

Wpływ metodyki badań na otrzymywane wartości współczynnika filtracji osadów słabo przepuszczalnych — część 2

Ewa Krogulec*

Podstawowe metody badawcze oceny wartości współczynnika filtracji osadów słabo przepuszczalnych, stosowane zarówno w badaniach hydrogeologicznych, jak i geologiczno-inżynierskich, autorka przedstawiła we wcześniejszej publikacji (Krogulec, 1994a).

W niniejszym artykule (część 2) przedstawiono wyniki badań wartości współczynnika filtracji ilów zastoiskowych ze strefy krawędziowej poziomu błońskiego (Kotlina Warszawska). Wartości te, pochodzące z doświadczeń bezpośrednich: terenowych i laboratoryjnych, odpowiednio transformowano na modele numeryczne, a następnie porównano z wartościami pochodzącymi z identyfikacji tych modeli. W pracy podjęto dyskusję nad ilościowymi relacjami pomiędzy wartościami współczynnika k , określonego przy zastosowaniu różnej metodyki. Dyskusja ta jest tym bardziej interesująca, iż wartości współczynnika filtracji dotyczą niewielkiego poligonu terenowego, szczegółowo rozpoznanego, co umożliwiło wyznaczenie węzłów siatki dyskretyzacyjnej modeli numerycznych w miejscach punktowych pomiarów tego parametru.

Badania terenowe

Badania terenowe w celu określenia wartości współczynnika filtracji przeprowadzono w strefie krawędziowej poziomu błońskiego w rejonie wsi Komorów (ryc. 1). Poligon badawczy został wyznaczony jako linia ciągu obserwacyjnego, biegnąca prostopadłe do występujących tu struktur morfologicznych: poziomu błońskiego i tarasu kampsinoskiego.

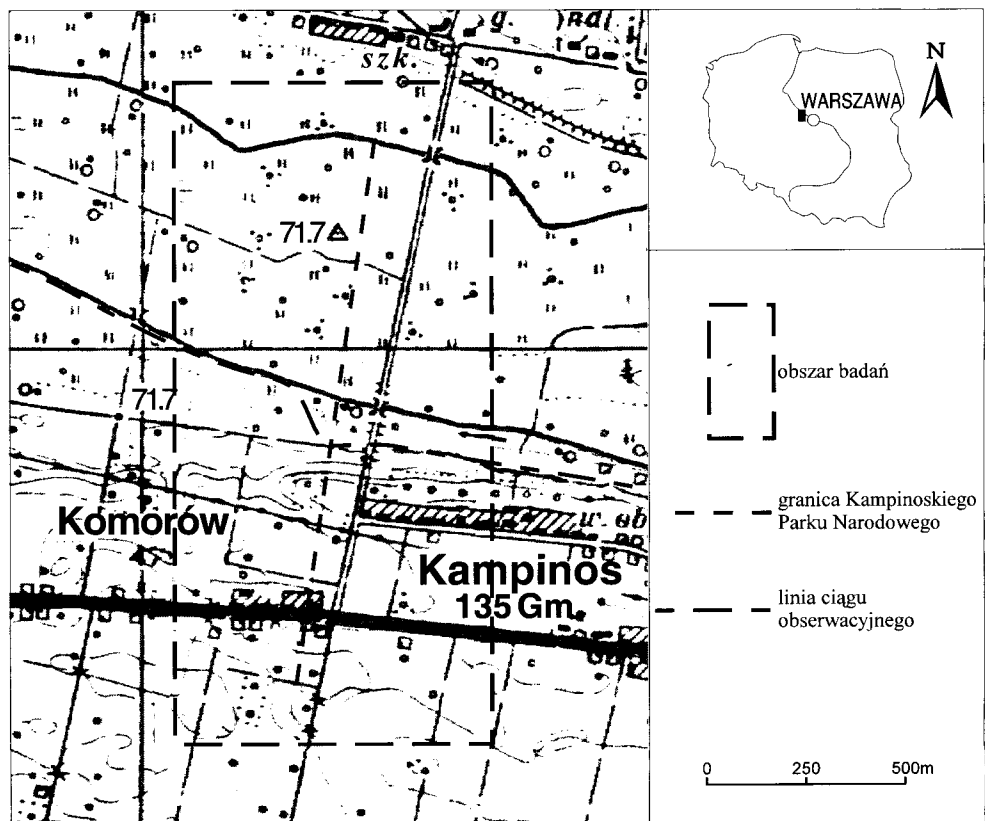
W literaturze dotyczącej budowy geologicznej poziomu błońskiego pod pojęciem jego strefy krawędziowej rozumie się północną część poziomu, na granicy z tarasem kampsinoskim, na obszarze od Warszawy do Chodakowa (Morawski, 1980). Jest to strefa zaznaczona w morfologii w postaci skarpy, szczególnie wyraźnie na odcinku Chodaków–Leszno, gdzie jej wysokość względna wynosi od 5 do 12 m. Skarpa ta na wschód od Leszna przechodzi w łagodny stok, przyjmując charakter

