

Zasoby odnawialne (metoda Wundta) i dyspozycyjne wód podziemnych w zlewni Redy

Wojciech Prussak*

Zasoby wód podziemnych, przedstawiane w formie modułu zasobów dyspozycyjnych dla wyznaczonej jednostki modułowej, są jednym z najważniejszych elementów map geosozologiczno-hydrogeologicznych Polski w skali 1 : 50 000. Według instrukcji opracowanej przez Państwowy Instytut Geologiczny (1995) ... *normalny tok dochodzenia do wartości jednostkowych zasobów dyspozycyjnych powinien wynikać z analizy map zasobowych szczegółowych opracowań regionalnych. Zdarza się jednak często, że dla poszczególnych arkuszy wyżej wymienionych map brak opracowań regionalnych lub też ich wykorzystanie stwarza pewne trudności lub wątpliwości.*

Na podstawie doświadczeń nabytych przy sporządzaniu arkusza Wejherowo mapy geosozologiczno-hydrogeologicznej opisuje się, możliwy niekiedy do zastosowania, tok dochodzenia do wartości modułów zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych. Przedstawiany schemat postępowania, na przykładzie zlewni Redy (województwo gdańskie), dotyczy obszaru, w obrębie którego, wody podziemne są w silnym związku hydraulicznym z wodami powierzchniowymi, rzecznyymi.

Uwzględniono przy tym następujące zasady:

— wody powierzchniowe i podziemne są ściśle związane hydrologicznie. Celem każdego programu badań i zagospodarowania wód powinno być zharmonizowanie i skoordynowanie eksploatacji wód powierzchniowych i podziemnych (Castany, 1972),

— zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w zlewni hydrologicznej (jednostce modułowej) stanowią część zasobów wód powierzchniowych, którą można odprowadzić ze zlewni rzecznej bez naruszenia interesów użytkowników i rozmieszczenie ujęć, po wodowskaz Wejherowo, nie powodują większych zniekształceń.

— bilans wodny zlewni hydrologicznej dla wielolecia jest zrównoważony i ponadto dla uproszczenia nie uwzględnia się eksploatacji wód podziemnych. W rozpatrywanym przypadku wielkość poboru wód podziemnych i rozmieszczenie ujęć, po wodowskaz Wejherowo, nie powodują większych zniekształceń.

Należy zaznaczyć, że jest to schemat, w którym występują elementy nie w pełni jednoznacznie przyjmowane, jak np. wielkość przepływu rzecznej nienaruszalnego, wiarygodne wielolecia bilansowe i inne. Prezentowany schemat, w którym wykorzystuje się metodę Wundta, umożliwi jednak w prosty i wiarygodny sposób wyznaczyć moduły zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych na podstawie wieloletnich, łatwo dostępnych pomiarów odpływu rzecznej. Schemat ten może być wykorzystany jako jedna z metod ustalania wskaźnikowej (modułowej) wysokości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obrębie zlewni hydrologicznej (jednostki bilansowej). Opisany schemat stanowiłby więc uzupełnienie wykazu metod przybliżonych, wskaźnikowych (modułowych) oceny zasobów wód podziemnych, które są np. opisane w poradniku metodycznym (Ustalanie zasobów dyspozycyjnych..., 1996).

Metoda Wundta (Wundt *vide* Dynowska & Tłałka, 1982) polega na utożsamianiu odpływu gruntowego z wartością średnią, dla wielolecia, z miesięcznych minimalnych przepływów rzecznych (SNQ). Jest to metoda mało pracochłonna i obiektyw-

na (Dynowska & Tłałka, 1982). Bocheńska i in. (1994) wobec niedostatku rozpoznania hydrogeologicznego przyjęli tą metodę jako podstawową do oceny zasobów wód podziemnych zlewni Oławy, podkreślając, że im dłuższy okres obserwacji odpływu rzecznej, tym wyniki są bardziej wiarygodne. Dąbrowski i Kowalczak (1994) wskazują przy tym, że optymalne jest 30-letnie 1951–1980. Poniżej prezentuje się zastosowanie metody Wundta oraz uzyskane wartości modułów zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych dla zlewni Redy nawiązując przy tym do wyników uzyskanych w Dokumentacji hydrogeologicznej..., (1986) ustalającej zasoby wód podziemnych zlewni Redy.

