

## Badania modelowe niecki mazowieckiej

Tadeusz Macioszczyk\*

Intensywny rozwój hydrogeologii, jako dyscypliny zajmującej się podstawowym składnikiem środowiska, w aspekcie zaspokajania potrzeb ludzkości, został spowodowany wymuszeniami, wynikającymi ze stałego wzrostu wykorzystania zasobów wód podziemnych, prowadzącymi do daleko idących przemian w bilansie regionalnych systemów krążenia wód podziemnych z jednej strony oraz z drugiej strony z intensywnym równoległym rozwojem nowoczesnych technik i metod obliczeniowych w tym zwłaszcza, metod modelowania matematycznego.

Metody modelowania matematycznego polegają na (przybliżonym) rozwiązywaniu ogólnego równania filtracji przy ściśle określonych warunkach brzegowych i w tym sensie nie różnią się od metod analitycznych. Mimo, iż są to metody przybliżone mają charakter metod bardziej uniwersalnych ze względu na możliwość uwzględniania skomplikowanej formy przestrzennej jednostek hydrogeologicznych oraz możliwość uwzględniania przestrzennej zmienności parametrów (niejednorodności) warstw wodonośnych i rozdzielających warstw słabo przepuszczalnych systemu hydrogeologicznego.

Niecka mazowiecka jako jednostka o stosunkowo prostym, jak się wydawało, schemacie (modelu) hydrogeologicznym, stała się względnie wcześniej obiektem badań modelowych w zespole Zakładu Hydrologii Wód Podziemnych Uniwersytetu Warszawskiego. Skład tego zespołu pracującego, już ponad 23 lata, nad problematyką niecki mazowieckiej zmieniał się i w różnych okresach grupował liczny zespół, który w naturalny sposób ulegał modyfikacji kadrowej. Do zespołu tego należeli i/lub należą między innymi: mgr Artur Latka (obecnie Główny Geolog Warszawy), dr Ewa Krogulec, dr Bogusław Kazimierski (obecnie Państwowy Instytut Geologiczny), dr Janusz Michalak, dr Małgorzata Sikorska-Maykowska, mgr Lech Śmietański (obecnie Państwowy Instytut Geologiczny). W zakresie algorytmizacji i oprogramowania modeli numerycznych, a wcześniej w zakresie konstrukcji modeli analogowych, zespołowi liderował i lideruje Janusz Michalak, w zakresie organizacji danych i przygotowania, formowania prototypów modeli funkcję taką pełni Małgorzata Sikorska-Maykowska. W zakresie organizacji obliczeń numerycznych i przeprowadzania prac identyfikacyjnych i symulacyjnych Bogusław Kazimierski. Autor wyraża słowa uznania i podziękowania całemu zespołowi, również jego członkom nie wymienionym z nazwiska, za zaangażowanie i oddanie swych talentów dla dobra tych interesujących i ważnych naukowo badań. Tak właśnie widział i wysoko oceniał te badania prof. Zdzisław Pazdro, gdy w 1985 r. po sesji na temat modelu niecki, nadesłał specjalne pismo gratulacyjne, które w annałach zakładu zawsze będzie zajmować poczesne miejsce. Badania modelowe niecki podjęto początkowo we współpracy z Instytutem Geologicznym już w 1973 r. (Macioszczyk & Michalak, 1974).

Poniżej, po przedstawieniu za Kazimierskim przeglądu wykonanych modeli niecki mazowieckiej, zwraca się uwagę na problemy metodyczne, jakie stały przed zespołem, pewne

aspekty teorii modelowania oraz konieczność postawienia nowych hipotez co do układu systemu krążenia wielowarstwowych artezyjskich jednostek regionalnych oraz na aktualność i równoległość czasową tych badań do podobnych badań prowadzonych w innych krajach.

Ze względu na dostępność sprzętu, liczne opracowania metodyczne, również własne (Macioszczyk, 1973), początkowo w badaniach tych zastosowano metodę analogową z wykorzystaniem analizatora pola AP-600.

