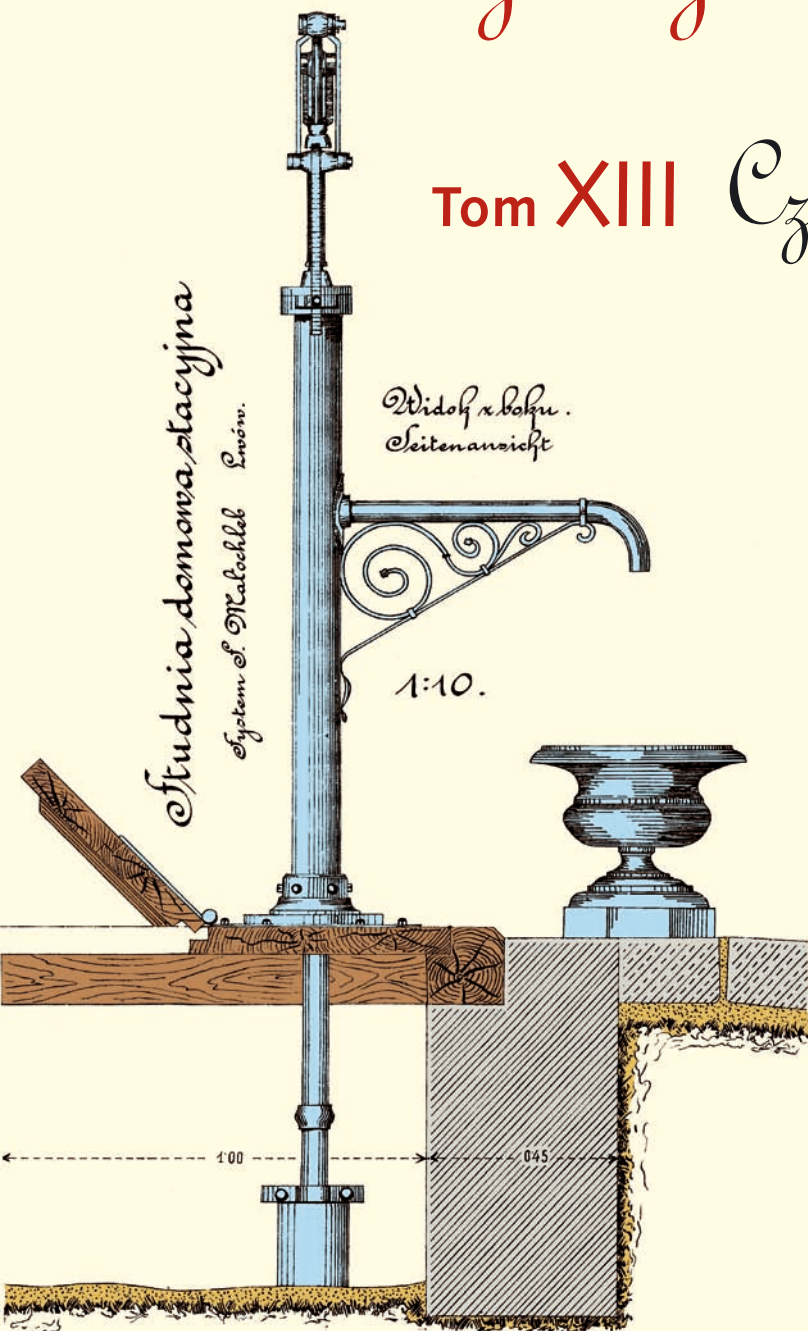


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.





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

Marek Wcisto, Jerzy Bieroński

Problem szacowania zasilania i odpływu podziemnego jako elementów wejściowych w badaniach modelowych zlewni rzeki Kłodnicy

The Problem of Groundwater Runoff and Recharge Evaluation as Input Data in Modelling Research of Kłodnica River Basin

