

## Problem oceny zasobów odnawialnych wód podziemnych systemów wielowarstwowych metodą modelowania na przykładzie zlewni Kłodnicy

Marek Wcisło\*



**The problem of groundwater renewable resources assessment of multi layer systems with the numerical modeling on the example of Kłodnica catchment.** Prz. Geol., 55: 324–329.

*Su m m a r y.* Groundwater renewable resources are the basis to estimate water-bearing and safe exploitation. Safe yield (disposal resources) in turn, exerts the influence on decisions about new intakes location, limitation of groundwater extraction in the older one and limitation of land use by defining protection areas. In spite of this, the problem seems to disappear in polish scientific literature and documentations. From numerous consultations in revisers circle during execution of groundwater model of Kłodnica catchment, results that there is possible various approach to renewable groundwater resources assessment. The conclusion is that the discussion is needed about the methodology and feasibility of such estimations in some cases. Groundwater renewable resources are still important point of most of the resources documentations. In this paper, the problem of distinguishing of resources

in sub element of the system was shown. There was performed analysis of different possible solutions. The varies advantages and hazards was taken into consideration and the final solution was proposed.

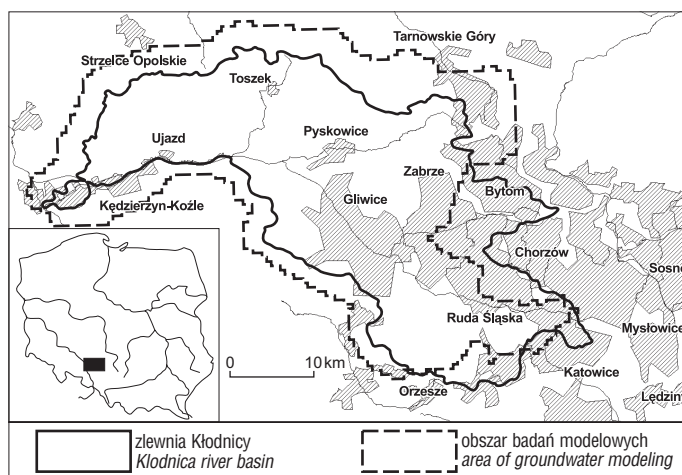
**Key words:** numerical modeling, groundwater resources, aerial water balance

Problem oceny zasobów odnawialnych wód podziemnych doczekał się szerokiej i zróżnicowanej metodyki. Podstawowym narzędziem pozwalającym nie tylko określać zasoby w obszarze bilansowym, ale również przydzielać je podrzędnym jednostkom jest modelowanie numeryczne. Rozwija się ono od lat 60. zeszłego wieku i doczekało się ogromnego zaplecza instrumentalnego (Anderson & Woessner, 1992). Odłąbną gałęzią omawianego zagadnienia jest procedura zakładania, kalibracji oraz weryfikacji modelu (Gurwin i in., 1994; Henriksen, 2003) oraz interpretacja jego wyników. Jeżeli model przejdzie z wynikiem pozytywnym omówiony tryb, możemy w dowolnej przestrzeni dyskretnych objętości systemu wodonośnego obliczać składniki bilansu wód podziemnych. Jest to doskonałe narzędzie, dostarczające kompleksowej informacji, znacznie przekraczającej zasób danych konieczny do oszacowania zasobów odnawialnych. Z powodu tak znacznego zaawansowania techniki modelowania, umożliwiającej czterowymiarową analizę obiektów hydrogeologicznych w myśl teorii systemów (Szymanko, 1980), rodzi się wiele nowych pytań. Jakie zagrożenia lub korzyści płyną ze zróżnicowanego rozumienia zasobów odnawialnych, a co za tym idzie interpretacji wyników modelowania? Które ze składników bilansowych będą odpowiedzialne za kształtowanie zasobów?

### Zlewnia Kłodnicy: warunki hydrogeologiczne

Model numeryczny przepływu wód podziemnych zlewni rzeki Kłodnicy został opracowany w latach 2003–2004 w celu oszacowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Obszar badań jest zlokalizowany na obszarze Śląska Górnego i Opolskiego. Rozciąga się od Kędzierzyna–Kozle na zachodzie, do rejo-

nu Katowic na wschodzie (ryc. 1). Zlewnia zajmuje powierzchnię 1001 km<sup>2</sup>, wykazuje deniwelację 234 m, przy maksymalnej wysokości 406 m n.p.m. (Góra Św. Anny). Średni niski przepływ Kłodnicy z wielolecia kształtuje się na poziomie 3,5 (1951–1975) do 7,11 m<sup>3</sup>/s (1966–1995), w zależności od źródła danych i metodyki szacowania. Rozbieżności wiążą się ze skrajnie daleką antropogeniczną modyfikacją reżimu wód podziemnych i powierzchniowych zlewni i koniecznością wykorzystania do obliczeń metod pośrednich. Średni opad na terenie zlewni oscyluje wokół wartości 700 mm i wykazuje małe zróżnicowanie przestrzenne. Środowisko występowania