Badania na pierwszym modelu (model 1 — patrz tabela 1) prowadzone były jak wspomniano przy współpracy i na zlecenie ówczesnego Instytutu Geologicznego CUG, a ich podstawowym zadaniem była ocena stopnia rozpoznania warunków hydrogeologicznych wodonośnego poziomu trzeciorzędowego niecki mazowieckiej, z punktu widzenia możliwości oceny bilansu i zasobów całej niecki zwłaszcza zaś organizacji sieci obserwacyjnej. W wyniku tych badań, zmieniono pogląd na warunki krążenia wód w obrębie niecki i stwierdzono, że znaczną rolę w jej zasileniu odgrywa przesączanie pionowe wód poprzez kompleks utworów „pliocenu”, nie tylko w strefach okien hydrogeologicznych i głębokich wcięć erozyjnych, lecz również w strefach facyjnych zmian „pliocenu”, gdzie przeważają utwory frakcji pylastej lub nawet piaszczystej lub silnie, glacitektonicznie spękane utwory ilaste. Stwierdzono również, iż z punktu widzenia dynamiki wód podziemnych, niecka mazowiecka nie jest jednostką jednorodną i w jej obrębie można wydzielić wiele słabo od siebie uzależnionych hydrodynamicznie fragmentów.

Badania na modelu drugim (model 2, Macioszczyk i in., 1974) wykonano również na AP-600. Uwzględniając fakt istnienia w obrębie niecki słabo powiązanych ze sobą hydrodynamicznie fragmentów do badań przyjęto wyłącznie strefę okolic Warszawy. Podstawowym zadaniem tego modelu była ocena warunków hydrogeologicznych i możliwości eksploatacji wód oligocenijskich w obrębie Warszawy. Dlatego, w celu uzyskania wyższej rozdzielczości i otrzymania większej dokładności rozwiązań dla rejonów skupionej eksploatacji na terenie Warszawy i w jej najbliższej okolicy, skonstruowano model z wykorzystaniem tzw. „lupy przestrzennej” co pozwoliło przyjąć w obrębie Warszawy wymiar bloku 2,5 km, a poza Warszawą 5 km. W badaniach tych, potwierdzono w pełni poprzednio sformułowany pogląd, dotyczący warunków formowania się zasobów wód trzeciorzędowych. Stwierdzono, iż bez zachwiania równowagi hydrodynamicznej można zwiększyć eksploatację wód oligocenijskich o 10–15% w stosunku do eksploatacji z 1974 r., lecz wielkość eksploatacji musi być limitowana na podstawie dwóch grup kryteriów: — **lokalne**, chroniąc eksploatację w warunkach naporowych w każdym miejscu poboru wód — i **regionalne**, uwzględniające możliwość odnawiania zasobów wód zarówno poziomów czwartorzędowych, jak i trzeciorzędowego.

Wyniki tych badań referowano na otwartym zebraniu Inst. Hydrog. i Geol. Inż. UW w 1975 r. Wyniki te wzbudziły niedowierzanie i dyskusję w związku z przyjęciem (w wyniku procedur identyfikacyjnych) przepuszczalności kompleksu pliocenijskiego również poza strefami okien hydrogeologicz-

\*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

ných — nie ważnym było wtedy, że były to przepuszczalności bardzo małe ( $k$  rzędu  $10^{-9}$  do  $10^{-8}$  m/s).

Modele 1 i 2 odtwarzały warunki filtracji wyłącznie w obrębie poziomu trzeciorzędowego, a rozkład naporów hydraulicznych w obrębie poziomu czwartorzędowego uwzględniano z pomocą schematu Hantush'a.

