

BADANIA LABORATORYJNE DRENAŻU I INFILTRACJI WODY PRZEZ OSADY DENNE NA MODELU FIZYCZNYM

LABORATORY MEASUREMENTS OF WATER DRAINAGE AND SEEPAGE BY THE RIVERBED ON A PHYSICAL MODEL

ŁUKASZ CHUDZIAK¹, MAREK MARCINIAK¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki testowych badań laboratoryjnych procesów infiltracji oraz drenażu. Na stanowisku pomiarowym odwzorowano warunki hydrauliczne filtracji wody przez osady denne. Modelowano procesy infiltracji wód powierzchniowych oraz drenażu wód podziemnych przez osady denne. W pomiarach wykorzystano filtrometr denny własnej konstrukcji. Przyrząd ten, będący modyfikacją infiltrometru dennego, został przystosowany do pomiaru procesów infiltracji i drenażu. W efekcie otrzymano serię danych pozwalających określić zakres pomiarowy oraz dokładność przyrządu, który może być wykorzystywany do pomiarów infiltracji i drenażu w warunkach terenowych.

Słowa kluczowe: infiltracja, drenaż, infiltrometr, filtrometr denny, osady denne, warstwa wodonośna.

Abstract. The paper presents test results of laboratory measurements of seepage and drainage processes. On the laboratory position, processes of filtration through a riverbed were simulated. A bottom filtrometer, designed to measure both processes, was used for the measurements. The analysis of received data demonstrates that a seepage meter can be used to measure seepage and drainage in the field.

Key words: seepage, drainage, seepage meter, bottom filtrometer, riverbed, aquifer.

WSTĘP

Do matematycznego modelowania procesów hydrologicznych zachodzących w obrębie koryta rzecznej niezbędne są dane o wielkości drenażu wód podziemnych przez rzekę oraz o wielkości infiltracji wód rzecznych do warstwy wodonośnej. Obecnie brakuje metod pomiarowych, które umożliwiłyby bezpośrednią ocenę ilościową zarówno procesu drenażu, jak i procesu infiltracji. Do określania wielkości infiltracji wód rzecznych do warstwy wodonośnej oraz wielkości drenażu wód podziemnych stosowane są metody pośrednie: metoda różnic przepływu na dwóch przekrojach hydrometrycznych oraz metoda siatek hydrodynamicznych. Brakuje

metodyki bezpośredniego oznaczania parametrów hydraulicznych koryta rzeki lub misy jeziornej w warunkach terenowych.

Celem badań było sprawdzenie możliwości oznaczenia parametrów zarówno infiltracji, jak i drenażu za pomocą filtrometru. Filtrometr skonstruowano poprzez rozszerzenie możliwości pomiarowych infiltrometru dennego. Na stanowisku laboratoryjnym przeprowadzono kalibrację nowego aparatu, co pozwoliło ocenić jego przydatność w badaniach terenowych.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań;
e-mail: chudziak@amu.edu.pl, mmarc@amu.edu.pl

OPIS PROCESU DRENAŻU I INFILTRACJI

Głównym sposobem zasilania wód podziemnych jest infiltracja wód opadowych (Staško, Tarka, 2002). Jak podają De Vries i Simmers (2002), zasilanie warstwy wodonośnej odbywa się na trzy sposoby:

- zasilanie bezpośrednie, w wyniku przesiąkania wód opadowych i wilgoci glebowej przez strefę aeracji;
- zasilanie pośrednie przez dno zbiorników wodnych i koryt rzecznych;
- zasilanie zlokalizowane w strefach uprzywilejowanych, w miejscach, gdzie spękane skały podłoża tworzą wychodnie na powierzchni terenu.

W warunkach naturalnych wody powierzchniowe najczęściej drenują wody podziemne. Rzadziej zdarza się sytuacja przeciwna. Ma ona miejsce w warunkach powodziowych,

w strefach ujściowych, a także w przypadku, gdy rzeka lub zbiornik wodny są wykorzystywane jako źródło zaopatrzenia w wodę. Wówczas poprzez budowę urządzeń hydrotechnicznych związanych z ujęciami wody, relacja wód powierzchniowych z wodami podziemnymi ulega odwróceniu. Wody powierzchniowe zaczynają infiltrować w podłoże, nabierając w procesie infiltracji cech wód podziemnych. W wielu rejonach eksploatacja wód podziemnych byłaby niemożliwa bez ich wzbogacania o wody infiltracyjne. Dlatego problematyka ta stanowi jedno z ważniejszych zagadnień gospodarki wodnej, a w szczególności zaopatrzenia w wodę dużych aglomeracji. O warunkach współdziałania wód powierzchniowych i podziemnych w zasadniczym stopniu decydują parametry hydrauliczne koryta rzeczne lub misy jeziornej.

