

## PROBLEMY ZASTOSOWANIA MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO W PROGNOZOWANIU SKUTKÓW WPLYWU BUDOWY METRA WARSZAWSKIEGO NA WODY PODZIEMNE

UKD 51:556.3.072:624.193(438.111)

Odwodnienie i prognozowanie zmian w układzie krążenia wód podziemnych należy do głównych problemów związanych z budową tunelu metra w Warszawie. W sposób jednoznaczny wykazała to zorganizowana sesja problemowa, w czerwcu 1986 r., nt. „Metro a środowisko przyrodnicze” oraz występujące problemy wodne w trakcie budowy. Należy przy tym wspomnieć, że rozpoczęta budowa metra w Warszawie w latach 50-tych została zaniechana m.in. również z przyczyn natury hydrogeologicznej (trudności z odwodnieniem). Ze względu na przebieg tunelu metra w obrębie utworów czwartorzędowych i zmienność warunków hydrogeologicznych, lokalnie mogą występować trudności w jego drażnieniu (2, 3).

Problemy hydrogeologiczne przy budowie metra wiążą się najogólniej z następującymi zagadnieniami:

1. Określenie wielkości wydatku wody i obniżenia zwierciadła wody przy odwadnianiu warstw wodonośnych, dla potrzeb odpowiedniego zaprojektowania odwodnienia;
2. Wpływ oddziaływania odwodnienia na środowisko wód podziemnych, występujących w otoczeniu trasy tunelu, zwłaszcza na pierwszy poziom wód podziemnych;
3. Określenie zmian w układzie krążenia wód podziemnych, spowodowanych istnieniem tunelu metra;
4. Określenie zmian poziomów wód podziemnych pod budowlami, dla oceny stateczności podłoża gruntuwego;
5. Optymalizowanie przeciwdziałań technicznych, ograniczających wpływy odwadniania na środowisko przyrodnicze i zmiany w układzie krążenia wód podziemnych i powierzchniowych.

Powyższe zagadnienia wiążą się ściśle z projektowaniem odwodnień i działań technicznych, przeciwdziałających skutkom odwodnień oraz określeniem zmian w układzie krążenia wód przy istnieniu tunelu metra. Zagadnienia te, niezwykle ważne dla potrzeb realizacji zadań technicznych, na obecnym etapie rozwoju badań hydrogeologicznych można rozwiązywać poprzez konstruowanie modeli matematycznych układów krążenia wód (4, 5). Na tych modelach można w sposób zadowalający przeprowadzać optymalizację odwodnień i poczynań technicznych, zapobiegających skutkom odwodnień oraz prognozować zmiany krążenia wód w przyszłości. Zadania te muszą być realizowane na wiarygodnych modelach matematycznych. Ich wiarygodność jest z jednej strony uzależniona od odpowiedniego rozpoznania hydrogeologicznego, z drugiej zaś od warsztatu modelowego.

### CHARAKTERYSTYKA WYKONANYCH BADAŃ MODELOWYCH DLA POTRZEB METRA

Możliwość rozwiązywania poruszonych wyżej problemów wykazały już badania modelowe wykonane w latach 1984–1986, które dotyczyły:

- 1) projektowania odwodnienia odcinka metra B-11 (Pole Mokotowskie) i B-10 (Al. Niepodległości, ul. Rakowiec-

ka), w ramach generalnego projektu odwodnienia trasy metra;

- 2) oceny wpływu tunelu metra na piętrzenie wód podziemnych w rejonie odcinka B-5 (Dolinka Służewiecka);
- 3) oceny wpływu odwodnienia na zespół zieleni miejskiej w rejonie Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego przy ul. Rakowieckiej (stacja A-10), wraz z optymalizowaniem projektowanych sposobów przeciwdziałania temu procesowi.

Modele matematyczne rejonów odcinków metra B-11 i B-10 zostały wykonane przez Ośrodek Badań Hydrogeologicznych i Modelowania Matematycznego w Poznaniu (Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu) w 1984 r. na zlecenie Instytutu Geologicznego. Zleceniodawca przygotował modele hydrogeologiczne na podstawie rozpoznania archiwalnego i hydrogeologicznego związanego z budową metra. Rozpoznanie to względem układu hydrostrukturalnego i układu krążenia wód obejmowało tylko wąską strefę pasa tunelu i to do głębokości ok. 20 m, a więc było niepełne. Ponadto nie dysponowano określeniem parametrów filtracyjnych z próbnych pompowań zarówno dla warstw wodonośnych, jak i słabo przepuszczalnych. Stąd ich wielkości przyjmowano z literatury i analogii hydrogeologicznej. Nie dysponowano również danymi o wewnętrznych drenażach i zasilaniach poziomów wodonośnych, np. przez istniejącą kanalizację. Przygotowane dane hydrogeologiczne były pełniejsze dla górnej warstwy wodonośnej międzyglinowej niż dla dolnej, związanej z interglacją mazowiecką (2).