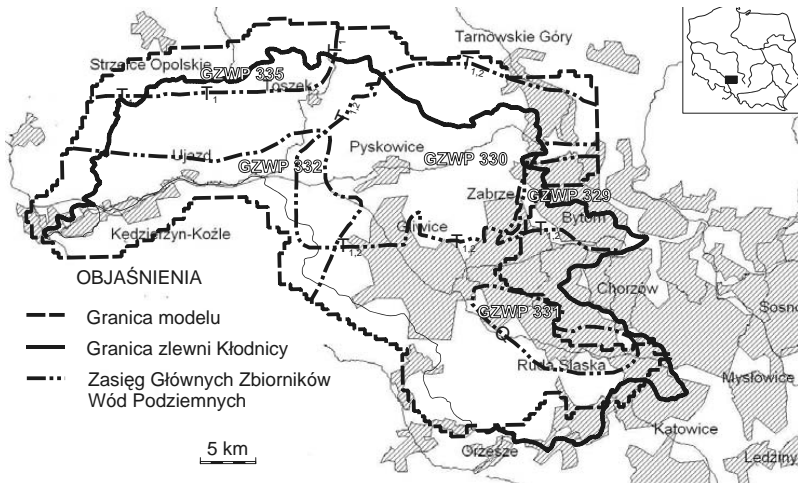
Słowa kluczowe modelowanie hydrogeologiczne, zasilanie, odpływ podziemny

Key words groundwater modelling, recharge, groundwater runoff

Abstract For Kłodnica river basin the modelling research and water ballance analysis in years 2002–2005 were executed for documentation of groundwater disposal resources. It is the most intensively developed urban area in Poland. The water balance in considered region was extremely disturbed. The flow in many streams is highly modified (drainage of excavations, drainage of urban area, Gliwicki Channel interconnection, artificial retention influence, river drainage to underground zone), what results in uncertainty of IMGW stable gauging points flow measurements in groundwater resources evaluation. The problem was solved by comparison of flow characteristic with regional rivers analogue of considerably lower artificial modification. It enabled the assessment of runoff modification level and defining correction coefficients to evaluate water balance. The outcomes were applied to compare with groundwater numerical model. For the sake of big error margin, both: the hydrologic and numerical modelling methods, additional other methods of verification were adopted such as infiltration coefficient method. The paper presents the solution accepted by authors in the extent of assessment of water balance elements and suggested recommendations to make the research outcomes in similar domain more certain in the future.

Wstęp

Model numeryczny zlewni rzeki Kłodnicy został opracowany w latach 2003–2004 w celu oszacowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Obszar badań zlokalizowany jest na obszarze Śląska Górnego i Opolskiego, rozciągając się od Kędzierzyna-Koźle na zachodzie, do rejonu Katowic na wschodzie (rys. 1). Zlewnia zajmuje powierzchnię 1001 km², wykazuje deniwelację 228 m i maksymalną wysokość 400 m n.p.m. Średni niski przepływ Kłodnicy z wielolecia kształtuje się na poziomie 3,5 do 7,11 m³/s, w zależności od źródła danych i metodyki szacowania (Stachy, 1987; Dubicki, 2002). Rozbieżności wiążą się ze skrajnie daleką antropogeniczną modyfikacją reżimu wód podziemnych i powierzchniowych zlewni i koniecznością wykorzystania do obliczeń metod pośrednich. Średni opad zmierzony na terenie zlewni oscyluje wokół wartości 700 mm i wykazuje niskie zróżnicowanie przestrzenne. Opad roczny skorygowany wynosi około 900 mm, osiągając średnio do 940 mm w górnych partiach dorzecza. Środowisko występowania wód podziemnych w omawianym obszarze stanowią utwory neogenu, paleogenu, triasu oraz karbonu, występujące w układzie piętrowym lub lateralnym. W części zachodniej zlewni, nisko zurbanizowanej utwory starsze od paleogenu występują głęboko, poza zasięgiem ujęć. W części wschodniej znajdują się wychodnie skał triasowych, budujących szczelinowo-krasowe GZWP Gliwice oraz Bytom (Rózkowski, 1991) (rys. 1). Ich wody wykorzystywane są na maksymalnym, dopuszczalnym poziomie, co manifestuje się w rozległej depresji zwierciadła sięgającej 60–70m (Kowalczyk, 2003) (rys. 2). Zasięg zbiornika Bytom jest sukcesywnie redukowany z powodu obniżania jego parametrów jakościowych i ilościowych (Kropka, 2003).