Moduł zasobów odnawialnych. Rozważając bilans wodny warstwy wodonośnej o swobodnym zwierciadle wody, jak również o zwierciadle napiętym, ale silnie związanej z wodami powierzchniowymi, przyjmuje się, że głównym przychodem w bilansie jest infiltracja miarodajna (I_m), a rozchody to głównie odpływ podziemny, gruntowy (Q_g). Przy bilansie zrównoważonym (z wielolecia):

$$I_m = Q_g \quad (\text{Castany, 1972})$$

Wyznaczenie wartości odpływu podziemnego jest proste jeżeli wykorzystana jest metoda Wundta. Dane uzyskuje się z roczników hydrologicznych przyjmując, że:

$$SNQ = Q_g = I_m$$

stąd:

$$M_o = \frac{SNQ}{A}$$

gdzie:

SNQ — przepływ rzeczny średni z minimalnych miesięcznych dla wielolecia — m^3/s ,

M_o — moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych — $m^3/s/km^2$, po przeliczeniach $m^3/24 h/km^2$,

A — powierzchnia zlewni wodowskazowej, cząstkowej (jednostki bilansowej) — km^2

W tab. 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla całej kontrolowanej zlewni Redy oraz dla poszczególnych zlewni wodowskazowych, które są jednocześnie jednostkami modułowymi. Dodatkowo, wykorzystując wartość wskaźnika opadów (P), w tab. 1 podano obliczoną wartość infiltracji miarodajnej dla poszczególnych zlewni (jednostek modułowych) wykorzystując zależność: $W_e = Q_g/P \cdot A$ i stosując znane przeliczniki jednostkowe.

Zweryfikowano tym samym wskaźniki infiltracji efektywnej (W_e), zależne od litologii osadów powierzchniowych, które były wykorzystane we wspomnianej Dokumentacji hydrogeologicznej..., (1986) przy tzw. infiltracyjnej metodzie obliczeń zasobów odnawialnych, dynamicznych. Uzyskane wartości W_e , związane w tym przypadku bezpośrednio z wartościami modułów zasobów odnawialnych wód podziemnych, logicznie nawiązują do litologii osadów występujących na powierzchni terenu poszczególnych jednostek bilansowych, zlewni cząstkowych (ryc. 1). Najwyższe wartości $W_e = 0,36$, uzyskano dla zlewni Redy po wodowskaz Zamostne tj. tam, gdzie na znacznej powierzchni terenu występują osady piaszczyste, najniższe wartości $W_e = 0,09$ uzyskano dla cząstkowej zlewni Redy między Wejherowem a Zamostnem, bez zlewni Bolszewki, czyli tam, gdzie na powierzchni terenu dominują osady mułkowo-ilaste oraz torfy. Moduł zasobów odnawialnych, dla całej zlewni Redy o powierzchni $472 km^2$, wynosi $430 m^3/24h/km^2$ czyli zasoby odnawialne wynoszą

*Oddział Geologii Morza, Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Polna 62, 81-740 Sopot

