. 4):

I – poziom gruntowy dolin i sandrów – to obszar 2224,0 km<sup>2</sup>;

II – poziom międzyglinowy – to obszar 2776,8 km<sup>2</sup>;

III – poziom miocenu oraz poziomy mezozoiczne kredy i jury to obszar 4572,6 km<sup>2</sup>.

Poziomy wodonośne są rozdzielone dwiema warstwami słabo przepuszczalnymi, które stanowią gliny morenowe, lokalnie mułki i ility.

Układ krążenia drenaży i eksploatacji wód podziemnych odwzorowano na stan z 2014 r., który jest traktowany jako quasi-ustalony.

### WYNIKI OBLICZEŃ ODNAWIALNOŚCI I ICH ANALIZA

#### Metody hydrologiczne

W metodzie Wundta średni odpływ podziemny ze zlewni jest obliczany jako średnia z minimalnych przepływów miesięcznych z wielolecia – SNQm. Natomiast w metodzie Killego za średni odpływ podziemny przyjmuje się medianę z ciągu niskich przepływów miesięcznych z wielolecia – MeNQm. W podziale genetycznym hydrogramu przepływu rzeczno danymi wejściowymi są codzienne przepływy w danym profilu wodowskazowym z okresu wielolecia. Służą one do konstrukcji odpowiedniego wykresu, na którym są wyznaczane poszczególne składowe przepływy całkowitego: spływ powierzchniowy (w razie potrzeby – także podpowierzchniowy) oraz wielkość zasilania podziemnego (odpływ podziemny).

Oceny odpływu podziemnego metodą Wundta i Killego dokonano na podstawie minimalnych miesięcznych przepływów rzecznych z wielolecia 1981–2010, w 6 profilach wodowskazowych na Prośnie i jej dopływach (ryc. 1, tab. 1). Wartości dla profilu ujściowego obliczono według przyrostu zlewni z końcowego wodowskazu w miejscowości Bogusław.

Obliczenia według genetycznego rozdział hydrogramu rzeczno oparto o codzienne (dobowe) przepływy rzeczne z wielolecia 1951–1980 dla 30 zlewni obliczeniowych (Kowalczak, 1993) – tabela 1.

#### Modelowanie matematyczne

Model matematyczny sporządzono dla obszaru zlewni w granicach hydrograficznych o powierzchni 4913,1 km<sup>2</sup> oraz terenów sąsiednich o pow. 2 644,4 km<sup>2</sup>, łącznie 7557,0 km<sup>2</sup>, co pozwoliło określić współdziałanie i związki zlewni z sąsiednimi zlewniami. Obszar badań zdyskretyzowano siatką prostokątną o kroku 500 m (blok 0,25 km<sup>2</sup>). Model ten sporządzono na stan hydrodynamiczny ustalony systemu wodonośnego z 2014 r., z wykorzystaniem programu Groundwater Vistas wersja 6,0 z serii programowej Modflow.

W wyniku wytarowania modelu oraz przy zidentyfikowanych drenażach cieków i zbiorników wodnych oraz eksploatacji wód i dopływach-odpływach strumieni z wyróż-

Tab. 1. Odpływ podziemny w zlewni Proсны według metod hydrologicznych i modelowania matematycznego  
 Table 1. Groundwater runoff in Proсна river catchment according to hydrological methods and mathematical modelling

Rzeka River	Profil wodowskazowy River gauge	Pow. zlewni Catchment area [km <sup>2</sup> ]	Odpływy niskie miesięczne z lat 1981–2010 Monthly low runoff for 1981–2010		Genetyczny rozdział hydrogramu dla wielolecia 1951–1980 Genetic separation hydrograph for 1951–1980	Modelowanie matematyczne Mathematical modelling	
			Metoda Wundta Wundt method	Metoda Killego Kille method		Drenaż cieków i eksploatacja ujęć River discharge and groundwater intake exploitation Qd [m <sup>3</sup> /s]	Infiltracja opadów Recharge [m <sup>3</sup> /s]
			Odpływ podziemny Groundwater runoff Qn [m <sup>3</sup> /s]	Odpływ podziemny Groundwater runoff Qn [m <sup>3</sup> /s]		Odpływ podziemny Groundwater runoff Qn [m <sup>3</sup> /s]	Odpływ podziemny Groundwater runoff Qn [m <sup>3</sup> /s]
Proсна	Gorzów Śląski	165,1	0,48	0,48	0,55	0,50	0,49
Niesób	Kuźnica Skakawska	242,81	0,56	0,52	0,61	0,60	0,62
Proсна	Mirków	1 241,21	2,75	2,67	3,18	3,31	3,08
Olubok	Olubok	444,30	0,74	0,65	1,07	0,41	0,48
Proсна	Piwnice	2 907,65	6,83	6,57	7,02	6,77	6,43
Proсна	Bogusław	4 279,35	9,44	8,74	10,07	9,95	9,35
Proсна - ujęcie		4 913,06	10,84	10,03	10,92	11,26	10,44

