

Opis a model pojęciowy jednolitych części wód podziemnych

The description versus the conceptual model of the Groundwater Body (GWB)

Bogusław Kazimierski

Państwowy Instytut Geologiczny, e-mail: boguslaw.kazimierski@pgi.gov.pl

Abstract: The Directive 2000/60/EC of the European Parliament and European Community Council commonly known as the Water Framework Directive, the implementation guidelines as well as methodological guidebooks assign importance to GWB's conceptual models which are used in the design and operational phase of the groundwater monitoring development. The conceptual model presents in a simplified way the GWB hydrogeological system, its structure, processes inside the system and its links to the surrounding areas. The conceptual model is used to select the aquifers to be monitored, site observation wells and interpretate the quantity and quality data concerning the GWB.

Key words: models of hydrogeological systems, water management, hydrogeology, groundwaters

1. Wstęp

Określenia „model pojęciowy” czy „model konceptualny” (ang. *conceptual model*) wykorzystywane są aktualnie w teorii systemów, informatyce czy geomatyce (Michalak, 2003). Stosowano je, nie zawsze używając tych terminów, już od ponad 30 lat w polskiej hydrogeologii, w zagadnieniach związanych z matematycznym modelowaniem filtracji (Kazimierski, 1985; Macioszczyk, Kazimierski, 1990; Szymanko, 1980). Wykorzystanie modeli pojęciowych dla potrzeb monitoringu zalecają „Wytyczne metodyczne...” (2003) i inne opracowania ekspertów Unii Europejskiej (np. Groundwater body characterization, 2004). Posługiwanie się takim modelem jest przydatne zarówno na etapie opracowania programu monitoringu, jego modyfikacji, jak i interpretacji wyników – w tym także w ocenie stanu jednolitych części wód podziemnych (JCWPd). W pierwszej fazie badań można tworzyć modele proste, a w miarę dopływu danych z monitoringu lub innych badań, uszczegóławiać je.

2. Definicje i sposób przejścia od opisu do modelu pojęciowego

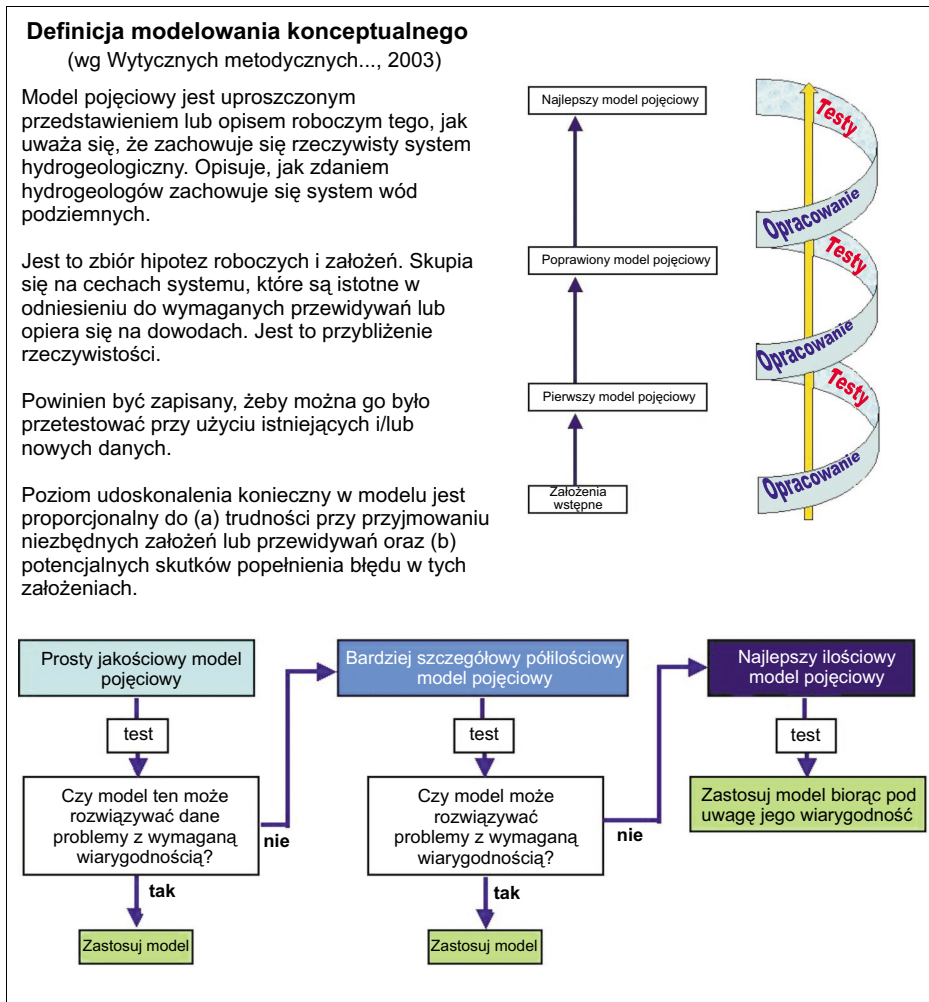
Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) obliuguje państwa członkowskie Unii Europejskiej do realizacji jej zadań, zgodnie z przedstawionym w niej harmonogramem. Pierwsze etapy jej realizacji, odnoszące się do monitoringu wód podziemnych i oceny ich stanu, wymagały wyodrębnienia w obszarze każdego z państw jednolitych części wód podziemnych (JCWPd), a następnie przedstawienia ich opisu w postaci wstępnej charakterystyki. Dalszym etapem prac jest uszczegółowienie tego opisu i opracowanie modeli pojęciowych JCWPd.

