

METODYKA MODELOWEGO BILANSOWANIA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH W ICH ZLEWNIOWYM ZAGOSPODAROWANIU

CURRENT PROBLEMS OF GROUNDWATER MANAGEMENT AND GROUNDWATER RESOURCES

ANDRZEJ SZCZEPAŃSKI¹

Abstrakt. W systemie wodonośnym należy zidentyfikować warunki hydrodynamiczne oraz granice hydrostrukturalne jednostki bilansowej zbiornika wód podziemnych. W przypadku występowania kontaktów hydraulicznych z wodami powierzchniowymi stanowią one granice wewnętrzne w modelu koncepcyjnym. Uwzględnienie tych uwarunkowań jest możliwe jedynie stosując modelowanie matematyczne, w którym wiarygodnie odzwierciedla się przestrzennoczasową zmienność czynników determinujących warunki formowania się zasobów wód podziemnych, możliwości gospodarowania nimi oraz ochrony. Wykonane symulacje umożliwiają obliczenia bilansów wodnych w warunkach naturalnych oraz wielkości zasobów odnawialnych, dyspozycyjnych (dostępnych) i eksploatacyjnych. Optymalizacja gospodarki tymi zasobami jest możliwa poprzez wielowariantowe rozwiązania modelowe, prowadzone z zachowaniem uwarunkowań ochrony ilościowej i jakościowej wód krążących w systemie wodonośnym

Słowa kluczowe: zarządzanie zasobami wód podziemnych w zbiornikach, systemy krążenia wód, modelowanie matematyczne.

Abstract. In any aquatic system hydrodynamic conditions and hydrostructural boundaries of water balance unit of an aquifer must be identified. If hydraulic contacts with surface waters exist, these are the internal boundaries for the conceptual model. All these factors can be integrated only with the application of mathematical modelling in which time and space variability of factors determining the formation of groundwater resources, their management and protection can be credibly represented. The simulations enable the operator to calculate water balances under natural conditions and the volumes of renewable, disposable and admissible resources. Optimization of resources management can be accomplished with the application of multivariant modelling, which must take into consideration quantitative and qualitative protection of waters circulating in the studied aquatic system.

Key words: groundwater basin resources management, groundwater circulation systems, mathematical modelling.

WSTĘP

Racjonalne zagospodarowanie zasobów wód podziemnych prowadzone z zachowaniem warunków ochrony ilościowej i jakościowej wymaga rozpoznania ich systemu krążenia w badanej strukturze hydrogeologicznej. Tym samym powinny jednoznacznie zostać zidentyfikowane obszary zasilania (bezpośredniego i pośredniego) przepływu i drenażu, w tym kontakty (i ich charakter) wód występujących w użytkowym poziomie wodonośnym z wodami powierzchniowymi i podziemnymi w przestrzennym systemie ich krążenia. Uwzględnienie tych uwarunkowań jest możliwe jedynie przy zastosowaniu metod modelowania matematycznego, w którym wiary-

godnie można odzwierciedlić przestrzennoczasową zmienność wszystkich czynników determinujących warunki kształtowania się zasobów wód podziemnych i ich ochrony.

W naturalnych uwarunkowaniach możliwe jest dokonywanie ocen wielkości zasobów odnawialnych systemu wodonośnego (jednostki hydrostrukturalnej), przedstawiane w pełnym bilansie wodnym modelu oraz wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) w wydzielonych użytkowych poziomach wodonośnych. Poprzez wyznaczenie w tych poziomach obszarów bilansowych następuje wydzielenie rejonów wodnogospodarczych, w granicach których można spo-

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

rzędać bilanse i określać wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych, lokalizowanych w optymalnych warunkach (z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego i ekologicznego). Modelowanie matematyczne daje bowiem możliwość pełnego uwzględnienia wpływu eksploatacji ujęć na zmianę naturalnych uwarunkowań krążenia wód w modelowanym systemie wodonośnym oraz oceny jej wpływu na możliwość pojawienia się zagrożeń ze strony występujących geogenicznych i antropogenicznych ognisk zanieczyszczeń, a także minimalizacji wpływu na systemy ekologiczne zależne od wód podziemnych.

Stosowane narzędzia, jak np. programy Visual Modflow, Processing Modflow czy wprowadzany MIKE SHE, pozwa-

lają na odwzorowanie najbardziej skomplikowanych warunków hydrodynamicznych. Umożliwiają szczegółowe poznanie bilansów krążenia wód podziemnych we wspólnym systemie, a także w powiązaniu z wodami powierzchniowymi. W tych ostatnich warunkiem granicznym jest ustalenie i utrzymanie wielkości przepływów nienaruszalnych w ciekach łączących w modelowanej zlewni bilansowej.

