

Uwagi końcowe

Zrównoważone gospodarowanie wodami w analizowanej zlewni Koprzywianki wymaga zintegrowanego podejścia do zasobów wód powierzchniowych i podziemnych.

Naturalnymi przestrzeniami systemu krążenia wód są zlewnie rzek, wyznaczone przebiegiem linii wododziałowych wód powierzchniowych i podziemnych (strefy zasilania), ciągi koryt rzecznych stanowiących strefy drenażu oraz miąższość (głębokość) strefy aktywnej wymiany wód, w której odbywa się przepływ wód w użytkowych poziomach wodonośnych.

Dla takich uwarunkowań należy stworzyć model koncepcyjny zlewni. Jakościowy opis funkcjonowania takiego systemu krążenia wody stanowi podstawę jego ilościowej analizy za pomocą tworzonego modelu matematycznego.

Zadając, po zweryfikowaniu i skalibrowaniu modelu, zmienne w czasie i przestrzeni warunki graniczne wewnętrzne i zewnętrzne, można dokonać bilansu przepływu (dochody i rozchody) wód podziemnych i powierzchniowych. Analiza bilansu i wprowadzenie do modelu czynników antropogenicznych (ujęcia, systemy odwadniające/nawadniające, obiekty hydrotechniczne) zdefiniowanych potrzebami wodnymi w regionie i stymulowanych ograniczeniami środowiskowymi (ochrona ekosystemów wodnych i z wodą związanych) pozwalają z jednej strony na określenie stanu ilościowego wód w systemie (zlewni), z drugiej zaś – na opracowanie bilansu wodnogospodarczego.

Modelowanie matematyczne umożliwia przeprowadzenie symulacji wielowariantowych w procesie optymalizacji warunków racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi w wydzielonym regionie wodnogospodarczym, tożsamym przestrzennie z jednostką bilansową.

Wykorzystanie w procesie optymalizacji rezultatów oceny stanów ilościowych i jakościowych wód (chemicznego w odniesieniu do wód podziemnych i ekologicznego w odniesieniu do wód powierzchniowych) w wyznaczonych JCWPd i JCWP pozwala na realizację tych symulacji z oczekiwaną (wymaganą) wiarygodnością.

Istotne zatem jest wydzielenie jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) na podstawie rozpoznanych uwarunkowań, w pierwszej kolejności hydrodynamicznych, a następnie hydrostrukturalnych, szczególnie w systemach głębokiego krążenia wód podziemnych (poziomach wodonośnych niepozostających w bezpośrednim lub pośrednim związku hydraulicznym z wodami powierzchniowymi: rzekami, jeziorami, morzem itp.).

Prezentowany w pracy przykład zlewni Koprzywianki i zrealizowanie całego cyklu działań w obszarze o skomplikowanych uwarunkowaniach hydrodynamicznych i hydrostrukturalnych dowodzi poprawności zastosowanej metodyki. Dzięki zastosowanej metodyce wykazano nieracjonalny i nieuzasadniony sposób wydzielen JCWPd (Konsorcjum, 2004), gdyż wody podziemne w obszarze badanej zlewni pozostają w pełnym kontakcie hydraulicznym z rzeką Koprzywianką i jej dopływami oraz pośrednio z rzekami: Wisłą, Opatówką i Czarną.

W 2010 r. Państwowa Służba Hydrogeologiczna (PSH) opublikowała w Internecie nowy podział Polski w zakresie JCWPd – wydzielono 172 części oraz trzy subczęści (www.psh.gov.pl). Nowy podział na JCWPd, weryfikujący przebieg granic JCWPd wydzielonych w 2004 r., uwzględnia propozycje i uwagi zawarte w niniejszej monografii.

W monografii skoncentrowano się na relacjach jakościowych i ilościowych wynikających ze zlewniowego bilansowania wód, wskazując na przykładzie zlewni Koprzywianki na konieczność spójnych działań wynikających z przyjęcia zasad gospodarowania wodami w układzie zlewniowym, także w odniesieniu do oceny zasobów wód podziemnych.