Badania na modelu 3, wykonano już z użyciem obliczeń cyfrowych (Macioszczyk i in., 1975–1977), a obszar badań przekraczał nieznacznie we wszystkich kierunkach teren województwa warszawskiego. Zastosowano w obliczeniach pakiet programów ANPLA (Michalak, 1985), który od tej pory stał się podstawowym narzędziem pracy zespołu. W obliczeniach zaangażowano ponad 2200 węzłów modelu (na AP-600 zwykle nie więcej jak 400), co pozwoliło przyjąć dla całego obszaru modelu jednolity rozmiar kroku przestrzennego 2,5 km. W dalszym ciągu analizowano warunki filtracji wyłącznie w obrębie poziomu trzeciorzędowego. Przeprowadzono obliczenia bilansowe, lecz nie ustalano zasobów wód. Wyniki tych badań, w sposób syntetyczny, Macioszczyk przedstawił na sesji jubileuszowej Wydziału Geologii w 1975 r. w referacie *Model warunków hydrogeologicznych niecki mazowieckiej w świetle analizy systemowej*.

W celu rozpoznania warunków krążenia, a w szczególności pionowej wymiany wód pomiędzy poziomami czwartorzędowymi, a trzeciorzędowym, skonstruowano „płaski w przekroju”, dwuwymiarowy model, na którym odwzorowano filtrację na przekroju poprowadzonym przez centralną część niecki mazowieckiej (model 4).

W wyniku tych badań stwierdzono, iż w obu analizowanych kompleksach wodonośnych przeważa horyzontalny przepływ wód, za wyjątkiem stref wyraźnego zmniejszenia się miąższości plicenu lub jego facjalnej zmiany powodującej zwiększenie przepuszczalności w strefach wododziałowych oraz dolin dużych rzek, gdzie w wyniku istnienia dużych gradientów pionowych naporów hydraulicznych, przeważa

pionowy kierunek przepływu wód. Wyniki tych badań przedstawiono w wielu publikacjach (Latka & Michalak, 1983; Kazimierski & Latka, 1985; Latka, 1985). Model ten potwierdził dopuszczalność przyjmowania w obrębie poszczególnych poziomów ruchu płaskiego, co zresztą dobrze koresponduje z faktem, że w niecce mazowieckiej przedstawionej na mapce wielkości arkusza A-4, warstwy wodonośne mają miąższość znacznie mniejszą niż grubość takiej kartki papieru.

W latach 1979–1984, skonstruowano pierwszy w pełni dwuwarstwowy model (model 5) filtracji centralnej części niecki mazowieckiej, który pozwalał analizować warunki filtracji również w obrębie tzw. użytkowego czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Cechą charakterystyczną tego, jak i następnych z wyjątkiem ostatniego, modeli było to, iż cały skomplikowany, często wielowarstwowy, wodonośny system czwartorzędowy w procesie schematyzacji sprowadzono do jednej tzw. użytkowej warstwy wodonośnej. Zastosowanie tego uproszczenia, znane w teorii modelowania jako procedura agregacji, było spowodowane brakiem odpowiedniego rozpoznania warunków hydrogeologicznych czwartorzędu.

W wyniku tych badań przedstawiono bilans i „regionalne zasoby eksploatacyjne”, które można utożsamiać z aktualnym pojęciem „zasobów dyspozycyjnych” wyznaczone w oparciu o wyraźnie zdefiniowane kryteria szcerpania zasobów wód podziemnych. Kryteria takie zostały po raz pierwszy opublikowane w 1985 r. (Macioszczyk & Kazimierski, 1985). W 1985 r. (model 6) przeprowadzono też symulację w warunkach filtracji niestabilnej, w celu oceny czasu stabilizacji się dopływów w warunkach regionalnego poboru wód. Stwierdzono, iż czas stabilizacji się dopływów w rejonie Warszawy należy ocenić na ok. 20 lat.

W latach 1984–1988 w zakładzie prowadzono prace nad uruchomieniem programu ANPLA na minikomputerze klasy IBM-PC oraz w sieci komputerowej Uniwersytetu Warszawskiego.

