

Milan Šerek
Stanislav Vališ
Jan Mičin

DESZCZE OBLICZENIOWE DO PROJEKTOWANIA SIECI KANALIZACYJNYCH

Nowe metody obliczeniowe kanalizacji, opracowane przy założeniu nieustalonego i nierównomiernego przepływu wód deszczowych po powierzchni zlewni i w sieciach kanalizacyjnych, a także szybki rozwój elektronicznej techniki obliczeniowej, umożliwiły wykorzystanie do obliczeń sieci kanalizacyjnych tych parametrów, których wykorzystanie we wcześniej stosowanych metodach nie było możliwe. Przy analizie procesu odpływu wód deszczowych należy równocześnie obliczać odpływ ze zlewni cząstkowych oraz przepływy w sieci, a także zazwyczaj wymiarować obiekty na sieci. Jednym z najważniejszych parametrów, który jednoznacznie wpływa na analizę ostatnich faz procesu odpływu, jest charakter deszczu miarodajnego. Ze względu na znaczenie i przebieg deszczu miarodajnego, tej dziedzinie wiedzy poświęca się obecnie coraz więcej uwagi w kraju i za granicą.

W pracy dokonano analizy oraz próby klasyfikacji poszczególnych typów deszczów miarodajnych (obliczeniowych). Ponadto przedstawiono prosty sposób wyznaczania przebiegu natężeń deszczu modelowego w stosunku do deszczu ze średnim natężeniem, a także opracowano w ten sposób wyniki uzyskane z pomiarów na terenie Brna. Wszystkie metody są dostępne w formie procedur obliczeniowych na komputerze.

Klasyfikacja deszczów obliczeniowych

Klasyczne sposoby obliczania sieci kanalizacyjnych, np. metoda granicznych natężeń oraz niektóre metody graficzne, zbudowane są przy założeniu obciążenia sieci deszczami zastępczymi o stałym natężeniu. Wprowadzenie deszczów zastępczych wywodzi się z opracowań niektórych zapisów deszczów, przy czym do niedawna nie było dokładniejszej wielkości początkowej, opisującej deszcz miarodajny stosowany w obliczeniach sieci kanalizacyjnych. Wiadomo, że zgodność omawianej metody z rzeczywistością, a tym samym jej przydatność do obliczeń sieci kanalizacyjnych, jest bardzo dyskusyjna. W miarę rozwoju techniki obliczeniowej zaczęto brać pod uwagę — jako wstępny parametr miarodajny — taki deszcz, który powodowałby dokładniejsze przybliżenie metody obliczeniowej do rzeczywistości i był

opisany w prosty sposób, umożliwiający jego praktyczne wykorzystanie. Wykres deszczu o zmiennym natężeniu i prawdopodobnym przebiegu ma początek, część wznoszącą, jedno lub więcej maksimum i część opadającą. Oczywiście deszcze zastępcze o stałym natężeniu nie tracą swojego znaczenia w szybkim obliczaniu sieci, traktowanych jako wstępny krok do optymalizacji sieci, itd.

Ze względu na to, że obecnie w dziedzinie kanalizacji nie jest wprowadzona szczegółowa klasyfikacja deszczów obliczeniowych, dlatego w niniejszej pracy dokonano próby takiej klasyfikacji. Wprowadzono następujący podział deszczów:

- deszcze rzeczywiste, zmierzone w konkretnym miejscu,
- deszcze zastępcze, opracowane na podstawie wieloletnich obserwacji i mające stałe natężenie,
- deszcze modelowe, wyprowadzone z deszczów zastępczych; zakłada się charakter zmian natężeń deszczu w czasie i szuka takiego natężenia deszczu po czasie t , aby średnie natężenie deszczu modelowego r_s w czasie t odpowiadało natężeniu deszczu zastępczego o takim samym czasie trwania,
- deszcze charakterystyczne, wywodzące się z deszczów rzeczywistych, typowe dla danego obszaru,
- deszcze miarodajne, ogólna nazwa deszczu użytego do obliczeń sieci.

Z uwagi na wagę i złożoność zagadnienia, poniżej omówiono niektóre rodzaje deszczów. Szczegółowo opisano deszcze modelowe, wyprowadzając prosty model deszczu o określonym przebiegu i znanym średnim natężeniu (równym natężeniu deszczu zastępczego).

