

Ewa Burszta-Adamiak, Janusz Łomotowski

Badania oporu hydraulicznego warstwy zakolmatowanej podczas okresowej infiltracji wody do gruntu

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie sztuczną infiltracją wód opadowych do gruntu [1–4]. Podstawową funkcją urządzeń do sztucznej infiltracji wód opadowych jest przyjęcie spływów z powierzchni terenu lub dachów, a także krótkotrwałe retencjonowanie wód opadowych ujmowanych przez system kanalizacji deszczowej oraz infiltracja zgromadzonej wody w głąb gruntu [5]. Do infiltracji wód opadowych stosuje się obiekty inżynierskie z naziemnych zbiorników retencyjnych (niecki, rowy lub baseny infiltracyjne) oraz ze zbiorników podziemnych (studnie chłonne, systemy drenarskie, podziemne zbiorniki z prefabrykowanych elementów o ażurowej konstrukcji).

W Polsce brak jest krajowych wytycznych do projektowania urządzeń do infiltracji wód opadowych. Większość projektów wykonuje się w oparciu o wytyczne ATV-A138 „Budowa i wymiarowanie urządzeń do scentralizowanego wsiąkania w grunt wód opadowych bez szkodliwych zanieczyszczeń”.

Przy wymiarowaniu urządzeń do infiltracji wód opadowych bagatelizuje się zjawisko uszczelniania powierzchni chłonnych powstające w wyniku odkładania się zawieszin zawartych w wodach opadowych. Wytyczna ATV-A138 zaleca przyjmowanie do obliczeń powierzchni infiltracji wartości współczynnika filtracji na poziomie połowy wartości współczynnika filtracji gruntu [6], co nie odzwierciedla dynamicznych zmian współczynnika filtracji wywołanych procesem kolmatacji. Założenie, że współczynnik filtracji jest stały w czasie eksploatacji urządzeń jest nie tylko błędne, ale nawet szkodliwe, gdyż w miarę upływu czasu zachodzi potrzeba przeprowadzenia modernizacji elementów systemu, co wiąże się z dodatkowymi nakładami finansowymi. Uwzględnienie zjawiska kolmatacji jest szczególnie ważne przy projektowaniu urządzeń do podziemnej infiltracji wód opadowych, gdyż prace związane z ich remontem, w tym zabiegi dekolmatacji, są kosztowne i trudne do przeprowadzenia.

Celem przeprowadzonych badań było poznanie zmian oporu hydraulicznego powierzchni chłonnych w czasie infiltracji modelowych zawieszin do gruntu, z wykorzystaniem stosowanych w praktyce ażurowych elementów prefabrykowanych. Niektóre aspekty omawianych zagadnień można znaleźć w pracach [7,8].

Wyznaczenie oporu hydraulicznego

Infiltracja wody do gruntu to proces wnikania i przemieszczania się wody pod wpływem sił grawitacji i dyfuzji. W profilu przekroju gruntu tworzą się cztery charakterystyczne strefy (rys. 1):

- strefa pełnego nasycenia gruntu wodą,
- strefa przejściowa,
- strefa przekazywania wody ze strefy nasycenia do strefy zwilżania,
- strefa zwilżania gruntu, w której znajduje się front (czoło) zwilżania gruntu wodą.



Rys. 1. Schemat przemieszczania się wody w gruncie o niepełnym nasyceniu wodą [10]

Układ poszczególnych stref w gruncie podczas infiltracji zależy od czasu trwania zjawiska, właściwości gruntu, wysokości swobodnego zwierciadła wody nad powierzchnią gruntu, wysokości strefy aeracji, a przede wszystkim od przestrzennego rozkładu zawartości wody w gruncie.