BUDOWA STANOWISKA LABORATORYJNEGO

Badania laboratoryjne przeprowadzono na specjalnie zaprojektowanym w tym celu stanowisku pomiarowym (fig. 1) z dużą kolumną filtracyjną A o średnicy 0,8 m i wysokości 2,0 m, wykonaną z PVC. Wewnątrz kolumny, 21 cm powyżej dna, umieszczono ruszt wykonany z blachy perforowanej, który został przykryty warstwą żwiru o miąższości 2 cm. Następnie kolumna została zasypana warstwą piasku o miąższości 89 cm, odpowiadającemu osadom dennym. Podczas zasypywania złożo zostało uwodnione poprzez bardzo powolne podnoszenie poziomu wody. Saturacja złoża dokonywała się głównie siłami podsiąku kapilarnego. Z kolumną filtracyjną, hydraulicznie połączono trzy kolumny o średnicach 5 cm, wykonane z plexi. Przez kolumnę B stanowisko zasilano wodą, zaś kolumny C oraz D spełniały funkcje pomiarowe. Kolumna C umożliwiała kontrolowanie poziomu wody w dolnej części złoża, zaś kolumna D poziomu wody ponad złożem. Na obu kolumnach pomiarowych zamontowano ruchome przelewy nadmiarowe E i F, które umożliwiały regulację poziomu wody pod i nad złożem, a przez to zadawanie kierunku filtracji wody przez złożo: z góry na dół lub odwrotnie. Pozwalało to na symulację infiltracji wód rzecznych do warstwy wodonośnej lub drenażu wód podziemnych przez rzekę. Uzyskano w ten sposób model fizyczny filtracji wody przez osady denne.

Schemat funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego podczas symulacji infiltracji pokazano na figurze 1, natomiast podczas symulacji drenażu – na figurze 2. Natężenie strumienia filtracji przez kolumnę Q_{ki} kontrolowano poprzez pomiar objętości wody V_{ki} wypływającej w czasie t_{ki} przez przelew E z kolumny.

$$Q_{ki} = \frac{V_{ki}}{t_{ki}} \quad [1]$$

Gęstość strumienia filtracji w kolumnie obliczano odnosząc natężenie strumienia Q_{ki} do powierzchni złoża w kolumnie F_k .

$$q_{ki} = \frac{V_{ki}}{F_k t_{ki}} \quad [2]$$

Gradient hydrauliczny w kolumnie filtracyjnej rejestrowano poprzez pomiar różnicy poziomów wody ΔH_i , odniesionej do wysokości ΔL zasypania złoża w kolumnie.

$$I_{ki} = \frac{\Delta H_i}{\Delta L} \quad [3]$$

Po zmianie kierunku filtracji wody w kolumnie, symulowano proces drenażu i wówczas analogiczne wzory na natężenie strumienia Q_{kd} , gęstość strumienia q_{kd} oraz gradient I_{kd} można zapisać:

$$Q_{kd} = \frac{V_{kd}}{t_{kd}} \quad [4]$$

$$q_{kd} = \frac{V_{kd}}{F_k t_{kd}} \quad [5]$$

$$I_{kd} = \frac{\Delta H_d}{\Delta L} \quad [6]$$

Na podstawie zebranych doświadczalnie danych możliwe było obliczenie współczynników filtracji zarówno dla przypadku infiltracji k_{ki} , jak i dla przypadku drenażu k_{kd} .

$$k_{ki} = \frac{V_{ki} \Delta L}{F_k t_{ki} \Delta H_i} \quad [7]$$

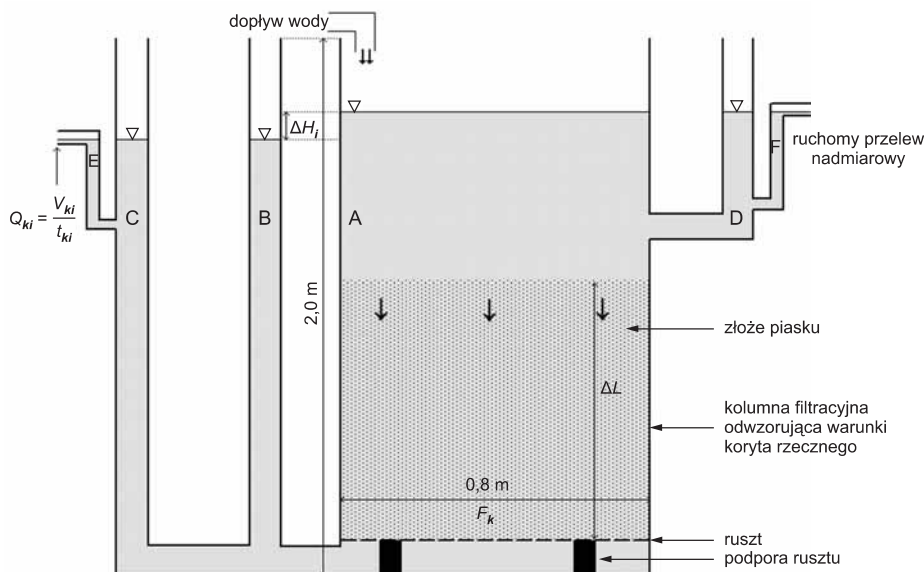


Fig. 1. Schemat funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego podczas infiltracji

