

## ZASTOSOWANIE METODY WYMIAROWANIA NIECEK INFILTRACYJNO-RETENCYJNYCH DO ZAGOSPODAROWANIA WÓD OPADOWYCH

Ewa Suchanek<sup>1</sup>, Maciej Mrowiec<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: esuchanek@ath.bielsko.pl

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, e-mail: mrowiecm@is.pcz.czyst.pl

### STRESZCZENIE

Najprostszym sposobem „wykorzystania” wód opadowych jest ich zatrzymanie w miejscu opadu i skierowanie do gruntu. Systemy do wykorzystania wody deszczowej mogą być realizowane w różnych wariantach. W najprostszym układzie jest to zbiornik, do którego trafia odpływ z dachu. Instalowanie takiego zbiornika (niecki) przyczynia się do gospodarowania wodami deszczowymi. W artykule przedstawiono zastosowanie metody wymiarowania niecek infiltracyjnych polegającej na wykonaniu obliczeń, dzięki którym można określić zmiany wymiarów niecki w odniesieniu do zmiany warunków gruntowych z zachowaniem tego samego napełnienia.

**Słowa kluczowe:** infiltracja, wody opadowe, zbiorniki retencyjne, niecki infiltracyjne.

### USE THE METHOD OF DIMENSIONING OF INFILTRATION-RETENTION BASINS FOR MANAGEMENT OF RAINWATER

#### ABSTRACT

The easiest way to “use” rainwater is its detention in places where it falls, and referral to the ground. Systems of rainwater utilization system can be implemented in different variants. In the simplest configuration it is a tank, with a runoff from the roof. The principle of operation of the tank (basin) is a method for rain water management. The article presents a practical application of methods of dimensioning infiltration basins by performing calculations showing how to alter the dimensions of the basin when changing the ground conditions while maintaining the same filling.

**Keywords:** infiltration basins, infiltration, rainwater, retention reservoirs.

### WSTĘP

Coraz większa urbanizacja obszarów miejskich powoduje wzrost uszczelnienia powierzchni zlewni, co prowadzi do częstszego występowania zjawisk powodziowych oraz skutkuje zwiększeniem zrzutu ładunków zanieczyszczeń do odbiorników. Infiltracja wód opadowych jest w tym przypadku najprostszym i najkorzystniejszym ekonomicznie rozwiązaniem, dlatego powinna być rozpatrywana jako docelowe rozwiązanie w pierwszej kolejności, przy zachowaniu aspektów związanych z ochroną jakości wód podziemnych [8].

Oprócz zjawisk powodujących nadmiar wody, występują również jej deficyty. Objawia się to w postaci susz, które powodują systematyczne obniżanie się poziomu wód gruntowych. Wody

opadowe z terenów zurbanizowanych można w sposób konwencjonalny odprowadzić systemem kanalizacji zbiorczej lub alternatywnie zagospodarować w miejscu ich powstawania przez retencjonowanie oraz infiltrację.

### REGULACJA PRZEPŁYWÓW ZBIORNIKIEM RETENCYJNYM

Obecne kierunki rozwoju systemów odwodnienia faworyzują rozwiązanie techniczne, umożliwiające utrzymanie zamkniętego obiegu wody w obrębie danej zlewni, głównie poprzez odprowadzenie wód opadowych do gruntu. W ten sposób zmniejszane są nie tylko chwilowe wartości natężeń przepływu, ale także objętości spływu

powierzchniowego odprowadzanego bezpośrednio do odbiorników oraz ładunek większości wskaźników zanieczyszczeń.

Retencjonowanie wód opadowych jest realizowane w różnej skali. W skali miasta ścieki opadowe mogą być gromadzone w stawach (ochrona przeciwpowodziowa, funkcja oczyszczająca, estetyczna, rekreacyjna, a także do nawodnień parków). Popularnym sposobem retencjonowania i opóźniania odpływu wód deszczowych w miastach są zielone dachy (rys. 1).

W skali indywidualnego budynku korzystne jest gromadzenie wód deszczowych (głównie spływu z dachu) w zbiornikach (oczkach wodnych lub zbiornikach zamkniętych) (rys. 2).