Rysunek 1. Mapa lokalizacyjna zlewni Kłodnicy oraz obszaru badań modelowych.

Objaśnienia: 1 — granica modelu; 2 — Granica zlewni Kłodnicy; 3 — Zasięg GZWP
Figure 1. Location of Kłodnica river basin and research area of groundwater modeling.

Explanation: 1 — model boundary; 2 — Kłodnica river basin boundary; 3 — Area of Major Groundwater Basins

Wodonośiec karboński, kontaktujący bocznie z omawianymi GZWP oraz znajdujący się w ich podłożu gromadzi wody zdegradowane ilościowo oraz jakościowo przez działalność górnictw (Rózkowski, 1991; Chmura, 1998; Dziuk i in., 1997). Jego wpływ na warunki hydrogeologiczne formacji triasu nie zawsze jest czytelny (Kowalczyk, 2003). Omawiany system zlewni posiada skomplikowaną strukturę. Zasilanie jego elementów składowych może zachodzić przez bezpośrednią infiltrację, poprzez utwory trudno przepuszczalne, przez okna hydrogeologiczne oraz bocznie, wzdłuż stref nieciągłości. Główną bazę drenażu dla poziomów porowych części zachodniej stanowi rzeka Kłodnica oraz biegnący wzdłuż niej kanał Gliwicki. W części zachodniej środowisko szczelinowo-krasowe triasu drenują duże ujęcia wód podziemnych rejonu Gliwic oraz działalność górnictwa (rejon Bytomia, Tarnowskich Gór). Górotwór karboński prowadzi obecnie głównie wody zawieszane ze względu na degradację, jedynie w części północnej obszaru zlewni (rejon Toszka) warunki zbliżone są do naturalnych. Wszystkie z wymienionych pięter są od siebie izolowane na znacznych przestrzeniach utworami trudno przepuszczalnymi.

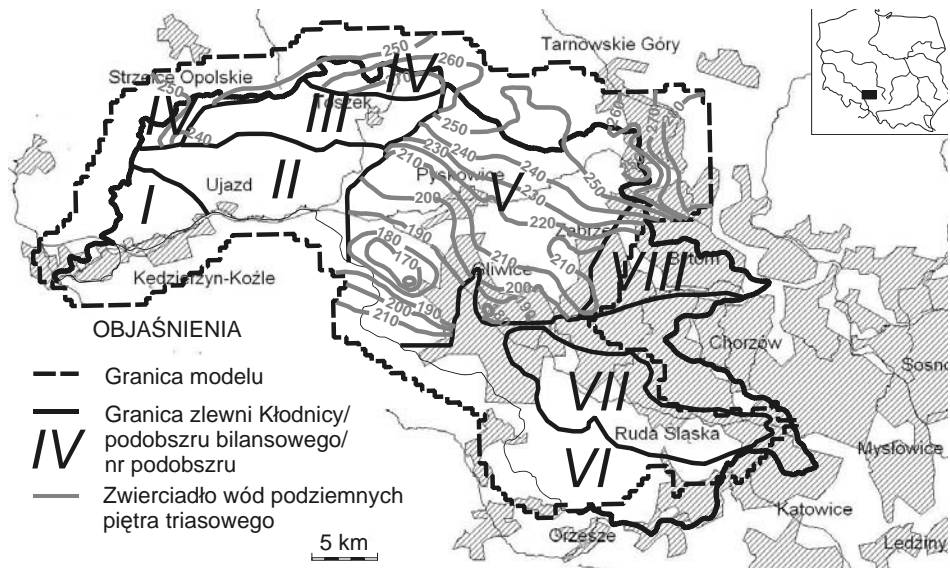
Model numeryczny

Model numeryczny objął powierzchnię 1200 km² (rys. 1). W obszarze zlewni pokrywa 870 km², pozostała część znajduje się poza jej granicami. Wydzielono 5 warstw numerycznych, odpowiadających kolejno od góry:

- I — utworom wodonośnym neogenu;
- II — glinom polodowcowym oraz utworom ilastym paleogenu;
- III — utworom wodonośnym paleogenu, zaś tam gdzie ich nie ma — utworom wodonośnym triasu oraz karbonu;
- IV — utworom nieprzepuszczalnym wieku paleogeńskiego, podścielającym poziom wodonośny tego właśnie wieku;
- V — piętru triasu lub karbonu (rys. 2).