Brak jednak wypracowanej metodyki obliczeniowej pozwala wykonawcy zadania hydrogeologicznego (np. obliczenia wielkości zasobów) na znaczną dowolność interpretacji rezultatów rozpoznania hydrogeologicznego, tworzenia modelu koncepcyjnego oraz ustalenia warunków brzegowych budowanego modelu matematycznego.

PROPOZYCJA ZASAD WYDZIELANIA JEDNOSTEK BILANSOWYCH DLA RACJONALIZACJI GOSPODARKI ZASOBAMI

Wydzielenie jednostek bilansowych stanowi podstawę racjonalizacji gospodarowania zasobami wodnymi (tworzenie rejonów wodnogospodarczych). Osiągnięcie celu gwarantuje wydzielenie obszarów, w których:

- zidentyfikowane zostały systemy krążenia wód, w tym:
 - układy krążenia wód podziemnych w zlewniowych systemach wodonośnych obejmujących strefy aktywnej wymiany,
 - wymuszenia antropogeniczne (ośrodki drenażu: ujęcia komunalne, przemysłowe, odwodnienia górnicze i budowlane) zmieniające naturalne układy krążenia wód,
 - relacje ilościowe i jakościowe z wodami zwykłymi i mineralnymi występującymi poniżej strefy aktywnej wymiany,
 - lateralne kontakty wód podziemnych wynikające z budowy geologicznej i uwarunkowań tektonicznych i strukturalnych,
- zidentyfikowane zostały kontakty hydrauliczne wód podziemnych z wodami powierzchniowymi, elementami zagospodarowania przestrzennego (w tym obiekty hydrotechniczne) oraz elementami środowiska przyrodniczego zależnymi od stanu wód podziemnych w tym:
 - systemy wód stojących i płynących wraz z obiektami hydrotechnicznymi do retencjonowania, piętrzenia, przetrzutu i rozrzutu wód, urządzeniami do poboru wód powierzchniowych (np. ujęcia brzegowe, infiltracyjne, ujęcia wód powierzchniowych) oraz zrzutu ścieków i wód kopalnianych, chłodniczych itp.,
 - systemy drenażowe i kanalizacyjne miejsko-przemysłowe,
 - systemy infrastruktury rolniczej (melioracje, nawadnianie, stawy hodowlane itp.),
 - ekosystemy bezpośrednio zależne od stanu wód podziemnych, np. siedliska flory i fauny, mokradła, bagna,
- określone zostały warunki przestrzennego zagospodarowania terenu z poprawnie wykonanymi ocenami oddziaływania na wody powierzchniowe i podziemne wraz z wydaniem stosownych decyzji administracyjnych określa-

jących warunki poboru wód i zrzutu ścieków oraz ustalających warunki minimalizacji negatywnych wpływów na środowisko przyrodnicze, w tym wodno-gruntowe.

Kryteria podziałów na jednostki hydrogeologiczne i tok postępowania przy regionalizacji hydrogeologicznej opracowali Dąbrowski i Szymanko (1980) oraz Szymanko (1980). Na potrzeby tworzenia modeli konceptualnych, w celu wydzielenia jednostek bilansowych i określania zasad gospodarowania zasobami wód podziemnych występującymi w tych jednostkach zostały one zmodyfikowane przez autora i przedstawione na figurze 1.

Wiarygodne identyfikacje determinant wydzielenia i prawidłowe określenie warunków brzegowych wydzielonych jednostek hydrostrukturalnych z określonymi uwarunkowaniami hydrodynamicznymi pozwalają na przeniesienie modelu koncepcyjnego na model matematyczny.

Podstawę wydzielenia hydrostrukturalnych, w zależności od skali i zakresu zadania hydrogeologicznego, powinny stanowić opracowania Paczyńskiego (1995) i Kleczkowskiego (1988, 1990), Instrukcja opracowania MhP w skali 1:50 000 (2004) oraz wydany ostatnio podręcznik pod redakcją Paczyńskiego i Sadurskiego (2007). Jednostkami bilansowania mogą być bowiem regiony i subregiony, miejscowe zbiorniki wód podziemnych (MZWP), lokalne zbiorniki wód podziemnych (LZWP), główne zbiorniki wód podziemnych (GZWP) czy użytkowe poziomy wodonośne (UPW).

Na potrzeby zarządzania wodami w regionach wodnych Herbich i in. (2003) opracowali ich podział na zlewnie bilansowe na podstawie kryteriów hydrograficznych. Wydzielono 99 jednostek. Z kolei na potrzeby wstępnej oceny stanu ilościowego i jakościowego wód podziemnych wydzielono 161 jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) na podstawie niejednolitych kryteriów hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych (Herbich i in., 2004). Wydzielenia te nie spełniają niestety kryteriów określonych wcześniej przez Dąbrowskiego i Szymankę (1980) i nie pozwalają na wiarygodną ocenę wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wydzielonych jednostek.

