

Odpowiedź autorów poradnika *Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska* na recenzję dr Ewy Liszkowskiej

Jerzy J. Małecki*, Marek Nawalany**, Stanisław Witczak***, Tomasz Gruszczyński*



J. J. Małecki

M. Nawalany

S. Witczak

T. Gruszczyński

W recenzji zamieszczonej w *Przeglądzie Geologicznym* (nr 10/2006 str. 858) znalazło się wiele uwag dotyczących różnych aspektów poradnika — część z nich z całą pewnością przyczyni się do udoskonalenia treści i zakresu poradnika w następnym jego wydaniu. Te elementy recenzji autorzy odnotowują z satysfakcją. W poniższym tekście bardziej szczegółowo przedstawione są argumenty polemizujące z tymi twierdzeniami recenzentki, które autorzy uważają za dyskusyjne lub, z którymi po prostu nie zgadzają się.

Recenzentka wskazuje na pewną niekonsekwencję w tematyce poradnika, gdyż w niektórych zestawieniach tabelarycznych oraz w tekście znalazły się odniesienia do parametrów migracji dotyczących ośrodków szczeliny, co bezpośrednio nie było tematem opracowania. Wynikało to z potrzeby przedstawienia różnic wartości parametrów migracji w odmiennych ośrodkach hydrogeologicznych oraz umożliwienie pełniejszego ich porównania. Z tego też względu, np. czasy połowicznego rozpadu substancji organicznych (tabela 2.11) przedstawiono nie tylko w środowisku wodnym, ale również rozszerzono o wartości w powietrzu, glebie i ośrodku skalnym.

Język poradnika jest scharakteryzowany przez recenzentkę jako „hermetyczny” — do pewnego stopnia jest to prawda ogólna. O ile do opisu procesów przepływu wody w skałach porowatych używa się języka o długiej tradycji, dobrze wykształconego i posiadającego swoje odpowiedniki na różnych poziomach uproszczeń, o tyle w zagadnieniach transportu masy teoria i praktyka są w stanie nieustającego rozwoju i wzajemnych interakcji. Słownictwo dotyczące procesów transportu masy w ośrodkach porowatych tworzy się na naszych oczach i należy sądzić, że w ciągu najbliższych kilkunastu lat będzie się wciąż zmieniało. Stosowanie przez autorów „takich mało rozpowszechnionych terminów, jak: *średnia prędkość porowa cząsteczek wody, objętościowy strumień wody czy trajektoria*” służy właśnie wyjściu naprzeciw terminologicznym

tendencjom światowym w tej dziedzinie. Każde z tych pojęć zostało wprowadzone do poradnika jako efekt obserwacji tendencji terminologicznych oraz konstatacji, że są one dzisiaj powszechne w światowym środowisku hydrogeologów i inżynierów środowiska. Autorzy sądzą, że tendencje terminologiczne zaproponowane w poradniku będą się utrzymywać i w najbliższych latach staną się także polską normą. Wszędzie tam, gdzie to było możliwe autorzy odwoływali się do terminologii wciąż obowiązującej w Polsce. Średnia prędkość porowa raczej nie budzi