„rozmyty”, znacznie słabiej zaznaczony w ukształtowaniu terenu.

Ocenę wartości współczynnika filtracji poziomej w warunkach *in situ* przeprowadzono w piezometrach typu BAT. Zastosowanie sprzętu wchodzącego w skład systemu monitoringu wód podziemnych BAT oraz metodyka pomiaru opisane zostały w wielu pracach, m.in. przez: Torstenssona & Petsonka (1986), Petsonka i in. (1989), Krogulec (1994b). Na poligonie terenowym, w strefie krawędziowej poziomu błońskiego, badania ilów zastoiskowych przeprowadzono w odstępach 30 cm w pięciu piezometrach typu BAT (ryc. 2). Wykonano 198 oznaczeń wartości współczynnika filtracji poziomej, na podstawie których określono jego wartość (jako średnią ważoną wszystkich oznaczeń na danej głębokości) na 47 głębokościach (tab. 1).

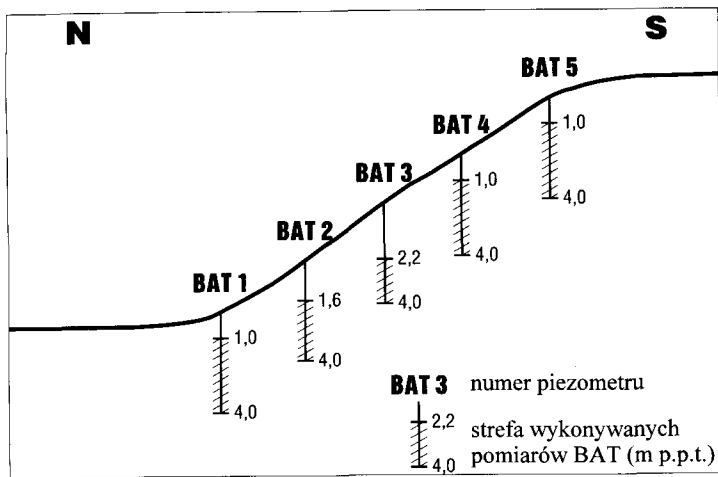
Badania laboratoryjne

W rejonie badań, na wysokości piezometru BAT 4 (ryc. 2), wykonano wiercenie z poborem próbek osadu o naruszonej (NS) i nienaruszonej strukturze (NNS) do porównawczych badań laboratoryjnych. Próbki ilów pobrano z



Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna terenu badań

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



Ryc. 2. Schemat instalacji piezometrów BAT

Tab. 1. Wartości współczynnika filtracji w badaniach terenowych

| Głębokość pomiaru [m p.p.t.] | Wartość współczynnika filtracji poziomej [$\times 10^{-11}$ m/s] | | | | |
|---------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|
| | BAT 1 | BAT 2 | BAT 3 | BAT 4 | BAT 5 |
| 1,0 | 0,62 | — | — | 0,25 | 0,01 |
| 1,3 | 52,00 | — | — | 0,31 | 0,62 |
| 1,6 | — | 0,38 | — | 9,67 | 0,74 |
| 1,9 | 72,00 | 70,10 | — | 5,00 | 0,10 |
| 2,2 | 10,20 | 0,03 | 0,07 | 3,53 | 0,60 |
| 2,5 | — | 3,70 | 18,00 | 9,12 | 7,80 |
| 2,8 | 80,00 | 6,00 | 8,71 | 4,84 | 0,71 |
| 3,1 | 400,00 | 4,20 | 0,06 | 4,05 | 7,83 |
| 3,4 | 92,00 | 70,50 | 4,95 | 4,40 | 0,69 |
| 3,7 | 10,00 | 6,59 | 7,91 | 9,47 | 0,67 |
| 4,0 | 8,94 | 7,08 | 6,36 | 9,67 | 8,00 |