Opis (def. encyklopedia PWN ze zmianami), a ściślej *opis naukowy (metodologia)*, jest sposobem przedstawienia charakterystyki badanego obiektu, zjawiska lub procesu (faktu) przez podanie jego cech szczególnych, które go określają jako reprezentanta jakiejś klasy (opis), spełniania warunków czy norm (opis jakościowy), sposobu funkcjonowania (opis funkcjonalny), typu (opis typologiczny), lub przez podanie cech swoistych wyodrębniających go spośród wszelkich innych przedmiotów, jako pewne indywidualium (opis indywidualizujący). *Opis naukowy odpowiada na pytania typu „jak jest?”*. W praktyce naukowej granica między opisem (np. obiektu badań) a wyjaśnieniem jego budowy, zasad funkcjonowania jest trudna do ścisłego wyznaczenia.

Opis jest jednym z pierwszych (wstępnym) etapów badań naukowych, w którym zgodnie z wynikami obserwacji charakteryzuje się obiekty, zjawiska i ich własności, przez zaliczenie ich do odpowiednich klas czy typów albo przez ich wyodrębnienie. Szczegółowy opis przedmiotu, jakim jest obiekt hydrogeologiczny (np. struktura, jednostka, czy jednolita część wód podziemnych), z zastosowaniem teorii systemów, może być wstępnym etapem prowadzącym do stworzenia jego modelu. Najpierw modelu pojęciowego, stanowiącego przede wszystkim opis struktury i ewentualnie przebiegu procesów w obrębie systemu hydrogeologicznego, jego powiązań z otoczeniem, a następnie, gdy będzie taka potrzeba, matematycznych modeli filtracji lub transportu substancji w wodach podziemnych. Definicje według poradnika metodycznego (*Wytyczne metodyczne...*, 2003) oraz etapy opracowywania kolejnych, doskonalszych modeli pojęciowych JCWPd, przedstawiono w postaci schematów na rycinie 1.

Dla dokonania opisu JCWPd niezbędna jest przynajmniej elementarna znajomość ich struktury, granic, wyodrębnionych pięter czy poziomów wodonośnych i warstw półprzepuszczalnych. Niezbędne są też informacje o otoczeniu dla oceny wywieranych przez niego presji, jeśli opis, a następnie model badanego systemu, ma informować o przebiegu w jego obrębie procesów hydrogeologicznych również pod wpływem czynników zewnętrznych. W ramach wdrażania RDW w roku 2005 przedstawiono metodykę prac, w tym wykonano uproszczony opis JCWPd na potrzeby ich wstępnej charakterystyki. Opis wykorzystano do opracowania programu monitoringu (Kazimierski, 2006). W tabeli 1 przedstawiono fragment zestawienia zawierającego podstawowe informacje charakteryzujące główny poziom wodonośny jednolitych części.