A – kolumna filtracyjna, B – kolumna zasilająca, C, D – kolumny pomiarowe, E, F – przelewy nadmiarowe

Laboratory position during the seepage

A – filtration column, B – flow column, C, D – measuring columns, E, F – pour columns

$$k_{kd} = \frac{V_{kd} \Delta L}{F_k t_{kd} \Delta H_d} \quad [8]$$

Współczynniki filtracji zostały następnie przeliczone na współczynniki filtracji w temperaturze 10°C k_{10} . Tak obliczone wartości współczynników filtracji traktowano jako

wzorcowe i porównywano z wartościami współczynników filtracji obliczonymi na podstawie pomiarów filtrometrem dennym. Celem badań było wykalibrowanie filtrometru dennego. Wartości współczynników filtracji k_{ki} oraz k_{kd} oznaczonych poprzez pomiary filtracji w kolumnie traktowano jako wzorcowe.

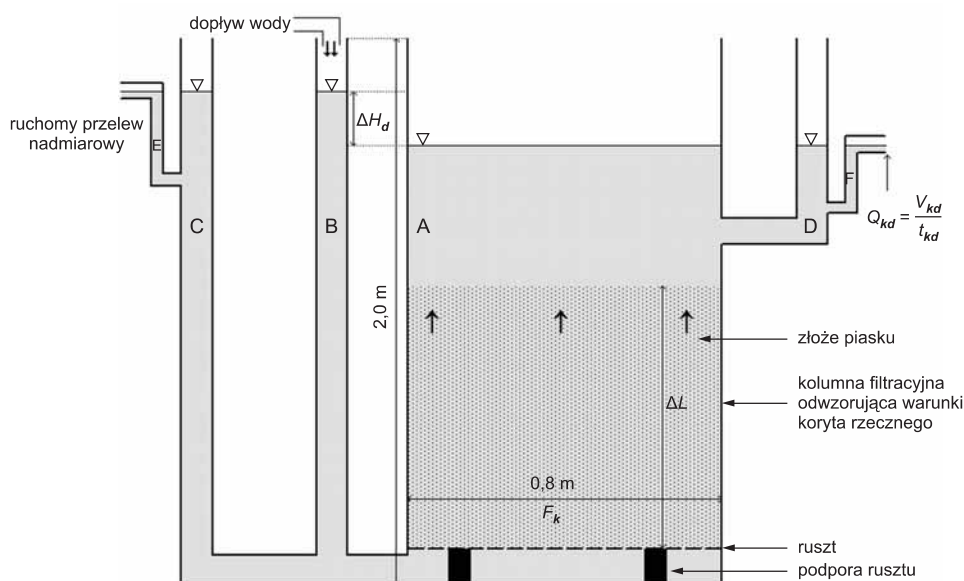


Fig. 2. Schemat funkcjonalny stanowiska laboratoryjnego podczas drenazu

A – kolumna filtracyjna, B – kolumna zasilająca, C, D – kolumny pomiarowe, E, F – przelewy nadmiarowe

Laboratory position during the drainage

A – filtration column, B – flow column, C, D – measuring columns, E, F – pour columns

BUDOWA FILTROMETRU DENNEGO

Infiltrometr denny stosowany do tej pory w pomiarach hydrogeologicznych jest przeznaczony do punktowego oznaczenia natężenia filtracji wody z rzeki lub zbiornika wodnego do gruntu (Litwiński, 1986). Infiltrometr został tak przystosowany, aby za jego pomocą oznaczać także natężenie podsiąku wody z warstwy wodonośnej do rzeki lub do zbiornika wodnego. Uzyskano w ten sposób filtrometr denny (fig. 3). Zasadniczym elementem filtrometru dennego jest kłosz (1), do którego przymocowany jest wspornik (2). Kłosz zostaje wbity na znaną głębokość w dno rzeki lub zbiornika. Zestaw pomiarowy składa się z tablicy (3), na której zamontowany jest zbiornik (5), połączony za pomocą węża (4) z kłosem. Na tablicy znajdują się jeszcze cylinder do pomiaru infiltracji (6) oraz zbiornik do pomiaru drenażu (7). Oznaczenie gęstości strumienia infiltracji q_{fi} wody jest moż-

liwe dzięki pomiarowi objętości wody V_{fi} przepływającej przez kłosz o znanej powierzchni F_f , w określonym czasie t_{fi} .

$$q_{fi} = \frac{V_{fi}}{F_f t_{fi}} \quad [9]$$

Analogicznie oznaczenie gęstości strumienia drenażu q_{fd} wody jest możliwe dzięki pomiarowi objętości wody V_{fd} przepływającej przez kłosz o znanej powierzchni F_f , w określonym czasie t_{fd} .