Tab. 2. Zestawienie wartości współczynnika filtracji pionowej i poziomej iltów zastoiiskowych określonych w aparacie trójosiowym

| Rodzaj próbki | Głębokość pobrania (m ppt) | Wartość współczynnika filtracji pionowej $\times 10^{-11}$ (m/s) | | | Zawartość frakcji iltowej [%] | Liczba wykonanych oznaczeń |
|---------------|----------------------------|---|--------|--------|-------------------------------|----------------------------|
| | | min | śr | maks | | |
| NNS | 1,0 | 0,85 | 24,01 | 78,50 | 78 | 28 |
| NNS | 1,3 | 3,75 | 6,55 | 9,11 | 79 | 10 |
| NNS | 1,6 | 1,20 | 2,63 | 4,88 | 74 | 6 |
| NNS | 1,9 | 3,15 | 5,05 | 11,50 | 70 | 9 |
| NNS | 2,2 | 4,26 | 11,94 | 25,50 | 73 | 24 |
| NNS | 2,5 | 1,20 | 5,22 | 99,00 | 71 | 9 |
| NS | 3,4 | 5,20 | 36,00 | 52,00 | 73 | 8 |
| NS | 3,7 | 6,85 | 19,31 | 56,90 | 72 | 15 |
| | | Wartość współczynnika filtracji poziomej $\times 10^{-11}$ [m/s] | | | | |
| NNS | 2,2 | 100,10 | 324,01 | 509,00 | 73 | 16 |
| NNS | 2,2 | 133,00 | 422,79 | 733,00 | 73 | 14 |

Tab. 3. Porównanie wartości współczynnika filtracji iltów zastoiiskowych określonych przy zastosowaniu różnych metod badawczych

| Głębokość pobrania próbki (m p.p.t.) | Współczynnik filtracji $k \times 10^{-9}$ [m/s] | | |
|--------------------------------------|--|---------------|---------------|
| | pionowej(ATŚ)* | poziomej(BAT) | poziomej(ATŚ) |
| 1,0 | 0,24 | 0,25 | |
| 1,3 | 0,06 | 0,31 | |
| 1,6 | 0,03 | 9,67 | |
| 1,9 | 0,05 | 5,00 | |
| 2,2 | 0,12 | 3,53 | 3,24; 4,17** |
| 2,5 | 0,05 | 9,12 | |

* ATŚ: anarar trójosiowego ściskania; BAT: system monitoringu wód podziemnych BAT

**-wykonane dwa niezależne badania

wiercenia w odstępach 30 cm, czyli z miejsc w których wykonano ocenę parametru k w warunkach naturalnych. Do-

świadczenia laboratoryjne przeprowadzono w aparacie trójosiowego ściskania. Zastosowany aparat spełniał wszystkie stawiane przed doświadczeniem wymagania: możliwość utrzymywania izotropowego stanu naprężeń przez dłuższy czas (do 12 dób), odpływ wody do biurety i pomiar jej ilości. Badaniom poddano próbki osadu w kształcie walca o średnicy $d = 36$ mm i wysokości $h = 72$ mm, wycinane z osadu pobranego w terenie do próbników (próbki NNS), lub modelowane z pobranego osadu (próbki NS). W badaniach zastosowano metodę filtracji w warunkach ustalonych przy pionowym kierunku przepływu wody przez próbkę osadu (Woźniak, 1988).

Wykonano 139 oznaczeń wartości współczynnika filtracji na 8 próbkach typu NNS i 2 typu NS, w tym 109 pomiarów wartości współczynnika filtracji pionowej (6 próbek NNS, 2 próbki NS) oraz 30 pomiary wartości współczynnika filtracji poziomej (2 próbki NNS). Ostateczną wartość współczynnika filtracji określono jako średnią arytmetyczną wszystkich wykonanych oznaczeń dla danej próbki (tab. 2).