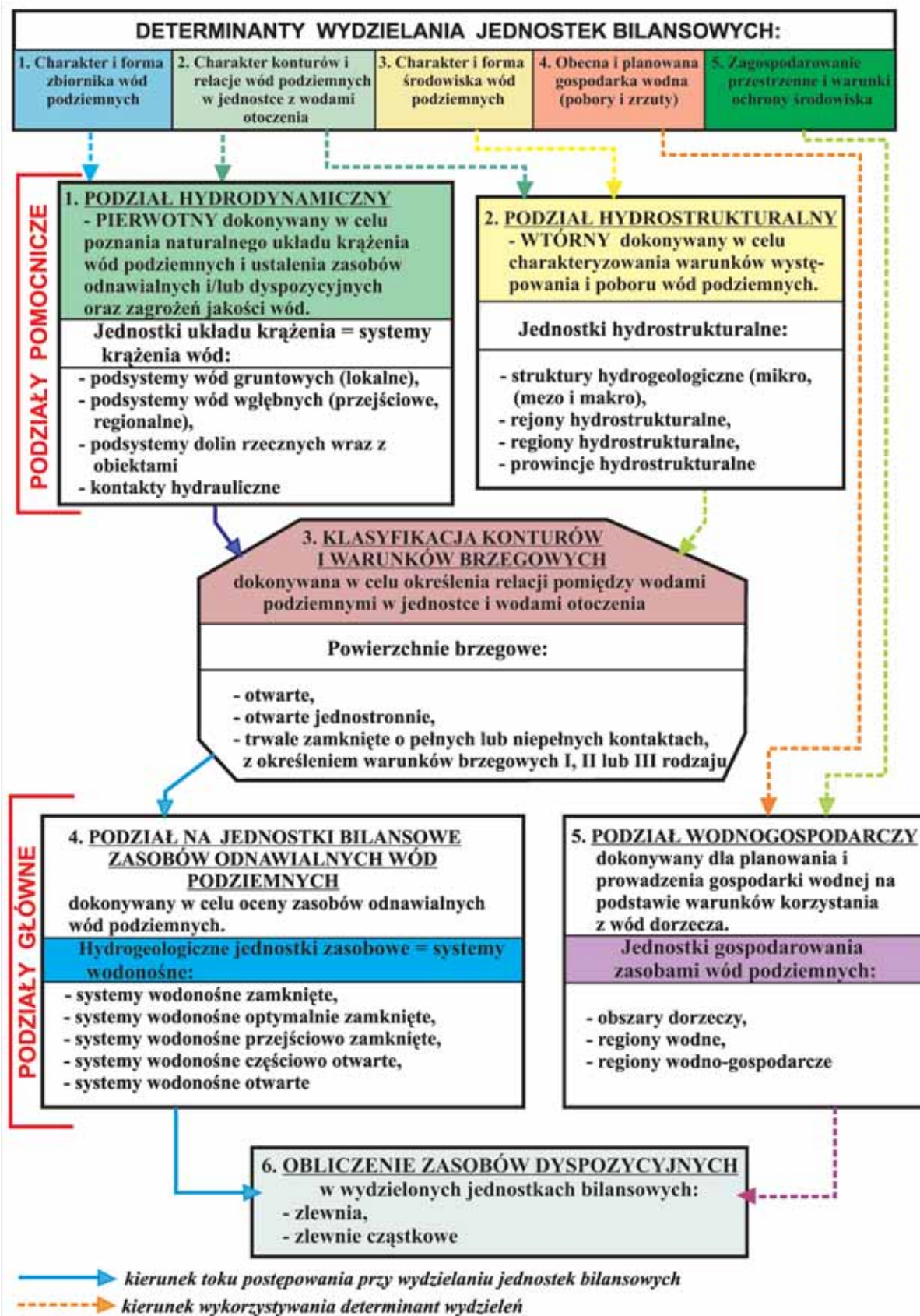


Fig. 1. Schemat postępowania i podziału jednostek hydrogeologicznych w bilansowaniu zasobów wód podziemnych (wg Dąbrowskiego i Szymanki, 1980, zmodyfikowany)

Division criteria of water balance units and procedure of groundwater resources management (after Dąbrowski and Szymanko, 1980, modified)

UWARUNKOWANIA MODELOWANIA W JEDNOSTKACH BILANSOWYCH

Wykorzystywane w gospodarce wody podziemne na ogół związane są ze strukturami o dobrej odnawialności i niewielkim stopniu zmian warunków zasilania, przepływu i drenażu (Szymanko, 1980). Są to najczęściej zbiorniki jedno- i wielowarstwowe, związane ze strefą aktywnej wymiany wód, w których naturalną bazę drenażową stanowią ciekły lub zbiorniki powierzchniowe. W takich strukturach dominuje zlewniowy układ hydrodynamiczny, w których o wielkości zasobów wód podziemnych decydują: naturalne zasilanie efektywne z opadów atmosferycznych (zasoby odnawialne) oraz przyrodnicze (środowiskowe) uwarunkowania utrzymania nienaruszalnych przepływów (w ciekach) i stanów (w zbiornikach powierzchniowych). Uwarunkowania te kształtują wielkość zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) w systemach.