Oba modele zbudowano dla układów krążenia wód w dwóch warstwach wodonośnych, rozdzielonych warstwą słabo przepuszczalną. Model rejonu Pola Mokotowskiego został zbudowany dla obszaru filtracji o powierzchni 0,126 km<sup>2</sup>, a model rejonu Al. Niepodległości – ul. Rakowieckiej dla obszaru 0,432 km<sup>2</sup>; oba w skali 1:2000. Krok siatki dyskretyzacyjnej wyniósł:  $\Delta x = \Delta y = 30$  m. Uzyskane w symulacjach modelowych wydatki wody, przy zadanych warunkach odwodnienia, tj. lokalizacji, rzędnych obniżenia wody i czasu, były w miarę wiarygodne dla górnej warstwy, mniej zaś dla dolnej. Były one więc pochodną istniejącego rozpoznania hydrogeologicznego. Modele te wykazały konieczność objęcia rozpoznaniem hydrogeologicznym całej strefy wpływu odwodnienia, a nie tylko pasa tunelu. Powinno ono być dokonywane również metodą próbnych pompowań i dotyczyć warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych.

Badania modelowe rejonu Dolinki Służewieckiej zostały wykonane przez zespół z Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UW i Ośrodka Badań Hydrogeologicznych w Poznaniu pod kierunkiem doc. dr hab. J. Szymanki, na zlecenie PGBW „HYDROGEO” Warszawa (1984 r.). Model hydrogeologiczny opracowano na podstawie danych dostarczonych przez zleceniodawcę. Model matematyczny wykonano dla układu krążenia wód w warstwie wodonośnej swobodno-naporowej, powiązanej z Potokiem Służewieckim na stan hydrodynamiczny 1984 r.

Oprócz danych archiwalnych i danych związanych ze standardowym rozpoznaniem hydrogeologicznym trasy metra, wyzyskano do konstrukcji modelu matematycznego wyniki próbnego pompowania hydrowęzłowego specjalnie wykonanego dla rozpoznania rejonu. Model zbudowano dla obszaru występowania warstwy wodonośnej, związanej z utworami piaszczysto-żwirowymi interglacjału mazowieckiego i osadami młodszymi, w obrębie doliny stanowiącej główny poziom wodonośny rejonu. Model matematyczny wykonano dla obszaru filtracji 0,6 km<sup>2</sup>, dyskretyzując go zmienną siatką prostokątną.

Na tym modelu wykonano szereg symulacji, zakładających blokadę przepływu strumienia wód podziemnych w dolinie, dla zmiennych stanów wód w cieku oraz różnych stopni uszczelnienia dna cieku. Stwierdzono, że maksymalne piętrzenie wód podziemnych może sięgnąć ok. 80 cm i na jego wielkość decydujący wpływ będzie miało uszczelnienie dna cieku. Wykazano jednoznacznie, że ciek powinien funkcjonować jak dotychczas, czyli powinien być dalej drenujący dla wód podziemnych.

Model matematyczny rejonu ul. Rakowieckiej (stacja A10) wykonano w zespole z Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UW, pod kierunkiem doc. dr hab. J. Szymanki, na zlecenie BPBKIS „Metroprojekt” w Warszawie (6). Objął on obszar filtracji ok. 0,3 km<sup>2</sup>; dotyczył sporządzenia modelu układu krążenia wód w jednej warstwie wodonośnej i zalegającej nad nią warstwie słabo przepuszczalnej. Model hydrogeologiczny sporządzono według danych z rozpoznania archiwalnego oraz wykonanego w ramach budowy metra. Na zbudowanym modelu matematycznym wykonano prognozy wpływu odwodnienia na kształtowanie się poziomu wód w przykrywającej warstwie słabo przepuszczalnej oraz odwadnianej warstwie wodonośnej poza wykopem tunelu. Wykazano, że w rejonie zespołu zieleni „Arboretum” obniżenie zwierciadła wody przy długotrwałym odwodnieniu może wyrzucić niekorzystny wpływ na siedlisko roślin.