Przegląd modeli opisujących zmiany chwilowej prędkości infiltracji wody do gruntu można znaleźć w pracach [9,10]. Przy założeniu, że chwilową prędkość infiltracji można opisać zależnością:

$$q = \frac{H}{R} \quad (1)$$

w której:

q – chwilowa prędkość infiltracji wody do gruntu, cm/min
 H – wysokość słupa wody nad powierzchnią chłonną, cm
 R – zastępczy opór hydrauliczny wszystkich czterech charakterystycznych stref powstających w czasie infiltracji, min
można wyznaczyć zależność $H(t)$ dla charakterystycznych warunków pracy zbiornika infiltracyjnego w postaci wzorów:

– w czasie zalewania powierzchni chłonnej (Q_F) ze stałym natężeniem:

$$H(t) = Q_F R_z \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{R_z}\right) \right) \quad (2)$$

– w czasie opróżniania, przy braku dopływu wody do zbiornika:

$$H(t) = H(0) \exp\left(-\frac{t}{R_0}\right) \quad (3)$$

w których:

t – czas obserwacji, min

R_z i R_o – zastępczy opór hydrauliczny odpowiednio w czasie zalewania i opróżniania, min
 $H(0)$ – wysokość słupa wody w chwili ustania dopływu do urządzenia, cm

Stanowisko badawcze

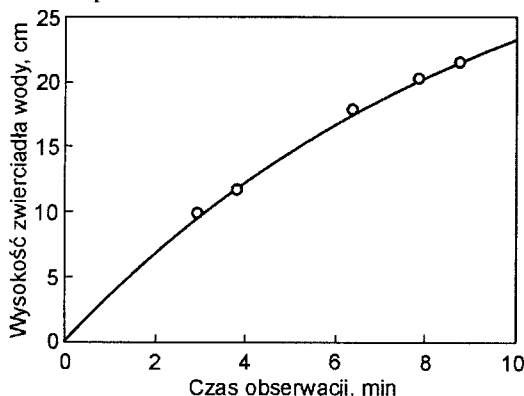
Stanowisko do badań zlokalizowano na terenie Zakładu Techniki Sanitarnej Wsi Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wykonano je z modułów stosowanych do podziemnej infiltracji wód deszczowych o wymiarach (szer. $\times$ dł. $\times$ wys.) $0,5 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$. W modułach tych 43% powierzchni ścian stanowiły otwory umożliwiające przesiąkanie wody do gruntu. Moduły zostały owinięte geowłókniną polipropylenową o grubości 1,6 mm. Moduły 1 i 2 były umieszczone w glinach piaszczystych, a dno modułu 3 było posadowione w glinie zwięzłej, która zalegała (licząc od dna) do głębokości 0,45 m pod powierzchnią terenu, a powyżej znajdowały się gliny piaszczyste.

Moduł 1 zalewano zawiesiną bentonitu, natomiast moduły 2 i 3 zawiesiną kaolinu. Jednorazowo do skrzyń wprowadzono 60 dm^3 zawiesiny o zawartości bentonitu/kaolinu $2,5 \text{ g/dm}^3$. Do badań zastosowano zawieszinę sporządzoną na bazie wody wodociągowej oraz po kilkudobowym okresie namoczenia, aby wyeliminować proces pęcznienia minerałów. Czas zalewania wynosił 8 ± 10 min. W trakcie badań określono czas trwania eksperymentu oraz zmiany położenia zwierciadła wody.

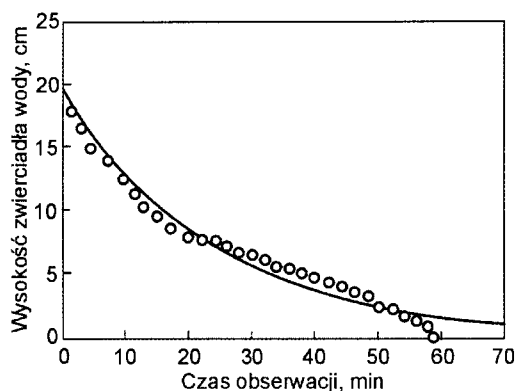
Wyniki badań

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe zmiany wysokości wody, zaobserwowane w modułach w okresie ich zalewania i opróżniania. Wyliczone funkcje regresji bardzo dobrze opisywały obserwowane zmiany wysokości wody w modułach w czasie ich zalewania i opróżniania. Współczynniki determinacji mieściły się w przedziale od 0,858 do 0,999, przy czym tylko w dwóch wypadkach były mniejsze od 0,9.

Modele opisane równaniami (2) i (3) pozwalają określić zastępczy opór hydrauliczny. Uzyskana duża statystyczna wiarygodność tych związków czyni je przydatnym narzędziem diagnostycznym do oszacowania zdolności infiltracyjnych gruntów przeznaczonych pod budowę urządzeń chłonnych oraz stopnia ich zakolmatowania.