$$q_{fd} = \frac{V_{fd}}{F_f t_{fd}} \quad [10]$$

W efekcie pojedynczego pomiaru otrzymuje się punktową gęstość strumienia infiltracji lub drenażu wody. Aby rozpo-

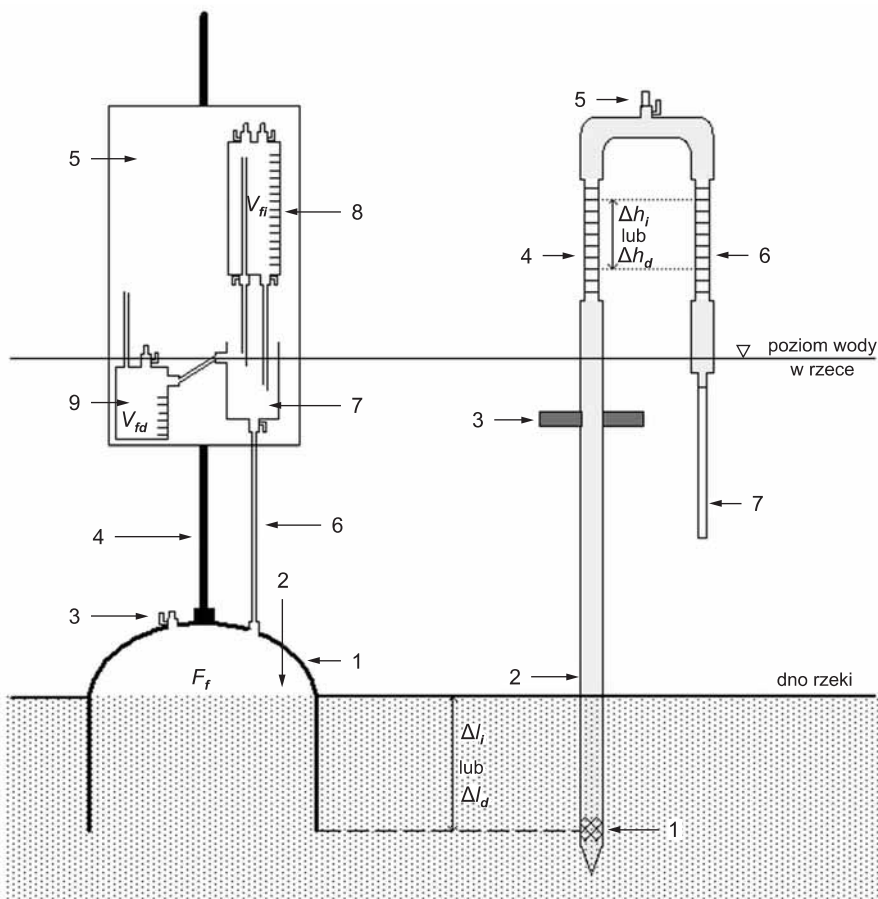


Fig. 3. Schemat filtrometru dennego

1 – kłosz, 2 – wspornik, 3 – tablica, 4 – wąż, 5 – zbiornik, 6 – cylinder do pomiaru infiltracji, 7 – zbiornik do pomiaru drenażu

The model of bottom filtrometer

1 – shade, 2 – bracket, 3 – board, 4 – serpent, 5 – container, 6 – cylinder, 7 – measuring container

Fig. 4. Igłofiltr

1 – igłofiltr, 2 – rurka, 3 – uchwyt, 4 – przezroczysta rurka ze skalą do pomiaru poziomu wody w warstwie wodonośnej, 5 – zawór, 6 – przezroczysta rurka ze skalą do pomiaru poziomu wody w rzece, 7 – wąż

Riverbed piezometer

1 – needlefilter, 2 – pipe, 3 – handle, 4 – measuring pipe, 5 – valve, 6 – measuring pipe, 7 – serpent

znać zmienność przestrzenną procesu infiltracji lub drenażu, czynności pomiarowe należy wykonywać w profilach poprzecznych przez rzekę, bądź w punktach pomiarowych zlokalizowanych na dnie zbiornika wodnego, umieszczonych względem siebie w odległości dostosowanej do wymaganej dokładności rozpoznania hydrogeologicznego.