Jeśli weźmiemy pod uwagę warunki Polski, tj. skomplikowaną, wielowarstwową budowę struktur hydrogeologicznych, trudno taki opis traktować jako wystarczający. Dlatego w następnym etapie prac nad opisem JCWPd, wierniej odzwierciedlającym ten typ warunków, należy wykorzystać modele uwzględniające ich skomplikowaną, wielowarstwową strukturę. Wykonanie takiego opisu wymaga najpierw ustalenia koncepcji budowy rozpatrywanej struktury hydrogeologicznej, a więc wprowadzenia uproszczeń jej budowy, agregacji warstw w kompleksy wodonośne, w obrębie których istnieją dobre połączenia hydrauliczne i które charakteryzują się podobną dynamiką. Prowadzi to w konsekwencji do przedstawienia modelu jej struktury. Przejścia od opisu do modelu struktury najłatwiej dokonać, posługując się teorią systemów. Pozwala to wyodrębnić obiekt (tutaj JCWPd)



Ryc. 1. Definicja i uproszczony schemat tworzenia modelu pojęciowego (Wytuczne metodyczne..., 2003)

Tabela 1. Fragment tabelarycznego zestawienia danych wstępnej charakterystyki JCWPd

Nr JCWPd	Stratigrafia	Litologia	Miąższość [m]	Hydrogeologia	Rodzaj porowatości	Stożek ściśliwości	Wodoprzepuszczalność [m/s]	Geochemiczny typ utworu skalnego	Rodzaj utworu skalnego	Stożek izolacji
1	Q	piaski	20–30	porowata	pory	luźne	od $3 \cdot 10^{-4}$ do $1 \cdot 10^{-5}$	krzemionkowy	osadowy	3a
2	Q	piaski	do 20	porowata	pory	luźne	od $3 \cdot 10^{-4}$ do $1 \cdot 10^{-5}$	krzemionkowy	osadowy	2b
8	Q/J	piaski/piaskowce	10–40	porowata/szczelinowa	pory/szczeliny	luźne/lite	od $3 \cdot 10^{-4}$ do $3 \cdot 10^{-5}$	krzemionkowy	osadowy	1a/1b
90	Pz-Pt	metamorficzne (magma)	>40	szczelinowa	szczeliny	lite	od $3 \cdot 10^{-5}$ do $1 \cdot 10^{-5}$	krzemionkowe (węglanowe)	magmowe (metamorficzne)	3
113	Pz-Pt	metamorficzne (no-magmowe)	>40	szczelinowa	szczeliny	lite	od $3 \cdot 10^{-5}$ do $1 \cdot 10^{-5}$	krzemionkowy	metamorficzne (no-magmowe)	3
116	Q(Cr)	piaski (piaskowce)	10 (12)	porowata	pory (szczeliny)	luźne (lite)	od $3 \cdot 10^{-3}$ do $1 \cdot 10^{-4}$ (od $3 \cdot 10^{-5}$ do $1 \cdot 10^{-5}$)	krzemionkowy	osadowy	3 (1)
130	T	węglany	>40	szczelinowa	porowatość krasowa	lite	od $1 \cdot 10^{-4}$ do $3 \cdot 10^{-5}$	węglanowy	osadowy	1

z otoczenia, jakim są sąsiadujące z nią inne JCWPd, systemy innych wód (np. atmosferycznych, powierzchniowych, wglębnych) oraz jego elementy składowe – kompleksy wodonośne i półprzepuszczalne. Opis struktury takiego systemu hydrogeologicznego powinien odnosić się do wszystkich jego elementów składowych oraz elementów otoczenia istotnie oddziałujących na system. Niezwykle ważne jest, by w określaniu struktury JCWPd, a następnie jej modelu uwzględniono wszystkie kompleksy wodonośne wód zwykłych w sposób umożliwiający analizowanie za pomocą modelu przebiegu procesów hydrogeologicznych, mających znaczący wpływ na kształtowanie się stanu zasobów i chemizmu wód oraz oddziaływań zmian stanu na ekosystemy lądowe i wód powierzchniowych zależne od wód podziemnych. Należy więc uwzględnić:

- poziomy wód gruntowych lub użytkowych o zwierciadle swobodnym, zasilane bezpośrednio przez opady atmosferyczne i zagrożone zanieczyszczeniami przenikającymi z powierzchni, drenowane przez rzeki, zaopatrujące w wodę ekosystemy powierzchniowe,
- główny, użytkowy poziom wodonośny i jego zagrożenia ingresją wód zdegradowanych,
- głębsze użytkowe poziomy, zagrożone ascensją wód zmineralizowanych.

Pod określeniem „model pojęciowy systemu hydrogeologicznego” należy rozumieć zapis koncepcji przedstawiającej budowę (strukturę) rozpatrywanego systemu i obrazującej wzajemne powiązania (oddziaływania) istniejące pomiędzy jego elementami oraz całego systemu z otoczeniem. Model przedstawia jak, zdaniem eksperta, zachowuje się system. Tym samym model musi zawierać dane o:

- budowie geologicznej systemu i przynajmniej w uproszczonej postaci jego otoczenia,
- rozprzestrzenieniu, komplikacjach w wykształceniu (niejednorodności, nieciągłości, anizotropii itp.) i wartościach parametrów warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych,
- danych środowiskowych dotyczących sposobu użytkowania terenu, zanieczyszczeń obszarowych, punktowych ognisk zanieczyszczeń itp.,
- czynnikach kształtujących przebieg procesów w obrębie systemu i jego otoczenia, w tym w szczególności o antropopresji, a w końcu o przebiegu samych procesów.

3. Interaktywny sposób tworzenia modelu konceptualnego

Przedstawione w poradniku „Wytyczne metodyczne...” (2003) zasady zalecają, by wstępne wersje modelu konceptualnego były faktycznie wzbogaconym o dodatkowe dane opisem słownym systemu hydrogeologicznego lub opisem przedstawionym w postaci zestawienia tabelarycznego. Taki uproszczony opis jednolitych części wód podziemnych, opracowany na potrzeby ich wstępnej charakterystyki przedstawiono fragmentarycznie w tabeli 1. Następne etapy uszczegóławiania modelu mogą pole-

gać na wzbogacaniu tego opisu o wartości liczbowe parametrów hydrogeologicznych, ewoluować w kierunku przedstawienia graficznego w postaci: przekroju (ryc. 2), mapy, blokdiagramu (ryc. 3), a następnie diagramu/floudiagramu lub modelu blokowego (ryc. 4). Każda następna wersja modelu powinna zawierać więcej informacji o strukturze systemu hydrogeologicznego – JCWPd. Efektem tych prac powinno być opracowanie modelu, który ze szczegółowością wystarczającą dla realizowanych zadań wynikających z zakresu prowadzonych badań pozwoli wykonać:

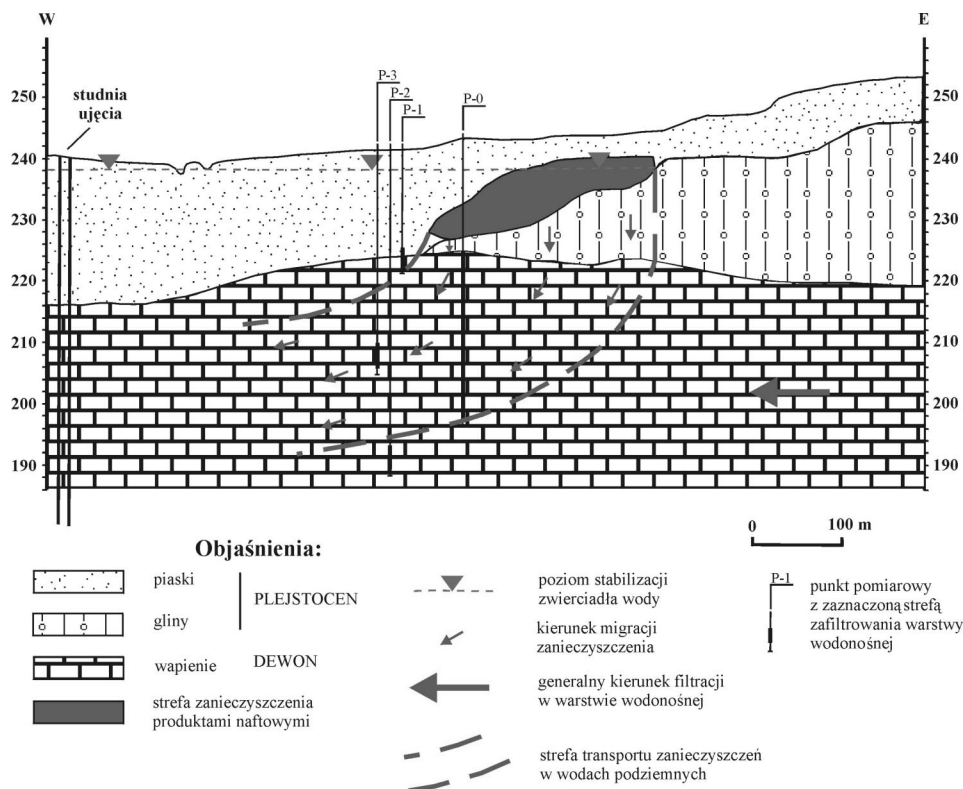
- ocenę stanu ilościowego bądź jakościowego JCWPd,
- prognozę sytuacji hydrogeologicznej dla stwierdzenia, czy nie istnieje ryzyko niespełnienia wymagań środowiskowych określonych dla wód podziemnych w RDW, w perspektywie 2015 r.,
- modyfikację systemu monitoringu, zarówno w zakresie lokalizacji punktów badawczych, jak zakresu i terminów badań.

Wynika stąd, że mogą zaistnieć przypadki wymagające opracowywania modeli o różnym stopniu szczegółowości, dla oceny procesów czy zagrożeń zarówno z zakresu stanu zasobów, jak i chemizmu wód. W przypadku wymaganej dużej wiarygodności, w szczególności w odniesieniu do prognoz, może być konieczne opracowanie na bazie modeli pojęciowych matematycznych modeli filtracji bądź transportu substancji, pozwalających na wykonywanie symulacji komputerowych i analizowanie ich wyników. Postać graficzna modelu, dwu- lub trójwymiarowa, w formie przekroju (ryc. 2), blokdiagramu (ryc. 3) może przedstawiać strukturę JCWPd, jej rozmiary (w postaci wartości liczbowych lub podania skali), liczbę poziomów/pięter wodonośnych, wartości liczbowe ich parametrów oraz informacje o dynamice procesów ilustrowane za pomocą izolinii, linii ekwipotencjalnych, wektorów czy symboli. Nie wszystkie „modele graficzne” są w stanie przedstawić z wystarczającą szczegółowością obiekt rozważań wyodrębniony z otoczenia. Takie możliwości daje „model blokowy” (ryc. 4), dodatkowo ukazując wyraźnie interakcje zachodzące w obrębie obiektu oraz pomiędzy obiektem a otoczeniem.

Sam proces przechodzenia od opisu do modelu graficznego, a następnie matematycznego ma zwykle charakter interaktywny, a z każdym jego cyklem powinna wzrastać ilość informacji o obiekcie badań – JCWPd i wiarygodność modelu. Dodatkowe informacje o obiekcie mogą pochodzić z różnych źródeł: pogłębionej analizy danych archiwalnych, nowych badań, monitoringu.