Na wielkość zasobów dyspozycyjnych jednostek bilansowych (użytkowych poziomów wodonośnych) wpływać mogą także zasilania typu pośredniego (przepływy lateralne, przeciekanie z warstw słabo przepuszczalnych lub odsączanie ze skał słabo i półprzepuszczalnych występujących w profilu pionowym jednostki). Tego typu uwarunkowania występują powszechnie w obszarach górskich i na ich przedpolu, w wielopoziomowych wysoczyznowych układach krążenia na Niżu Polskim oraz strukturach dolinnych z rozwiniętą siecią hydrograficzną. Takie naturalne uwarunkowania strukturalno-hydrodynamiczne mogą być w skali regionalnej i/lub lokalnej zaburzone drenażem antropogenicznym poprzez odwadnianie górnicze lub też poborem wody i zrzutem ścieków zwłaszcza w rejonach dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych.

Zasoby wód podziemnych oraz ich użytkowanie cechują się znaczną zmiennością czasowoprzestrzenną. Znaczną zmiennością charakteryzują się także przepływy i stany wód w ciekach powierzchniowych. Stałą determinantą kształtowania się zasobów w jednostkach bilansowych są zatem wyłącznie przepływy i stany nienaruszalne w strefach naturalnego drenażu wód podziemnych.

Ten dynamiczny charakter kształtowania się warunków brzegowych, a tym samym i wielkości zasobów sprawia, że praktycznie jedyną metodą gwarantującą wiarygodność obliczeń bilansowych jest modelowanie matematyczne.

Wiarygodność bilansów wodnych, a także wodnogospodarczych, związanych z aktualnym lub prognozowanym poborem wód podziemnych (zasoby eksploatacyjne), pozostaje w relacjach z rozpoznaniem determinant bilansowej jednostki zasobowej (fig. 1) oraz doświadczeniem wykonującego obliczenia bilansowe hydrogeologa poprzez wybór właściwej metodyki tworzenia modelu koncepcyjnego i matematycznego.

Absolutnie podstawowym czynnikiem uwiarygodnienia modeli bilansowych jest wspomniane już zidentyfikowanie stref drenażowych i granic podziemnych zlewni zbiorników wód użytkowych. Identyfikacja stref drenażowych to nie tylko odtworzenie ich przebiegu, ale także, a może przede

wszystkim, rozpoznanie charakteru związków wód podziemnych z powierzchniowymi w okresach różnych stanów i przepływów tych ostatnich wraz z określeniem wielkości nienaruszalnych. Nieco mniejszy wpływ na wiarygodność modeli wywiera rozpoznanie i ilościowa charakterystyka stref zasilania i dynamika czasowej zmienności tego czynnika. Te warunki są stosunkowo łatwe do weryfikacji w czasie identyfikacji modelu. Przestrzenna zmienność parametrów hydrogeologicznych jest elementem modelu, który także można zweryfikować na modelu matematycznym z dużą wiarygodnością. Niezbędna w ustaleniu warunków brzegowych jest także identyfikacja presji środowiskowych naturalnych (ograniczenia) i antropogenicznych (charakter wpływu i intensywność oddziaływania).

Rozpoznanie i identyfikacja tych elementów (determinant) tworzonych modeli (koncepcyjnego i matematycznego) pozwala na dokonywanie obliczeń bilansowych w celu ustalenia wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych modelowanego zbiornika (jednostki bilansowej). Wiarygodność wyników obliczeń zależy od poprawnego zweryfikowania modelu matematycznego. A tego może dokonać jedynie hydrogeolog posiadający duże doświadczenie terenowe i wykonujący zdjęcie hydrogeologiczno-sozologiczne w czasie tworzenia modelu koncepcyjnego.