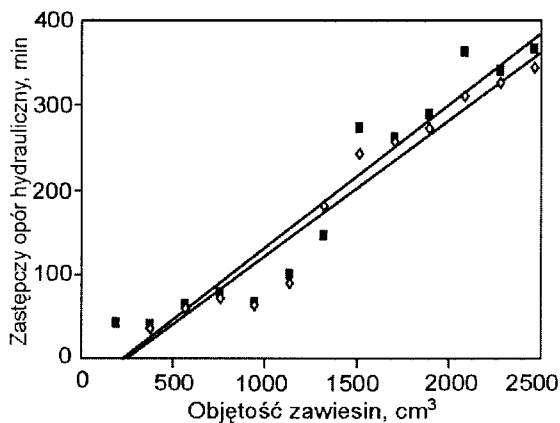
Rys. 2. Porównanie zmian poziomu wody w czasie zalewania modułu 2 zawiesiną kaolinu (15-09-2003) z funkcją opisaną równaniem (2)



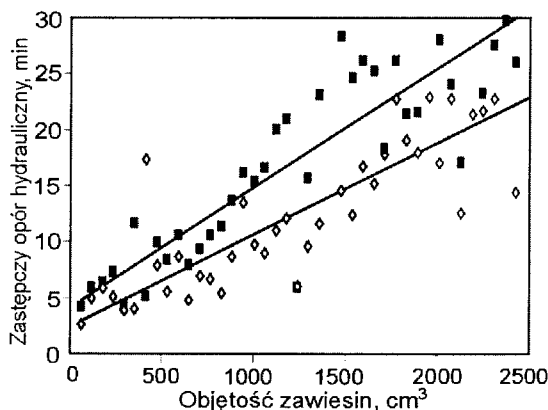
Rys. 3. Porównanie zmian poziomu wody w czasie opróżniania modułu 2 (15-09-2003) z funkcją regresji opisaną ogólnym modelem (3)

Na rysunkach 4–6 przedstawiono zależności pomiędzy objętością zawiesiny bentonitu/kaolinu wprowadzonej wraz z infiltrującą wodą a oporami hydraulicznymi ustalonymi w fazie zalewania i opróżniania modułów badawczych. Obserwowane zmiany dobrze opisywała funkcja liniowa.

W wypadku modułu 1, zalewanego zawiesiną bentonitu, uzyskano dużą zgodność wyników obliczeń zastępczych oporów hydraulicznych dla fazy zalewania i opróżniania (rys. 4). Bentonit wytworzył na powierzchni geowłókniny zwarty filtr namywany, przy czym cząstki zawiesiny bentonitu zostały odłożone głównie na powierzchni geowłókniny. Opory hydrauliczne bardzo szybko rosły w miarę wzrostu objętości zawiesin bentonitu/kaolinu wprowadzonych wraz z infiltrującą wodą.



Rys. 4. Porównanie oporów hydraulicznych ustalonych dla fazy zalewania (punkty czarne) i opróżniania (punkty białe) dla modułu 1, zamontowanego w glinie piaszczystej, zalewanego zawiesiną bentonitu

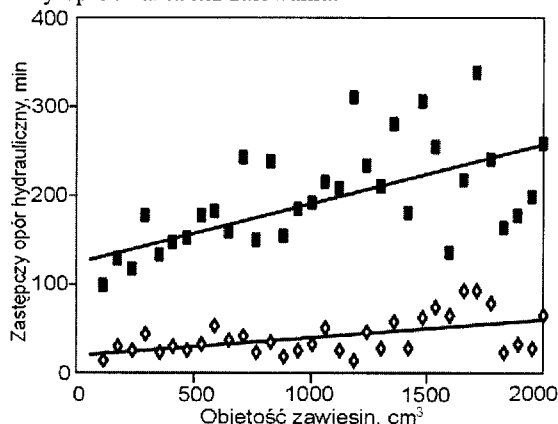


Rys. 5. Porównanie oporów hydraulicznych ustalonych dla fazy zalewania (punkty czarne) i opróżniania (punkty białe) dla modułu 2, zamontowanego w glinie piaszczystej, zalewanego zawiesiną kaolinu