W celu oznaczenia współczynnika filtracji osadów dennych niezbędny jest pomiar gradientu hydraulicznego między warstwą wodonośną a wodami powierzchniowymi. Pomiar ten jest możliwy do wykonania za pomocą igłofiltru (fig. 4). Igłofiltr składa się z dwóch połączonych ze sobą hydraulicznie rurek piezometrycznych (Sanders, 1998). Dłuższa z nich jest wciskana w osady dennie na głębokość odpowiadającą głębokości wbicia klosza pomiarowego infiltrometru. Dzięki znajdującemu się w jej dolnej części filtrowi (1), woda z warstwy wodonośnej swobodnie napływa do wnętrza rurki (2). Do rurki krótszej jest przymocowany wąż (7), który umieszcza się w rzece bądź zbiorniku wodnym. Pomiar gradientu hydraulicznego odbywa się poprzez zassanie wody w rurkach. Aby wykonać pomiar różnicy ciśnień hydraulicznych pomiędzy rzeką a warstwą wodonośną, należy wywołać podciśnienie, zasysając powietrze przez zawór (5). Spowoduje to podnoszenie się poziomu wody w obu rurkach. Gdy w obu rurkach poziom wody podniesie się do wysokości wyskalowanych fragmentów pomiarowych (4) oraz (6), zawór (5) należy zamknąć. Wytworzone w ten sposób podciśnienie utrzymuje poziom wody w rurkach pomiaro-

wych. Podczas infiltracji poziom wody w rurce zanurzonej w wodzie znajduje się wyżej niż w rurce wbitej w osady dennie. Gradient hydrauliczny I_{fi} oblicza się, dzieląc różnicę ciśnień Δh_i przez głębokość Δl_i wbicia igłofiltru w osady dennie.

$$I_{fi} = \frac{\Delta h_i}{\Delta l_i} \quad [11]$$

Natomiast podczas drenażu poziom wody w rurce zanurzonej w wodzie znajduje się niżej niż w rurce wbitej w osady dennie. Gradient hydrauliczny I_{fd} oblicza się, dzieląc różnicę ciśnień Δh_d przez głębokość Δl_d wbicia igłofiltru w osady dennie.

$$I_{fd} = \frac{\Delta h_d}{\Delta l_d} \quad [12]$$

Pomiary wykonane filtrometrem dennym i igłofiltrem pozwalały na obliczenie wartości współczynników filtracji według wzorów:

$$k_{fi} = \frac{V_{fi} \Delta l_i}{F_f t_{fi} \Delta h_i} \quad [13]$$

$$k_{fd} = \frac{V_{fd} \Delta l_d}{F_f t_{fd} \Delta h_d} \quad [14]$$

LABORATORYJNE POMIARY INFILTRACJI I DRENAŻU

Zarówno pomiary infiltracji, jak i drenażu przeprowadzono na piasku zbliżonym pod względem granulacji do osadów dennych występujących w dnie rzeki lub zbiornika wodnego. Piasek poddano analizie granulometrycznej, w wyniku której, zgodnie z PN-86-B-02480, określono jego frakcję jako piasek drobnoziarnisty. Na badanej próbce oznaczono także współczynnik filtracji k_{i0} , na uniwersalnym permeametrze kolumnowym UPK-99 (Marciniak, 2001). W wyniku przeprowadzonych analiz uzyskano wartość współczynnika filtracji wynoszącą $4,61E-05$ m/s.

Przeprowadzono dwie serie pomiarowe – pierwszą infiltracji, drugą drenażu.

POMIARY INFILTRACJI

Po uwodnieniu i ustabilizowaniu warunków hydraulicznych kolumny filtracyjnej stanowisko pomiarowe zostało przygotowane do pomiarów infiltracji. Poziom wody w kolumnie filtracyjnej A został ustalony o 5 cm wyżej niż w kolumnie pomiarowej C. Uzyskany w ten sposób gradient hydrauliczny wymusił filtrację wody z góry na dół, co odpowiada infiltracji wód powierzchniowych do wód podziem-

nych. Do kolumny filtracyjnej doprowadzono stały dopływ wody, dzięki czemu gradient nie ulegał zmianom. Najpierw przez trzy dni filtrowano wodę przez złożę. Następnie w centralnej części kolumny filtracyjnej, na głębokość 20 cm, wbito filtrometr denny oraz igłofiltr (fig. 5) i przez kolejne dwa dni kontynuowano filtrację. W ten sposób stabilizowano parametry filtracji przez osady dennie.

Wykonano pięć pomiarów infiltracji w kolumnie filtracyjnej w piętnastominutowych odstępach czasu. Na przelewie nadmiarowym E mierzono objętość wody V_{ki} infiltrującej przez kolumnę filtracyjną w czasie t_{ki} . Każdorazowo mierzono także różnicę poziomów wody ΔH_i pomiędzy kolumnami A oraz B. Jednorazowo pomierzono powierzchnię kolumny filtracyjnej F_k oraz wysokość złoża ΔL . Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1.

Wykonano także pięć pomiarów infiltracji za pomocą filtrometru dennego. W cylindrze do pomiaru infiltracji mierzono objętość wody V_{fi} infiltrującej przez klosz filtrometru w czasie t_{fi} . Każdorazowo mierzono także, za pomocą igłofiltru, różnicę poziomów wody Δh_i pomiędzy rzeką a warstwą wodonośną. Jednorazowo pomierzono powierzchnię klosza filtrometru F_f oraz głębokość wbicia klosza w osady dennie Δl_i . Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2.