Porównanie uzyskanych wyników

Otrzymane wartości współczynnika filtracji pochodzące z badań terenowych i laboratoryjnych nie mogą być bezpośrednio korelowane ze sobą ponieważ doświadczenia przeprowadzono w różnych warunkach, przy zastosowaniu różnych metod badawczych. Jednak wyniki dotyczące wartości współczynnika filtracji poziomej w aparacie trójosiowego ściskania i w warunkach *in situ* są zbliżone. Wartość współczynnika filtracji poziomej jest we wszystkich przypadkach (na wszystkich głębokościach) wyższa niż wartość współczynnika filtracji pionowej, co związane jest z anizotropią wynikającą z charakteru sedymentacji i genezy badanych osadów. Niewielkie różnice pomiędzy wartościami współczynnika filtracji iltów zastoiiskowych wyznaczonych w różnego typu badaniach (BAT, ATŚ), potwierdzają prawidłowość zastosowanej metody badań zarówno w warunkach *in situ*, jak i laboratoryjnych oraz szeroki zakres rozpoznania tego parametru w badanym poligonie. W tab. 3 zestawiono wartości współczynnika filtracji pionowej (ATŚ) i poziomej (BAT i ATŚ) określone w warunkach *in situ* i laboratorium.

Ilościowe relacje między wartościami współczynnika filtracji iltów zastoiiskowych

Uzyskane wartości pochodzące z doświadczeń bezpośrednich: terenowych i laboratoryjnych dotyczące jednak tylko po-

Tab. 4. Zestawienie porównawcze wartości współczynników filtracji ilów zastoiskowych określonych w badaniach terenowych, laboratoryjnych, wejściowych do modelu i otrzymanych w wyniku identyfikacji modeli

| Metoda badań | BAT * | | ATŚ ** | Dane wejściowe do modelu | Identyfikowane na modelach | |
|---|--------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Wartość współczynnika filtracji poziomej [m/s] | śr | 22,79x10 ⁻⁹ | 3,75x10 ⁻⁹ | | ogólny 7,99x10 ⁻⁹ | szczegółowy 1,39x10 ⁻⁹ |
| | min | 0,01x10 ⁻⁹ | 1,10x10 ⁻⁹ | 0,67x10 ⁻⁹ | 0,67x10 ⁻⁹ | 5,79x10 ⁻¹¹ |
| | max | 400,1x10 ⁻⁹ | 7,33x10 ⁻⁹ | 20,80x10 ⁻⁹ | 20,80x10 ⁻⁹ | 11,60x10 ⁻⁹ |
| | N***198 (na 47 próbkach) | | 30 (na 2 próbkach) | – | liczba bloków modelu | |
| Wartość współczynnika filtracji pionowej [m/s] | śr | – | 0,14x10 ⁻⁹ | | 0,81x10 ⁻⁹ | 0,18x10 ⁻⁹ |
| | min | – | 0,85x10 ⁻¹ | 0,06x10 ⁻⁹ | 0,06x10 ⁻⁹ | 5,57x10 ⁻¹² |
| | max | – | 0,99x10 ⁻⁹ | 2,00x10 ⁻⁹ | 2,00x10 ⁻⁹ | 1,11x10 ⁻⁹ |
| | N | – | 109 (na 8 próbkach) | – | liczba bloków modelu | |

* – pomiar w warunkach naturalnych systemem monitoringu wód podziemnych BAT

** – pomiar w laboratorium przy zastosowaniu aparatu trójosiowego ściskania

*** – liczebność próbek

miarów punktowych, odpowiednio transformowano jako parametry miarodajne („dane wejściowe”) dla prototypu modelu numerycznego czyli uproszczonego systemu rzeczywistego. System ten podlegał badaniom symulacyjnym dynamiki wód podziemnych poprzedzonych procedurą identyfikacyjną.