niczyjej wątpliwości i z całą pewnością nie jest „mało rozpowszechnionym terminem”. Objętościowy strumień wody jest powszechnie stosowanym pojęciem, dominującym wszystkie inne określenia, i jest wielkością fizyczną nie tylko dobrze zdefiniowaną (w prawie Darcy), ale posiadającą duży walor semantyczny i aplikacyjny, np. w gospodarce wodnej zasobów wód podziemnych. Tradycyjny polski termin prędkość filtracji jest w dużym stopniu mylący, gdyż za każdym razem wymaga tłumaczenia, że nie chodzi o prędkość, lecz właśnie o strumień objętościowy wody. Termin prędkość filtracji zdaniem autorów poradnika winien ustąpić terminowi objętościowy strumień wody lub, ewentualnie, terminowi strumień filtracji (Słownik hydrogeologiczny, 2002). Autorzy podjęli decyzję o używaniu pierwszego z tych terminów, mając na uwadze możliwość analizowania lub opisywania także strumienia masowego wody w sytuacji, gdy rozważane są przepływy gęstościowe. Autorzy używają w miarę potrzeb pojęcia trajektorii, nie ograniczając w ten sposób rozważanych sytuacji hydrodynamicznych do stanów ustalonych, w których stosuje się tradycyjnie pojęcie linii prądu. Autorzy podtrzymują definicję efektywnego współczynnika dyfuzji (wzór 1.5, str. 20, rozdz. 1.2) argumentując to tym, że wprowadzenie do tej definicji współczynnika krętości dotyczy innej skali niż wprowadzenie współczynnika porowatości efektywnej. Współczynnik krętości został wprowadzony na etapie przejścia teoretycznego od skali mikroskopowej do skali makroskopowej, w celu wzięcia pod uwagę efektu ograniczeń jakie napotyka ruch cząsteczek substancji w wodzie rozważany w skali cząsteczkowej (tj. w skali mniejszej niż skala mikroskopowa). Natomiast współczynnik porowatości efektywnej jest wprowadzony przy przejściu teoretycznym ze skali mikroskopowej do skali makroskopowej, bez konieczności odwoływania się do skali cząsteczkowej. Naturalnie, uwzględnienie obydwóch współczynników jednocześnie (jak wskazuje recenzentka) czy też kolejno — najpierw współczynnik krętości a potem współczynnik porowatości efektywnej, jak proponują autorzy, jest decyzją nie zmieniającą interpretacji fizycznej opisywanego zjawiska. W poradniku, oprócz definicji (1.5), została przytoczona także wspomniana przez recenzentkę definicja efektywnego współczynnika dyfuzji (po wzorze (1.20a)) i wyraźnie zaznaczona równoważność obydwóch definicji efektywnego współczynnika dyfuzji. Recenzentka podkreśla zresztą konsekwencję autorów w stosowaniu przyjętej

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**Politechnika Warszawska, Instytut Systemów Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa

***Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

przez nich definicji. Powodem przyjęcia zamiast (polskiego) terminu *współczynnik dyspersji całkowitej/sumarycznej* terminu *współczynnik dyspersji hydrodynamicznej* jest rozpowszechnienie tego terminu w literaturze światowej. Decyzja autorów dotycząca użycia terminu *współczynnik dyspersji hydrodynamicznej* wychodzi naprzeciw „globalnej terminologii”. W tym przypadku, istotnie, autorzy nie dołączyli odpowiedniego komentarza (co do relacji z polską terminologią) i konstatują, że terminy polskie *współczynnik dyspersji całkowitej* czy *współczynnik dyspersji sumarycznej*, wskazane przez recenzentkę, mają dobre strony z punktu widzenia semantyki. Autorzy sądzą, że choć J. Bear i J. Bachmat (J. Bear i in., 1972) wprowadzając termin *współczynnik dyspersji hydrodynamicznej* (w odniesieniu do sumy $D^* + D$) kierowali się zapewne identyczną formą matematyczną wyrażen opisujących obydwa procesy w skali makroskopowej, to współczesna literatura przedmiotu w świecie używa wciąż i konsekwentnie tego właśnie terminu (np. J. Batu, 2006). Rozwiązaniem problemu (jeśli istnieje) jest podjęcie dyskusji pt. „Hydrogeologiczna terminologia polska różna od, czy identyczna z terminologią światową”.