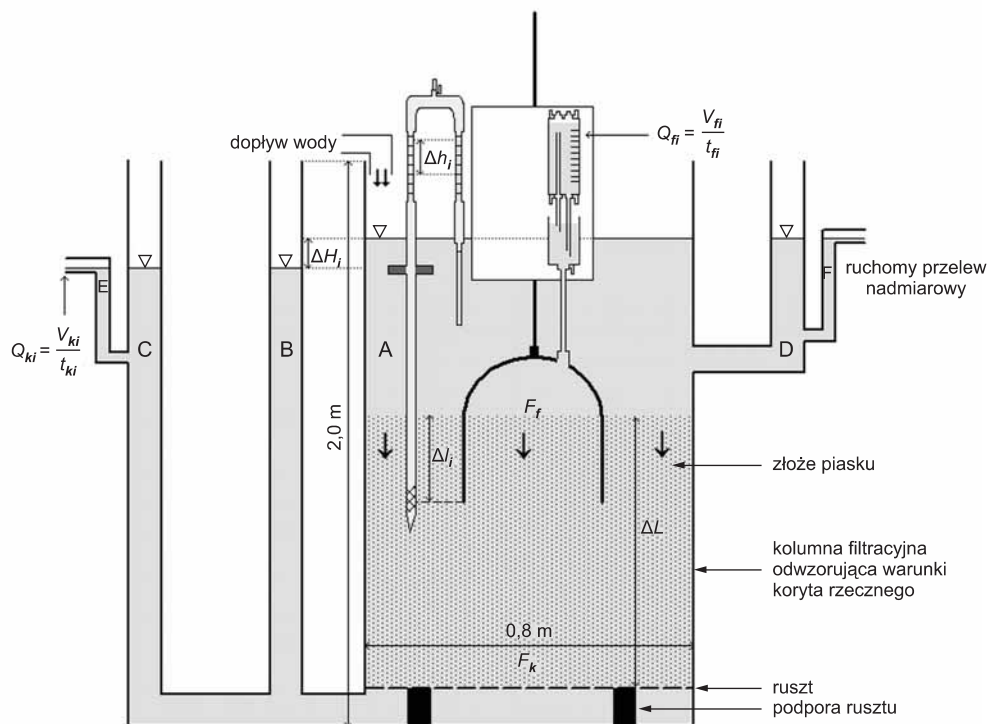


Fig. 5. Pomiar wydatku infiltracji

Seepage measurements

Tabela 1

Wyniki pomiarów infiltracji w kolumnie filtracyjnej
Results of infiltration measurements in the filtration column

Nr pomiaru	V_{ki} [cm ³]	t_{ki} [s]	F_k [cm ²]	Q_{ki} [cm ³ /s]	q_{ki} [cm ³ /s/cm ²]	ΔH_i [cm]	ΔL [cm]	I_{ki} [cm/cm]	k_{10ki} [m/s]
1	38	60	4113,28	0,52	1,27E-04	5,0	89	0,056	2,03E-05
2	38	60		0,52	1,27E-04	5,0		0,056	2,03E-05
3	38	60		0,52	1,27E-04	5,0		0,056	2,03E-05
4	38	60		0,52	1,27E-04	5,0		0,056	2,03E-05
5	38	60		0,52	1,27E-04	5,0		0,056	2,03E-05
Średnia					1,27E-04			0,056	2,03E-05

Tabela 2

Wyniki pomiarów infiltracji za pomocą filtrometru dennego
Results of infiltration measurements using the bottom filtermeter

Nr pomiaru	V_{fi} [cm ³]	t_{fi} [s]	F_f [cm ²]	Q_{fi} [cm ³ /s]	q_{fi} [cm ³ /s/cm ²]	Δh_i [cm]	Δl [cm]	I_{fi} [cm/cm]	k_{10fi} [m/s]
1	46	418	913,27	0,11	1,20E-04	1,1	20	0,055	1,63E-05
2	47	434		0,11	1,20E-04	1,1		0,055	1,60E-05
3	47	430		0,11	1,20E-04	1,1		0,055	1,62E-05
4	47	429		0,11	1,20E-04	1,1		0,055	1,62E-05
5	47	428		0,11	1,20E-04	1,1		0,055	1,62E-05
Średnia					1,20E-04			0,055	1,62E-05

POMIARY DRENAŻU

Po zakończeniu pomiarów infiltracji zmieniono warunki przepływu wewnątrz kolumny filtracyjnej. Poziom wody w kolumnie filtracyjnej A został tym razem ustalony o 5 cm niżej niż w kolumnie pomiarowej C. Uzyskany w ten sposób gradient hydrauliczny wymusił filtrację wody z dołu do góry, co odpowiada drenażowi wód podziemnych przez wody powierzchniowe. Aby gradient nie ulegał zmianom, do kolumny zasilającej B doprowadzono stały dopływ wody, po czym w odpowiednim miejscu, na głębokość 20 cm, wbito filtrometr denne oraz igłofiltr (fig. 6). Stabilizację paramet

trów drenażu przeprowadzono analogicznie, jak w przypadku modelowania infiltracji.

