

# WODA DOBRZE WYLICZONA



**dr Monika  
Okońska**

Jest hydrogeologiem, adiunktem w Instytucie Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM. Prowadzi badania z zakresu migracji zanieczyszczeń w porowatych ośrodkach wodonośnych. Specjalizuje się w identyfikacji parametrów hydrogeologicznych i modelowaniu numerycznym procesów migracji. Interesuje się wpływem antropopresji na jakość wody podziemnej i powierzchniowej.  
okonska@amu.edu.pl

Na czym polega modelowanie hydrologiczne, czyli zastosowanie nowoczesnych metod obliczeniowych do odwzorowania lokalnych i regionalnych systemów obiegu wody? I jakie korzyści przynosi?

## dr Monika Okońska

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

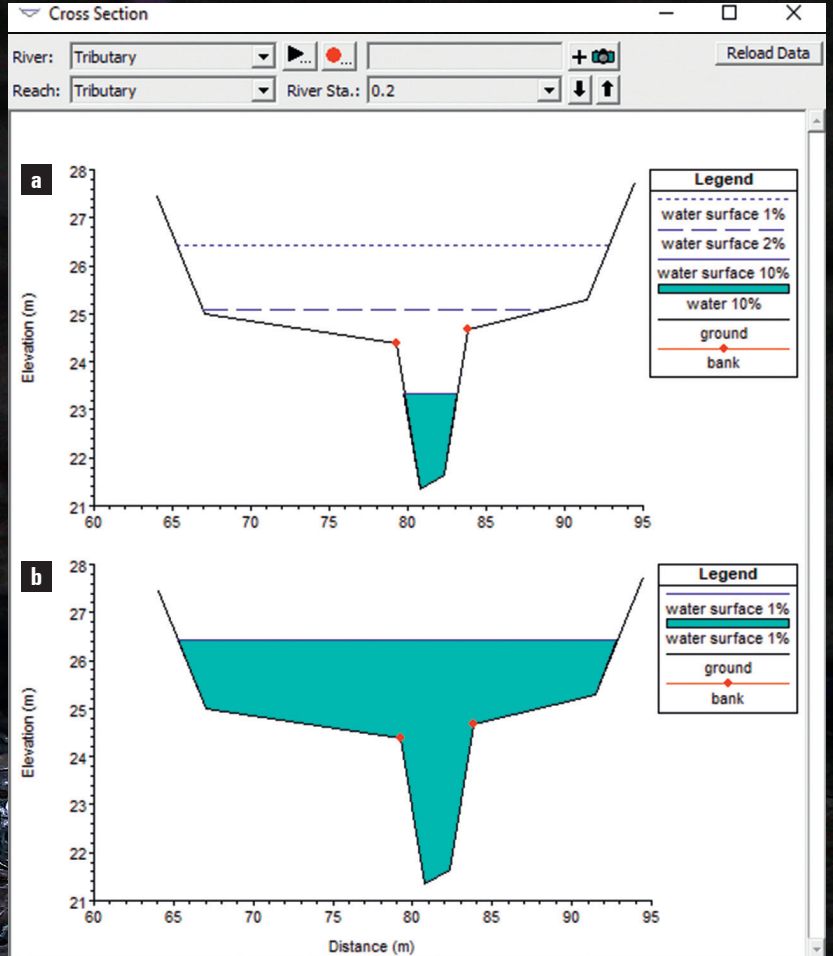
**C**złowiek interesuje się otaczającą go przyrodą i próbuje zrozumieć występujące w niej zjawiska i procesy. Naukowcy starają się scharakteryzować relacje pomiędzy elementami środowiska. Są one jednak często bardzo skomplikowane i opis może być jedynie uproszczony. Taki wycinek rzeczywistości nazywany jest modelem, a przybliżone odtwarzanie zjawisk i procesów za pomocą modelu określa się mianem symulacji lub modelowania.

Modele i symulacje znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, również w badaniach hydrologicznych zarówno wód powierzchniowych, jak i podziemnych. Modele mogą dotyczyć pojedynczego procesu, np. infiltracji opadów atmosferycznych, a więc wsiąkania wody opadowej w warstwy ziemi, albo zespołu procesów np. zachodzących w strefie przy powierzchniowej, takich jak parowanie, infiltracja, przepływ, zmiany chemizmu wód. Wszystko zależy od celu modelowania. Może nim być zbadanie wa-

runków obiegu wody, a więc ustalenie stref zasilania, przepływu i drenażu (odpływu) wód, w tym określenie związków wód podziemnych z wodami powierzchniowymi. Może nim być wyznaczenie obszarów zagrożonych powodzią, ustalenie i ochrona zasobów wodnych, ocena wpływu określonych działań człowieka na środowisko gruntowo-wodne. Oprócz aspektu ilościowego modelowanie może mieć na celu określenie zmian jakości wód powierzchniowych oraz/lub podziemnych – ocenę kierunku, prędkości migracji i stężeń ewentualnego zanieczyszczenia, ocenę zasięgu oddziaływania potencjalnego ogniska zanieczyszczeń, ocenę podatności wód na zanieczyszczenie.