Następnym zagadnieniem poruszonym w recenzji jest stwierdzenie, że metoda laboratoryjna opisana w paragrafie 2.2.1.3 dotyczy wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji molekularnej (w innym miejscu recenzentka nazywa ten współczynnik współczynnikiem dyfuzji efektywnej). Chodzi oczywiście o efektywny współczynnik dyfuzji molekularnej autorzy przyjęli, że jest to oczywiście używając w tym paragrafie (oraz w całym tekście poradnika) oznaczenia D_M^* i uznając, że oznaczenie to wyraźnie różni się od oznaczenia D_M przyjętego dla współczynnika dyfuzji molekularnej. Natomiast nie bardzo zrozumiałe są autorytatywne stwierdzenia recenzentki dotyczące modelowania „czystej” dyfuzji, która to czynność (modelowanie) rzekomo nie dopuszcza nawet do niewielkiego ruchu wody w porach. Wręcz przeciwnie, model przyjęty w poradniku (i powszechnie stosowany w świecie) nie tylko nie dopuszcza by procesy dyspersji mechanicznej i dyfuzji molekularnej były jednocześnie modelowane, ale ze względu na identyczną postać matematyczną opisującą zarówno strumień transportu dyspersyjnego, jak i dyfuzyjnego, zmusza do traktowania tych procesów łącznie. Czym innym jest jednak modelowanie procesów, a czym innym identyfikacja parametru (czy parametrów). Z (macierzowej) postaci współczynnika dyspersji hydrodynamicznej (1.20) wynika, że istotnie, jeśli zakłada się, że gradient stężenia jest wywołany wyłącznie dyfuzją, to aby wyznaczyć D_M^* nie ma innej możliwości jak tylko przyjęcie, że prędkość porowa równa jest zero. Tak też przyjęli autorzy poradnika w eksperymencie identyfikacyjnym, opisanym w paragrafie 2.2.1.3. Nie zmienia to faktu, iż możliwe jest rozważanie eksperymentów, w których gradient stężenia substancji rozpuszczonej w wodzie determinują obydwa procesy i wyznaczenie parametrów (parametru) jednego z nich wymaga znajomości parametrów drugiego. Oczekiwanie przez recenzentkę podania ogólnych kryteriów umożliwiających podjęcie decyzji o pominięciu dyfuzji, a rozważaniu tylko dyspersji lub odwrotnie o pominięciu dyspersji i rozważaniu tylko dyfuzji, jest daleko idące — współczesne prace w odniesieniu do problemu skali w opisie transportu masy w wodach podziemnych wciąż nie stwarzają podstaw do sformułowania kryteriów, które dałyby się zastosować w ogólnym przypadku. Podawanie takich kryteriów dla przypadków szczególnych, choć

możliwe, autorzy uważają za niecelowe z tych samym powodów, dla których zrezygnowali z mnożenia rozwiązań analitycznych dla prostych schematów hydrogeologicznych. Rozumiejąc jednak pragmatykę korzystania z poradnika autorzy zamierzają w następnym, rozszerzonym wydaniu pójść za sugestią recenzentki w tym względzie.

Autorzy przyjmują uwagę recenzentki o braku odpowiednich rysunków ilustrujących opisywane w poradniku eksperymenty laboratoryjne i polowe. Natomiast nie zgadzają się co do braku opisu odpowiednich warunków początkowych i brzegowych — są one dostatecznie precyzyjnie zdefiniowane, a cytowane rozwiązania analityczne są szczególnymi rozwiązaniami równania transportu skójarzonymi z danymi warunkami. Autorzy poradnika uznali (str. 28), i nadal są zdania, że wzory analityczne dobrze nadają się do interpretacji wyników eksperymentów identyfikacyjnych prowadzonych w warunkach kontrolowanych, natomiast ich stosowanie w rzeczywistych (polowych) warunkach hydrogeologicznych może prowadzić do poważnych błędów interpretacyjnych spowodowanych przyjęciem, że założenia leżące u podstaw analitycznego rozwiązania równania transportu masy są adekwatne do opisywanej sytuacji hydrogeologicznej. Choć, w ogólnym przypadku, błąd przyjęcia nieadekwatnego modelu jest trudny do wyeliminowania, to jednak stosowanie rozwiązań przybliżonych (modeli numerycznych), ze względu na ich elastyczność co do schematyzacji i parametryzacji przepływu i transportu w wodach podziemnych, stwarza w tym aspekcie znacznie większe możliwości uniknięcia tego błędu niż rozwiązania analityczne.

Tabele wartości funkcji błędu $\text{erf}(a)$ i $\text{erfc}(a)$ autorzy opuścili rozmyślnie uważając, że dostępne i powszechnie używane programy obliczeniowe (np. EXCELL, MATHLAB) umożliwiają ich natychmiastowe obliczenie. Podobnie rzecz ma się z wyznaczeniem i stabelaryzowaniem wszystkich rozwiązań analitycznych zacytowanych w poradniku — mogą one być obliczone a następnie przedstawione graficznie w oparciu o te same narzędzia obliczeniowe. To samo oprogramowanie może służyć do wyznaczenia granic stosowalności rozwiązania przybliżonego (2.28b), np. metodą kolejnych przybliżeń. Może ono także służyć do wyznaczenia metodą eksperymentów komputerowych granicy stosowalności modelu transportu zawierającego tylko dyspersję mechaniczną, bądź tylko dyfuzję molekularną. W poradniku przyjęto jednakową dla wszystkich przypadków metodę identyfikacji parametrów procesów transportu masy (metodę najmniejszych kwadratów) i uznano, że tym samym nie ma potrzeby rozważania innych „przybliżonych” metod identyfikacyjnych cytowanych w starszych poradnikach, poprzedzających omawiany poradnik. Niemniej, ze względu na ich „dydaktyczny” charakter autorzy rozważają zamieszczenie w następnym wydaniu odpowiednich przykładów ilustrujących poszczególne rozwiązania analityczne.