W ramach realizacji tematu *Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego* powstał pierwszy cyfrowy model całego obszaru niecki mazowieckiej. Badania prowadzone z jego wykorzystaniem pozwoliły na ocenę warunków krążenia w obrębie obu głównych poziomów wodonośnych niecki (model 7), przedstawienie bilansu wód podziemnych, a co ważniejsze ocenę stopnia zagrożenia jakości wód zanieczyszczeniami przedostającymi się z powierzchni. W tym celu wykorzystano model do analizy „statystycznych charakterystyk czasu przebywania wody w systemie wodonośnym” (model 8, Michalak, 1989; Kazimierski & Macioszczyk, 1989). Wyniki tych badań pozwoliły też na opublikowanie pracy metodycznej przedstawiającej zasady budowy regionalnych modeli systemów hydrogeologicznych (Macioszczyk & Kazimierski, 1990).

Wersja regionalnego modelu niecki mazowieckiej (model 9), po wprowadzeniu uściśleń i przepro-

Tab. 1. Zestawienie podstawowych matematycznych modeli niecki mazowieckiej

Nr mod.	Obszar modelowania	Liczba warstw	Rodz. mod. typ komputer.	Okres badań krok x	Główne zadania modelowania
1	Niecka mazowiecka	1-Tr	analogowy; AP-600	1974; 15 km	rozpoznanie warunków hydrogeologicznych
2	Warszawa i okolice	1-Tr	analogowy; AP-600	1974; 5; 2,5 km	ocena możliwości eksploatacji wód oligoceńskich
3	Centralna część niecki mazowieckiej	1-Tr	numeryczny; IBM-360	1975–1977; 2,5 km	bilans wód trzeciorzędowych
4	Przekrój przez centralną część niecki mazowieckiej	1-Tr+Q płaski w przekroju	numeryczny; IBM-360	1978–1982; b. różny	określenie wymiany pionowej i struktury systemu krążenia wód podziemnych
5	Centralna część niecki mazowieckiej	2-Tr+Q	numeryczny; IBM-360	1979–1984; 3,7 km	określenie bilansu i zasobów wód podziemnych
6	Centralna część niecki mazowieckiej	2-Tr+Q	numeryczny; IBM-360	1985; 3,7 km	ocena czasu stabilizacji warunków dopływu
7	Niecka mazowiecka	2-Tr+Q	numeryczny; PC-XT/AT	1988; 3,7 km	określenie systemu krążenia i bilansu wód podziemnych
8	Niecka mazowiecka	2-Tr+Q	numeryczny; R-70	1988; 3,7 km	ocena zagrożeń wód podziemnych — czasy RT
9	Niecka mazowiecka	2 Tr+Q	numeryczny; PC-486	1991–1992; 3,7 km	analiza strukt. bilansów wód podziemnych w podobszarach
10	Niecka mazowiecka — aplikacja dla woj. warszawskiego	2 Tr+Q	numeryczny; PC-486	1994–1995; 3,7 km	bilansowanie i gospodarowanie aktywne zasobami
11	Niecka mazowiecka	3 Tr+2Q	numeryczny; PC-486	1991–1996; 3,0 km	bilans wód podziemnych systemu niecki mazowieckiej