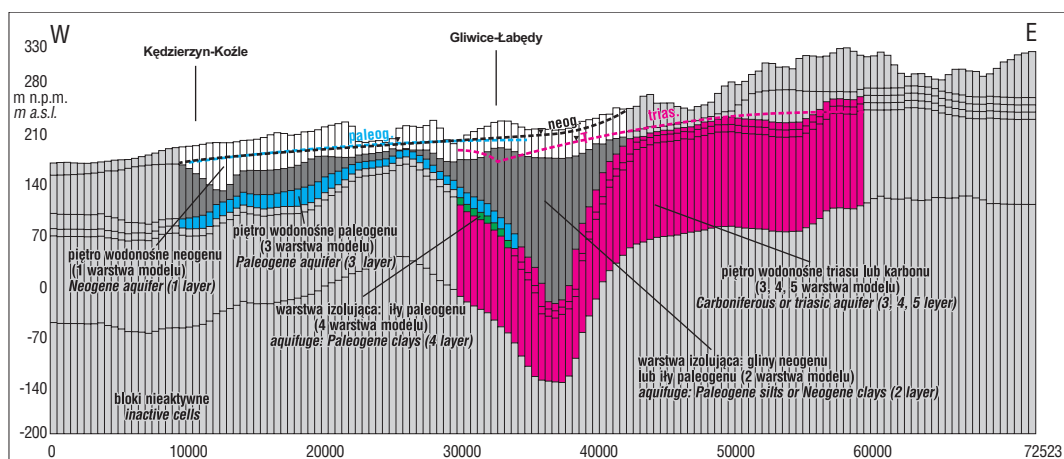


**Ryc. 1.** Lokalizacja zlewni Kłodnicy (linia ciągła) oraz obszaru badań modelowych (linia przerywana)

**Fig. 1.** Location of Kłodnica river basin (continuous line) and area of groundwater modeling (dashed line)

wód podziemnych w omawianym obszarze stanowią piętra neogenu, paleogenu, triasu i karbonu, występujące w układzie piętrowym lub kontaktujące lateralnie. W zachodniej, słabo zurbanizowanej części zlewni, utwory starsze od paleogenu występują głęboko, poza zasięgiem ujęć. W części wschodniej dominuje piętro triasowe z licznymi wychodniami warstw wodonośnych, w których wydzielo-

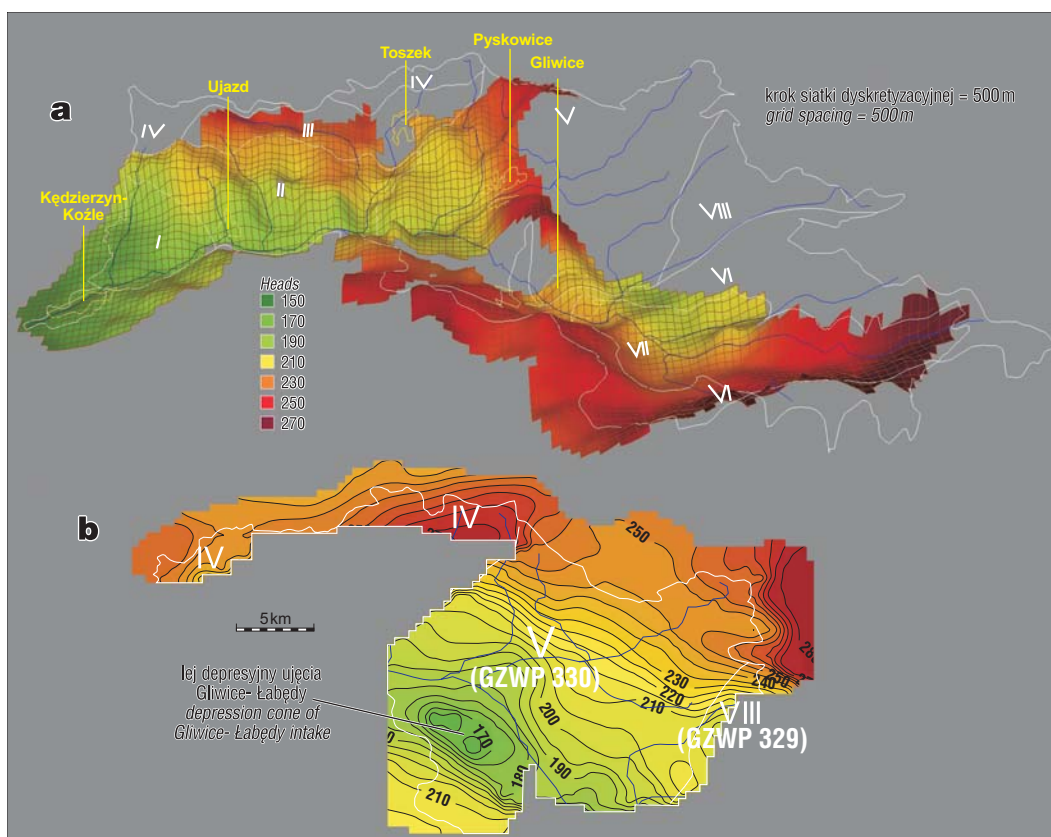
\*Instytut Nauk Geologicznych, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Wrocławski, ul. Cybulskiego 32, 50-204 Wrocław; marew@ing.uni.wroc.pl