8450 m³/h. W tym miejscu należy podać, że dla zlewni pradoliny Redy o powierzchni 73 km² zatwierdzono zasoby eksploatacyjne w wysokości 7500 m³/h (kategorii B + C — Dokumentacja hydrogeologiczna..., 1986). Jednocześnie w dokumentacji podaje się, że zasoby odnawialne pradoliny wynoszą 2600 m³/h. Przypisanie wyżej podanych zasobów tj. 7500 m³/h do powierzchni pradoliny wzbudziło wątpliwości autora artykułu. Poniżej przedstawia się możliwość innego spojrzenia na zagadnienie zasobów wód podziemnych w tym rejonie, nie negując przy tym zatwierdzonych wysokości zasobów eksploatacyjnych, które jednakże wiąże się z całą powierzchnią zlewni Redy. Autor zdaje sobie sprawę z niezgodności zasięgów zlewni powierzchniowych i podziemnych, z istniejących przepływów wód podziemnych pomiędzy zlewniami, ale uważa, że nie ma to znaczącego wpływu w rozważanych zagadnieniach.

Moduł zasobów dyspozycyjnych. W pierwszym przybliżeniu zasoby dyspozycyjne mogą być utożsamiane z zasobami odnawialnymi (dynamicznymi) wód podziemnych. W rzeczywistości zasoby dyspozycyjne mogą być równe, mniejsze lub większe od zasobów odnawialnych (Castany, 1972). We wspomnianej instrukcji stwierdzono, że zasoby odnawialne są podstawą zasobów dyspozycyjnych. Ponadto zwrócono uwagę na konieczność uwzględniania w bilansie zasobowym wartości nienaruszalnych przepływów rzecznych (Q_n).

Według Kostrzewy (1977 — *vide* Ozga-Zielińska & Brzeziński, 1994) przepływem nienaruszalnym Q_n nazywa się graniczną wartość przepływu rzeczno, poniżej które-

go, przepływy wody w rzece nie powinny być zmniejszane na skutek działalności gospodarczej. Uwzględnia się przy tym przesłanki hydrobiologiczne, rybacko-wędkarskie, turystyczne i ochrony przyrody. Najczęściej wykorzystaną miarą jest przepływ średni niski z wielolecia SNQ, wyliczany z minimalnych przepływów rocznych (NNQ). Dla przepływu nienaruszalnego hydrobiologicznie, który ma podstawowe znaczenie, stosuje się zależność:

$$Q_{nh} = k \text{ SNQ}$$

gdzie:

$k = 0,5$ — dla rzek o powierzchni zlewni powyżej 2500 km²

$k = 1,0$ — dla małych rzek nizinnych

$k = 1,27$ — dla rzek podgórskich i przejściowych

$k = 1,52$ — dla rzek górskich.

W rozpatrywanym przypadku przyjęto $k = 1,0$ czyli $Q_{nh} = Q_n = \text{SNQ}$. Dla zlewni Redy autor przyjął jako przepływ nienaruszalny SNQ średni z minimalnych miesięcznych dla wielolecia 1961–1983, nawiązując do wspomnianej dokumentacji. Uzyskano przy tym wartości Q_n zbliżone do wartości podawanych przez Kostrzewę (1972) dla wielolecia 1951–1965, które wynoszą w profilu Wejherowo 1,90 m³/s, w profilu Reda 2,25 m³/s (tab. 1). W konsekwencji powyższego, autor artykułu przyjmuje, że zasoby dyspozycyjne wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Redy (Q_{dysp}) można opisać równaniem:

$$Q_{dysp} \leq \text{SSQ} - \text{SNQ}$$

przy zachowaniu warunku:

$$Q_{dysp} \leq \text{SNQ}$$

gdzie:

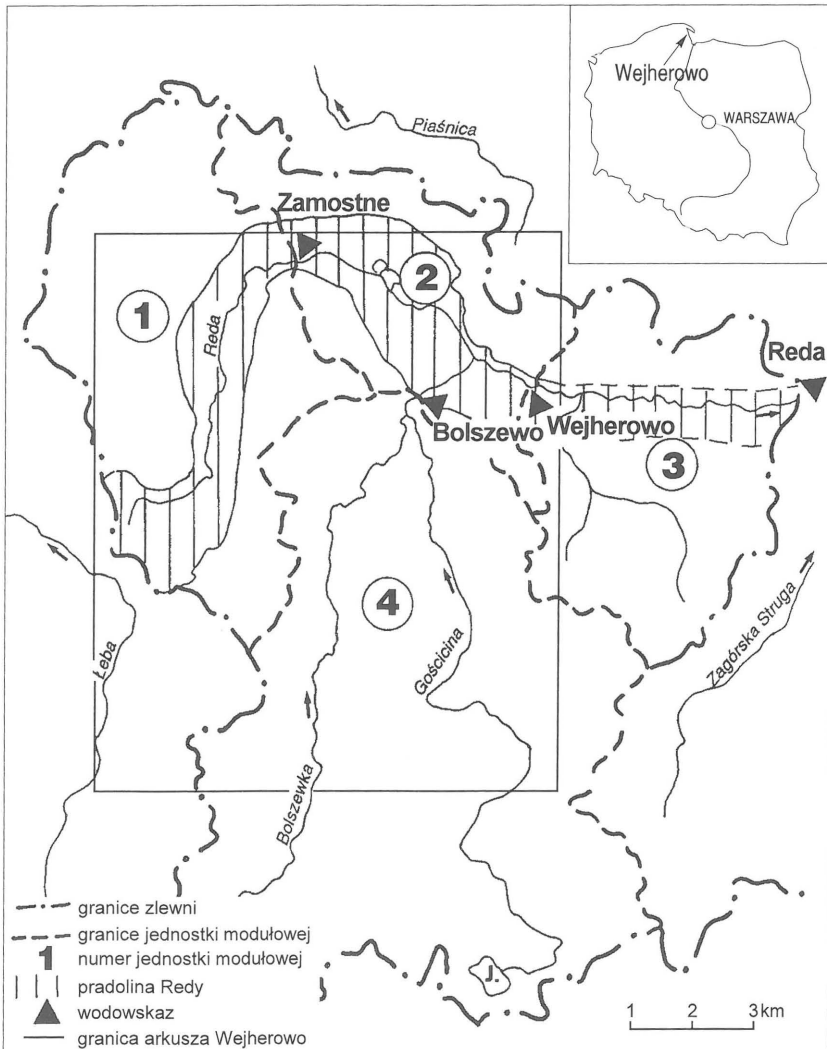
SSQ — średni z wielolecia przepływ rzeczny utożsamiany z odpływem całkowitym.

Wynika stąd, że zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Redy (jednostka modułowa), z uwzględnieniem przepływu nienaruszalnego rzeki, określane mogą być różnicą pomiędzy przepływem rzeczno średnim a przepływem średnim niskim z wielolecia (z minimalnych miesięcznych), przy zachowaniu podanego warunku. W tab. 1 przedstawiono obliczenia dla całej zlewni Redy i poszczególnych zlewni wodowskazowych, gdzie:

$$M_{dysp} = \frac{\text{SSQ} - \text{SNQ}}{A}$$

M_{dysp} — moduł zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w danej zlewni hydrologicznej, spełniający wyżej podany warunek (m³/s/km²), po przeliczeniach (m³/24h/km²).

Rozpatrywanymi jednostkami modułowymi są tu cztery zlewnie wodowskazowe Redy. Średni moduł zasobów dyspozycyjnych dla całej zlewni wynosi $M = 420 \text{ m}^3/24 \text{ h/km}^2$ czyli zasoby dyspozycyjne całej zlewni wynoszą 8250 m³/godz. Jedynie w zlewni Redy po Zamostne wyznaczony przez autora moduł zasobów dyspozycyjnych jest niższy od modułu zasobów odnawialnych. Dostosowano się w tym przypadku do warunku, że zasoby odnawialne nie mogą zmniejszać przepływu nienaruszalnego. W dwóch jednostkach modułowych zwraca uwagę wyraźna przewaga wartości splotu powierzchniowego nad odpływem gruntowym. Obserwuje się to w zlewni Redy po Wejherowo i w zlewni Bolszewki. Związ-