**Tab. 2. Bilans wód podziemnych (tys. m<sup>3</sup>/d) niecki mazowieckiej — model 1995**

Poziom wodonośny/składnik bilansu	+	-
I. Przypowierzchniowy poziom czwartorzędowy		
1. Infiltracja efektywna — IE 10 194	10 194	—
2. Różnica bilansowa dopł., odpł. i ekspl.: DB-OB-QE 16	16	—
3. Drenaż rzek DR 9 500	—	9 500
4. Przesączenie z/do II poziomu ZP <sub>12</sub> /ZP <sub>21</sub> 399 1 109	399	1 109
5. Łącznie I poziom +/-	10 609	10 609
II. Użytkowy poziom czwartorzędowy		
1. Dopływ/Odptyw boczny DB/OB	51	112
2. Przesączenie z/do I poziomu: ZP <sub>21</sub> /ZP <sub>12</sub>	1 109	399
3. Przesączenie z/do III poziomu: ZP <sub>23</sub> /ZP <sub>32</sub>	114	218
4. Eksploatacja QE	—	552
5. Łącznie II poziom +/-	1 274	1 281
III. Piętro trzeciorzędowe		
1. Dopływ/Odptyw boczny: DB/OB	60	46
2. Przesączenie z/do II poziomu: ZP <sub>32</sub> /ZP <sub>23</sub>	218	114
3. Eksploatacja QE	—	119
4. Łącznie III poziom +/-	278	269
Σ I. Łącznie I + II + III: +/-	12 161	12 159
Σ2. Cały model (bez przepływów wewnętrznych):		
1. Infiltracja efektywna: IE	10 194	—
2. Drenaż rzek: DR	—	9 500
3. Dopływy i odpływy boczne: DB/OB	127	158
4. Eksploatacja QE	—	671
5. Łącznie model (bez przepływów wewnętrznych)	10 321	10 329

wadzeniu powtórnej identyfikacji wartości parametrów, szczególnie w odniesieniu do czwartorzędowego poziomu użytkowego, pozwoliła na przedstawienie zasad zestawiania i prezentacji wyników obliczeń bilansowych i zasobowych dla wydzielonych obszarów modelu regionalnego, np: dolin, wysoczyzn, rejonów hydrogeologicznych i innych jednostek wyodrębnionych na podstawie kryteriów przyrodniczych czy administracyjnych (Kazimierski, 1995).

Na zlecenie Urzędu Wojewódzkiego w Warszawie, na podstawie modelu 9 opracowano aplikację modelu (model 10), która umożliwia w sposób konwersacyjny, w ograniczonym zakresie prowadzić obliczenia symulacyjne dla różnych wersji poboru wód i zestawiać dla nich bilanse. Wersja tego modelu jest eksploatowana i służy w celu rozwiązywania zadań z zakresu gospodarowania wodami podziemnymi województwa warszawskiego (Kazimierski i in., 1995).

Podjęto również próbę, udaną w ograniczonym zakresie, budowy pierwszego trójwarstwowego modelu niecki mazowieckiej (model 11). Model ten umożliwia analizę warunków filtracji w obrębie dwóch wodonośnych poziomów czwartorzędowych: przypowierzchniowego, zasilanego bezpośrednio infiltracją opadów atmosferycznych (wody gruntowe) i użytkowego oraz poziomu trzeciorzędowego.

Dodać należy, iż wszystkie wersje modeli pracujących na mikrokomputerach PC umożliwiają prezentację danych i wyników symulacji z pomocą procedur graficznych, w tym w postaci map stanów wód i parametrów hydrogeologicznych. W znacznym stopniu zautomatyzowano procedurę przygotowywania danych dla modelu, a w związku z archiwizowaniem danych, w systemie Arc-Info, unowocześniono możliwości ich wizualizacji w dowolnie modyfikowanych zestawieniach mapowych.

W wyniku tych szeroko zakrojonych badań, dotyczących niecki mazowieckiej oraz teorii modelowania, opracowano metodę oceny zasobów wód podziemnych na drodze optymalizacji wielokryterialnej zakresu zmian składników bilansowych bilansu systemu krążenia jednostki hydrogeologicznej przy zachowaniu kontrolowanych w symulacjach modelowych kryteriów stopnia szcerpania zasobów, kryteriów zdefiniowanych w oparciu o ograniczenia przyrodniczo ekologiczne zdefiniowane dla każdej badanej jednostki hydrogeologicznej. Autorom nie jest znana w literaturze przedmiotu tak algorytmicznie sformułowana metoda oceny regionalnych zasobów wód podziemnych, w tym w szczególności zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (Macioszczyk & Kazimierski, 1990).