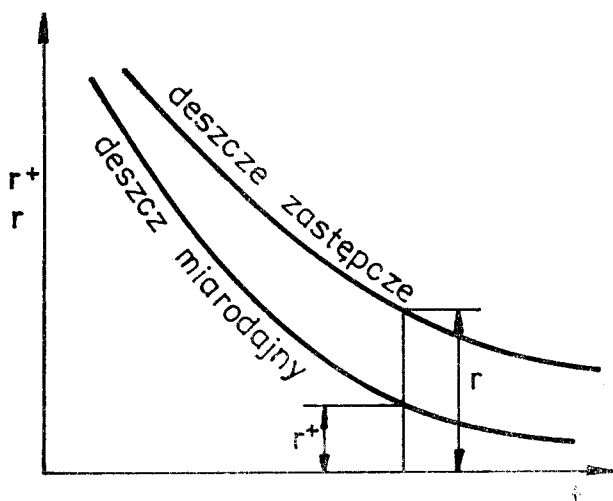
Deszcze modelowe

Deszcze modelowe mogą mieć jeden lub więcej wierzchołków, a ich przebieg dobiera się tak, aby był zgodny z założeniami przyjętej metody obliczeniowej. Dla znanego deszczu modelowego (wcześniej nazywanego deszczem miarodajnym), stosowanego w metodzie Tholiana i Čížka, przedstawiono sposób konstruowania jego przebiegu.

Przy konstruowaniu przebiegu deszczu wychodzi się (jak w przypadku większości deszczów modelowych) z natężenia deszczu zastępczego o określonej częstotliwości, przy czym każdy punkt na wykresie obrazuje średnie natężenie deszczu (rys. 1). W pierwszej fazie zakłada się,

Doc. Ing. M. Šerek, CSc., Ing. J. Mičin, CSc.: Katedra zdravotního inženýrství FAST VUT, Veseláská 230, 637 00 Brno, CSRS.

Doc. Ing. S. Vališ, CSc.: Katedra hydromeliorací FAST VUT, Veseláská 230, 637 00 Brno, CSRS.



Rys. 1. Przebieg deszczów obliczeniowych.

ze deszcz o zmiennym natężeniu ma przebieg funkcji malejącej. Z metody określania średnich natężeń deszczów (tzn. określenia najwyższych przeciętnych natężeń) wynika, że natężenie zastępcze w czasie t jest średnią wartością natężeń deszczu miarodajnego r^+ w czasie od 0 do t , czyli:

$$\int_0^t r^+ dt = r \cdot t \quad (1)$$

Ze znanej zależności:

$$r = \frac{C}{(t+B)^\alpha} \quad (2)$$

po uwzględnieniu zależności (1) i po przekształceniu otrzymuje się równanie:

$$r^+ = \frac{C}{(t+B)^\alpha} - \frac{\alpha \cdot C \cdot t}{(t+B)^{\alpha+1}} \quad (3)$$

w którym: α , B , C — parametry stałe.

Żądany deszcz o prawdopodobnym przebiegu konstruuje się z części malejącej krzywej natężenia deszczu, przy znanym czasie T_1 , w którym występuje ostre maksimum. Czas wzrostu natężenia wynosi T_1 , a czas trwania deszczu w części malejącej wynosi T_2 , przy czym:

$$T = T_1 + T_2 \quad (4)$$

gdzie: T jest czasem trwania całego deszczu (rys. 2). Obie części krzywej można opisać matematycznie. Część rosnąca ma następującą postać:

$$r^+ = \frac{C}{\left(\frac{T_1^2 - t \cdot T}{T_1} + B\right)^\alpha} - \frac{\alpha \cdot C \cdot \frac{T_1^2 - t \cdot T}{T_1}}{\left(\frac{T_1^2 - t \cdot T}{T_1} + B\right)^{\alpha+1}} \quad (5)$$

a część malejąca:

$$r^+ = \frac{C}{\left[(t-T_1) \frac{T}{T_2} + B\right]^\alpha} - \frac{\alpha \cdot C (t-T_1) \frac{T}{T_2}}{\left[(t-T_1) \frac{T}{T_2} + B\right]^{\alpha+1}} \quad (6)$$

gdzie:

- t — czas trwania deszczu określony z zależności $r=f(t)$,
- T_1 — czas trwania części rosnącej,
- T_2 — czas trwania części malejącej,
- T — czas trwania całego deszczu modelowego.

Tak określony deszcz można następnie pomniejszyć o parowanie, infiltrację, retencję, itp. Bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia wymiarowania sieci kanalizacyjnych ma położenie wierzchołka krzywej, który znajduje się w przedziale 10÷60 minut od początku deszczu.