Ocena wpływu jakości wód podziemnych na stan chemiczny wód powierzchniowych wymaga przeprowadzenia szczegółowej analizy wzajemnych relacji pomiędzy tymi wodami, zarówno obecnie, jak i na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat. Pomimo istniejących licznych teoretycznych założeń i rozważań dotyczących oceny wzajemnych relacji wód podziemnych i powierzchniowych w aspekcie ilościowym i jakościowym w dalszym ciągu bez odpowiednio długich ciągów pomiarowych, realizowanych w systemach zlewniowych, zagadnienie to sprawia wiele trudności. W monografii przedstawiono ważniejsze elementy, na które należy zwrócić szczególną uwagę, planując zlewniowe gospodarowanie wodą, podejmując długoterminowe działania ochronne naturalnych zasobów wodnych, a także ustalając harmonogramy prac mających na celu osiągnięcie dobrego stanu wód podziemnych i powierzchniowych oraz odwrócenie znaczących trendów wzrostu stężenia zanieczyszczeń w wodach podziemnych.

Ocena, z wykorzystaniem modelu matematycznego, wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na przepływy w ciekach powierzchniowych pokazała istotne oddziaływanie tego poboru na wielkość przepływów wód w ciekach powierzchniowych znajdujących się zarówno w badanej zlewni, jak i poza nią. Oznacza to, że prowadzenie zlewniowej gospodarki wodnej nie może się ograniczać do wydzielonego obszaru, ale konieczne jest uwzględnianie także przepływów międzyzlewniowych (lateralnych). Oddziaływania poza granicami zlewni morfologicznej są specyficzne dla wód podziemnych, co należy uwzględnić w przypadku wspólnego bilansowania wód podziemnych i powierzchniowych.

Przedstawiona metoda obliczenia składowych ładunku pomierzonego w przekroju hydrometrycznym wymaga głębszej analizy. Chociaż do obliczeń jakościowych przyjęto substancję konserwatywną (SO_4), istnieją miejsca, w których ładunki tej substancji się nie bilansują. Głębsza analiza problemu wymaga zgromadzenia większej ilości danych jakościowych (dłuższych ciągów obserwacyjnych dotyczących wód podziemnych i powierzchniowych), które mogłyby służyć do weryfikacji przeprowadzonych obliczeń. Dla migracji zanieczyszczeń za pośrednictwem odpływu podziemnego istotne jest także opóźnienie wynikające z powolności wymiany wód podziemnych.

W dotychczasowej praktyce fakt opóźnienia reakcji systemu wód podziemnych na zmianę antropopresji jest bardzo często pomijany, a reakcję tę traktuje się niejednokrotnie jako natychmiastową. Oczekuje się również niezwłocznych pozytywnych zmian jakości wód np. po ograniczeniu nawożenia w rolnictwie. Zwraca na to uwagę ramowa dyrektywa wodna (RDW, 2000), ale świadomość tego nie jest jeszcze w Polsce powszechna.

Dzięki wypracowanej metodyce powstaje możliwość wskazania racjonalnych lokalizacji ujęć i ustalenia bezpiecznych dla środowiska i bilansu wodnego wielkości poborów wody przy określonych (dopuszczalnych) depresjach. Możliwe jest także określenie wpływu prowadzonej eksploatacji wód podziemnych na bilanse wodne sąsiednich zlewni oraz na wielkości przepływu wód powierzchniowych w analizowanej zlewni i zlewniach sąsiednich.

S. Witczak (Szczepańska i in., 2007) stwierdza, że „szczególnie ważnym elementem jest stworzenie modelu odzwierciedlającego warunki krążenia wód podziemnych. Zbiorniki wód podziemnych posiadają ogromne zdolności retencyjne i dzięki temu są istotnym regulatorem cyklu hydrologicznego. Wody podziemne stanowią podstawowe źródło zasilania wód rzecznych w okresach stanów niskich, czyli w okresach najbardziej krytycznych dla utrzymania dobrego stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Ta funkcja powoduje jednak ograniczenie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych”. Potwierdziły to wyniki naszych badań zaprezentowane w niniejszej monografii.

Na podstawie przedstawionych w monografii wyników modelowań autorzy uważają, że na aktualnym etapie rozpoznania warunków hydrogeologicznych, hydrologicznych i hydrogeochemicznych zasady sporządzania planów gospodarki wodnej mogą i powinny być określone z użyciem metodyki zawartej w niniejszej pracy. Pozwala ona na wiarygodną wielowariantową ocenę zasobów dyspozycyjnych i określenie stanu ilościowego wód podziemnych.