Zastępcze opory hydrauliczne dla modułu 2, zalewanego zawiesziną kaolinu, zamontowanego w podobnych warunkach gruntowych jak moduł 1, nie wykazały tak szybkiego wzrostu w miarę czasu trwania eksperymentu. W odróżnieniu do wyników eksperymentu na stanowisku zalewanym zawiesziną bentonitu, zaobserwowano istotne różnice pomiędzy wartościami oporów wyliczonych w fazie zalewania i opróżniania tego modułu, przy czym wyliczone opory hydrauliczne były wyższe w fazie opróżniania niż zalewania. Różnica między tymi oporami rosła w miarę wzrostu objętości zawieszin wprowadzonych wraz z infiltrującą wodą, co można wytłumaczyć postępującą kolmatacją geowłókniny oraz warstwy powierzchniowej gruntu. Niższe wartości wyliczonego zastępczego oporu hydraulicznego w fazie zalewania, w porównaniu z fazą opróżniania, były wynikiem oddziaływania ssania kapilarnego gruntu. W miarę nasycania się wierzchniej warstwy gruntu wodą następowało ustabilizowanie warunków hydraulicznych, a to wpływało na zmiany chwilowej prędkości infiltracji wody do gruntu. Oznacza to, że wyliczone opory hydrauliczne zależały od warunków hydraulicznych i gruntowych.

W wypadku infiltracji wody z zawiesziną kaolinu dochodziło do głębokiej kolmatacji gruntu. Porównując wartości zastępczych oporów hydraulicznych gruntu uzyskanych dla bentonitu (rys. 4) z wartościami uzyskanymi dla kaolinu (rys. 5) można zauważyć, że wartości te były znacznie mniejsze dla kaolinu. Oznacza to, że głęboka kolmatacja gruntu zawiesziną kaolinu nie wpłynęła w tak istotny sposób na wzrost oporów hydraulicznych, jak powierzchniowa kolmatacja geowłókniny zawiesziną bentonitu. Można z tego wnioskować, że powierzchniowe zatrzymywanie zawieszin na geowłókninie chroniło grunt przed kolmatacją głęboką, lecz przyczyniło się do szybkiego wzrostu oporów hydraulicznych.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki obliczeń zastępczych oporów hydraulicznych dla modułu 3 zalewanego zawiesziną kaolinu zamontowanego w glinie zwięzłej. Podobnie jak dla modułu 2, uzyskano większe wartości oporów hydraulicznych dla fazy opróżniania niż zalewania.



Rys. 6. Porównanie oporów hydraulicznych ustalonych dla fazy zalewania (punkty czarne) i opróżniania (punkty białe) dla modułu 3, zamontowanego w glinie zwięzłej, zalewanego zawiesziną kaolinu

Miarą szybkości wzrostu wartości zastępczego oporu hydraulicznego, w zależności od objętości zawieszin wprowadzonych do modułów, jest współczynnik kierunkowy funkcji liniowej. Największym współczynnikiem kierunkowym charakteryzowała się prosta opisująca wpływ zatrzymanej na geowłókninie i w strefie kolmatacji objętości zawieszin na umowny zastępczy opór hydrauliczny dla modułu 1 zalewanego zawiesziną bentonitu. Współczynnik ten dla fazy zalewania wyniósł 0,167, podczas gdy dla modułu 3, zalewanego

zawiesziną kaolinu i zamontowanego w glinie zwartej, był prawie ośmiokrotnie mniejszy i wyniósł 0,0201. Najwolniej rósł zastępczy opór hydrauliczny w wypadku modułu 2. Podobną zależność uzyskano dla fazy opróżniania.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki pozwalają wnioskować, że w wypadku powierzchniowego zatrzymywania zawieszin na geowłókninie zastępczy opór hydrauliczny dla fazy zalewania był porównywalny z oporem hydraulicznym wyliczonym dla fazy opróżniania zbiornika infiltracyjnego. W wypadku kolmatacji głębszej, zastępczy opór hydrauliczny w fazie zalewania był znacznie mniejszy od oporu w fazie opróżniania, a różnica między tymi wartościami zależała od rodzaju gruntu oraz stopnia zakolmatowania geowłókniny i przypowierzchniowej warstwy gruntu.