Ze względu na to, że obecnie wprowadza się znaczną schematyzację przebiegu deszczu obliczeniowego, a przy obliczaniu sieci wprowadza się coraz częściej różne przebiegi (np. przebieg podwójnego trójkąta i inne), opracowano metodę konstruowania deszczu modelowego o zmiennym charakterze i dowolnym kształcie. Jest to metoda, którą można stosować również przy użyciu deszczu modelowego o stałym przebiegu, lub też deszczu z wieloma maksimumami. W metodzie tej wychodzi się ze średniego natężenia, określonego dla krzywej malejącej deszczu o określonej częstotliwości (r_s). Przebieg natężeń deszczu opisany jest funkcją $y=f(x)$, określoną w przedziale $<0,1>$, przy czym $x=t/T$, gdzie t oznacza czas, który upłynął od początku deszczu, a T czas trwania całego deszczu. Rzędne y są liczbami nieujemnymi, proporcjonalnymi do natężeń deszczu w czasie t (dla dowolnego przebiegu deszczu modelowego), przy czym współczynnik proporcjonalności może być dowolną liczbą dodatnią (A). Jeżeli znany jest przebieg funkcji $y=f(x)$ oraz czas trwania deszczu T i odpowiadające mu natężenie deszczu zastępczego r_s , to współczynnik proporcjonalności A można obliczyć z zależności:

$$r_s = \frac{1}{T} A' \cdot T \int_0^1 f(x) dx \quad (7)$$

Przyjmując:

$$A' = A \cdot r_s \quad (8)$$

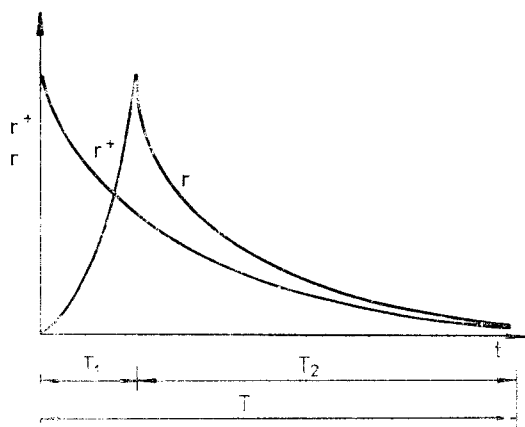
otrzymuje się:

$$A = \frac{1}{\int_0^1 f(x) dx} \quad (9)$$

Zatem przebieg natężeń deszczu można obliczyć z zależności:

$$r = r_s \cdot A \cdot f(t/T) \quad (10)$$

Przy korzystaniu z omawianej metody należy przedział $T < 0,1 >$ na osi x podzielić na n odcinków o długości $h=1/n$, przy czym rzędne $y_0, y_1, \dots, y_n$ są określone dla $n+1$ odcinków 0, h , $2h, \dots, 1$. Wartości współczynnika A wyznacza się z zależności (9), przy czym całkę oblicza się na przykład metodą Simpsona. Dla czasów 0, T_h , $2T_h, \dots, T$ natężenia deszczu modelowego przyjmują wartości $A'y_0, A'y_1, \dots, A'y_n$.



Rys. 2. Konstrukcja deszczu modelowego.

Omówiona wyżej metoda ze względu na niejednorodny charakter procesu odpływu wód deszczowych, umożliwia stosowanie dowolnego przebiegu deszczu modelowego i proste określenie parametrów dowolnego deszczu modelowego, w zależności od średniego natężenia deszczu i zadanej częstotliwości. Oczywiście w tej metodzie występuje również znaczne uproszczenie stanu rzeczywistego. Prawdopodobnie w przyszłości podstawą wymiarowania sieci kanalizacyjnych będą deszcze charakterystyczne, a w szczególności deszcze rzeczywiste.

Deszcze charakterystyczne

Deszcze charakterystyczne wyznaczane są z deszczów rzeczywistych i są potrzebne do wymiarowania i sprawdzenia sieci kanalizacyjnych na określonym obszarze. W celu skonstruowania przebiegu deszczów charakterystycznych dla terenu Brna, wykorzystano pomiary dokonane na stacji ombrograficznej Brno-Kníničky w latach 1965÷1973, przy czym szczególną uwagę poświęcono deszczom o charakterze nawałnym, tj. deszczom, w których występuje pewien okres o wyraźnie większym natężeniu. Z całej liczby 495 deszczów zaobserwowanych w czasie od kwietnia do listopada, po szczegółowej ich analizie wybrano sześć charakterystycznych typów:

- a) — krótkie, zaczynające się dużym natężeniem,
- b) — krótkie, z maksymalnym natężeniem w części środkowej trwania deszczu,
- c) — długie, z wyrównanym natężeniem w czasie trwania deszczu,
- d) — długie, w których przebieg natężenia ma wyraźne maksimum,
- e) — długie, składające się jakby z kilku deszczów, przy czym maksymalne natężenia w poszczególnych częściach deszczu są w przybliżeniu jednakowe,
- f) — pozostałe deszcze o małej intensywności i małej całkowitej wysokości opadu.