Ryc. 2. Schematyczny przekrój hydrogeologiczny przez obszar modelu  
Fig. 2. Schematic hydrogeological cross-section across the model area

no szczelinowo-krasowe GZWP Gliwice (330) oraz Bytom (329) (ryc. 3). Ich wody są wykorzystywane na maksymalnym, dopuszczalnym poziomie, co spowodowało powstanie rozległej depresji zwierciadła sięgającej 60–70 m (Kowalczyk, 1996; ryc. 3). Zasięg zbiornika Bytom jest sukcesywnie zmniejszany z powodu obniżania się jego parametrów jakościowych i ilościowych (Kropka, 2003). Wody piętra karbońskiego, zachowujące kontakt boczny z omawianymi GZWP i występujący w ich podłożu groma-

dzi zasoby zdegradowane ilościowo i jakościowo przez działalność górnictw (Rózkowski, 1990; Chmura, 1998; Dziuk, 1997). Jego wpływ na warunki hydrogeologiczne formacji triasu nie zawsze jest czytelny (Kowalczyk, 2003). System krążenia wód podziemnych omawianej zlewni jest skomplikowany. Zasilanie jego elementów składowych może zachodzić przez bezpośrednią infiltrację, przesączanie przez utwory trudno przepuszczalne, dopływ przez okna hydrogeologiczne oraz lateralnie, wzdłuż stref



Ryc. 3. Mapa zwierciadła wód podziemnych poziomu neogénego (a) oraz triasowego (b) na tle podziału zlewni na podobszary bilansowe (I–VIII)  
Fig. 3. Water table contour map of neogene (a) and triassic (b) aquifers on the pattern of division of the river basin into budget sub areas

nieciągłości. Główną bazę drenażu dla poziomów porowych części zachodniej stanowi rzeka Kłodnica i biegnący wzdłuż niej kanał Gliwicki. W części wschodniej środowisko szczelinowo-krasowe triasu drenują duże ujęcia wód podziemnych rejonu Gliwic oraz wyrobiska górnicze (rejon Bytomia, Tarnowskich Gór). Piętro karbońskie prowadzi obecnie głównie wody zawieszane ze względu na degradację, jedynie w części północnej obszaru zlewni (rejon Toszka) warunki są zbliżone do naturalnych. Wszystkie z wymienionych pięter są od siebie izolowane na znacznych przestrzeniach utworami bardzo słabo przepuszczalnymi lub nieprzepuszczalnymi.

### Zlewnia Kłodnicy: model hydrogeologiczny

Modelem numerycznym objęto powierzchnię 1200 km<sup>2</sup> (ryc. 1), w tym 870 km<sup>2</sup> badanej zlewni. Pozostała część znajduje się poza jej granicami. Wydzielono 5 warstw numerycznych, odpowiadających kolejno od góry: I — wodonośnym utworom neogenu, II — glinom polodowcowym oraz utworom ilastym paleogenu, III — wodonośnym utworom paleogenu, tam zaś gdzie ich nie ma — wodonośnym utworom triasu oraz karbonu, IV — utworom nieprzepuszczalnym wieku paleogeńskiego, podścielającym warstwę wodonośną tego właśnie wieku, V — piętru triasu lub karbonu (ryc. 2). Obszar modelu podzielono siatką dyskretyzacyjną o kroku równym 500 m, bez jej lokalnego zagęszczenia, generując 80,5 tys. bloków obliczeniowych. Pozwoliło to na oddanie stromych spadków hydraulicznych w rejonie większych ujęć, choć jednocześnie skutkowało wydłużeniem 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. Symulowany odpływ rzeczny został porównany z zasilaniem policzonym metodą infiltracji efektywnej,

dając różnicę ok. 8%. Biorąc pod uwagę niepewność szacowania odpływu podziemnego, uznano, że jest to wynik zadawalający.