Uzyskane wyniki są zachęcające do prowadzenia dalszych prac nad wykorzystaniem modeli opisanych równaniami (2) i (3) w diagnozowaniu zdolności filtracyjnych i kolmatacji gruntu w czasie eksploatacji urządzeń do infiltracji wód opadowych.

Badania wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 3 P04G 051 25 pt. „Wykorzystanie granulometru laserowego w monitoringu jakości wód powierzchniowych”.

LITERATURA

1. J. ŁOMOTOWSKI, E. BURSZTA-ADAMIAK, E. KOZŁOWSKA, P. LICZNAR: Wybrane zagadnienia projektowania kanalizacji deszczowej. Mat. „V Zjazdu Kanalizatorów Polskich POLKAN 2003”, PZITS, Łódź 2003.
2. A. NOWAKOWSKA-BŁASZCZYK: Projektowanie systemów infiltracyjnych (cz. 1). Wnioski z doświadczeń projektowych. Rynek Instalacyjny, 2004, nr 11, s. 43–48.
3. Z. SULIGOWSKI, K. GUDELIS-TARASZKIEWICZ: Infiltracja do gruntu – alternatywa dla tradycyjnej kanalizacji wód opadowych. Przegląd Komunalny, 2003, nr 5, ss. 76–77.
4. Z. SULIGOWSKI, K. GUDELIS-TARASZKIEWICZ: Alternatywne rozwiązanie kanalizacji wód opadowych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2003, nr 12, ss. 423–426.
5. W. GEIGER, H. DREISEITL: Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych; Poradnik retencjonowania i infiltracji wód deszczowych do gruntu na terenach zabudowanych. Oficyna Wydawnicza Projprzem-EKO, Bydgoszcz 1999.
6. E. ALFAKIH, S. BARRAUD, I. MARTINELLI: A study of storm-water infiltration system feasibility and design. Wat. Sci. & Techn., 1999, Vol. 39, No. 2, pp. 225–231.
7. E. BURSZTA-ADAMIAK, J. ŁOMOTOWSKI: Możliwości wykorzystania granulometru laserowego do badań procesu infiltracji wody. Ochrona Środowiska, 2003, nr 3, ss. 45–48.
8. E. BURSZTA-ADAMIAK: Badania nad zastosowaniem geowłóknin do przeciwdziałania kolmatacji w procesie infiltracji. Rozprawa doktorska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005 (praca nie publikowana).
9. J.R. WILLIAMS, Y. OUYANG, J.S. CHEN, V. RAVI: Estimation of infiltration rate in vadose zone: Application of selected mathematical models. Vol. II, EPA/600/R-97/128b.
10. V. RAVI, J.R. WILLIAMS: Estimation of infiltration rate in vadose zone: Application of selected mathematical models. Vol. I, EPA/600/R-97/128a.

Burszta-Adamiak, E., Łomotowski, J. Head Loss in Silted-up Layer During Periodic Water Infiltration into the Ground. *Ochrona Środowiska* 2006, Vol. 28, No. 1, pp. 29–32.

Abstract: During water infiltration into the ground, suspended solids accumulate in the interior of the filtering medium and thus contribute to the occurrence of the silting-up phenomenon. In recent years, the attention of scientists and engineers has shifted towards the infiltration of the runoff from the roof surface into the ground *via* subsurface facilities. In order to limit the clogging process, use is made of geotextiles, which are spread on the ground surface. In such systems, the infiltration process follows a periodic pattern. The investigations reported on in this paper were carried out using a semi-technical experimental setup

to describe the head loss in the silted-up layer during infiltration of suspended solids. The paper also includes original models describing the head loss in the silted-up layer during filling and draining of the subsurface systems for rainwater infiltration. Use was made of a bentonite suspension, which produces surface clogging of the geotextiles applied, and a kaolin suspension, which penetrates into the ground. On analyzing the results of the head-loss investigations, it was possible to work out how the type of silting-up (surface clogging, penetration into the ground) influences the rise in head loss during rainwater infiltration into subsurface systems.

Keywords: Infiltration, clogging processes, head loss, modeling.