Deszcze typu (a) mają maksymalne natężenie na początku, a w miarę upływu czasu natężenie deszczu maleje aż do wartości zerowej.

Maksymalne natężenie deszczu ma zwykle wartość znajdującą się w przedziale od 0,1 do 1,0 mm/min. Czas trwania deszczu tego typu zawiera się zwykle w przedziale od 2,5 do 16 min. Sporadycznie czas ten wynosi do 40 min. Kształt przebiegu deszczu tego typu opisuje równanie:

$$r = \frac{1}{t^a} - C \quad (11)$$

Po oszacowaniu prawdopodobieństwa występowania deszczów dla różnych wysokości opadu, opracowano dla deszczów typu (a) zależność natężenia od częstotliwości jego pojawiania się (p) w postaci:

$$r = \frac{1}{t^{0,1/(1,33p+0,1)}} - p - 0,36 \quad (12)$$

Dla opisu przebiegu natężenia deszczów typu (b) w zależności od czasu jego trwania, wyprowadzono następujące równanie:

$$r = \frac{A}{t^a} \cdot e^{-B/t^a} \quad (13)$$

Po wprowadzeniu prawdopodobieństwa występowania deszczu do ogólnego równania (13) otrzymano następujące równanie:

$$r = \frac{20-15p}{t^{0,3p+1}} \cdot e^{-10/t^{(0,3p+1)}} \quad (14)$$

które jest słuszne dla danej stacji ombrograficznej.

Deszcze typu (d) opisuje ogólne równanie, takie jak dla deszczów typu (b). Deszcze typu (c) proponuje się uważać jako deszcze o stałym średnim natężeniu. Wzór uwzględniający prawdopodobieństwo występowania deszczów typu (c) i (d) nie był opracowany z powodu zbyt małej liczby pomiarów. Deszcz typu (e) jest w rzeczywistości kilkakrotnym deszczem, dlatego jego przebieg można zastąpić funkcją sinusoidalną. Deszcz typu (f) nie ma szczególnego wpływu na wielkość spływu powierzchniowego. Deszczów tego typu nie bierze się pod uwagę w projektowaniu sieci kanalizacyjnych.

Sterowanie systemem kanalizacyjnym

Sterowanie systemem kanalizacji deszczowej jest jednym z celów, do których zmierza działalność w omawianej dziedzinie. Podstawą do szybkiego i operatywnego sterowania jest dokładna informacja o stanie systemu. Dlatego należy opracować system informacyjny jako podstawową część systemu sterowania. Ten system informacji musi zawierać co najmniej trzy następujące podsystemy:

1. Informacyjny podsystę dokumentacji (bank danych). Jako dane wejściowe potrzebne są informacje o właściwościach, parametrach, stanie technicznym i umiejscowieniu odcinków systemu kanalizacji deszczowej. Do końca bieżącego roku wszystkie zakłady wodociągowe i kanalizacyjne na terenie Południowych Moraw będą posiadały komputerowe banki danych, które będą wykorzystywane do bardziej

wszechstronnego opisu systemu, a m. in. do budowy modeli symulacyjnych i optymalizacyjnych sterowanego systemu.

2. Podsystem informacji statystycznych. Zawiera on prawidłowo lub nieprawidłowo przetworzone informacje wstępne. Przegląda wyniki pomiarów służby hydrologicznej i rejestruje wyniki pomiarów i obserwacji. Przy korzystaniu z deszczów modelowych i charakterystycznych szczególnie ważna jest rejestracja natężenia deszczu i przepływów w wybranych odcinkach sieci, a szczególnie przebiegu deszczu w celu umożliwienia podejmowania natychmiastowych decyzji. Ten podsystem rejestruje zakłócenia i awarie na sieci kanalizacyjnej i poddaje je obróbce statystycznej w celu określenia niezawodności działania sieci itp.

3. Podsystem informacji o stanie systemu. Zapisuje on informacje o chwilowym stanie systemu. Ze względu na rejestrację deszczów rzeczywistych jego czynność jest powiązana z działaniem podsystemu statystycznego. Informacje te służą do bezpośredniego wykorzystania (informacje o przepływie, napełnianiu kanałów, napełnieniach zbiorników retencyjnych i informacje o jakości ścieków). Niektóre z wymienionych informacji niszczy się po wykorzystaniu w procesie operacyjnego sterowania, a inne przesyłane są do rejestracji w podsystemie informacji statystycznej.