Opracowany w Państwowym Instytucie Geologicznym program monitoringu JCWPd (Kazimierski, 2005) przewiduje właśnie taki przebieg udoskonalania modeli pojęciowych JCWPd. Cykle jego rozwoju wiążą się tam z kolejnymi cyklami i etapami monitoringu. Model pojęciowy będzie wykorzystywany do rozwiązywania różnych zadań i osiągania różnych celów. Głównie jednak dla:

- rozpoznania przebiegu procesów w obrębie badanej JCWPd i zrozumienia ich istoty,
- wspomagania projektowania i udoskonalania sieci badawczej (miejsc lokalizacji punktów, zakresu monitoringu, terminu i częstotliwości badań oraz opróbowań),
- wyboru sposobu ujmowania warstw wodonośnych przez otwory badawcze,
- interpretowania wyników monitoringu,



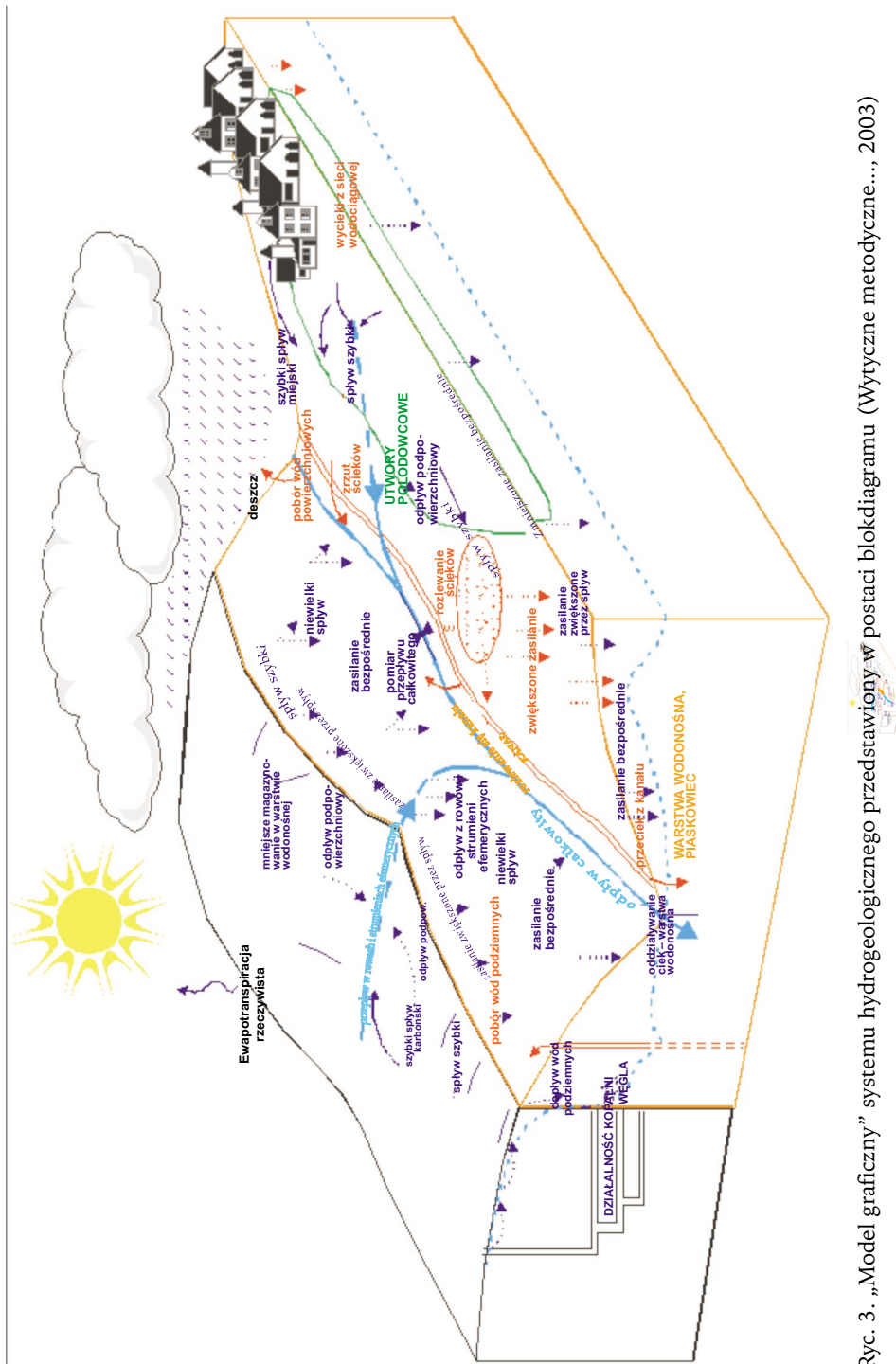
Ryc. 2. Przekrój przedstawiający koncepcję przenoszenia zanieczyszczeń w obrębie warstwy wodonośnej oraz sposobu pobierania próbek wody dla oceny stopnia zanieczyszczenia wód podziemnych (wg Prażaka, ze zmianami)