Szczególne zastosowanie mają tu zbiorniki otwarte, które dodatkowo opróżniają się poprzez parowanie, a tak jak wcześniej wspomniano, zwiększają wartość estetyczną krajobrazu miejskiego. Urządzenia infiltracyjne mogą być uznane za rozwiązania podstawowe, stosowane na większości zlewni, wówczas kanalizacja podziemna powinna przyjmować tylko tę objętość ścieków, która nie zdołała wsiąknąć do gruntu.

Każda forma retencjonowania wody przynosi wymierne korzyści w postaci: opóźnienia odpływu i ochrony odbiornika, zabezpieczenia ogrodu na okres suszy, oszczędności wody wodociągowej, a niekiedy ma wymiar estetyczny. Połączenie tych form tworzy tzw. zrównoważony miejski system odwadniający (ang. SUDS). Są to rozwiązania, zaprojektowane w celu spowolnienia spływu powierzchniowego, zapewniają one również oczyszczanie wód, ochronę jakości zasobów wodnych oraz tworzą nowe siedliska.



**Rys. 1.** Przykład zielonych dachów  
[<http://www.bzg.pl/node/417>]  
**Fig. 1.** Example of green roofs

## WYMIAROWANIE ZBIORNIKÓW

Opad oraz przepuszczalność podłoża to podstawowe parametry wymiarowania, określające geometrię urządzenia oraz zapotrzebowanie na powierzchnię. Dane do wymiarowania w zakresie opadu według natężenia i częstotliwości – to wielkości miejscowe. Jeżeli w pobliżu brak własnych danych o opadach, należy sięgnąć do obserwacji najbliższej sieci meteorologicznej albo do ogólnej statystyki z literatury [4]. We wszystkich możliwościach realizacyjnych odróżnia się wsiąkanie bezpośrednie, wsiąkanie z gromadzeniem nadziemnym, wsiąkanie z gromadzeniem podziemnym, jak również inne rozwiązania kombinowane.

W artykule przedstawiono sposób wymiarowania w przypadku gromadzenia wody na powierzchni terenu. W układach wsiąkania z gromadzeniem wody na powierzchni terenu odróżnia się:

- wsiąkanie w nieckach – przebiega na otwartej, zazielenionej powierzchni, na której woda podlegająca wsiąkaniu może być przedtem czasowo gromadzona. Wymiaruje się je w taki sposób, aby spiętrzenie było krótkotrwałe (1-2 dni),
- wsiąkanie w zbiornikach – różni się od wsiąkania w nieckach większą głębokością wody oraz ściślej określonym wykonaniem technicznym. Następuje tutaj z zasady dłuższe podpiętrzenie wody podlegającej wsiąkaniu [4].

W obu przypadkach, wody deszczowe są podczyszczane przez ożywioną strefę gruntu (mikroorganizmy obecne w warstwie osadu denne-



**Rys. 2.** Przykład gromadzenie wody deszczowej  
[<http://www.aquai.pl>]  
**Fig. 2.** Example the accumulate rainwater

go). Urządzenia, które gromadzą wodę na powierzchni gruntu, wyróżniają się możliwością łatwiejszej kontroli.

## PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY WYMIAROWANIA

Wsiąkanie w nieckach jest o charakterze powierzchniowym przez ożywioną warstwę gruntu, a infiltracja poprzez wierzchnie warstwy o drobnym uziarnieniu (rys. 3). Sprawność oczyszczania jest bardzo dobra, co powoduje zatrzymanie substancji nierozpuszczalnych.