Gospodarowanie wodami podziemnymi powinno być współzrównoważone z zasadą zrównoważonego rozwoju. Musi zatem uwzględniać interes publiczny i przynieść maksymalne korzyści społeczne, nie dopuszczać do obniżenia stanów ilościowego i chemicznego wód podziemnych i związanego z tym pogorszenia ekologicznych funkcji wód powierzchniowych oraz pogorszenia stanu ekosystemów lądowych, bezpośrednio zależnych od wód podziemnych. Te zasady zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi oraz ich ochrona powinny stać się podstawą do wskazań lokalizacji studni i ustalania wielkości ich wydajności, czyli ustalania wielkości zasobów eksploatacyjnych czynnych i/lub projektowanych ujęć.

Również w realizacji tego typu zadań hydrogeologicznych znakomitym narzędziem jest model matematyczny jednostki bilansowej, dla której zostały wiarygodnie określone wielkości zasobów dyspozycyjnych. Wielowariantowe rozwiązania prognostyczne pozwalają na optymalizację gospodarowania tymi zasobami i określenie wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęć (lub/i systemów odwadniających), z zachowaniem wyżej przedstawionych zasad. Lokalizacja, liczba studni i wytwarzane depresje wywierają określone skutki w środowisku wodnym. Z bilansowych obliczeń można w każdym wariantcie ocenić wpływ pracy ujęcia (systemu odwodnieniowego) na przepływy w ciekach powierzchniowych, na środowisko zależne od wód podziemnych oraz na lokalne i/lub regionalne (we współdziałaniu z innymi systemami i ujęciami) zmiany w układzie krążenia wód. Schemat postępowania przedstawiono na figurze 2.