Zastosowano krok siatki równy 500 m, bez jej lokalnego zagęszczenia. Pozwoliło to na odanie stromych spadków hydraulicznych w rejonie większych ujęć, choć jednocześnie skutkowało w wydłużeniu procesu iteracyjnego. Otrzymano rozwiązanie, spełniające wszystkie kryteria dokładności modelu. Bilans domykał się z błędem poniżej 0,1%, zaś rozbieżność zwierciadła pomierzonego i otrzymanego nie przekroczyła 5 m w przypadku ujęć generujących najwyższe depresje.

Poważną barierą dla wiarygodnej kalibracji i weryfikacji modelu okazało się oszacowanie wartości zasilania oraz odpływu podziemnego. Problem ten oraz rozwiązanie zastosowane przez autorów szczegółowo omawiają następne akapity. Ostateczny wynik pozwolił osiągnąć rozbieżność między odpływem rejestrowanym a modelowanym nie przekraczającą 8 %.



Rysunek 2. Zwierciadło wód podziemnych triasowego piętra wodonośnego. Objasnienia: 1 — granica modelu; 2 — granica zlewni Kłodnicy lub podobszaru bilansowego; 3 — nr podobszaru bilansowego; 4 — hydroizohipsy triasowego piętra wodonośnego

Figure 2. Groundwater table elevation of triassic aquifer. Explanation: 1 — model boundary; 2 — Kłodnica river basin boundary or budget sub-area; 3 — sub-area nr; 4 — triassic water table contour map

Problem szacowania odpływu podziemnego w oparciu o przepływy charakterystyczne

Zlewnia Kłodnicy jest jedną z najsilniej zmienionych antropogenicznie zlewni naszego kraju. Naturalne cechy reżimu odpływu są tam zmienione nie tylko wskutek drastycznej ingerencji w warunki przepuszczalności podłoża (tereny zabudowane, nawierzchnie utwardzone i odwadniane kanalizacyjnie) i nie tylko wskutek obciążenia odpływu zrzutami ścieków, oraz górniczych wód dołowych. Zlewnia ta jest bowiem w sensie ścisłym niedomknięta w odcinku poniżej profilu obserwowanego Gliwice — gdzie Kłodnica spłata się z Kanałem Gliwickim. Gospodarka wodna Kanału Gliwickiego uległa drastycznej zmianie po wojnie. Wcześniej gospodarowano tam wodą możliwie oszczędnie — poprzez jej pompowanie z odcinków śluzowań. W ten sposób kanał funkcjonował w zasadzie bezprzepływowo. Po wojnie zaniechano pompowań i każdemu śluzowaniu jednostki pływającej towarzyszy pobór wody z zasobu zlewniowego Kłodnicy.

Odłącznym problemem dla hydrologicznych obliczeń zasobowych jest dynamika antropogenicznego obciążenia przepływów charakterystycznych Kłodnicy, następująca w wyniku zachodzących w wieloletnich zmianach intensywności oddziaływań antropogenicznych (w tym także zmian w strukturze tych oddziaływań). W obliczu konieczności posługiwania się wskaźnikami wieloletnimi charakterystyk odpływu, pożądaną byłaby syntetyczna infor-

macja o skutkach ilościowych tych zmian, przynajmniej w ujęciu dekadowym. Niestety — w praktyce zdarza się to rzadko. W zlewniach słabo zmienionych antropogenicznie problem ten jest mało istotny, ale w zlewniach typu Kłodnicy jest nie do pominięcia. Z tego powodu dla oszacowań zasobowych zlewni Kłodnicy koniecznym stało się wypracowanie metody umożliwiającej uzyskanie wyników choćby przybliżonych i jednocześnie możliwie wiarygodnych.