Ogólne zasady wymiarowania tego typu obiektów:

- $k_f$  nie mniej niż  $10^{-6}$  m/s,
- zapotrzebowanie powierzchni (ok. 15 m<sup>2</sup> na 100 m<sup>2</sup> powierzchni uszczelnionej),
- głębokość niecki równa ~ 0,25 m,
- ożywiona warstwa gruntu 20 do 30 cm,

Skarpy o nachyleniu nie większym od 1:2. Profil zaokrąglony [4]. Niecki nadają się do idealnego wkomponowania swoim kształtem w tereny zielone oraz pobocza dróg. Można je obsadzić rodzajowo urozmaiconymi gatunkami drzew, krzewów, trwa co spowoduje, że te „budowle hydrotechniczne” staną się elementami krajobrazu, nawet na małych działkach. W okresie nadmiaru wody retencjonują nadmiar ścieków opadowych, a w czasie suszy tego rodzaju powierzchnie zielone można wykorzystać do wypoczynku oraz zwiększyć wilgotność terenu.

Do zalet tego typu rozwiązań należy zaliczyć:

- dobrą skuteczność retencyjną,
- dobre warunki dla konserwacji,

- małe nakłady techniczne,
- dobre warunki dla wkomponowania w tereny zielone,
- możliwość obsadzenia różnorodną roślinnością.

Do wad należy zaliczyć:

- nadużywanie, np. do wyrzucania odpadów domowych lub ogrodowych w ciasno zasiedlonych obszarach,
- zapotrzebowanie powierzchni 10% do 20% przyłączonej powierzchni odwodnionej [4].

W tego typu rozwiązaniach należy unikać długotrwałego piętrzenia (max 2 dni), uszczelnienia gruntu, a dopływy doprowadzać przede wszystkim przez koryta powierzchniowe.

## Wymiarowanie niecek infiltracyjnych

Jeżeli zbiornik jest opróżniany wyłącznie przez infiltrację do gruntu to równanie bilansu przepływów będzie miało postać [4]:

$$\frac{dh_z}{dt} = \frac{(Q_{dop(t)} - Q_{INF})}{F_{INF}}$$

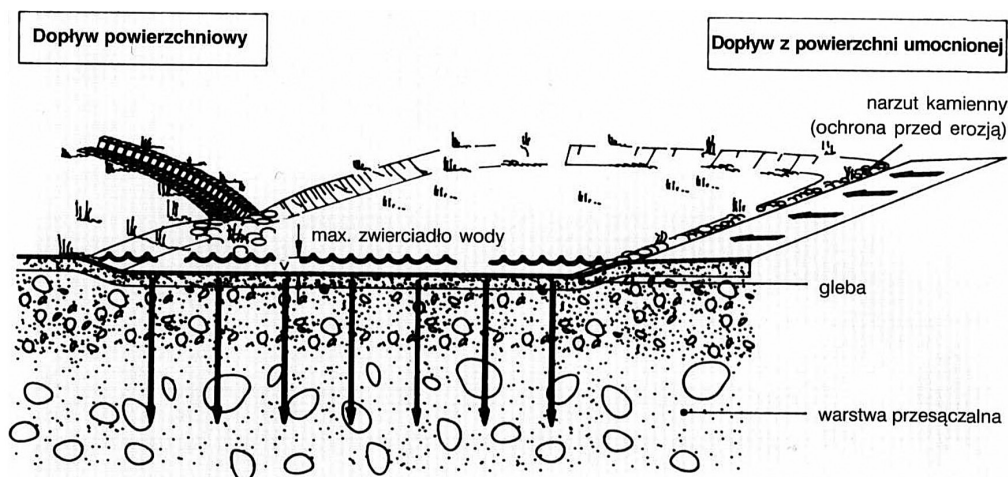
gdzie:  $dh_z$  – zmiana poziomu napełnienia zbiornika dla przyrostu czasu  $dt$ ,

$Q_{dop(t)}$  – dopływ ścieków do zbiornika,

$Q_{INF}$  – natężenie infiltracji do gruntu,

$F_{INF}$  – pole powierzchni infiltracyjnej zbiornika.

W przypadku zbiorników naturalnych (otwartych) o przepuszczalnych skarpach pole powierzchni  $F_{INF}$  zmienia się wraz z napełnieniem. W takich przypadkach do obliczeń należy przyjąć powierzchnię przy połowicznym napełnieniu zbiornika [4]:



Rys. 3. Wsiąkanie w niecce (przekrój) [4]  
Fig. 3. Soaks into in the basin (cross-section)



$$F_{INF} = \frac{F_{INFmax} + F_{INFmin}}{2}$$

gdzie:  $F_{INFmax}$  – pole powierzchni infiltracyjnej przy napełnieniu maksymalnym,  
 $F_{INFmin}$  – pole powierzchni infiltracyjnej przy napełnieniu minimalnym (powierzchnia dna zbiornika).