Badania modelowe dużego systemu regionalnego jakim jest niecka mazowiecka podjęto równolegle z badaniami w innych krajach europejskich, a pierwsze wyniki przedstawiono jak wspomniano w latach 1974, 1975 1977 zanim w 1978 r. ukazały się materiały konferencji Międzynarodowej Asocjacji Hydrogeologów (I.A.H.) odbytej w Budapeszcie w 1976 roku. Zdumiewająca jest zbieżność uzyskanych w różnych krajach wyników badań. Praktycznie we wszystkich tych badaniach dla wielowarstwowych systemów regionalnych, przyjęto podobny, a nawet taki sam schemat krążenia wód podziemnych z dominantą zasilania i drenażu głębokich poziomów wodonośnych w wyniku przesączenia przez rozdzielające warstwy słaboprzepuszczalne. Zauważmy, że schemat taki dobrze koreluje z koncepcją systemów (układów) krążenia Tótha (1963). Z badań, w których przyjęto analogiczny schemat krążenia wymienić należy badania modelowe basenu akwitańskiego (Besbes i in., 1978); model basenu rzeki Tagus (Llamas & Cruces de Abia, 1978); badania modelowe basenu węgierskiego (Erdélyi, 1978) czy też model regionu paryskiego (Archambault & Clouet d'Orval, 1978). Jest zdumiewające, że w wymienionych modelach otrzymano nawet tego samego rzędu wskaźniki zasobności, a nawet wartości współczynników filtracji słaboprzepuszczalnych warstw rozdzielających.

Uzyskane dla niecki mazowieckiej wyniki analizy i syntezy modelowej, w tym wyniki tłumaczące fakty i zjawiska spoza dynamiki wód podziemnych (dotyczące jakości wód), duże podobieństwo czy wręcz zgodność tych wyników z wynikami badań modelowych podobnych hydrogeologicznych jednostek regionalnych pozwoliły autorom (Macioszczyk, 1986; Macioszczyk (red.), 1985; Macioszczyk & Kazimierski, 1990) traktować określony dla niecki mazowieckiej schemat krążenia za schemat poprawny co do koncepcji i co więcej jako schemat noszący znamiona uniwersalnego schematu systemu krążenia w regionalnych systemach wielowarstwowych strefy aktywnej wymiany wód w warunkach klimatu umiarkowanego.

W warunkach takich, głównym czynnikiem — składową krążenia wód podziemnych jest infiltracja opadów. Na jej rozkład strukturalny w sensie przestrzennej lokalizacji stref zasilania i drenażu, obok cech geologiczno-strukturalnych, ma układ morfologiczny, a więc rozkład sieci rzecznej i stref wododziałowych — i to zarówno dla poziomów przypowierzchniowych, jak i głębszych poziomów strefy aktywnej wymiany. Zrozumiałym jest, że bazą drenażową dla wszystkich wymienionych poziomów są główne (najgłębiej wcięte) rzeki, a tylko w strefach nadmorskich same zbiorniki mórz. W takiej sytuacji w jednostkach hydrogeologicznych, nie zaburzonych eksploatacją, staje się regułą, że w strefach wododziałowych najwyżej jest położone zwierciadło najpłytszych warstw wodonośnych, a najniżej zwierciadło warstw głębszych. W strefach dużych dolin sytuacja jest odwrócona, najwyżej położone jest zwierciadło warstw najgłębszych (najczęściej obserwowane są tu samowypływy z tych warstw). Oznacza to, że strefy wododzia-

lowe jawią się jako strefy zasilania regionalnego dla wszystkich poziomów wodonośnych strefy aktywnej wymiany, a strefy współczesnych dużych dolin rzecznych to strefy drenażu regionalnego, również dla głębokich poziomów wodonośnych. Współcześnie schemat ten jest już powszechnie akceptowany.