Ryc. 1. Jednostki modułowe zlewni Redy

Tab. 1. Charakterystyka zasobowa zlewni Redy

Numer jednostki modułowej	Opis zlewni	A km ²	SSQ m ³ /s	SNQ m ³ /s	SSQ-SNQ m ³ /s	M ₀ m ³ /24h/km ²	We	M _{dysp} m ³ /24/km ²	Q _{dysp} A·M _{dysp} m ³ /h
1	Reda po Zamostne	110,9	1,48	0,94	0,54	730	0,36	420	1940
2	Reda po Wejherowo*	395,2	4,43	1,75	2,68	380	0,19	380	6300*
3	Reda po Redę*	471,6	4,62	2,34	2,28	430	0,21	420	8250*
4	Bolszewka po Bolszewo	221,1	1,73	0,68	1,05	265	0,13	265	2450

SSQ, SNQ — dla wielolecia 1961–1983, SNQ — wyliczany jako średni z minimalnych przepływów miesięcznych przy P=742 mm dla wielolecia 1961–1983, * — w tym zlewnia Bolszewki

ne jest to z udziałem w odpływie wód tranzytowych. Pojęcie wody tranzytowe, w danym fragmencie zlewni, wprowadziła Poźniak, 1975 (vide Pleczyński, 1981). Również Kazimierski i Sikorska-Maykowska (1996) wprowadzają do literatury pojęcie zlewni tranzytowych.

Jak już wspomniano w Dokumentacji hydrogeologicznej..., (1986) regionalnej udokumentowano zasoby eksploatacyjne pradoliny Redy o powierzchni 73 km² w wysokości 7500 m³/h. Porównując to z wartością zasobów dyspozycyjnych zlewni Redy, wyznaczonych metodą Wundta wynoszącą 8250 m³/h uzyskuje się dużą zgodność wyników. Pradolina Redy jest tu regionalną bazą drenażu i stanowi regionalną jednostkę hydrostrukturalną (Główny Zbiornik Wód Podziemnych). Do niej spływają wody powierzchniowe i podziemne z otaczających ją wysoczyzn. Powierzchnia całej zlewni Redy wynosi 472 km². Rozpatrując warunki hydrogeologiczne można się zgodzić, z przypisaniem podanych wartości zasobów eksploatacyjnych do obszaru pradoliny (Dokumentacja hydrogeologiczna..., 1986). Są one w tym przypadku mniejsze od zasobów odnawialnych, które według metody Wundta wynoszą 8450 m³/h.

Dyskutować można natomiast nad prezentacją zasobów wód podziemnych zlewni Redy na mapach hydrogeologiczno-geosozologicznych. Teoretycznie całość wód podziemnych można przejąć w obszarze pradoliny. Jest to jednakże z różnych względów niewskazane. Przede wszystkim z uwagi na niską naturalną odporność tego zbiornika wód podziemnych na zanieczyszczenia (antropopresję) wynikającą z braku izolacji od powierzchni. Autor artykułu, wykorzystując analizę materiałów hydrologicznych, proponuje aby w takiej sytuacji wyodrębnić zasoby dyspozycyjne zlewni tranzytowych, w tym przypadku przede wszystkim zlewni Bolszewki, nie przypisując ich do głównego zbiornika wód podziemnych tj. w konkretnym przypadku do pradoliny Redy. Gdyby przyjęto powyższą sugestię, zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, przedstawiano by odrębnie dla pradoliny Redy i dla zlewni Bolszewki. (w ten sposób zubożając zasoby dyspozycyjne wód podziemnych pradoliny Redy).