W celu ilościowego porównania wzajemnych relacji między wartościami współczynnika filtracji ilów zastoiskowych, określonymi różnymi metodami oraz pochodzącymi z identyfikacji modelu numerycznego, analizie modelowej poddano strumień płaski dwuwymiarowy na przekroju zgodnym z linią ciągu obserwacyjnego (poligon terenowy). Wykonano dwa modele numeryczne strefy krawędziowej poziomu błotniskiego: model podstawowy, tzw. model ogólny o kroku dyskretyzacji przestrzeni $\Delta x = 26$ m, $\Delta y = 1,2$ m, który następnie uszczegółowiono tzw. modelem szczegółowym o znacznie mniejszym kroku dyskretyzacji przestrzeni $\Delta x = 13$ m, $\Delta y = 0,3$ m, dobranym tak, że węzły bloków dyskretyzacyjnych wyznaczone zostały w punktach pomiaru wartości k podczas badań bezpośrednich. Parametrem podlegającym identyfikacji na modelach była wartość współczynnika filtracji ilów zastoiskowych.

W tabeli 4 zestawiono wartości współczynników filtracji określone przy zastosowaniu metod bezpośrednich (badania terenowe i laboratoryjne), „dane wejściowe” do modeli i wartości uzyskanymi w wyniku identyfikacji modeli numerycznych.

Podsumowanie

Różnice między wartościami współczynnika filtracji przedstawione w tabeli 4, dotyczące tak szczegółowo rozpoznanego terenu, potwierdzają, że model numeryczny nie jest odniesiony do systemu rzeczywistego, lecz do uproszczonego, schematycznego systemu hydrogeologicznego.

Niewielkie różnice pomiędzy wartościami współczynnika filtracji pochodzącymi z identyfikacji modeli: ogólnego i szczegółowego jednoznacznie wskazują, że nawet lokalne modele, na których pomierzone wartości zostały zlokalizowane w węzłach siatki dyskretyzacyjnej, charakteryzują strumień z punktu widzenia optymalizacji jego opisu z pomocą modelu w danej klasie. Parametry pochodzące z identyfikacji są więc charakterystyką strumienia wód podziemnych (Macioszczyk, 1992). Przedstawione wyniki potwierdzają subiektywność wyznaczonej struktury modelu, która ma wpływ na wartości identyfikowanych na tym modelu parametrów. Należy podkreślić, że jest rzeczą naturalną fakt różnej wartości tego samego parametru określonego różnymi metodami. Wartości pochodzące z pomiarów punktowych różnią się między sobą z uwagi na stosowaną w terenie i laboratorium różną metodykę badawczą.

Wartości punktowe parametrów w procesie modelowania ulegają transformacji na modelu (tzw. „dane wejściowe”), który nawet tak szczegółowy jak przedstawiony w tym przypadku był jednak uproszczeniem rzeczywistego systemu. W procesie identyfikacji modelu, wartości te ulegają dalszej zmianie przyjmując takie wartości, aby model jak najbardziej odzwierciedlał stan i zachowanie systemu rzeczywistego. Zestawione w tab. 4 wartości potwierdzają ten proces, a niewielkie różnice między zestawionymi wartościami wynikają z rzeczywistego rozpoznania terenu badań i wielkości kroku dyskretyzacji przestrzeni na modelach numerycznych.

Literatura

- KROGULEC E. 1994a — Tech. Poszuk. Geol., Geosynoptyka i Geotermia, 33: 49–54.
 KROGULEC E. 1994b — Prz. Geol., 42: 276–279.
 MACIOSZCZYK T. 1992 — Parametry hydrogeologiczne. W służbie Polskiej Geologii. Wyd. AGH: 192–196.
 MORAWSKI W. 1980 — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Warszawa-Zachód. Wyd. Geol.
 PETSONK A., ROMANOWSKI W. & RICHARDS V. & 1989 — Field permeability testing for RCRA landfill final cover, USA.
 TORSTENSSON B.A. & PETSONK A. 1986 — A device for in situ measurement of hydraulic conductivity. Proc. 4th Int. Geotechnical Seminar on Field Instrumentation and in situ Measurements, Singapore.
 WOŹNIAK H. 1988 — Właściwości fizyczno-chemiczne gruntów zwałowych z uwzględnieniem zawodnienia na przykładzie KBWB „Bełchatów”. Arch. AGH Kraków.