Zauważmy, że schemat ten bardzo dobrze tłumaczy obserwowane zjawisko przegłębienia strefy występowania wód słodkich w obszarach wododziałowych i wyraźne jej spłylenie w drenażowych strefach dolinnych. Obserwowane jest to również w regionie niecki mazowieckiej. Nie wdając się w szczegółową analizę, można zauważyć, że wspomniany schemat krążenia uzasadnia także fakt częstszego występowania i utrzymywania się „mozaikowych” anomalii hydrochemicznych ascenzyjnej genezy w dolinnych strefach drenażowych (Macioszczykowa, 1979), gdzie zanika zdecydowana dominanta składowych poziomów prędkości filtracji, a ujawnia się istotne znaczenie składowych pionowych.

Bardzo opornie następowało odejście od poglądu o zasilaniu niecki artezyjskiej na wychodniach, przy założeniu nieprzepuszczalności kompleksu przykrywającego i to mimo, że wszelkie mapy hydroizohips poziomów trzeciorzędowych dokumentowały jednoznacznie, że wychodnie na skrzydłach są najczęściej strefami drenażu i to zarówno z kierunku północnego, jak i południowego. Przykładowo — studnie ujmujące poziomy trzeciorzędowe w równoleżnikowej dolinie Wieprza wykazują warunki artezyjskie, potwierdzając jednoznaczny tu drenaż niecki ku dolinie.

Badania modelowe całej niecki z 1989 r. (model 9) oraz najnowsze 1995 r. (model 11) pozwalają ocenić zasoby dyspozycyjne piętra trzeciorzędowego na 250 000 m<sup>3</sup>/d, w tym w centralnym rejonie 145 000 m<sup>3</sup>/d. Odpowiada to modułom zasilania zmieniającym się najczęściej w przedziale 15÷25 m<sup>3</sup>/d km<sup>2</sup>, a uwzględniając ich pełną zmienność w przedziale 5÷125 m<sup>3</sup>/d km<sup>2</sup>. Są to wartości dobrze korelujące z ostatnimi ocenami przedstawionymi w *Atlasie hydrogeologicznym Polski*, 1 : 500 000 (Paczyński i in., 1995), gdzie moduł zasilania ocenia się na 5÷20 (50) m<sup>3</sup>/d km<sup>2</sup>. Wyższe wartości przedstawionych modułów odnoszą się do obszarów okien hydrogeologicznych, stref brzeżnych o zmniejszonym ekranowaniu w związku z redukcją miąższości kompleksu „plioceńskiego” oraz obszarów z intensywną eksploatacją wymuszającą intensyfikację procesów przesączania. Są to zasoby stosunkowo małe zwłaszcza względem potrzeb. Trudno jednak oczekiwać by mogły być większe przy tak dobrze ekranowanej jednostce — w zamian system niecki mazowieckiej jest mało podatny na degradację jakości zasobów.

W wyniku badań modelowych, względnie dobrze rozpoznano strukturę bilansu wód podziemnych. Bilans ostatniego trójwarstwowego modelu (jeśli nie liczyć dwóch rozdzielających warstw) przedstawiono w tabeli 2.

Struktura bilansu modelu niecki mazowieckiej wskazuje na stosunkowo dobre zrównoważenie numeryczne modelu. Przychody i rozchody całego modelu: Σ1 i Σ2 odpowiadają sobie z dokładnością lepszą niż 0,02 i 0,08%. Gorzej jest natomiast z bilansami poszczególnych poziomów, gdyż dla II i III poziomu zgodność ta wynosi już tylko 0,6 i 3,2%. Nakładają się tu niewątpliwie błędy rozpoznania warunków hydrogeologicznych i co do wartości parametrów hydrogeologicznych i co do hipotez schematyzacyjnych ze względu na uproszczenia, agregację warstw itp. Autorzy przypuszczają, że pewien wpływ może też mieć przyjęcie zasady konstrukcji map analitycznych

automatycznie z wykorzystaniem technologii ARC-INFO i SURFER'a- GRID'a.