### Zasoby odnawialne: definicje oraz korzyści i zagrożenia z ich interpretacji

W polskiej literaturze funkcjonują dwie nie wykluczające się wzajemnie definicje zasobów odnawialnych. Pierwsza z nich mówi o ilości wody, która w jednostce czasu przepływa przez poprzeczny przekrój określonego hydrogeologicznie poziomu wodonośnego (Pazdro, 1983; Wieczysty, 1970; Bocheńska i in., 1997). Druga natomiast utożsamia zasoby z wysokością zasilania atmosferycznego (Paczyński i in., 1996; Dąbrowski, 2004). Niewątpliwie celem obliczeń zasobów odnawialnych jest pośrednie oszacowanie zasobności rozważanego systemu. Pierwsza z definicji rozpatruje to zagadnienie w ujęciu lokalnym, pojedynczej warstwy, transportującej wodę równoległe do płaszczyzny swej rozciągłości. Paczyński (1996) wprowadza pojęcie odnoszące się do większej jednostki.

Do zalet stosowania definicji Pazdry należy fakt, że dobrze oddaje ona zasobność w wodę określonego obszaru w obrębie pojedynczej warstwy wodonośnej. Wadą jest to, że nie ma w niej miejsca na przesączenie z warstw sąsiednich i infiltracji jako źródeł zasobów. Metoda hydrodynamiczna, bazująca na omawianej definicji będzie zatem prowadzić do niedoszacowania zasobów. Pozostajemy również bezradni wobec problemu podziału zasobów między sąsiadujące podobszary bilansowe.

Podejście zaproponowane przez Paczyńskiego (Paczyński i in., 1996) rozwiązuje większość omawianych problemów, jeżeli tylko posiadamy oszacowany rozkład infiltracji efektywnej w obrębie obszaru bilansowego. W przypadku zweryfikowanego modelu numerycznego opartego o wiarygodne dane uzyskane z pomiarów terenowych

**Tab. 1. Zasoby odnawialne obliczone metodą modelowania numerycznego na podstawie sumy dodatnich składników bilansu wodnego**

Table 1. Renewable groundwater resources on the basis of sum of positive water budget elements

| Obszar bilansowy<br><i>Budget area</i>  |                | Powierzchnia<br><i>Area</i><br>[km <sup>2</sup> ] | Zasoby odnawialne<br><i>Renewable resources</i><br>[m <sup>3</sup> /d] |        |         |         | Moduł zasobów odnawialnych<br><i>Renewable resources module</i> |                                    |
|---|----------------|---|--|--------|---------|---------|---|------------------------------------|
|   |                |   | P  | N      | T       | C       | m <sup>3</sup> /d·km <sup>2</sup>                               | dm <sup>3</sup> /s·km <sup>2</sup> |
| I   | Kędzierzyn     | 45,8  | 47 400   | 4 400  | 0       | 0       | 1131  | 13,09                              |
| II  | Ujazd          | 99,5  | 65 400   | 2 100  | 0       | 0       | 678   | 7,85                               |
| III   | Toszek         | 72,5  | 24 000   | 0      | 0       | 2 800   | 370   | 4,28                               |
| IV  | Sieroty        | 55,25   | 5 000  | 0      | 11 800  | 0       | 304   | 3,52                               |
| V   | Gliwice        | 337   | 75 800   | 6 800  | 87 100  | 0       | 504   | 5,83                               |
| VI  | GOP            | 215,4   | 37 200   | 800    | 0       | 16 200  | 252   | 2,91                               |
| VII   | Kłodnica Górna | 109,3   | 49 000   | 0      | 0       | 14 200  | 578   | 6,69                               |
| VIII  | Bytom          | 66,25   | 0  | 0      | 75700   | 0       | 1143  | 13,23                              |
| suma<br><i>the sum</i>  |                | 1001,0  | 303 800  | 14 100 | 174 600 | 33 200  |   |                                    |
| suma dla całej zlewni i wszystkich pięter<br><i>the sum for entire river catchment and all aquifers</i> |                |   |  |        |         | 525 700 |   |                                    |

dysponujemy wynikowym rozkładem zasilania. Pozostaje jednak problem „rozdysponowania” otrzymanej wartości zasobów między poszczególne warstwy, biorące udział w przepływie wewnątrz systemu. Ponadto podobszarem bilansowym o nieznacznej powierzchni, możemy przyporządkować zasoby odpowiadające infiltracji efektywnej, podczas gdy są one również zasilane przez dopływy boczne. Może w ten sposób dojść do otrzymania nienaturalnie niskich lub wysokich wartości zasobów, szczególnie w sytuacji, gdy z systemu wydzielamy jednostki podrzędne niezgodnie z liniami prądów.