Uznaliśmy zatem za stosowne dokonanie próby wykorzystania rozwiązania polegającego na zastosowaniu analogu regionalnego. Analizę problemu poprzedzono oceną rozmiarów antropogenicznego przekształcenia charakterystyk odpływu wieloletniego. Problem trendu czasowego ich zmian rozwiązano poprzez prześledzenie 30-letnich tendencji zmian SSQ (1971–2000), które nie wykazało tendencji o rozmiarach istotnych — uwzględniając okresy ewidentnie anormalne hydrologicznie (np. wysoki odpływ w 1977 r., związany z sytuacją powodziową w S Polsce — na tym obszarze groźniejszą niż w 1997 r.). Analiza ta wskazuje na sterowanie bardziej przez fluktuacje klimatyczne, aniżeli związane ze zmianami zagospodarowania. Zatem w analizowanych 3 dekadach stopień antropogenizacji odpływu wydaje się być sumarycznie stabilny. Umożliwia to przyjęcie, iż tak quasistabilne zjawisko staje się charakterystyką regionalną, mogącą być porównywaną z regionami sąsiadującymi, nieistotnie zmienionymi antropogenicznie.

Za analog regionalny przyjęto zlewnię Małej Panwi w przekrojach obserwowanych powyżej zbiornika w Turawie. Poprzedzone to zostało analizą innych sąsiadujących zlewni: Suminy w Nędzy (ewidentny niedobór odpływu), Rudy w Gotartowicach (wyraźny nadmiar odpływu), Rudy w Rudzie Kozielskiej (niewielki nadmiar odpływu), Nacyny w Rybniku (ewidentny nadmiar odpływu). Zbliżone do Małej Panwi charakterystyki wystąpiły w zlewniach Stoły w Wesolej oraz Bierawki w Bierawie i w Tworogu Małym. Podkreślić należy, że w analizowanym regionie niezmiernie trudno jest o zlewnie w stopniu nieistotnym zmienione antropogenicznie. Chyba jedyną spośród obserwowanych jest właśnie Mała Panew.

W przyjętej metodzie analogu regionalnego za podstawowe uznano obliczenie parametru wielkości oddziaływań antropogenicznych, ustalonych z równania:

$$A = SSQ - (P - E)$$

gdzie: A – oddziaływania antropogeniczne [m^3/s]; SSQ – średni wieloletni przepływ [m^3/s]; P – średnie zasilanie opadowe, po skorygowaniu opadu [m^3/s]; E – średnia wielkość ewapotranspiracji ustalona z analogu regionalnego [m^3/s].

Konsekwentnie — dla oszacowania odpływu podziemnego oparto się na wielkości SNQ pomniejszonej o wielkość A (z uwzględnieniem znaku). Zgodnie z oczekiwaniami, stwierdzony został znaczny nadmiar odpływu w stosunku do analogu w górnej części zlewni Kłodnicy (szczególnie w zlewni Bytomki), natomiast w dolnej części zlewni Kłodnicy (profil Lenartowice) — stwierdzony został niedobór odpływu. Nadmiar odpływu w górnej części zlewni tłumaczyć należy zrzutami wód kopalnianych oraz oddziaływaniem drenaży kanalizacyjnych, natomiast niewielki niedobór odpływu w dolnej części zlewni tłumaczony być powinien przede wszystkim stratami związanymi z gospodarką wodną na Kanale Gliwickim.

Uzyskane wyniki nie wskazują na jakościową sprzeczność z danymi wynikającymi z natury oddziaływań antropogenicznych na obszarze zlewni Kłodnicy. Pozostają wątpliwości odnośnie ich dokładności. Odnośnie tego problemu sprawa nie przedstawia się jasno. Spodziewane dokładności bilansowania szczegółowego tak silnie zmienionej antropogenicznie zlewni też jednak nie mogą być w praktyce wysokie.

Podkreślić należy, że rola obszarów zurbanizowanych w kształtowaniu krótko retencjonowanej składowej odpływu rzek jest wysoka i ma wybitne znaczenie w bilansie odpływu. Tym samym rosnąć musi błąd w oszacowaniach zasobowych opartych na wskaźnikach przepływów charakterystycznych w zlewniach silnie zurbanizowanych. Ignorować tego faktu nie wolno. Szukać zatem trzeba sposobu na jego uwzględnienie, jeżeli bilansowanie szczegółowe z różnych powodów staje się niemożliwe lub mocno wątpliwe co do swej wartości. Zastosowana metoda powinna być badana pod kątem zgodności z rozwiązaniami szczegółowymi w obszarach, dla których istnieje taka możliwość.