Ogólnie, analiza modelowa warunków hydrogeologicznych niecki mazowieckiej, pozwala stwierdzić stosunkowo słabe jej rozpoznanie i to wbrew powszechnemu przekonaniu. Przede wszystkim rozpoznanie to jest bardzo niejednorodne. Do najsłabiej rozpoznanych elementów należy zaliczyć rozkład i strukturę eksploatacji wód podziemnych z niecki oraz rozpoznanie stanów wody (map hydroizohips na wybrane terminy) oraz dynamiki tych stanów — ich zmienności w czasie.

Niecka mazowiecka, ze względu na szczególnie wysoką wartość jej zasobów, jest przewidziana do dalszych badań hydrogeologicznych, z zamiarem modelowej oceny zasobów dyspozycyjnych, z wiarygodnością dopuszczającą ich zatwierdzenie na okres piętnastoletni. Przewidziano w tym celu szeroki zakres badań terenowych, archiwalnych i modelowych. Badania takie będą miały duże znaczenie poznawcze i aplikacyjne

## L i t e r a t u r a

- ARCHAMBAULT J. & CLOUET d'ORVAL M. 1978 — La nappe des sables verts et l'alimentation en eau de la region parisienne. Mem. I.A.H., 11, Conf. Budapest 1976: 123–133.
- BESBES M., de MARSILY G. & FLAUD M. 1978 — Bilan des eaux souterraines dans le Bassin Aquitain. Ibidem: 294–303.
- ERDELYI M. 1978 — Hydrodynamics of the Hungarian Basin. Ibidem: 146–162.
- KAZIMIERSKI B. & LATKA A. 1985 — Gosp. Wod., 5–6: 129–132.
- KAZIMIERSKI B. & MACIOSZCZYK T. 1988 — [W:] Aktualne problemy hydrogeologii, 4: 31–45.
- KAZIMIERSKI B. 1995 — Współczesne problemy hydrogeologii, 7: 195–202.
- KAZIMIERSKI B., MACIOSZCZYK T., MICHALAK J. & SIKORSKA-MAYKOWSKA M. 1995 — Aplikacja numerycznego regionalnego modelu filtracji. CAG Państw. Inst. Geol.
- LATKA A. & MICHALAK J. 1983 — Pr. Inst. Biocybernetyki i Inż. Biomed., 14: 106–112.
- LATKA A. 1985 — [W:] Modelowanie dużych regionalnych systemów hydrogeologicznych, T. Macioszczyk (red.). OPT-NOT, Warszawa.
- LLAMAS M.R. & CRUCES de ABIA J. 1978 — Conceptual and digital models of the water flow in the Tertiary basin of the Tagus River (Spain). Mem. I.A.H., 11, Conf. Budapest 1976: 186–202.
- MACIOSZCZYK T. 1973 — Prz. Geol., 21: 555–558.
- MACIOSZCZYK T. (red.) 1985 — Modelowanie dużych regionalnych systemów hydrogeologicznych. OPT-NOT, Warszawa.
- MACIOSZCZYK T. & KAZIMIERSKI B. 1985 — [W:] Modelowanie dużych regionalnych systemów hydrogeologicznych, T. Macioszczyk (red.). OPT-NOT, Warszawa: 97–137.
- MACIOSZCZYK T. & KAZIMIERSKI B. 1990 — Zasady budowy modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania., Publ. CPBP 04.10, z. 53., Wyd. SGGW AR, Warszawa.
- MACIOSZCZYK T. & MICHALAK J. 1974 — Kompleksowe badania modelowe reżimu wód podziemnych niecki mazowieckiej dla prawidłowej organizacji sieci obserwacyjnej oraz oceny zasobów. Etap I. Projekt badań modelowych. Arch. ZPG UW.
- MACIOSZCZYKOWA A. 1979 — Inst. Geol. Pr. Hydrogeol. ser. spec., 11: 1–228.
- MICHALAK J. 1988 — [W:] Aktualne problemy hydrogeologii, 4: 53–65.
- PACZYŃSKI B. (red.) 1995 — Atlas hydrogeologiczny Polski, 1 : 500 000. PIG, Warszawa.
- TÓTH J. 1963 — J. Geoph. Res., 68: 4795–4812.