Następne uwagi recenzentki autorzy uważają za słuszne. W komentarzu do wzoru 2.33b użyto niewłaściwie nazwy stała dyfuzji zamiast efektywny współczynnik dyfuzji, przeoczone również brak znaku sumy we wzorze 4.8 — błędy te zostaną usunięte. W poradniku opisany jest przypadek iniekcji stałej znacznika do warstwy wodonośnej i odpowiadające temu przypadkowi rozwiązanie analityczne, opisujące przebieg krzywej stężenia w piezometrze obserwacyjnym. Jakkolwiek z podanego rozwiązania można otrzymać rozwiązanie dla iniekcji impulsowej

korzystając z zasady superpozycji, to uwaga o braku tego ostatniego jest słuszna i zostanie wzięta pod uwagę w następnym rozszerzonym wydaniu poradnika. Zamieszczone zostaną także odpowiednie rysunki ilustrujące metodę identyfikacji polowej parametrów procesu transportu masy w warstwie wodonośnej.

Zgodnie z przyjętą koncepcją konstrukcji poradnika poruszana problematyka ilustrowana jest wynikami badań przeprowadzonych w wytypowanym do tego celu poligonie. Zarówno z badań prowadzonych w Polsce, jak i na świecie wynika, że jednym z najistotniejszych zagrożeń jakości wód podziemnych jest dopływ do warstwy wodonośnej odcieków ze składowisk odpadów. Najliczniejsze są składowiska odpadów komunalnych, które często zlokalizowane są w dolinach rzecznych. Po przeanalizowaniu wszystkich kryteriów wyboru (rozdział 3.1) do badań wytypowano strefę oddziaływania składowiska znajdującego się w międzyrzeczu Wisły i Świdra. Zdaniem autorów jest to dobry przykład, tym bardziej, że w tak złożonych systemach krążenia wód podziemnych, należy również uwzględnić stany wód powierzchniowych, które nie zawsze uwzględniane są w tego typu opracowaniach.

Kolejna uwaga recenzentki, która jak sama podkreśla jest w sferze „Jej marzeń”, dodajmy, że również i autorów poradnika, dotyczy rozszerzenia badań terenowych o znaczniki środowiskowe, szczególnie przy wyznaczaniu stałej dyspersji. Autorzy projektując badania musieli jednak uwzględnić realne możliwości ich wykonania, dlatego w tym przypadku wykorzystanie naturalnych znaczników

izotopowych w identyfikacji parametrów dyspersji przedstawiono na podstawie przykładu zaczerpniętego z literatury (rozdział 5). Również uwaga o potrzebie bardziej szczególnego uwzględnienia problematyki zastosowania znaczników środowiskowych dla rozwiązywania zagadnień migracji zanieczyszczeń, zdaniem autorów jest słuszna. Pragniemy jednak zaznaczyć, że problematyka ta jest tak obszerna i na tyle specyficzna, że wymaga odrębnego opracowania. Dlatego czytelnikom, chcącym bliżej zapoznać się z tymi zagadnieniami, polecaliśmy również nowy podręcznik, pt. *Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych* pod redakcją naukową A. Zuberę, W. Ciężkowskiego i K. Różańskiego — książka ukaże się jeszcze w 2006 roku.

W imieniu całego zespołu autorskiego dziękujemy Pani Doktor za tak szczegółową i obszerną ocenę naszego poradnika. Jak już wspominaliśmy we wstępie, z całą pewnością część uwag przyczyni się do udoskonalenia treści i zakresu poradnika w następnym jego wydaniu, a drobne korekty znajdą się już w erracie do wersji poradnika w pdf zamieszczonej na witrynie Ministerstwa Środowiska.

Pragniemy również wyjaśnić wielu osobom, które zwracają się do nas bezpośrednio o pomoc w nabyciu tej książki, szczególnie w ostatnim okresie po ukazaniu się recenzji, że praca ta jest dystrybuowana przez zamawiającego, którym jest Ministerstwo Środowiska.

*Jerzy J. Małecki, Marek Nawalany, Stanisław Witczak
& Tomasz Gruszczyński*