Obie definicje muszą zatem być stosowane z pełną świadomością ich ograniczeń.

### Zasoby odnawialne zlewni rzeki Kłodnicy

Obliczenia zasobów dynamicznych wykonano dla kilku możliwych rozwiązań. Model numeryczny podzielono na 8 podobszarów bilansowych (tab. 1, ryc. 3). Następnie przyjęto zróżnicowaną metodykę interpretacji bilansu wodnego. Jedynie obszar GZWP Bytom ma przyporządkowaną zawsze tę samą wartość zasobów równą drenażowi kopalnianemu, ze względu na to, iż był to jedyny podobszar nie objęty modelem.

W pierwszym przypadku za zasoby odnawialne poszczególnych jednostek przyjęto sumę dodatnich składników bilansu (infiltracja efektywna, dopływy boczne, zasilanie z wód powierzchniowych), nie wliczając w to przesączania. Takie podejście pozwala uniknąć podwójnego liczenia przepływu między warstwami. Otrzymane wartości różnicują się w granicach 3 do 13  $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$  (tab. 1). Uwidacznia się zależność, że jednostki wydzielone „sztucznie”, o charakterze tranzytowym charakteryzują się najwyższymi wartościami modułowymi zasobów („Kędzierzyn”, „Ujazd”). Warto zwrócić uwagę na fakt, iż w prezentowanym podejściu zasoby odnawialne warstw wodonośnych wieku paleogeńskiego formują się

wyłącznie w postaci dopływów bocznych. Pomijane zaś jest przesączanie, stanowiące w ich przypadku ponad 50–70% dodatniej strony bilansu. W ten sposób zasoby pięter wyższych wzbogacamy, obligatoryjnie przyporządkowując im wody przesączające się do niższych. Może dojść do paradoksalnej sytuacji, gdzie formacje niżej ległe, zasilane np. w 90% z przesączania, będą eksploatowane ujęciami na poziomie wyższym niż obliczone zasoby odnawialne. Następne przekłamanie niesione przez omawianą metodę polega na wielokrotnym liczeniu tych samych wód nie w układzie piętrowym, ale poziomym. Wszelkie dopływy boczne do podobszarów bilansowych, biorące początek w obszarze zlewni, zostały przecież już raz policzone przy bilansowaniu obszarów, na których się formują. Dochodzimy do kolejnego paradoksu, w którym policzona ilość zasobów wzrasta proporcjonalnie do ilości wydzielonych podobszarów. Policzone tą metodą zasoby odnawialne zamykają się w liczbie 525,7 tys.  $\text{m}^3/\text{d}$ .

Drugie podejście (tab. 2) ma na celu ograniczenie niekorzystnych implikacji obserwowanych w metodzie pierwszej. Wykluczono możliwość uszczuplenia zasobów piętra podległego. Biorąc pod uwagę, że pochodzą one głównie z przesączania, wliczono je w zasób tego piętra, tak jak wlicza się infiltrację w zasób warstw przypowierzchniowych. Taka operacja wygeneruje „nadmiar” wód w bilansie, o który musimy uszczuplić zasoby jednostki nadległej. Podobnie wykluczono przepływy między podobszarami bilansowymi w obrębie zlewni, aby uniknąć podwójnego liczenia przepływów. Po tej operacji bilans zlewni prezentuje domkniętą całość, obliczone zasoby zaś mają swoje uzasadnienie. Okazało się jednak, iż eksploatacja obserwowana w badanym obszarze (szczególnie ujęć paleogeńskich rejonu Kędzierzyna–Koźle) w latach 70. ubiegłego wieku przebiegała na poziomie wyższym niż obliczone zasoby odnawialne dla tego piętra. Uznano w tej sytuacji za celowe do zasobów rozpatrywanej jednostki (paleogenu) doliczyć dopływy boczne i te również odjąć od

**Tab. 2. Zasoby odnawialne obliczone metodą modelowania numerycznego w oparciu o sumę dodatnich składników bilansu wodnego bez podwójnego liczenia przepływów**

Table 2. Renewable groundwater resources on the basis of sum of positive water budget elements without double flow computing