nionych warstw wodonośnych uzyskano wielkości zasilania zlewni z infiltracji opadów w wysokości 10,44 m<sup>3</sup>/s oraz drenaży cieków i eksploatacji ujęć – 11,26 m<sup>3</sup>/s. Dla porównania z ustaleniami hydrologicznymi przedstawiono te wielkości również dla 6 obszarów zlewni wodowskazowych – tab. 1. Różnica między wielkością zasilania opadowego i drenaży wynika z faktu różnicy dopływ-odpływ wód ze zlewni, na korzyść dopływów w wielkości 0,49 m<sup>3</sup>/s.

Porównując otrzymane wyniki z tych trzech metod, stwierdza się, że:

– najwyższą wartość średniego rocznego odpływu podziemnego ze zlewni Proсны uzyskano metodą Wundta – 10,84 m<sup>3</sup>/s i metodą genetycznego rozdziału hydrogramu 10,92 m<sup>3</sup>/s, natomiast ustalona metodą Killego wynosi 10,03 m<sup>3</sup>/s i jest niższa ok. 8% od dwu pozostałych metod,

– wyniki obliczeń metodą genetycznego rozdziału hydrogramu są porównywalne z rezultatami metod Wundta i Killego dla całej zlewni, natomiast różnią się w wielkościach odpływu podziemnego w poszczególnych rejonach wodnogospodarczych przy występującej dużej zgodności z wynikami modelowania matematycznego,

– wielkość odpływu podziemnego ze zlewni Proсны jest bardzo stabilna w czasie, co potwierdzają wyniki uzyskane trzema różnymi metodami, pomimo że uwzględniają one dane dotyczące wielkości przepływu rzeczno-ego z różnych okresów wielolecia.

Z porównania wyników tej oceny wielkości odnawialności zlewni Proсны różnymi metodami, zaobserwowano, że jest duża zgodność między metodą modelowania matematycznego a metodami Wundta i genetycznego rozdziału hydrogramu, nie przekraczająca ±3,7% oraz mniejsza zgodność z metodą Killego, gdzie rozbieżność jest większa i dochodzi do 8–11%.

W tabeli 2 zestawiono wielkość odnawialności uzyskaną z różnych metod dla wydzielonych 10 rejonów wodnogospodarczych, z której wynika, że największe rozbieżności w ocenach wielkości między metodą modelowania i metodami Wundta i Killego występują w rejonach górnej i dolnej zlewni (9–13%), są zaś nieznaczne między metodą modelowania a metodą genetycznego rozdziału hydrogramu (1,5–3%).

## PODSUMOWANIE

Wykonana ocena odnawialności wód podziemnych metodami hydrologicznymi oraz modelowania matematycznego wykazała:

– dużą zgodność oceny odpływu (zasilania) podziemnego dla całej zlewni metodą Wundta i genetycznego rozdziału hydrogramu oraz metodą modelowania matematycznego nie przekraczającą ±3,7%, przy większej rozbieżności w obrębie zlewni cząstkowych w rejonach zlewni górnej i dolnej,

– wielkość odnawialności, która została określona metodą Killego, odbiega od ww. metod o ok. 8–11%.

W przypadku metod hydrologicznych największą zgodność z oceną modelową wykazuje metoda genetycznego rozdziału hydrogramu.

W przekonaniu autorów podstawową metodą oceny odnawialności wód podziemnych zróżnicowanego wielowarstwowego systemu wodonośnego powinna być metoda

Tab. 2. Odnowialność wód podziemnych w rejonach wodnospodarczych zlewni Proсны według różnych metod obliczeniowych  
 Table 2. Groundwater renewability in water-management regions of Proсна river catchment according to various calculation methods