Natężenie infiltracji, zgodnie z wzorem Darcy można zapisać jako:

$$Q_{INF} = k \cdot F_{INF}$$

gdzie:  $k$  – współczynnik filtracji gruntu.

W rzeczywistości natężenie infiltracji do suchego gruntu jest większe w początkowej fazie, malejąc stopniowo aż do momentu osiągnięcia stanu całkowitego nasycenia (wszystkie pory gruntu wypełnione wodą). W obliczeniach projektowych (m.in. niemieckich normach DWA) przyjmuje się wariant najbardziej niekorzystny, tzn. że w całym czasie trwania deszczu wartość współczynnika filtracji jest stała i równa wartości zmierzonej dla warunków całkowitego nasycenia [3, 4]. Dodatkowo do obliczeń przyjmowany jest tzw. współczynnik bezpieczeństwa, uwzględniający proces kolmatacji, który będzie zachodził w strefie filtracyjnej, stąd [6]:

$$Q_{INF} = c_k \cdot k_n \cdot F_{INF}$$

gdzie:  $k_n$  – współczynnik filtracji w strefie nasyconej gruntu [m/s],

$c_k$  – współczynnik bezpieczeństwa uwzględniający proces kolmatacji podłoża filtracyjnego – zwykle przyjmowany jako równy 0,5 ale w uzasadnionych przypadkach może to być 0,3.

W odniesieniu do powierzchni infiltracyjnej zbiornika istotne jest też ustalenie wzajemne relacji pomiędzy powierzchnią odwadnianą ( $F_{ZR}$ ) a infiltracyjną ( $F_{INF}$ ) [7]:

- jeżeli urządzenia do infiltracji są umieszczone pod powierzchnią szczelną (np. pod powierzchnią parkingu) to powierzchnia całkowita  $F_{TOT} = F_{ZR}$ ,
- jeżeli urządzenia do infiltracji są zlokalizowane obok odwadnianych powierzchni szczelnych to powierzchnia całkowita  $F_{TOT} = F_{ZR} + F_{INF}$ .

Dla ustalonej wartości  $F_{TOT}$  i  $F_{INF}$  można obliczyć bezwymiarowy udział powierzchni infiltracyjnej [7]:

$$f_{INF} = \frac{F_{INF}}{F_{TOT}} \quad [-]$$

który jest podstawowym, obok współczynnika filtracji ( $k$ ), parametrem przy wymiarowaniu zbiorników infiltracyjnych.

Większość metod wymiarowania tego urządzeń infiltracyjnych (zbiorników, niecek, powierzchni wsiąkowych) opiera się na krzywych IDF (ang. *intensity-duration-frequency*), bazujących na statystycznie opracowanych danych o opadach dla kraju bądź regionu. W Polsce najpowszechniej stosowanym wzorem IDF jest wzór Błaszczyka, natomiast w ostatnim czasie coraz częściej stosowany jest wzór Bogdanowicz i Stachego opracowany na podstawie ogólnopolskich (20 stacji) danych z lat 1960–1990 [1, 5]. Wzorem tym oblicza się wysokość opadu deszczu o czasie trwania  $t_d$  i prawdopodobieństwie wystąpienia  $p$ :

$$P = 1,42 \cdot t_d^{0.33} + \alpha (-\ln p)^{0.548} \quad [\text{mm}]$$

gdzie:  $t_d$  – czas trwania deszczu [min],

$p$  – prawdopodobieństwo wystąpienia deszczu,

$\alpha$  – współczynnik geograficzny, zależny od położenia miejscowości (tabela 1).