| Obszar bilansowy<br><i>Budget area</i>  |                | Powierzchnia<br>Area<br>[ $\text{km}^2$ ] | Zasoby odnawialne<br><i>Renewable resources</i><br>[ $\text{m}^3/\text{d}$ ] |        |         |        | Moduł zasobów odnawialnych<br><i>Renewable resources module</i> |  |
|---|----------------|---|--|--------|---------|--------|---|--|
|   |                |   | P  | N      | T       | C      | $\text{m}^3/\text{d} \cdot \text{km}^2$                         | $\text{dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$ |
| I   | Kędzierzyn     | 45.8                                      | 33 800   | 5 900  | 0       | 0      | 867   | 10.03                                    |
| II  | Ujazd          | 99.5                                      | 37 900   | 7 300  | 0       | 0      | 454   | 5.26                                     |
| III   | Toszek         | 72.5                                      | 18 200   | 0      | 0       | 3 200  | 295   | 3.42                                     |
| IV  | Sieroty        | 55.25                                     | 5 000  | 0      | 11 800  | 0      | 304   | 3.52                                     |
| V   | Gliwice        | 337                                       | 45 900   | 8 800  | 106 800 | 0      | 479   | 5.55                                     |
| VI  | GOP            | 215.4                                     | 21 100   | 2 000  | 0       | 26 400 | 230   | 2.66                                     |
| VII   | Kłodnica Górna | 109.3                                     | 21 300   | 0      | 0       | 28 400 | 455   | 5.26                                     |
| VIII  | Bytom          | 66.25                                     | 0  | 0      | 75 700  | 0      | 1143  | 13.23                                    |
| suma<br><i>the sum</i>  |                | 1001.0                                    | 183 200  | 24 000 | 194 300 | 58 000 |   |  |
| suma dla całej zlewni i wszystkich pięter<br><i>the sum for entire river catchment and all aquifers</i> |                |   |  |        | 459 500 |        |   |  |



zasobów pięttra neogenu. Takie podejście lepiej odzwierciedla rzeczywistą zdolność przewodzenia i gromadzenia wód. Zasoby odnawialne pięttra neogenu (podobszary bilansowe I, II, V, VI) wzrosły od 40 do ponad 300%! W ujęciu sumarycznym zaś, o 70%. Dzięki eliminacji wymiany wody między podobszarami bilansowymi bocznie kontaktującymi, policzone zasoby dla zlewni zmalały z 525,7 tys. m<sup>3</sup>/d do 459,5 tys. m<sup>3</sup>/d (13%). Jediną wadą prezentowanego podejścia może być przyporządkowanie badanemu systemowi (zlewni) zasobów formujących się poza jego terenem, poprzez wliczenie doń dopływów bocznych.

Trzecie z możliwych rozwiązań opiera się na obliczeniu zasobów na podstawie infiltracji efektywnej (tab. 3), zgodnie z zaleceniami Paczyńskiego i in. (1996). Do metody tej zastosowano omówione już zabiegi mające na celu uniknięcie niedoszacowania zasobów poziomu paleogeńskiego oraz podwójnego liczenia wód. Za wielkość wyjściową zasobów wzięto wartość zasilania atmosferycznego, nie wliczono więc dopływów spoza zlewni (w odróżnieniu od metod wcześniejszych). Rozwiązanie to w opinii autora rozwiązuje nakreślone dotychczas problemy. Naturalnym efektem będzie spadek sumarycznej ilości zasobów (do 380.9 tys. m<sup>3</sup>/d, czyli o 17%). Zasoby policzono przyjmując następujące założenia:

1. Zasoby należy obliczać zaczynając od pięttra najniższego. Dla pięttra karbońskiego, gdzie wiarygodne odtworzenie zwierciadła wód podziemnych przy obecnym stanie wiedzy wydaje się wątpliwe (ze względu na wysoki stan zczepiania górotworu przez działalność górnictwa), za wartość zasobów przyjęto wysokość odwodnień kopalnianych. W sytuacji braku możliwości weryfikacji modelu, podejście takie jest najlepsze (Kowalczyk, 1996).

2. W przypadku pięttra triasowego (podobszary bilansowy IV, V), silnie eksploatowanego i zasilanego w znacznej części z przesączania z poziomów nadległych, przyjęto sumę zasilania infiltracyjnego oraz przesączania. Uzyskana wartość (84,1 tys. m<sup>3</sup>/d) dobrze koresponduje z aktualnym poborem (ok. 77 tys. m<sup>3</sup>/d), który kształtuje się na

granicy maksymalnej bezpiecznej wartości (Dziuk, 1997). Wzięcie pod uwagę jedynie infiltracji efektywnej, spowodowałoby wyznaczenie zasobów poniżej obserwowanej eksploatacji.

3. Dla pięttra zasilanego głównie z przesączania (paleogen), za wartość zasobów przyjęto sumę wszystkich składników dodatnich bilansu wodnego tej jednostki. Jak wykazały doświadczenia eksploatacyjne z lat 70. ubiegłego wieku, ośrodek ten jest potencjalnie bogatym źródłem zaopatrzenia w wodę i należy przyjąć maksymalną możliwą wartość, aby pełniej odzwierciedlić jego wodonośność.