Wykonano pięć pomiarów drenażu w kolumnie filtracyjnej w piętnastominutowych odstępach czasu. Na przelewie nadmiarowym F mierzono objętość wody V_{kd} filtrującej przez kolumnę filtracyjną w czasie t_{kd} . Każdorazowo mierzono także różnicę poziomów wody ΔH_d pomiędzy kolumnami B oraz A. Jednorazowo pomierzono powierzchnię kolumny filtracyjnej F_k oraz wysokość złoża ΔL . Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3.

Wykonano także pięć pomiarów drenażu za pomocą filtrometru dennego. W zbiorniku do pomiaru mierzono obję-

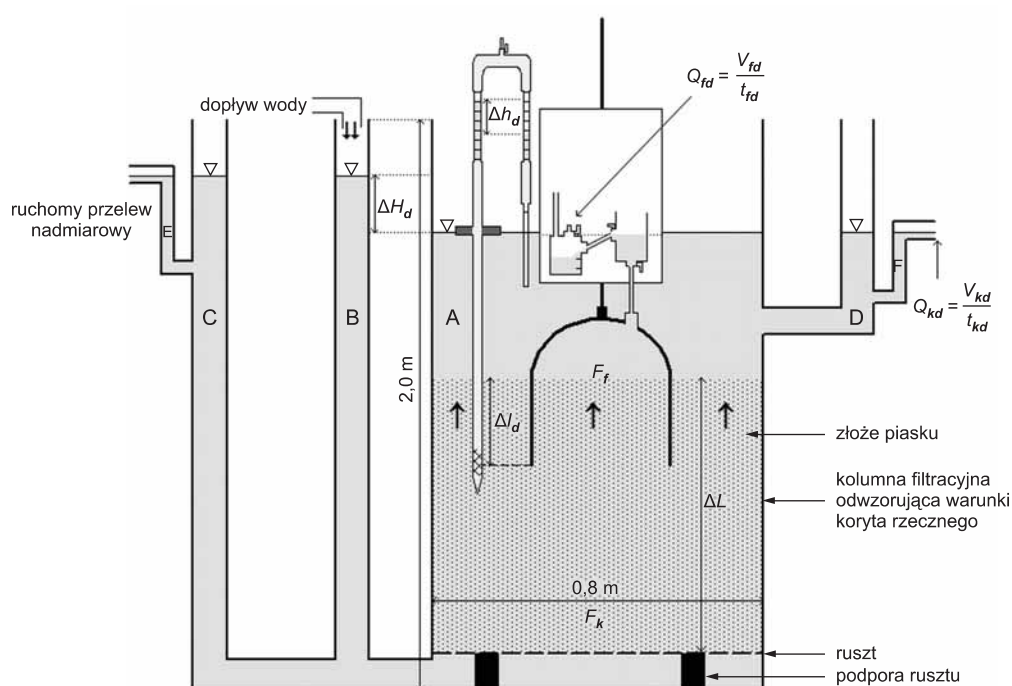


Fig. 6. Pomiar wydatku drenażu

Drainage measurements

Tabela 3

Wyniki pomiarów drenażu w kolumnie filtracyjnej
Results of drainage measurements in the filtration column

Nr pomiaru	V_{kd} [cm ³]	t_{kd} [s]	F_k [cm ²]	Q_{kd} [cm ³ /s]	q_{kd} [cm ³ /s/cm ²]	ΔH_d [cm]	ΔL [cm]	I_{kd} [cm/cm]	k_{10kd} [m/s]
1	36	60	4113,28	0,60	1,46E-04	5,0	89	0,056	1,96E-05
2	36	60		0,60	1,46E-04	5,0		0,056	1,96E-05
3	36	60		0,60	1,46E-04	5,0		0,056	1,96E-05
4	36	60		0,60	1,46E-04	5,0		0,056	1,96E-05
5	36	60		0,60	1,46E-04	5,0		0,056	1,96E-05
Średnia					1,46E-04			0,056	1,96E-05

Tabela 4

Wyniki pomiarów drenażu za pomocą filtrometru dennego
Results of drainage measurements using the bottom filtermeter

Nr pomiaru	V_{fd} [cm ³]	t_{fd} [s]	F_f [cm ²]	Q_{fd} [cm ³ /s]	q_{fd} [cm ³ /s/cm ²]	Δh_d [cm]	Δl_d [cm]	I_{fd} [cm/cm]	k_{10fd} [m/s]
1	62	420	913,27	0,15	1,62E-04	1,3	20	0,065	1,87E-05
2	62	420		0,15	1,62E-04	1,3		0,065	1,87E-05
3	62	420		0,15	1,62E-04	1,3		0,065	1,87E-05
4	62	420		0,15	1,62E-04	1,3		0,065	1,87E-05
5	62	420		0,15	1,62E-04	1,3		0,065	1,87E-05
Średnia					1,62E-04			0,065	1,87E-05

tość wody V_{fd} filtrującej przez kłosz filtrometru w czasie t_{fd} . Każdorazowo mierzono także, za pomocą igłofiltera, różnicę poziomów wody Δh_d pomiędzy warstwą wodonosną a rzeką.