Linia podziału regionalnego przebiega w przybliżeniu w osi miast: Poznań – Toruń – Olsztyn. Region centralny nie obejmuje natomiast obszaru Sudetów i Karpat (przede wszystkim miejscowości położonych na południe od Krakowa i Rzeszowa). Zarówno wzory jak i podział na regiony zmienia się istotnie przy opadach dłuższych niż 12h, jednak w przedmiotowych rozważaniach opady te nie były brane pod uwagę.

Analiza statystyczna danych pluwiograficznych dla miasta Wrocławia [5] wykazała, że wartości używane dla  $c = 1$  wg wzoru IMGW są zaniżone w stosunku do rzeczywistości występujących. Potwierdziły to zresztą obserwacje autora dla danych pluwiograficznych zarejestrowanych w Częstochowie. Dlatego też sugeruje się by wyniki uzyskiwane dla  $c = 1$  pomnożyć przez 2, w celu zniwelowania tego błędu. Alternatywnym sposobem jest obliczenie wymaganej pojemności stosując wzór Błaszczyka.

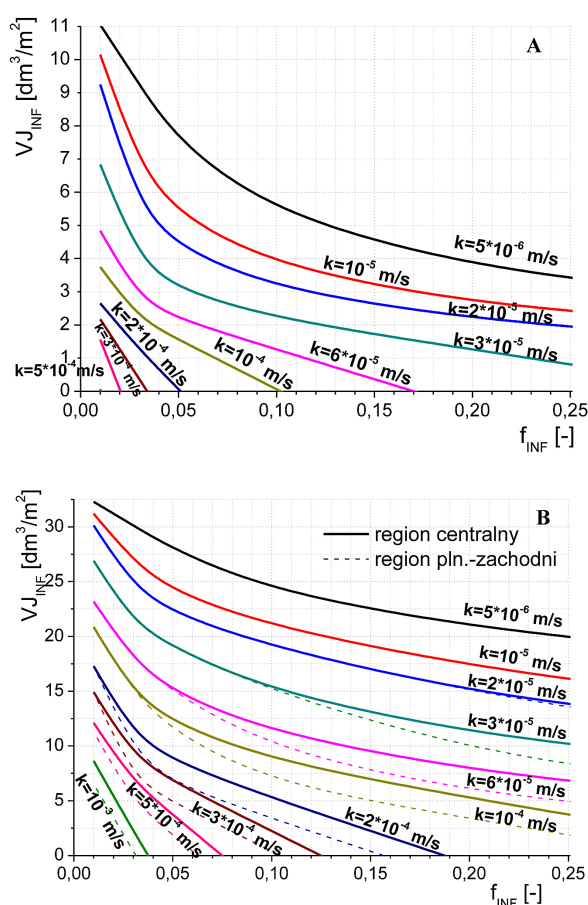
Wynikiem obliczeń było opracowanie nomogramów do wymiarowania zbiorników infiltracyjnych dla zmiennych wartości  $c$  oraz wartości współczynnika filtracji  $k \in (10^{-3}; 5 \cdot 10^{-6})$  m/s.

### Przykład wymiarowania niecek infiltracyjnych

W celu przedstawienia praktycznego zastosowania metod wymiarowania niecek infiltracyjnych wykonano obliczenia pokazujące jak

**Tabela 1.** Wartość współczynnika geograficznego  $\alpha$   
**Table 1.** The value of the geographical factor  $\alpha$

| Region           | Wartość współczynnika $\alpha$    | Czas trwania deszczu |
|------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Region pñ.-zach. | $\alpha = 3,92 \ln(T+1) - 1,662$  | 10 – 30 min          |
|                  | $\alpha = 8,944 \ln(T) - 18,6$    | 30 – 60 min          |
| Region centralny | $\alpha = 4,693 \ln(T+1) - 1,249$ | 10 – 60 min          |
| Cały kraj        | $\alpha = 4,693 \ln(T+1) - 1,249$ | 1 – 2 h              |
|                  | $\alpha = 2,223 \ln(T) + 10,639$  | 2 – 12 h             |



**Rys. 4.** Nomogramy do wymiarowania niecek infiltracyjnych: a)  $c = 1$  rok, b)  $c = 2$  lata

**Fig. 4.** Nomograms for dimension basins of infiltration: a)  $c = 1$  year, b)  $c = 2$  years

zmieniałyby się wymiary niecki przy zmianie warunków gruntowych z zachowaniem tego samego napełnienia.