Za punkt wyjścia przy określaniu zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) powinno się przyjmować wielkość wyznaczonych w procesie badań modelowych zasobów odnawialnych wód podziemnych.

Przy szacowaniu zasobów dyspozycyjnych za pomocą badań modelowych jednym z największych nierozwiązanych problemów jest sposób wyznaczania przepływu nienaruszalnego wód powierzchniowych zależnych od wód podziemnych. Nierozstrzygnięte jest m.in. to, czy i pod jakimi warunkami można uwzględniać w przepływach nienaruszalnych objętość pobieranych w zlewni wód podziemnych, które po wykorzystaniu trafiają do niej z powrotem (średnio ok. 80%). Trafiają tam w postaci oczyszczonych ścieków zrzucanych do cieków powierzchniowych, uzupełniając w ten sposób wielkości ich przepływów. Rozwiązanie tego problemu będzie wymagało współpracy specjalistów z różnych dyscyplin i powinno być podjęte jak najszybciej.

Z pracy wynika również, że obliczonych zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) wód podziemnych nie należy traktować jako wartości stałej i niezmiennej w czasie (patrz arkusze mapy hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000 – podane moduły zasobów dyspozycyjnych). Powinny one być traktowane jako wartości zmienne w czasie (wariantowe), uzależnione od szerokiego zestawu przyjmowanych kryteriów ograniczających (hydrogeologicznych i środowiskowych), które należy zawsze definiować odrębnie dla każdego obszaru bilansowego.

Przyjmowane hydrogeologiczne kryteria ograniczające powinny umożliwiać zachowanie w obszarze bilansowym np.:

- określonych przepływów w ciekach (przepływ nienaruszalny) i wydatków źródeł;
- dopuszczalnych, minimalnych poziomów zwierciadła wody w celu zachowania pożądanego kształtowania się warunków wymiany wody pomiędzy poszczególnymi poziomami (warstwami) wodonośnymi;
- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego natężenia przepływów międzywarstwowych dla zagwarantowania w sąsiednich poziomach (warstwach) użytkowych odpowiednich zasobów i stałości składu chemicznego;
- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego zasilania infiltracyjnego z cieków i zbiorników powierzchniowych;
- nieprzekraczalnego, dopuszczalnego natężenia dopływów bocznych (lateralnych) z sąsiednich zlewni bilansowych;

oraz niedopuszczenie do istotnych zmian składu chemicznego wody w wyniku ascenzji lub ingresji wód słonych (bądź zdegradowanych), uruchomienia procesów geochemicznych przez nadmierne zwiększenie miąższości strefy aeracji i/lub intensywności przepływów.

Środowiskowe kryteria ograniczające dotyczą ekosystemów wód powierzchniowych i lądowych powiązanych bezpośrednio z wodami podziemnymi. Mają one zapewnić zachowanie odpowiednich warunków wodnych tych ekosystemów w warunkach poboru wód w wysokościach wnioskowanych do zatwierdzenia (przyjęcia) zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych oraz zatwierdzonych w wydanych pozwoleniach wodnoprawnych. Można mniej dokładnie analizować obszary wykorzystywane gospodarczo, natomiast bardziej dokładnie obszary prawnie chronione (Natura 2000, parki narodowe, rezerваты itp.).

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że przedstawiona w pracy metodyka zlewniowego bilansowania wód podziemnych na przykładzie zlewni Koprzywianki nie rozwiązuje wszystkich, bardzo skomplikowanych problemów dotyczących tworzenia bilansów wodnogospodarczych zlewni. W szczególności chodzi o możliwość zastosowania w badaniach modelowych obiektywnych i bardzo zróżnicowanych kryteriów ograniczających wielkość zasobów dyspozycyjnych, a co za tym idzie – i eksploatacyjnych ujęć. Z drugiej strony należy stosować bardziej dokładne odwzorowanie na modelu numerycznym dolin rzecznych, co wiąże się z zastosowaniem siatek znacznie gęstszych ($\Delta x = \Delta y = 50\text{--}100\text{ m}$) niż stosowane dotychczas w dokumentowaniu zasobów dyspozycyjnych. Ograniczenia te wynikają przede wszystkim z możliwości programów służących do realizacji badań modelowych, które z kolei są uzależnione od parametrów operacyjnych komputerów osobistych, stosowanych powszechnie do tego celu. Na przedstawione powyżej problemy zwracają również uwagę w swych artykułach Michalak (2007) i Kazimierski (2007).