★ ★ ★

W pierwszym etapie tworzy się model konceptualny – odwzorowanie realnego systemu hydrologicznego, z uwzględnieniem jego struktury oraz kluczowych procesów zachodzących w jego obrębie. W tym celu wykorzystuje się dostępne dane archiwalne oraz wykonuje się własne rozpoznanie hydrologiczne, tj. prowadzi się obserwacje i pomiary. Definiuje się granice modelu. Od pomysłu (konceptu) przechodzi się do opisu zjawisk i procesów zachodzących w obrębie modelowanego systemu za pomocą równań matematycz-



nych. W ten sposób powstaje model matematyczny. W zależności od stopnia skomplikowania warunków hydrologicznych i wielkości modelu równania matematyczne można rozwiązywać dwojako. Rozwiązanie analityczne możliwe jest zazwyczaj dla modeli jednowymiarowych i dla wybranych punktów badanego obszaru. Z kolei rozwiązanie numeryczne dostarcza wyników dla całego obszaru badań oraz umożliwia obliczenia w trzech wymiarach. Rozwój informatyczny ostatnich kilkunastu lat pozwolił na szerokie wykorzystanie w badaniach hydrologicznych algorytmów obliczeniowych w programach komputerowych.

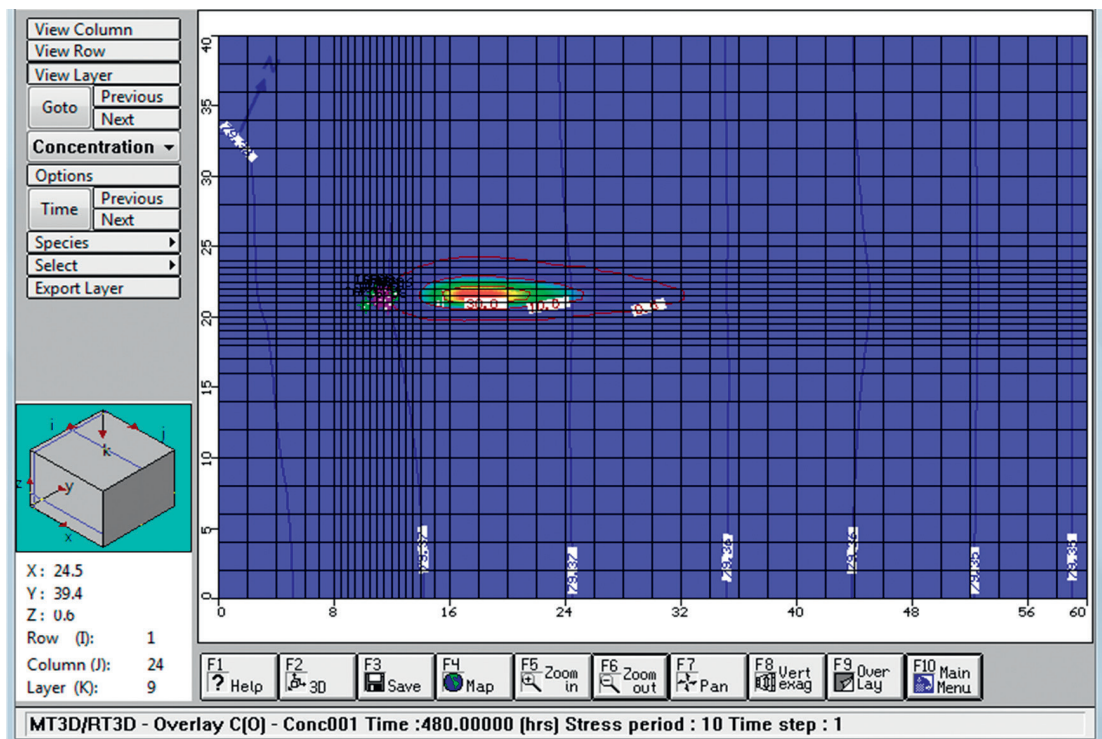
Jednym z kluczowych etapów modelowania jest przejście od rzeczywistości, która ma charakter ciągły, do modelu składającego się z bloków czy elementów obliczeniowych. Każdemu blokowi zostają przypisane uśrednione wartości parametrów. Wydzielanie warstw modelu powoduje stawianie wyraźnych granic, podczas gdy w środowisku zmiany właściwości czy warunków następują płynnie. Model może mieć ograniczoną liczbę bloków obliczeniowych, ich mnogość wydłuża czas obliczeń modelowych. Z drugiej strony zastosowany podział nie powinien zniekształcać wyników obliczeń bilansu, rozkładu ciśnień czy stężeń zanieczyszczeń.