Jest oczywiste, że dla podejmowania decyzji zależnych od zastosowania szeregu parametrów, bieżące informacje o chwilowym stanie systemu będą niewystarczające. Trzeba bowiem brać pod uwagę przewidywany dalszy przebieg deszczu oraz przebieg przepływu w sieci, który jest z zasady niestabilny i nierównomierny, a ponadto zależy od szeregu innych czynników (np. od sposobu eksploatacji sieci). W celu umożliwienia sterowania konieczne jest pominięcie tych parametrów. Podstawą optymalnego sterowania będzie prognoza przepływu fali deszczu w sieci kanalizacyjnej. Prognoza ta powinna być opracowana na podstawie przebiegu deszczu rzeczywistego. W celu zarejestrowania krótkotrwałych opadów i przysyłania informacji o przebiegu opadu należy badania hydrologiczne odpowiednio ukierunkować i wprowadzić niezbędne środki techniczne.

Właściwe prognozy przepływu fali deszczu w zależności od jego rzeczywistego przebiegu będą opracowane na podstawie modeli symulacji przepływu w sieci, przy czym podstawą będą modele symulacji niestabilnego i nierównomiernego przepływu w sieci. Wykorzystanie tych modeli do przewidywania rozwoju ruchu fali oraz do sterowania w rzeczywistym czasie

z uwzględnieniem deszczu rzeczywistego, wymaga opracowania modeli o dużej szybkości operacyjnej i niezawodności. Ze względu na to, że opracowanie racjonalnych sposobów symulacji niestabilnego przepływu w rozleglejszych systemach odwadniania miast wymaga określonego czasu, konieczne więc będzie w pierwszym okresie opracowywania algorytmu sterowania operacyjnego korzystanie z metod prostych i przybliżonych.

Deszcze rzeczywiste są, zdaniem autorów, podstawowym elementem przy sterowaniu systemem odwadniania. Problematyka sterowania jest bardzo złożona, gdyż brak jest doświadczeń w tradycyjnym, normalnym sterowaniu systemem odwadniania.

Podsumowanie

Omówiono szczegółowo niektóre wybrane zagadnienia ze złożonej problematyki deszczów obliczeniowych, wykorzystywanych przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych. Wszystkie wprowadzone pojęcia i metody mają zastosowanie w odniesieniu do konkretnego obszaru. W progresywnych metodach obliczeniowych należy pozostawić pewną przestrzeń działania dla dyspozytora przy korzystaniu z metod klasycznych, lub też metod złożonych, bardziej zgodnych z rzeczywistością. Dlatego też dużo uwagi poświęcono deszczom charakterystycznym, występującym na określonym obszarze. Ponadto wprowadzono pewne przesłanki do sterowania systemem kanalizacyjnym przy wykorzystaniu pomiarów deszczów rzeczywistych.

LITERATURA

1. P. ČÍŽEK: Hydrologie stokových sítí. SNTL, Praha 1961.
2. M. DESBORDES: Reflexion sur les méthodes de calcul des reseaux urbains d'assainissement pluviel. Academie de Montpellier, 1974.
3. J. MIČÍN: Zjednodušený model odtoku deštových vod po elementárním stokovém povodí. Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, 1985, B 96, s. 29—35.
4. M. ŠEREK, J. MIČÍN: Přibližná simulace neustálého proudění v deštových stokových sítích. Vodohospodársky časopis SAV Bratislava, 6/1983, s. 595—605.
5. J. MIČÍN: Soudobé koncepce komplexního řešení systémů odvodnění. Zprávy JmVak, 1/1988, s. 28—31.
6. J. MIČÍN, M. ŠEREK: Bestimmung von Zuflussganglinien in Regenwasserkanalisation mit der Methode kleiner fiktiver Abschnitte. WWT, 1/1987, s. 10—13.
7. M. ŠEREK i inni: Snižování přítoku deštových vod do veřejné kanalizace. Metodická příručka Ministerstva Lesního a Vodního Hospodářství ČR, 1987, s. 47.
8. J. MIČÍN, M. ŠEREK: Vybrané algoritmy analýzy odtokového děje deštových odpadních vod. Sborník VUT v Brně, 1985, č. 1—4, s. 929—938.

RAINFALL PARAMETERS FOR THE DESIGN OF SEWER SYSTEMS

Different types of rainfall are analyzed, and a classification of calculated rainfall behaviour is suggested

for the needs of sewerage design. The types of model rainfall are discussed in detail. Proposed are some methods of control which may be varied according to the adopted forecast of the rain water wave in the sewer.