Numer i nazwa Number and name	F [km <sup>2</sup> ]	Model matematyczny Mathematical model				Metody hydrologiczne Hydrological methods				Zasilanie podziemne z uwzględnieniem stref drenażu i zrztu ścieków dla wielolecia 1981–2010 (Herbich i in., 2013) Groundwater recharge with drainage zones and effluent discharge for 1981–2010 (Herbich et al., 2013)	Poziomy wodonośne Q, Ng, K, J poziom podziemny Aquifers Q, Ng, K, J subordinate aquifer		
		Infiltracja opadów Recharge		Drenaż cieków i eksploatacja ujęć River discharge and groundwater intake exploitation		Metoda Wundta dla wielolecia 1981–2010 Wundt method for 1981–2010		Metoda Killego dla wielolecia 1981–2010 Kille method for 1981–2010				Genetyczny rozdział hydrogramu dla wielolecia 1951–1980 (Kowalczak, 1993) Genetic separation of hydrograph for 1951–1980 (Kowalczak, 1993)	
		m <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>			m <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>
P-VIII-A Dolna Proсна	629,7	0,94	1,49	1,06	1,68	1,36	2,16	1,26	2,00	0,88	1,40	1,77	Q, Ng, K, J
P-VIII-B Środkowa i Dolna Proсна	599,8	1,12	1,87	1,35	2,25	1,36	2,27	1,26	2,10	0,95	1,58	1,76	Q, Ng, J, K
P-VIII-C Śwędria (wod. Dębe)	492,6	0,87	1,77	0,85	1,72	0,93	1,89	0,86	1,75	1,03	2,10	1,21	Q, Ng, K, J
P-VIII-D Pokrzywnica (wod. Trojanów)	467,1	1,03	2,20	1,03	2,20	0,89	1,91	0,82	1,76	1,13	2,42	1,15	Q, Ng, K, J
P-VIII-E Ołobok (bez Baryczy)	293,6	0,48	1,63	0,44	1,50	0,48	1,63	0,44	1,50	0,71	2,42	0,61	Q, Ng, J
P-VIII-F Gnila Barycz	151,8	0,35	2,30	0,35	2,31	0,24	1,58	0,22	1,45	0,33	2,17	0,51	Q, Ng
P-VIII-G Środkowa i Górna Proсна	462,0	1,18	2,55	1,26	2,73	1,43	3,10	1,32	2,86	1,27	2,75	1,85	Q, Ng, J
P-VIII-H Łużyca i Struga Węglewska	574,3	1,38	2,40	1,58	2,75	1,77	3,08	1,64	2,86	1,56	2,72	2,30	Q, J, Ng
P-VIII-I Niesób, Pomianka, Proсна	529,0	1,32	2,49	1,38	2,61	0,98	1,85	0,91	1,72	1,34	2,53	1,27	Q, Ng, J
P-VIII-J Górna Proсна	713,2	1,77	2,48	1,96	2,75	1,40	1,96	1,30	1,82	1,72	2,41	1,82	Q, J, Ng
P-VIII Zlewnia Proсны	4913,1	10,44	2,12	11,26	2,29	10,84	2,21	10,03	2,04	10,92	2,22	14,25	Q, Ng, K, J

Q – czwartorzęd; Ng – neogen; K – kreda; J – jura  
 Q – Quaternary; Ng – Neogene; K – Cretaceous; J – Jurassic

modelowania matematycznego pozwalająca ocenić przestrzenne i warstwowe zróżnicowanie wielkości zasilania infiltracyjnego z opadów, drenaży wód podziemnych oraz przepływów z systemami otoczenia.

#### LITERATURA

DĄBROWSKI S. I IN. 1994 – Bilans wodnogospodarczy zlewni Prosnicy Część II. Zasoby wód podziemnych ich wykorzystanie. Archiwum Hydroconsult: Sp. z o.o., Oddział w Poznaniu.  
DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A. 2011 – Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., RODZICH A. 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych. Poradnik metodyczny. Wydaw. Med., Warszawa.  
KOWALCZAK P. I IN. 1993 – Ocena zasobów wodnych dorzecza Prosnicy. Ocena udziału odpływu podziemnego. Przepływy nienaruszalne. IMGW Oddział w Poznaniu. Archiwum Hydroconsult: Sp. z o.o., Oddział w Poznaniu.  
PASŁAWSKI Z., KOCZOROWSKA J. 1974 – Odpływ podziemny rzek na obszarze dorzecza Warty. Prz. Geof., 19 (1): 17–29.  
RYNARZEWSKI W. I IN. 2015 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne zlewni Prosnicy. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań. Konsorcjum Firm: Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu  
PROXIMA S.A. Generalny Wykonawca PIG-PIB Warszawa.  
SZYMANKO J. 1980 – Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wydaw. Geol., Warszawa.