Równania matematyczne opisujące przepływ wody czy migrację zanieczyszczeń rozwiązywane są zawsze dla założonych warunków występujących na początku modelowanego czasu, np. w modelach hydrodynamicznych dla zadanych wartości początkowego położenia zwierciadła wody na obszarze badań. Odpowiednie warunki zakładane są również na brzegu ograniczonego przestrzennie modelu – granica modelu nie oznacza szczelnej bariery uniemożliwiającej dopływ lub odpływ wody. Poprawne przyjęcie tych warunków jest niezwykle ważne i determinuje wiarygodność otrzymanych rezultatów. Dla różnych warunków początkowych i brzegowych te same równania będą miały różne rozwiązania.

Aby model dobrze odwzorowywał dany system wodonośny, należy porównać wyniki generowane przez model do rzeczywistych wartości pomierzonych w czasie badań terenowych, np. stanów wody lub stężeń zanieczyszczeń. Działania zmierzające do uzyskania dobrego odwzorowania rzeczywistości nazywa się kalibracją modelu. Może ona odbywać się tzw. metodą prób i błędów lub za pomocą metod optymalizacyjnych, w których programy komputerowe automatycznie próbują znaleźć najlepsze dopasowanie wartości pomierzonych i obliczonych przez

Przekrój poprzeczny przez dolinę rzeki – prognoza hydrologiczna dla przepływu 10% (a) i dla przepływu 1% (b).

Prognozowanie migracji  
 plamy zanieczyszczeń  
 w warstwie wodonośnej.



model. Czasem zachodzi potrzeba przeprowadzenia dodatkowych badań terenowych i/lub laboratoryjnych, zmiany warunków granicznych czy założeń przyjętych w modelu, aby kalibracja zakończyła się sukcesem, czyli zminimalizowaniem rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń a obserwacjami terenowymi.

Po przeprowadzeniu symulacji przepływu wody i transportu zanieczyszczeń następuje weryfikacja modelu, a więc ocena jego wiarygodności. Polega ona na konfrontacji otrzymanych wyników z dotychczasową wiedzą o badanych zjawiskach, porównaniu z danymi empirycznymi czy weryfikacji wyników przez przybliżone rozwiązania analityczne. Dopiero po pozytywnej weryfikacji modelu można przejść do wykonania prognoz związanych z modelowanym systemem hydrologicznym.

Obserwacja migracji zanieczyszczenia przemieszczającego się w rzece, glebie czy warstwie wodonośnej polega na rejestracji w danym punkcie pomiarowym zmian stężenia tego zanieczyszczenia w czasie, czyli rejestracji krzywej przejścia zanieczyszczenia. Zanieczyszczenia migrujące w środowisku mogą ulegać dyfuzji, dyspersji hydrodynamicznej, procesom sorpcyjnym i/lub rozpadu.

Badania modelowe mogą być prowadzone w celu identyfikacji procesów oraz wyznaczenia wartości parametrów migracji wybranych zanieczyszczeń. W tym celu przeprowadza się w warunkach laboratoryjnych i terenowych doświadczenia identyfikacyjne, podczas

których uzyskiwane są krzywe przejścia zanieczyszczenia. Krzywe interpretuje się następnie w drodze modelowania numerycznego, otrzymując informację o procesach i wartości parametrów migracji zanieczyszczeń. Wyniki te mogą być wykorzystywane przy odwzorowywaniu migracji zanieczyszczeń w utworach wodonośnych, w tym w hydrogeologicznych modelach prognostycznych.

★ ★ ★

Modele konstruowane dla zlewni, struktur hydrogeologicznych, obszarów chronionych pozwalają na identyfikację lokalnych i regionalnych systemów krążenia wody. Parametry uzyskane z modeli identyfikacyjnych stanowią podstawę do prowadzenia badań prognostycznych dotyczących zmian ilościowych i jakościowych zasobów wodnych w warunkach naturalnych oraz wymuszonych np. eksploatacją ujęć wód podziemnych. Numeryczne modelowanie hydrologiczne jest nowoczesnym i szybko rozwijającym się narzędziem pozwalającym odwzorowywać szereg procesów hydrodynamicznych i hydrogeochemicznych zachodzących w środowisku przyrodniczym. Wyniki modelowania mogą być podstawą podejmowania ważnych dla środowiska decyzji. Należy jednak pamiętać, że modele stanowią jedynie odwzorowanie rzeczywistości i kluczowym zagadnieniem jest ocena ich wiarygodności. Dobre rozpoznanie hydrologiczne ma ogromne znaczenie w badaniach modelowych. Jakże dane, taki model.

MONIKA OKOŃSKA

Chcesz wiedzieć  
 więcej?

Brunner W.G. (2016). *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 5.0*. US Army Corps of Engineers, Davis.

Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański A. (2011). *Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.

Przybyłek J., Hermanowski P. (2016). *Metodyczne i interpretacyjne wady modeli numerycznych – czyli nie taki model dobry jak go malują*. [W:] *Praktyczne metody modelowania przepływu wód podziemnych*, (red.) Witzczak S., Żurek A., Kraków: 263–270.

*Visual MODFLOW Pro. User's Manual*, Waterloo Hydrogeologic Inc., 2002.

★ ★ ★