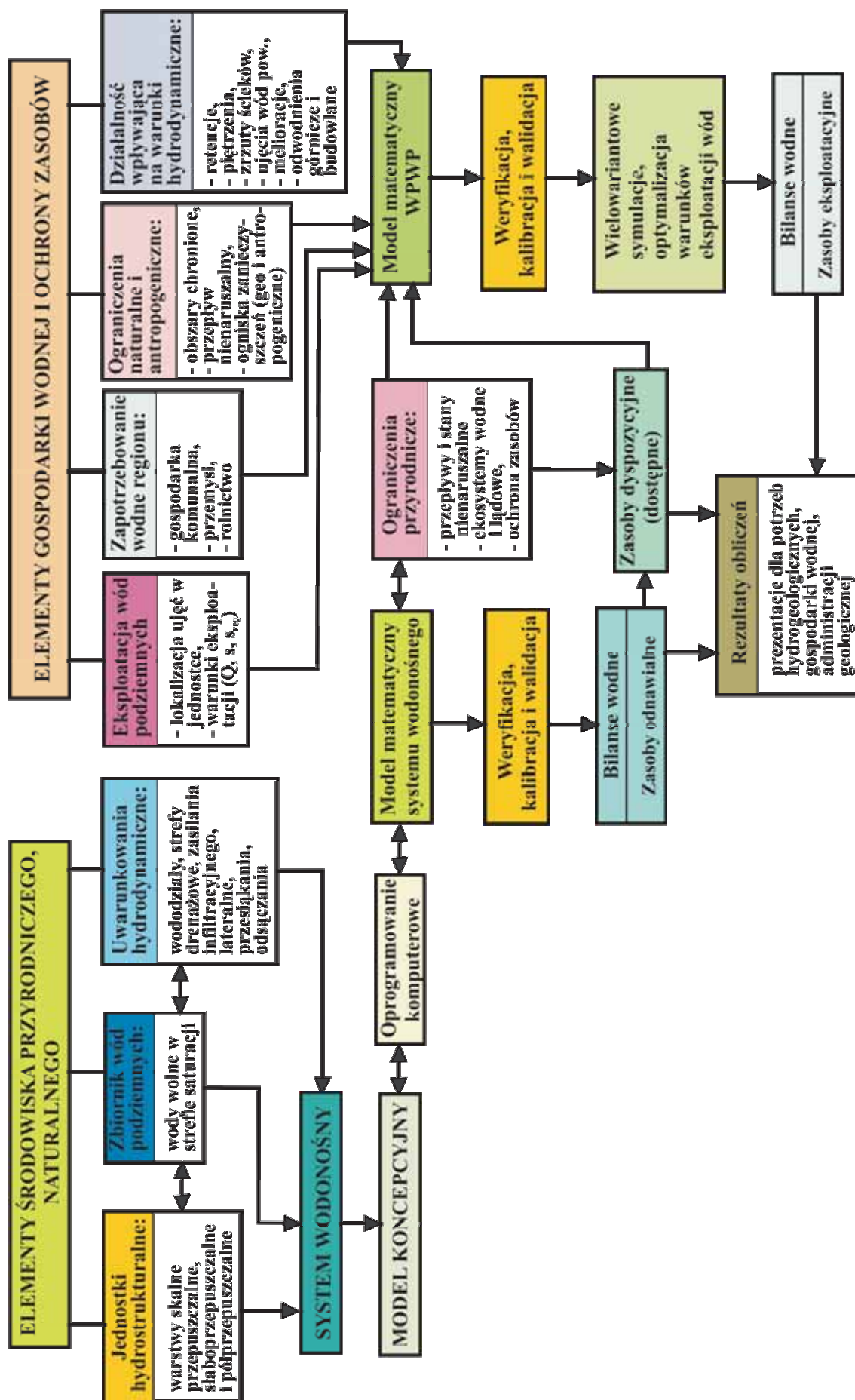


Fig. 2. Struktura modelu gospodarowania zasobami wód podziemnych

Structure of modelling for the purpose of groundwater resources management

METODYKA BILANSOWANIA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH W ZLEWNIOWYCH SYSTEMACH ICH KRĄŻENIA

W zlewniowym systemie wodonośnym granice modelu powinny opierać się na warunkach hydrodynamicznych, a nie strukturalnych. Takimi granicami są działy wód podziemnych, a w ich obrębie cieki i/lub zbiorniki wód powierzchniowych, które stanowią strefy naturalnego drenażu. Wody podziemne występujące w zbiornikach (jednostkach bilansowych), poziomach użytkowych kontaktują się z wodami powierzchniowymi bezpośrednio i/lub pośrednio.

W budowanym na podstawie rozpoznania terenowego modelu koncepcyjnym (schemacie obliczeniowym) opracowuje się warunki początkowe i brzegowe. Jak wspomniano, szczególną rolę w modelu bilansowym przypisuje się warunkom brzegowym zewnętrznym i wewnętrznym, tj. funkcjom zmian ciśnienia lub ich pochodnych na granicach zewnętrznych i w charakterystycznych punktach wnętrza obszaru filtracji. Wprowadzane do modelu warunki I, II i III rodzaju zostają precyzyjnie sprawdzane w czasie obliczeń weryfikacyjnych (identyfikacja i kalibracja modelu matematycznego). Granice zewnętrzne takich systemów wodonośnych powinny przekraczać cieki i zbiorniki stanowiące bazy drenażu wód podziemnych i być stawiane na działach wód podziemnych użytkowego poziomu wodonośnego lub wód powierzchniowych, w przypadku gdy modelowany jest pierwszy poziom o bezpośrednim zasilaniu infiltracyjnym z opadów i drenowany w całości przez cieki w płytkim systemie przepływu.

W modelach (koncepcyjnym i matematycznym) należy wydzielić wszystkie ciągłe warstwy przepuszczalne i słabo przepuszczalne, przypisując im zmienne przestrzennie parametry obliczeniowe: miąższość, współczynnik filtracji, wysokości hydrauliczne w wydzielonych blokach obliczeniowych. Ich wartości podlegają także przestrzennej, strefowej lub punktowej weryfikacji w procesie identyfikacji i weryfikacji modelu. W tych procesach weryfikuje się także intensywność zasilania bezpośredniego i/lub pośredniego wydzielonych warstw, tworzących system krążenia wód podziemnych.

Potwierdzenie, z oczekiwaną dokładnością, rozkładu wysokości hydraulicznych w modelowanym obszarze z mapą hydroizohips, skonstruowaną na podstawie kartowania, umożliwia przystąpienie do kalibracji modelu matematycznego.

W tej fazie modelowania najważniejsza jest kalibracja wielkości odpływu podziemnego do rzek do tejże wielkości, określonej metodami hydrologicznymi w zlewniach cząstkowych w okresie wykonywanego kartowania. Model należy następnie zwalidować poprzez porównanie wielkości odpływu podziemnego ze średnią roczną tej wartości ze średnich niskich przepływów miesięcznych z wielolecia oraz dla roku suchego, mokrego i średniego z wielolecia. Wykonanie tego cyklu modelowania jest możliwe także z uwzględnieniem wpływu poboru wody systemem ujęć wód podziemnych i/lub systemu odwadniania. Potwierdzenie stanów zwierciadła wody podziemnej w warunkach naturalnego ich przepływu oraz w okresie poboru wody (kartowania) pozwala na uznanie modelu za wiarygodny, co upoważnia do prowadzenia analiz bilansowych.

Zweryfikowany, wykalibrowany i zwalidowany model może stanowić wiarygodną podstawę sporządzanych bilansów wodnych dla modelowanej jednostki bilansowej, zlewni głównych cieków, wydzielonych zlewni cząstkowych oraz dla jednostek hydrostrukturalnych występujących w tej jednostce. Z bilansu przepływów wody można ocenić wielkości zasobów odnawialnych, dyspozycyjnych (dostępnych) i eksploatacyjnych, jeśli przewidujemy zmiany w poborze wody podziemnej. Wykonując wielowariantowe symulacje tego ostatniego procesu można w sposób wiarygodny ocenić wpływy wprowadzanych zmian warunków wewnętrznych (pobór, odwodnienie, piętrzenie itp.) na warunki przepływu wód podziemnych i wpływ na warunki występujące w zlewniach sąsiednich. Można także ocenić maksymalne możliwości eksploatacyjne ujęć, przy utrzymaniu nienaruszalnych przepływów w ciekach i/lub stanach w zbiornikach powierzchniowych.