Przy ocenie zasobów dyspozycyjnych należy uwzględnić jedno z podstawowych ograniczeń, tj. dopuszczalne zdepresjonowanie użytkowych poziomów wodonośnych, które w odniesieniu do obszarów chronionych i wykorzystywanych gospodarczo będzie różne. Sposób uwzględnienia tego ograniczenia w badaniach modelowych przedstawili Śmietański i Kwaterkiewicz (2003).

Uwzględnienie w badaniach modelowych ww. ograniczeń wymagać będzie (w niedalekiej przyszłości) upowszechnienia w Polsce stosowania modeli „decyzyjnych”, które pozwolą na opracowywanie schematów (scenariuszy) zagospodarowania wód z wykorzystaniem modeli matematycznych, uwzględniających wcześniej wymienione kryteria ograniczające wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych), a także zapotrzebowanie ludności i gospodarki na wodę o odpowiedniej jakości, dostarczanej w gwarantowanej i oczekiwanej ilości.

Uogólniając omówione powyżej rezultaty badań, można sformułować następujące wnioski:

- Wyniki przeprowadzonych badań i wielowariantowych obliczeń wykazały, iż w bilansowaniu wodnogospodarczym zlewni konieczne jest uwzględnienie związków wód powierzchniowych z podziemnymi, zwłaszcza gdy symulację przeprowadza się dla okresu suchego, kiedy to w przypadku niskich stanów wód powierzchniowych dominują przepływy pochodzące z zasobów wód podziemnych.
- Przed przystąpieniem do bilansowania wodnogospodarczego konieczne jest ustalenie wielkości przepływów nienaruszalnych 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 różnych zlewni prowadzonych przez różne zespoły i, w konsekwencji, ogranicza możliwość jednoznacznego zdefiniowania zasobów dyspozycyjnych (dostępnych) obszarów obejmujących wiele zlewni bilansowych (regiony wodnogospodarcze).
- Obliczenia powinny być wykonywane na jak najdłuższych naturalnych (quasi-naturalnych) ciągach danych hydrologicznych i hydrogeochemicznych, 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 szczegółowych analiz wpływu zmian zagospodarowania przestrzennego na reżim hydrologiczny.
- Symulacje i oceny stanu ilościowego wód podziemnych powinny być przeprowadzone według wielkości określonych w pozwoleniach wodnoprawnych. Użytkownicy w większości przypadków korzystają z zasobów w mniejszej ilości, niż określono to w pozwoleniu wodnoprawnym. W rezultacie powstaje pewna zablokowana nadwyżka zasobów, ograniczająca możliwości decyzyjne administratora odnośnie do ich rozdysponowania. Uwzględnienie rzeczywistego użytkowania powinno służyć administratorowi do weryfikowania pozwoleń wodnoprawnych.
- W najbliższym czasie należałoby przystąpić do budowy „stałych modeli” systemu krążenia wód JCWPd, które w przyszłości będą udoskonalane wraz z postępem w rozpoznawaniu poszczególnych elementów obiegu wód na badanym obszarze oraz rozwojem metod modelowania matematycznego. Przez „stałe modele” autorzy rozumieją modele, które będą składane u zleceniodawcy i będą zawierały oprócz części opisowej,

tabelarycznej i graficznej również pełną wersję elektroniczną modelu matematycznego. W związku z tym konieczne stanie się stworzenie, np. przez KZGW, RZGW i PIG-PSH, elektronicznej biblioteki opracowanych modeli matematycznych JCWPd, które w każdej chwili będą mogły być aktualizowane i rozbudowywane o nowe elementy hydrologiczne, hydrogeologiczne oraz kryteria ograniczające (hydrodynamiczne i środowiskowe) wielkości zasobów dyspozycyjnych (dostępnych).