Zasilanie wód podziemnych i zasoby dynamiczne

Bilans wód podziemnych określony w oparciu o metody hydrologiczne (tab. 1) stanowił punkt odniesienia do kalibracji modelu hydrogeologicznego. Pierwszy etap badań poprowadzono w kierunku minimalizacji modyfikacji założonych danych wejściowych. Priorytetowo potraktowano zasilanie. Jego wielkość nawiązywała do założonego odpływu podziemnego, zaś zróżnicowanie określono w oparciu o mapę przepuszczalności utworów powierzchniowych. Aby osiągnąć założone wartości odpływu podziemnego oraz pomierzone wysokości hydrauliczne, modyfikowano rozkład współczynnika filtracji. W rezultacie zanotowano przeciętnie dziesięciokrotny wzrost przepuszczalności dla większości wydzieleń.

Tabela 1. Bilans wód podziemnych w zlewni Kłodnicy w oparciu o badania hydrologiczne
Table 1. Groundwater resources of Kłodnica River basin based on hydrologic research

Nazwa przekroju/ rzeka	Powierzchnia. zlewni A [km ²]	Zasilanie P [m ³ /s]	Parowanie 645 E [m ³ /s]	Suma oddziaływań antropogenicznych na SSQ [m ³ /s]	Odpł. SSQ [m ³ /s]	Odpł. SNQm [m ³ /s]	Oszac. odpł. podz. [m ³ /s]	Mod. odpł. podz. M _g [l/s* km ²]
Kłodnica/ Kłodnica	72,9	2,17	1,49	+0,30	0,98	0,67	0,37	5,08
Gliwice/ Bytomka	136,5	4,00	2,79	+1,50	2,71	2,21	0,71	5,20
Gliwice/ Kłodnica	444,0	12,87	9,07	+2,90	6,70	4,83	1,93	4,35
Lenartowice/ Kłodnica	1001,0	28,40	20,46	-1,17	6,77	4,05	5,22	5,21

We wczesnym etapie weryfikacji modelu, rozwiązanie to odrzucono, ponieważ stopień odwzorowania symulowanych progностycznie depresji w poszczególnych ujęciach był niewystarczający. Wynikało z tego, iż parametrami o niższym stopniu wiarygodności są odpływ podziemny oraz zasilanie. Na fakt ten wpływa nie tylko brak dobrych podstaw ich szacowania, ale również znaczna rozbieżność wododziałów powierzchniowych i podziemnych badanej zlewni (rys. 2). W zaistniałej sytuacji oceniono powyższe parametry w oparciu o metodę wskaźnika infiltracji efektywnej (Pazdro, 1983). Na badanym obszarze źródłem weryfikacji mogły być wcześniej wykonane badania modelowe GZWP 330 (Dziuk i in., 1997) oraz metoda oceny zasilania w oparciu o zasięg lejów depresji większych ujęć. Weryfikacja dała pozytywne wyniki (tab. 2), co potwierdza słuszność przyjętej metodyki.

Tabela 2. Wyniki weryfikacji modelu
Table 2. Model verification outcomes

Rodzaj obszaru bilansowego	Powierzchnia testowego obszaru bilansowego [km ²]	Testowany parametr	Wartość wzorcowa	Wartość wynikowa	Rozbieżność [%]
Zlewnia cząstkowa	395,9	moduł odpływu podziemnego [l/s*km ²]	2,5-3,0	3,52	0
Zlewnia cząstkowa	395,9	moduł odpływu podziemnego [l/s*km ²]	3,81	3,52	7,6
Lej depresji ujęcia „Staszic”	20,30	zasilanie [mm]	200	189	5,5
Zlewnia cząstkowa	395,9	zasilanie [mm]	126	120	4,8
GZWP 330	432,5	zasilanie [mm]	85	81	4,7

Rozbieżność zasilania otrzymanego na modelu i w rejonie ujęcia Staszic wyniosła 5,5%.