Na modelu przeanalizowano dwa warianty przeciwdziałania: budowa ścianki szczelnej i stworzenie bariery hydrodynamicznej. Ustalono, że warianty te dają podobny efekt, z tym że budowa bariery hydrodynamicznej jest znacznie tańsza. Obecnie jest analizowana sprawa wyzyskania zbudowanego modelu jako modelu stałego, dla optymalnego sterowania odwodnieniem w czasie trwania robót terenowych.

Do budowy modeli matematycznych zastosowano programy z biblioteki HYDRYLIB. Dla realizacji poszczególnych zadań zaistniała konieczność modyfikacji istniejących programów lub opracowania ich na nowo (1, 4, 5). Obecnie istniejące programy biblioteki pozwalają na rozstrzyganie zagadnień związanych z odwodnieniem warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych w układach wielowarstwowego krążenia wód. Pozwalają one jednocześnie, po ich przeniesieniu na mikrokomputery, na tworzenie stałych modeli matematycznych wykorzystywanych według zaistniałych potrzeb.

Modele matematyczne dla potrzeb metra realizowano w dużej mierze z inicjatywy Generalnej Dyrekcji Budowy Metra, dla rozwiązania poszczególnych wycinkowych problemów. Obecnie autorzy widzą potrzebę tworzenia stałych modeli matematycznych układów krążenia wód, na których

realizowano by, w sposób systematyczny zagadnienia związane z problematyką odwodnień zarówno w etapie ich projektowania, jak i wykonywania.

## WNIOSKI

1. Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że za pomocą metod modelowania matematycznego można:
  - zracjonalizować projektowanie oraz wykonywanie odwodnień wkopów tunelu metra,
  - prognozować wpływ tunelu metra na zmianę układu krążenia wód podziemnych,
  - optymalizować przeciwdziałania techniczne niekorzystnym zjawiskom, wynikającym z obniżenia zwierciadła wód i odwodnień warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych.
2. Wiarygodność modeli matematycznych zależy wprost od rozpoznania hydrogeologicznego. Dotychczas prowadzone rozpoznanie hydrogeologiczne, jedynie w pasie tunelu metra, jest niewystarczające dla potrzeb właściwego prognozowania zmian warunków hydrogeologicznych.
3. Prawidłowy dobór rodzaju modelu matematycznego wymaga wykonywania pompowań badawczych, hydrowęzłowych, pozwalających na ocenę charakterystyk hydraulicznych układów hydrogeologicznych oraz ocenę parametrów filtracyjnych warstw wodonośnych i słabo przepuszczalnych.
4. Dla potrzeb bieżącego śledzenia odwodnień i prognozowania zmian w środowisku wodnym oraz projektowania przeciwdziałań ich negatywnym skutkom, należy sporządzać stałe modele matematyczne.
5. Modele matematyczne układów krążenia wód mogą być w wiarygodny sposób tworzone, według istniejącej biblioteki programów HYDRYLIB.

## L I T E R A T U R A

1. Dąbrowski S. et al. – Zastosowanie biblioteki HYDRYLIB do modelowania odwodnień. Materiały konferencji: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Wyd. Politechniki Wrocławskiej. 1986.
2. Paczyński B., Perek M. – Warunki geologiczno-inżynierskie i hydrogeologiczne na trasie pierwszej linii metra w Warszawie. Materiały konferencji: „Metro a środowisko przyrodnicze”. Warszawa 1986.
3. Pich J. – Cel i problematyka badań środowiska przyrodniczego wzdłuż trasy i linii metra w Warszawie. Ibidem 1986.
4. Szymanko J. et al. – Zastosowanie modelowania matematycznego do badania bilansu wód podziemnych i obliczania ich zasobów. Biblioteka programów obliczeniowych HYDRYLIB. Tom 1 z. 4–9. Wyd. Geol. 1980–1985.
5. Szymanko J. – Konceptje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wyd. Geol. 1980.
6. Szymanko J. – Zastosowanie modelowania matematycznego przy projektowaniu odwodnienia wkopów metra na przykładzie stacji A-10. Prz. Geol. 1987 nr 7 (w druku).