W Dokumentacji hydrogeologicznej... (1986) również wyróżniano w zasobach wody pochodzące z dopływu bocznego, z wysoczyzn oraz pochodzące z infiltracji opadów, zachodzącej na powierzchni pradoliny. Wyodrębniona zlewnia Bolszewki, niemal w całości obejmuje wysoczyznę. Wykazane tu zasoby wód podziemnych, jak już wspomniano, nie powinny być włączane do zasobów wód podziemnych pradoliny Redy. Są to wody dobrej jakości, występując w warstwach wodonośnych pod pokrywą glin zwałowych są odporne na antropopresję. Dotyczy to oczywiście innych wysoczyznowych obszarów otaczających pradolinę. Ewentualna intensyfikacja poboru wód podziemnych na wysoczyznach może wywołać dodatkowy — przyrost wielkości infiltracji wód opadowych. Można tu przytoczyć opinię Kleczkowskiego (1979): *Jak wykazuje praktyka, z poziomów położonych blisko powierzchni pobiera się często, bez zakłóceń równowagi pomiędzy poborem a dopływem, znacznie większe ilości wody niżby to wynikało z jednostkowego*

spływu podziemnego. Powyższe dokumentuje również praca Dąbrowskiego (1995), z której wynika, że w warunkach poboru wód podziemnych znacznie wzrasta wartość modułu zasobów odnawialnych, w szczególności w poziomach wodonośnych związanych z wodami rzeczными. Wywód ten zmierza do tego, żeby na mapach geosozologiczno-hydrogeologicznych dokonywać odpowiednich wskazań (rejonizacji) zasobów wód podziemnych w ramach określonych przez opracowania regionalne. W warunkach zlewni Redy takie przesunięcie zasobów dyspozycyjnych jest możliwe i według autora artykułu wskazane.

Autor artykułu opisując wykorzystanie metody Wundta do oceny zasobów odnawialnych i pośrednio dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Redy, wskazuje na możliwości tej metody. Oczywisty jest wniosek, że metoda ta musi być uzupełniana innymi metodami, z uwagi na swe ograniczenia, ale także z powodu konieczności dostosowania się do wymogów instrukcji sporządzania *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000*. Przy okazji przypomnienia metody Wundta, na podstawie analizy warunków hydrologicznych i hydrogeologicznych zlewni Redy, autor proponuje inne spojrzenie na zasoby wód podziemnych tej zlewni podnosząc znaczenie wysoczyzn, jako obszarów nie tylko alimentacyjnych, pomniejszając tym samym znaczenie samej pradoliny Redy.

L i t e r a t u r a

- BOCHEŃSKA T., MARSZAŁEK H. & POPRAWSKI L. 1994 — Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, 248: 43–53.
 CASTANY G. 1972 — Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol.
 DĄBROWSKI S. 1995 — Współczesne problemy hydrogeologii, 7, cz. 2 : 101–108.
 DĄBROWSKI S. & KOWALCZAK P. 1994 — Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, 248: 81–87.
Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych zlewni Redy i Zagórskiej Strugi 1986 — Arch. Przedsięb. Geol. Polgeol, w W-wie, Zakład w Gdańsku. Gdańsk.
 DYNOWSKA I. & TLAŁKA A. 1982 — Hydrografia. PWN.
Instrukcja ramowa sporządzania mapy geosozologicznej Polski 1995 — Wyd. Państw. Inst. Geol.
 KAZIMIERSKI B. & SIKORSKA-MAYKOWSKA M. 1996 — Prz. Geol., 43: 924–927.
 KLECZKOWSKI A. S. 1979 — Hydrogeologia ziem wokół Polski. Wyd. Geol.
 KOSTRZEWA H. 1972 — [W:] Gospod. Zasob. Wod., 17, Inst. Gospod. Wod.: 1–79.
 OZGA-ZIELIŃSKA M. & BRZEZIŃSKI J. 1994 — Hydrologia stosowana. PWN.
 PLECYŃSKI J. 1981 — Odnawialność zasobów wód podziemnych. Wyd. Geol.
Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny 1996 — Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Komisja Dokumentacji Hydrogeologicznych TRIO, Warszawa.