Na nomogramach umożliwiających wyznaczenie jednostkowej pojemności retencyjnej dla urządzeń do infiltracji wód opadowych (rys. 4), wyszukano pojemność retencyjną ( $VJ_{INF}$ ) dla zmiennego  $f_{INF}$  oraz wartości współczynnika filtracji  $k \in (10^{-3}; 5 \cdot 10^{-6})$  m/s. Analizę

przeprowadzono w oparciu o wzór Błaszczyka, dla częstotliwości występowania deszczu  $c = 1$  rok oraz  $c = 2$  lata.

Następnie sprawdzono obliczenia poprzez zweryfikowanie otrzymanego napełnienia niecki ( $h$ ). Przyjęto założenie minimalizacji terenu zajmowanego przez nieckę, co oznaczało dążenie do osiągnięcia maksymalnej obliczeniowej wartości napełnienia (sugerowana wartość w literaturze wynosi  $h = 0,25$  m). Wymagane napełnienie oblicza się poprzez podzielenie uzyskanej objętości przez przyjętą powierzchnię.

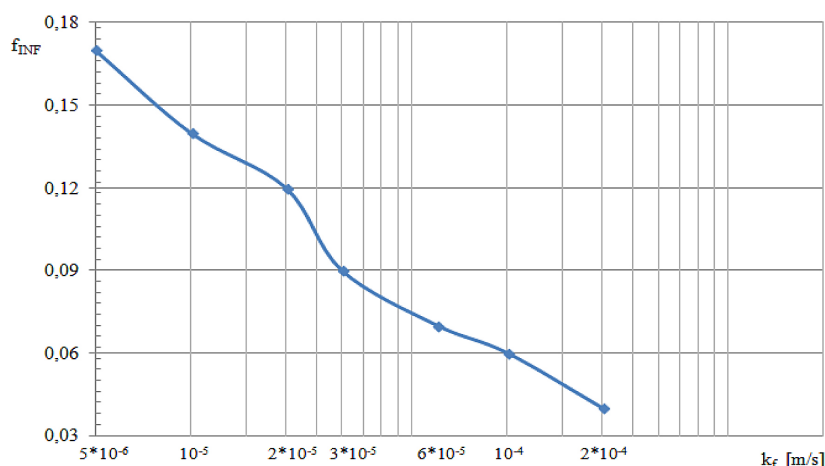
Uzyskane wyniki względnej powierzchni infiltracyjnej ( $f_{INF}$ ) dla zmiennej wartości współczynnika przepuszczalności  $k_f$  przedstawiono na wykresach 5 i 6.

Opracowane wykresy wskazują na bardzo istotny wpływ współczynnika  $k_f$  na wymaganą wielkość niecki. Przykładowo, dla  $c = 2$  lata powierzchnia względna niecki może wynosić od 10% do 25% przyłączonej powierzchni odwadnianej. Dokładna ocena jest szczególnie istotna w przypadkach lokalizacji urządzeń na terenach silnie zurbanizowanych, gdzie wpływa na ekonomiczne uzasadnienie realizacji inwestycji.