W procesie modelowania można także dokonywać ocen wpływu zidentyfikowanych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych i powierzchniowych (fig. 2). Wpływy te mogą mieć zróżnicowany charakter w zależności od hydrodynamicznych uwarunkowań wynikających z pracy ujęć i/lub systemów odwadniania.

PODSUMOWANIE

Realizowana w Polsce od lat zmiana zasad gospodarowania zasobami wód podziemnych i powierzchniowych wymaga wypracowania właściwej metodyki wyznaczania objętości wód wypełniających warstwy skał (utworów) tworzących poziomy użytkowe. Racjonalizacja zasad wymaga wydzielenia jednostek przestrzeni, w której występujące wody cechują się określonymi właściwościami i znajdują się w tych samych granicach uwarunkowanych czynnikami hydrodynamicznymi.

Takie przestrzenie tworzą tzw. jednolite części wód podziemnych, które w określonych warunkach (ściska więź hydrauliczna z wodami powierzchniowymi) mogą mieć wspólne granice zewnętrzne ze scalonymi jednolitymi częściami wód powierzchniowych, wydzielanych przebiegiem linii wododziałowych. Wyznaczenie tych granic oraz identyfikacja stref drenażowych (naturalnych i sztucznych) wód podziemnych (najczęściej są to koryta rzeczne i ujęcia wód podziemnych) pozwalają w warunkach rozpoznania budowy geolo-

gicznej i właściwości filtracyjnych skał na stworzenie modelu koncepcyjnego (konceptualnego) badanej zlewni.

Na bazie modelu koncepcyjnego należy zbudować model matematyczny, w którym określanie i zmienność warunków granicznych (intensywność zasilania i drenażu – stany średnie i ekstremalne) w procesie weryfikacji, kalibracji i walidacji pozwalają na uznanie go za wiarygodny. Rozwiązania wariantowe prowadzone w celu określenia bilansu wodnego (dopływy i rozchody) zmierzają do określenia wielkości zasobów odnawialnych, na bazie których określane są, po przyjęciu właściwych ograniczeń hydrogeologicznych i środowiskowych, zasoby dostępne (dyspozycyjne) całej modelowanej jednostki (np. zlewnia, JCWPd, JCWPow) lub/i jej wybranych części (np. w granicach jednostek hydrostrukturalnych).

Określenie tej wielkości (zasoby dyspozycyjne, moduły zasilania) dla różnych stanów (średniego, niskiego i wysokiego) pozwalają na dokonywanie ocen ilościowego stanu modelowanej JCWPd (określonej zlewniowo) lub/i wydzielonych w jej granicach mniejszych przestrzennie części, jeżeli znane są aktualne wielkości poborów wody i wydajności poboru, określone w pozwoleniach wodnoprawnych, oraz zasoby eksploatacyjne pracujących ujęć wód podziemnych.

Uogólniając, można stwierdzić, że:

- wyniki przeprowadzonych badań i wielowariantowych obliczeń wykazały, że w bilansowaniu wodnogospodarczym zlewni konieczne jest uwzględnienie związków wód powierzchniowych z podziemnymi, zwłaszcza gdy symulację przeprowadza się dla okresu lat suchych, gdzie w przypadku niskich stanów wód dominują przepływy pochodzące z zasobów wód podziemnych;
- przed przystąpieniem do bilansowania wodnogospodarczego konieczne jest ustalenie wielkości przepływów nienaruszalnych dla poszczególnych cieków w zlewni bilansowej. Brak rozstrzygnięć prawnych w zakresie ustalania przepływów nienaruszalnych i jednoznacznego wskazania metodyki obliczeniowej pozostawia wykonującemu obliczenia bilansowe swobodę w tym zakresie. Skutkuje to m.in. brakiem możliwości porównania bilansów wodnogospodarczych dla różnych zlewni prowadzonych przez różne zespoły i w konsekwencji ogranicza możliwość jednoznacznego zdefiniowania zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) dla obszarów obejmujących wiele zlewni bilansowych (regiony wodnogospodarcze);
- obliczenia powinny być wykonywane na jak najdłuższych naturalnych (quasi-naturalnych) ciągach danych hydrologicznych, które w przypadku zlewni o znaczącym użytkowaniu wód powierzchniowych i podziemnych są szczególnie trudne do „odtworzenia”, z uwagi na brak wyników monitoringu użytkowania zasobów wód przed nowelizacją Prawa wodnego w 2001 roku oraz brak szczegółowych

analiz wpływu zmian zagospodarowania przestrzennego na reżim hydrologiczny;