4. Przy obliczaniu zasobów pięttra neogenu, wzięto pod uwagę wartość infiltracji efektywnej w danym podobszary i pomniejszono ją o wartość zasobów policzonych dla piętter podległych. Uzyskuje się w ten sposób pewność, iż zasoby przyporządkowane danej zlewni odpowiadają zasilaniu atmosferycznemu, występującemu na jej terenie.

W opinii autora ostatnia z prezentowanych metod daje najbardziej miarodajne wyniki. Pozwala na wyodrębnienie zasobów dynamicznych wód podziemnych dla zlewni wód powierzchniowych i nie narusza zasobów obszarów sąsiadujących. Przyporządkowuje ona stosunkowo wysokie zasoby głębokim, izolowanym poziomom wodonośnym, uszczuplając zasoby poziomów przypowierzchniowych, a nie obszarów przyległych. Wartości policzone według proponowanej metodyki znajdują poparcie rzeczywistej eksploatacji rejestrowanej w zlewni Kłodnicy od lat 70. ubiegłego wieku.

Należy pamiętać, iż prezentowana metodyka interpretacji bilansu wodnego, daje wprawdzie możliwość miarodajnego i obiektywnego obliczania zasobów odnawialnych, ale sprawą dyskusyjną pozostaje kwestia kierowania się otrzymaną wartością, przy szacowaniu zasobów dyspozycyjnych poszczególnych piętter, poziomów lub warstw wodonośnych. Ich bilans wodny w podobszary, będący dla nas podstawą obliczeń, może się skrajnie zmienić pod wpływem eksploatacji. Szczególnie, jeżeli obszar ma liczne, wydajne ujęcia, aktualnie zagospo-

**Tab. 3. Zasoby odnawialne obliczone metodą modelowania numerycznego w oparciu o infiltrację efektywną**

Table 3. Renewable groundwater resources on the basis of recharging infiltration

| Obszar bilansowy<br><i>Budget area</i>   |                | Powierzchnia<br><i>Area</i><br>[km <sup>2</sup> ] | Zasoby odnawialne<br><i>Renewable resources</i><br>[m <sup>3</sup> /d] |        |         |        | Moduł zasobów odnawialnych<br><i>Renewable resources module</i> |                                      |
|--|----------------|---|--|--------|---------|--------|---|--------------------------------------|
|  |                |   | P  | N      | T       | C      | m <sup>3</sup> /d · km <sup>2</sup>                             | dm <sup>3</sup> /s · km <sup>2</sup> |
| I  | Kędzierzyn     | 45.8  | 20 000   | 5 900  | 0       | 0      | 566   | 6,55                                 |
| II   | Ujazd          | 99.5  | 30 700   | 7 300  | 0       | 0      | 382   | 4,42                                 |
| III  | Toszek         | 72.5  | 14 300   | 0      | 0       | 3 200  | 241   | 2,79                                 |
| IV   | Sieroty        | 39.2  | 4 900  | 0      | 8 700   | 0      | 347   | 4,02                                 |
| V  | Gliwice        | 337   | 36 100   | 8 800  | 84 100  | 0      | 383   | 4,43                                 |
| VI   | GOP            | 231.3   | 18 300   | 2000   | 0       | 15 400 | 154   | 1,79                                 |
| VII  | Kłodnica Górna | 109.3   | 20 400   | 0      | 0       | 25100  | 416   | 4,82                                 |
| VIII   | Bytom          | 66.4  | 0  | 0      | 75 700  | 0      | 1140  | 13,20                                |
| suma   |                | 1001.0  | 144 700  | 24 000 | 168 500 | 43 700 |   |                                      |
| suma dla całej zlewni i wszystkich piętter<br><i>the sum for entire river catchment and all aquifers</i> |                |   |  |        | 380900  |        |   |                                      |

darowane w niskim stopniu. W wyniku wysokiego poboru, zasoby odnawialne policzone dla podobszaru bilansowego lub warstwy modelu mogą wzrosnąć nawet kilkukrotnie. Ujęcia będą nadal spełniać kryteria bezpiecznej eksploatacji (Paczyński, 1996), a jednocześnie ich wydajność przekroczy wartość zasobów odnawialnych, niezależnie od metody ich szacowania. Opisany wzrost zasobów nastąpi naturalnie wskutek zwiększenia dopływów bocznych, a więc kosztem obszarów sąsiednich.

### Wnioski

1. Różnorodna metodyka szacowania zasobów odnawialnych może generować wyniki różniące się o ok. 35%. Skala rozbieżności będzie zależeć od specyfiki obszaru badań oraz przyjętego podziału na podobszary bilansowe.

2. Każda warstwa może wymagać odrębnego podejścia przy ocenie zasobów. Należy brać pod uwagę, iż przy dużej zmienności warunków hydrogeologicznych, nawet w obrębie jednego modelu, może istnieć konieczność włączenia wartości przesączania między warstwami do ich zasobów.