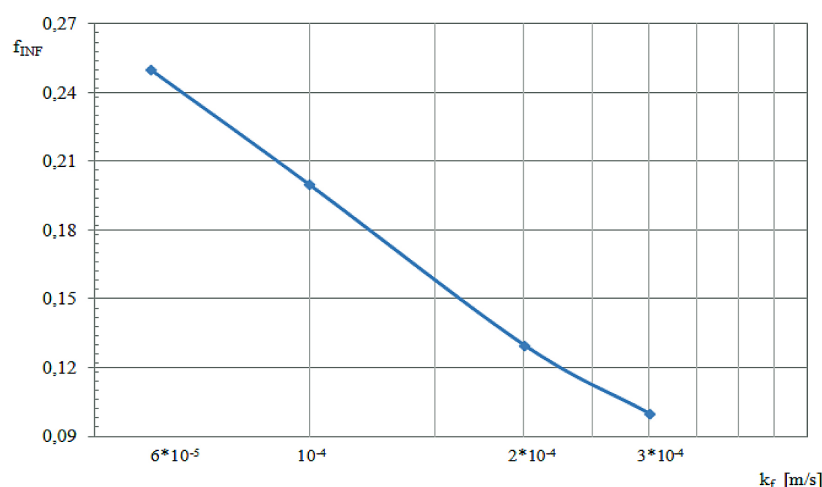
## PODSUMOWANIE

Podstawą działań kształtowania koncepcji zrównoważonego rozwoju środowiska miejskiego jest retencja wód opadowych w miejscu ich wystąpienia. Jest to prawidłowe zagospodarowanie wód opadowych. Badania poświęcone temu zagadnieniu zaowocowały sformułowaniem wielu koncepcji wdrażanych z powodzeniem na całym świecie, m.in. amerykańska Low Impact Development, australijska Water Sensitive Urban Design, brytyjska Sustainable Urban Drainage Systems, niemiecka Decentralised Rainwater/Stormwater Management.

Opracowane nomogramy umożliwiają wyznaczenie wymaganej pojemności retencyjnej niecek w oparciu o dwa parametry: współczynnik filtracji  $k_f$  (m/s) oraz względny udział powierzchni infiltracyjnej  $f_{INF}$ , przy zadanym poziomie niezawodności działania zbiornika (częstotliwość występowania deszczu  $c$ ) oraz dla ustalonej głębokości niecki ( $h$ ). Umożliwiają one oszacowanie minimalnej wymaganej powierzchni, którą trzeba przeznaczyć dla potrzeb budowy urządzenia przy znanych warunkach gruntowych ( $k_f$ ).



**Rys. 5.** Względna powierzchnia niecki w zależności od zmiany parametru  $k_f$  dla  $c = 1$  rok  
**Fig. 5.** The relative area of the basin, depending on the parameter change  $k_f$  for  $c = 1$  year



**Rys. 6.** Względna powierzchnia niecki w zależności od zmiany parametru  $k_f$  dla  $c = 2$  lata  
**Fig. 6.** The relative area of the basin, depending on the parameter change  $k_f$  for  $c = 2$  years

## LITERATURA

1. Bogdanowicz E., Stachy J. 1998. Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe, Materiały badawcze, Seria: Hydrologia i Oceanologia nr 23, IMiGW, Warszawa.
2. Browne D., Deletic A., Mudd G., Fletcher T.D. 2007. A new model for stormwater infiltration systems. 6th Int. Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, 623–630.
3. Burszta-Adamiak E., Łomotowski J. 2007. Badania kolmatacji gruntu w urządzeniach do infiltracji wód opadowych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Łódź, vol. 46, 75–84.
4. Geiger W., Dreiseitl H. 1999. Nowe sposoby odprowadzania wód deszczowych. Projprzem-EKO, Bydgoszcz.
5. Licznar P., Łomotowski J., Rojek M. 2006. Pomiar i przetwarzanie danych opadowych dla potrzeb projektowania i eksploatacji systemów odwodnieniowych. Futura, Poznań.
6. Mermillod-Blondin F., Nogaro G., Gibert J. 2007. Clogging of infiltration basins by stormwater sediments: influence of invertebrate bioturbation. 6th Int. Conference on Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water Management, Lyon, 599–606.
7. Mrowiec M. 2008. Wymiarowanie urządzeń do infiltracji wód deszczowych w oparciu o krzywe natężenia opadów. VII Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowe technologie w instalacjach i sieciach wodociągowych i kanalizacyjnych, Szczyrk, 283–296.
8. Mrowiec M., 2009. Efektywne wymiarowanie i dynamiczna regulacja kanalizacyjnych zbiorników retencyjnych. Monografia. Wyd. Politechn. Częstochowskiej.
9. Mrowiec M., 2008. Zbiorniki infiltracyjno-retencyjne w systemach kanalizacyjnych – zakres zastosowania, wymiarowanie i eksploatacja. [W:] Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna INFRAEKO, Paczółtowice, 151–164.