- symulacje i oceny stanu powinny być przeprowadzone według wielkości określonych w pozwoleniach wodnoprawnych. Użytkownicy w większości przypadków korzystają z zasobów w mniejszym rozmiarze, niż określono to w pozwoleniu wodnoprawnym. W rezultacie powstaje pewna zablokowana nadwyżka zasobów, ograniczająca możliwości decyzyjne administratora co do ich rozdysponowania. Uwzględnienie rzeczywistego użytkowania powinno służyć administratorowi do weryfikowania pozwoleń wodnoprawnych;
- dokładność wyników bilansowania jest ściśle powiązana ze szczegółowością i dokładnością danych wejściowych do modelu;
- konieczne, aczkolwiek najtrudniejsze, wydaje się być pogłębienie badań nad uwzględnieniem jakości zasobów wód powierzchniowych i podziemnych w dynamicznym bilansowaniu wodnogospodarczym. Jest to szczególnie istotne w przypadku określania zasobów dyspozycyjnych (dostępnych), służących jako potencjalne źródło zaopatrzenia ludności w wodę. Również i przy ocenie stanów jakościowych wód podziemnych i powierzchniowych metoda modelowania powinna stanowić podstawę przeprowadzanych analiz wykonywanych w granicach wydzielonych jednostek bilansowych (JCWPow, JCWPd);
- obliczonych zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) wód podziemnych nie należy traktować jako wartości stałej i nieziennej w czasie. Powinny być one traktowane jako wartości zmienne w czasie, zależne od kryteriów (wymuszeń) ograniczających (hydrogeochemicznych i środowiskowych), które zawsze należy definiować odrębnie dla każdego obszaru bilansowego.

Uwzględnienie w badaniach modelowych tych ograniczeń wymaga upowszechnienia tworzenia tzw. modeli dyspozycyjnych, które pozwolą na opracowywanie scenariuszy zagospodarowania wód opartych na rezultatach modelowań matematycznych. Te ostatnie muszą uwzględniać wszystkie kryteria (wymuszenia i ograniczenia) warunkujące możliwości oceny wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) i eksploatacyjnych oraz zapotrzebowanie gospodarki na wodę o odpowiedniej jakości, dostarczonej w gwarantowanej i oczekiwanej ilości.

Przykłady zastosowania takiej metodyki ustalania wielkości zasobów odnawialnych, dyspozycyjnych i eksploatacyjnych jednostki bilansowej zostały zaprezentowane w pracach Szklarczyka (2008) oraz Szklarczyka i Szczepańskiego (2008).

Przedstawioną metodykę wypracowano w ramach realizacji badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH (umowa nr 11.11.140.139).

LITERATURA

- DĄBROWSKI S., SZYMANKO J., 1980 – Problemy regionalizacji wielopoziomowych jednostek hydrogeologicznych na Nizinie Polskiej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej* (red. Z. Pazdro): 100–115. Warszawa.
- HERBICH P., DĄBROWSKI S., NOWAKOWSKI C., 2003 – Ustalenie zasobów perspektywicznych wód podziemnych w obszarach działalności Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.*
- HERBICH P., NOWICKI Z., SKRZYPCZYK L., HORDEJUK M., 2004 – Wydzielenie jednolitych części wód podziemnych na obszarze kraju. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol. Warszawa.*
- KLECZKOWSKI A.S., 1988 – Regionalizacja słodkich wód podziemnych Polski w zmodyfikowanym ujęciu. *W: Aktualne problemy hydrogeologii* (red. B. Kozerski), cz. III: 1–6. Gdańsk.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony, 1:500 000. AGH, Kraków.
- MAPA hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 – Instrukcja, 2004. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PACZYŃSKI B. (red.), 1995 – Atlas hydrogeologiczny Polski w skali 1:500 000. Systemy zwykłych wód podziemnych. Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. T. 1. Wody słodkie. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- SZKLARCZYK T., 2008 – Metodyka zlewniowego bilansowania zasobów wód podziemnych na przykładzie zlewni Koprzywianki. *Arch. KHiGI, AGH, Kraków.*
- SZKLARCZYK T., SZCZEPAŃSKI A., 2008 – Modelowanie matematyczne w ocenie kształtowania się zasobów wód podziemnych w obszarach wododziałowych na przykładzie GZWP 414 „Zagnańsk”. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **431**: xxx. Warszawa
- SZYMANKO J., 1980 – Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geol. Warszawa.