- dokonywania ocen stanu JCWPd,
- programowania działań naprawczych i kontrolowania ich efektów itd.

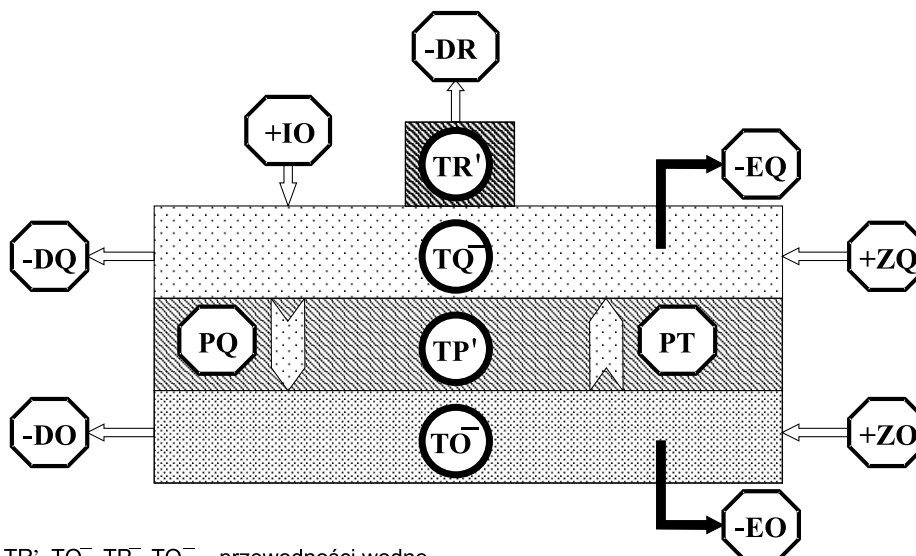
Model ma również zapewnić odpowiednią wiarygodność dokonywanych za jego pomocą działań i ocen, wystarczającą do celów, do których go stworzono i do których ma być wykorzystywany. Poziom rozpoznania warunków hydrogeologicznych i środowiskowych, a następnie szczegółowość modelu pojęciowego muszą być proporcjonalne do trudności w ocenie skutków presji i stosowanych środków prowadzących do osiągnięcia dobrego stanu wód podziemnych. Dlatego też modele poszczególnych JCWPd będą w różny sposób skomplikowane, ale powinny pozwalać na ocenę stanu wód podziemnych z podobną wiarygodnością.

4. Uwagi końcowe i wnioski

Realizowane w Państwowym Instytucie Geologicznym przez Państwową Służbę Hydrogeologiczną zadania związane z bieżącą aktualizacją informacji o JCWPd wyma-



Ryc. 3. „Model graficzny” systemu hydrogeologicznego przedstawiony w postaci blokdiagramu (Wytyczne metodyczne..., 2003)



TR', TQ⁻, TP', TO⁻ – przewodności wodne
kolejno: koryt rzek, warstw wodonośnych
czwartorzęd, pliocenu, oligocenu

PQ, PT – przepływy „wewnętrzne” pomiędzy
poziomami wodonośnymi

+IO, -DR – zasilenie infiltracyjne i drenaż rzek
-EQ, -EO – eksploatacja poziomów wodonośnych

+ZQ, +ZO – zasilenie zewnętrzne
-DQ, -DO – drenaż z i do sąsiednich
systemów wodonośnych

Ryc. 4. „Model graficzny” przedstawiony w formie blokdiagramu (Kazimierski, 1985).