Różnica między wynikami modelowania zrealizowanego dla GZWP 330 (1996) i dla analogicznego obszaru zajmowanego przez zlewnię Kłodnicy (2003–2004) kształtuje się na poziomie 4,7%. Na pozostałych testowych obszarach rozpatrywana wartość rozbieżności oscyluje wokół 5%. Wynikiem prac modelowych jest oszacowanie zasilania równoznacznego z zasobami dynamicznymi systemu hydrogeologicznego zlewni (tab. 3). Jest ono znacznie niższe od pierwotnie przyjętych wartości, wynikających z bilansu hydrogeologicznego i wynosi 4,30 l/s*km².

Tabela 3. Zasoby odnawialne obliczone metodą modelowania numerycznego
Table 3. Renewable groundwater resources based on numerical modeling

Obszar bilansowy		Powierzchnia [km ²]	Zasoby odnawialne [m ³ /d]				Moduł zasobów odnawialnych	
			Q	Tr	T	C	m ³ /(d·km ²)	l/(s·km ²)
I	Kędzierzyn	45,8	20000	5900	0	0	566	6,55
II	Ujazd	99,5	30700	7300	0	0	382	4,42
III	Toszek	72,5	14300	0	0	3200	241	2,79
IV	Sieroty	55,25	4900	0	8700	0	246	2,85
V	Gliwice	337,0	47400	8800	64400	0	358	4,14
VI	GOP	215,4	17500	2000	0	15400	162	1,88
VII	Kłodnica Górna	109,3	20400	0	0	25100	416	4,82
VIII	Bytom	66,25	0	0	75700	0	1143	13,23
Łącznie obszar zlewni		1001	155200	24000	148800	43700	371	4,30
Mod. zas. odn. [l/s/km ²] dla obszaru zlewni			1,79	0,28	1,72	0,51		

Wnioski

Dotąd przyjmowano, iż zasilanie wód podziemnych jest parametrem, który podlega kalibracji w zakresie rozkładu, a nie samej wartości. Badania modelowe zlewni Kłodnicy wykazały, iż należy brać pod uwagę jego zmiany, jeżeli zakres modyfikacji współczynnika filtracji silnie wykracza poza przyjęty model koncepcyjny.

Metody hydrologiczne nie zawsze mogą stanowić źródło weryfikacji parametrów zasilania i odpływu podziemnego modeli numerycznych, szczególnie w obszarach o reżimie wód powierzchniowych silnie zmienionym antropogenicznie.

Należy wykorzystywać zróżnicowane metody wiarygodnej weryfikacji prac modelowych. Hierarchia ich wiarygodności zmienia się w zależności od specyfiki obszaru badań.

Literatura

- Chmura A., 1998: *Mapa hydrogeologiczna Polski, skala 1: 50 000 – arkusz Gliwice.*
- Dubicki A. (red.), 2002: *Zasoby wodne w dorzeczu górnej Odry w warunkach suszy.* IMGW Warszawa.
- Dziuk M., Korona W., Kowalczyk A., Kropka J., 1997: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych na obszarze triasu gliwickiego (GZWP Gliwice Nr 330).* Częstochowskie Przedsiębiorstwo Geologiczne Sp. z o.o., Częstochowa.
- Kowalczyk A., 2003: *Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji.* Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.

- Kropka J., 2003: *O zasadności utrzymania GZWP Bytom nr 329 w obszarach aglomeracji miejsko-przemysłowej i intensywnego drenażu górniczego*. Współczesne Problemy Hydrogeologii – Tom XI, cz. 1 – Gdańsk s, 105–111.
- Pazdro Z., 1983: *Hydrogeologia ogólna*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa.
- Rózkowski A., 1991: *Regiony hydrogeologiczne i ich charakterystyka. Region krakowsko-śląski*. [W:] Budowa geologiczna Polski. Hydrogeologia t. 7. Red. Malinowski J. Wyd. Geolog., Warszawa, s. 157–176.
- Stachy J. (kier. oprac.), 1987: *Atlas hydrologiczny Polski*. Wyd. Geolog., Warszawa.
- Zalewska M., Bieroński J., Kempański G., Panek D., Wojciechowicz D., Bajcar D., Wcisło M., Szyszkowska B., Szyszkowski P., 2004: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewni rzeki Kłodnicy*.