Jednorazowo pomierzono powierzchnię kłosza filtrometru F_f oraz głębokość wbicia kłosza w osady denne Δl_d . Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 4.

PODSUMOWANIE

Badania laboratoryjne zaprezentowane w niniejszym artykule wykonano na specjalnie zaprojektowanym stanowisku, na którym odwzorowano warunki filtracji przez osady denne w obu kierunkach. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano dwie serie pomiarowe związane z modelowaniem infiltracji oraz drenażu. Podczas obu serii uzyskano dobrą powtarzalność wyników z kolumny filtracyjnej. Dane te pozwalają przyjąć, że oznaczenia parametrów procesu infiltracji i drenażu w kolumnie filtracyjnej można traktować jako wzorcowe w procesie kalibracji filtrometru dennego.

Podczas serii pomiarów infiltracji, gęstość strumienia filtracji otrzymana z filtrometru dennego wyniosła 1,20E-04 cm³/s/cm², przy gęstości wzorcowej 1,27E-04 cm³/s/cm² (tab. 1, 2). Dla tego parametru błąd względny procentowy wynosił 5,7%. Natomiast w przypadku otrzymanych wartości współczynnika filtracji (po przeliczeniu do temperatury 10°C) k_{10} błąd względny procentowy wynosił 22,5%. Podczas modelowania infiltracji wartości parametrów wzorcowych były wyższe od wartości tych parametrów uzyskanych za pomocą filtrometru dennego.

Dla serii pomiarów drenażu gęstość strumienia filtracji otrzymana z filtrometru dennego wyniosła 1,62E-04 cm³/s/cm², przy gęstości wzorcowej 1,46E-04 cm³/s/cm² (tab. 3, 4). Dla tego parametru błąd względny procentowy wynosił 10,4%. Natomiast w przypadku otrzymanych wartości współczynnika filtracji (po przeliczeniu do temperatury 10°C) k_{10} błąd względny procentowy wynosił 4,7%. Podczas modelowania drenażu wzorcowa wartość gęstości strumienia drenażu była niższa od gęstości strumienia w filtrometrze dennym. Natomiast wzorcowy współczynnik filtracji był wyższy od współczynnika filtracji oznaczonego za pomocą filtrometru dennego.

Błędy pomiarowe nie przekraczały 25%, co w przypadku oznaczania parametrów filtracyjnych należy uznać za niewielkie. Można zatem stwierdzić, że wartości parametrów filtracji uzyskane za pomocą filtrometru dennego są zgodne z wzorcowymi wartościami tych parametrów uzyskanymi na kolumnie filtracyjnej. Na tej podstawie skierowano filtrometr denny do testów terenowych.

LITERATURA

- DE VRIES J.J., SIMMERS I., 2002 — Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology J.*, **10**: 5–17.
- LITWIŃSKI M., 1986 — Instrukcja stosowania urządzenia do pomiarów filtracji dennej. Przedsiębiorstwo Geologiczne w Warszawie, materiały niepublikowane.
- MARCINIAK M., 2001 — Uniwersalny Permeometr Kolumnowy UPK-99 (wersja laboratoryjna). Instrukcja obsługi. UAM, Poznań.
- SANDERS L.L., 1998 — A manual of field hydrogeology. Prentice Hall, New Jersey.
- STAŚKO S., TARKA R., 2002 — Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w Masywie Śnieżnika. *Acta Univ. Wratisl.*, **2528**, *Hydrogeologia*.

SUMMARY

The article presents the results of laboratory measurements of surface water-groundwater interaction. Measurements were carried out on a physical model, constructed based on Darcy's column. The study used sand with a granulation similar to that of the sediments, using the bottom filtermeter. The apparatus allows the local characteristics of the processes of seepage and drainage through bottom sediments of rivers and water reservoirs. The study included a model measurement of specific discharge during seepage and drainage on the filtration column at a constant hydraulic gradient, and similar measurements using the bottom filtermeter. The study used also the needlefilter that allowed calculating the hydraulic conductivity of the sediments. As a re-

sult, two sets of data describing the velocity and intensity of the permeability of sediments were received. Simultaneous measurements obtained from the column model and from bottom filtermeter made it possible to calibrate the apparatus and to define its range.

Measuring errors did not exceed 25%, as for the filtration parameters should be regarded as insignificant. It can therefore be concluded that the values of filtration parameters obtained from the bottom filtermeter are compatible with the model values for these parameters obtained from the filtration column. On this basis, the bottom filtermeter was assigned to field measurements.