3. W obliczeniach należy dążyć do sytuacji, w której sumaryczna ilość zasobów wszystkich jednostek pokrywa się z infiltracją efektywną występującą w obszarze bilansowym. Zasadę tę można złamać w przypadku, gdy do obszaru w sposób trwały zostały przyporządkowane zasoby odprowadzane poprzez działalność odwodnieniową kopalń i oddziaływanie tych odwodnień nie jest zmienne w czasie i wychodzi poza obszar bilansowy.

4. Należy się kierować zasadą, iż zaczynamy szacowanie zasobów dynamicznych i dyspozycyjnych w poszczególnych podobszarach bilansowych od niżejleżących jednostek hydrostratygraficznych.

5. Warstwom zasilanym głównie na drodze przesączania z warstw nadleżących, należy przypisywać sumę składników dodatnich bilansu wodnego. Na końcu należy obliczyć zasoby dla warstwy górnej w oparciu o wartość infiltracji na danym podobszarze bilansowym, odejmując wartość zasobów policzonych dla warstw niżejleżących.

6. Dla warstw zasilanych w przewodzie z infiltracji efektywnej, ale ze znacznym wpływem przesączania z poziomów wyższych (np. ośrodki szczeliwo-krasowe triasowych GZWP), przy ocenie zasobów należy wziąć pod uwagę te dwa źródła.

7. Prace w obrębie zlewni rzeki Kłodnicy wskazują, iż dopóki elementem dokumentacji zasobów dyspozycyjnych jest ocena zasobów odnawialnych, konieczna jest dyskusja o metodyce ich wyznaczania lub nawet o jej

zaniechaniu. Wydaje się, iż najbardziej miarodajne wyniki można otrzymać dla zlewni bilansowej traktowanej całościowo. Po rozbiciu na podobszary i poziomy bilansowe, ocena zasobów odnawialnych staje się mniej miarodajna jako przesłanka dla wyznaczania zasobów dyspozycyjnych.

### Literatura

- ANDERSON M. & WOESSNER W. 1992 — Applied Groundwater Modeling, Academic Press, Inc., London.
- BOCHENSKA T. i in. 1997 — Słownik Hydrogeologiczny. TRIO, Warszawa.
- CHMURA A. & RUDZIŃSKA-ZAPAŚNIK J. 1998 — Mapa Hydrogeologiczna, skala 1 : 50 000 — arkusz Gliwice, Państw.Inst. Geol. Warszawa.
- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J. & SZCZEPAŃSKI A. 2004 — Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Warszawa.
- DZIUK M., KOWALCZYK A., KROPKA J. & KORONA W. — 1997 Dokumentacja hydrogeologiczna dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych regionu triasu gliwickiego (GZWP Gliwice nr 330). Częstochowa.
- GURWIN J., SZCZEPIŃSKI J. & WAŚKI M. 1994 — Opis programu MODFLOW wykorzystywanego w regionalnych badaniach hydrogeologicznych. Z. Nauk. Akad. Rolniczej we Wrocławiu, Konferencje V, 248:125–134.
- HENRIKSEN H., TROLDBORG L., NYEGAARD P., SONNENBORG T., REFSGAARD J. & MADSEN B. 2003 — Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. J. Hydrology, 280: 52–71.
- KOWALCZYK A. 2003 — Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- KOWALCZYK A., KROPKA J., RÓŻKOWSKI A. & RUBIN K. 1996 — Rozpoznanie, zagospodarowanie i zasoby wód podziemnych wybranych zbiorników triasu górnośląskiego. Prz. Geol., 44: 827–833.
- KOWALCZYK A. 1996 — Problemy oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z zlewniach w warunkach aktywnej antropopresji. Prz. Geol., 44: 840–844.
- KROPKA J. 2003 — O zasadności utrzymania GZWP Bytom nr 329 w obszarach aglomeracji miejsko-przemysłowej i intensywnego drenażu górniczego. Współczesne Problemy Hydrogeologii, 11: 105–111. Gdańsk.
- PACZYŃSKI B., MACIOSZCZYK T., KAZIMIERSKI B. & MITRĘGA J. 1996 — Ustalanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Poradnik Metodyczny. Wydawnictwo TRIO Warszawa.
- PAZDRO Z. 1983 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol.
- RÓŻKOWSKI A. (red.) 1990 — Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych monokliny śląsko-krakowskiej i problemy ich ochrony. Wydawnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa.
- SZYMANO J. 1980 — Koncepcja systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geol.
- WIECZYŃSKI A. 1970 — Hydrogeologia Inżynierska. Wyd. Akademii Górniczo-Hutniczej.

Praca wpłynęła do redakcji 30.05.2006 r.  
Akceptowano do druku 14.02.2006 r.