Przedstawia w sposób uproszczony strukturę systemu hydrogeologicznego oraz charakter przepływów wód wewnątrz systemu, jak też wymianę wody z otoczeniem

gają uwagi, rozwijania metodyk badań, wdrażania wyników badań regionalnych oraz monitoringu wód podziemnych. Proponowany do wykonania zakres prac, przewidzianych na najbliższe kilka lat, można przedstawić następująco:

- Weryfikacja, zmiana granic, opisu JCWPd na obszarze całej Polski, wraz z uzyskaniem o nich nowych informacji z rozpoznania i wyniku pierwszych etapów monitoringu.
- Opracowanie pierwszej wersji modeli pojęciowych, początkowo opisowych, uwzględniających wielopoziomową strukturę jednolitych części.
- Opracowanie modeli pojęciowych w formie graficznej na potrzeby oceny stanu ilościowego i chemicznego JCWPd. Struktura modeli i ich szczegółowość powinny umożliwić ocenę poprawności rozlokowania i sposobu ujęcia wskazanych do monitoringu poziomów wodonośnych.
- Wskazanie JCWPd, wymagających przeprowadzenia dla nich szczególnie dokładnej analizy wyników monitoringu; opracowanie dla nich matematycznych modeli filtracji bądź transportu substancji na bazie modeli pojęciowych. Może dotyczyć to jednolitych części transgranicznych, o stanie słabym lub zagrożonych, w odniesieniu do których podejmowane będą działania naprawcze.

- Wydzielenie JCWPd w oparciu o zespół kryteriów, w których główną rolę odgrywało kryterium zlewniowe. Powoduje to niezgodność przebiegu granic jednolitych części z granicami struktur hydrogeologicznych wyodrębnianych w oparciu o kryterium zasięgu warstw wodonośnych i dynamiki wód podziemnych. Zaletą przyjęcia kryterium zlewniowego jest zgodność granic jednolitych części z zasięgiem obszarów bilansowania i zarządzania wodami.
- Przewidywane zmiany liczby, granic i stanu JCWPd oraz konieczność dostosowania metod pracy do wymagań sprawozdawczości na potrzeby Komisji Europejskiej Europejskiej Agencji Środowiska, Międzynarodowej Komisji Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem czy Komisji Wód Granicznych, co wyraźnie zwiększa pracochłonność zadań związanych z wykonaniem opisu i opracowywaniem modeli pojęciowych JCWPd.

Literatura

- Dyrektywa 2000/60/EC Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnoty Europejskiej z 23 października 2000 r. ustalająca ramy działań Wspólnoty w zakresie polityki wodnej.
- Groundwater body characterization, 2004 – Groundwater body characterization. Technical report on groundwater body characterization issues as discussed at the workshop of 13th October 2003. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Final draft 11.04.2004.
- Kazimierski B., 1985. Zasady przygotowywania i opracowania danych oraz organizacji obliczeń modelowych dla dużych jednostek hydrogeologicznych. Modelowanie dużych regionalnych systemów hydrogeologicznych. Wyd. OPT NOT., Warszawa.
- Kazimierski B., 2005. Program monitoringu jednolitych części wód podziemnych na terenie Polski (niepublikowane, Archiwum PIG).
- Kazimierski B., 2006. Program monitoringu jednolitych części wód podziemnych na terenie Polski. Problemy związane z wprowadzaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej. Częstochowa.
- Macioszczyk T., Kazimierski B., 1990. Zasady budowy modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania. Wyd. SGGW AR, Warszawa.
- Michalak J., 2003. Modele pojęciowe hydrogeologicznych danych geoprzestrzennych – podstawy metodyczne. Biuletyn PIG 406, Hydrogeologia z. V.
- Szymanko J., 1980. Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Warszawa.
- Wytyczne metodyczne do monitoringu zgodnego z Ramową Dyrektywą Wodną. Wersja ostateczna 23 stycznia 2003. Tłumaczenie na język polski – Guidance, 2002 – Guidance on monitoring for the Water Framework Directive. Water Framework Directive-Common implementation strategy. Working group 2.7.Monitoring.