

Ocena wpływu współczynników spływu i opóźnienia na przepływy obliczeniowe w sieci kanalizacji deszczowej

*Andrzej Królikowski, Jadwiga Królikowska
Politechnika Krakowska*

1. Wprowadzenie

W ogólnym wzorze na obliczanie spływu ścieków opadowych, niezależnie od stosowanych metod występuje współczynnik spływu ψ (zarówno w metodzie granicznych natężeń jak i stałych natężeń) oraz współczynnik opóźnienia φ (w metodzie stałych natężeń). Współczynnik spływu jest przyjmowany na podstawie literatury zależnie od rodzaju i charakteru zlewni, najczęściej bez głębszej analizy. I trudno nie zgodzić się z Imhoffem [3], że nawet mała zmiana wartości współczynnika spływu bardziej wpływa na wynik końcowy niż inne parametry obliczeń. Warto więc poddać przyjmowane wartości współczynnika spływu wnikliwej analizie.

W przypadku współczynnika opóźnienia (φ), obliczanego najczęściej z wzoru Bürkli w metodzie stałych natężeń, o jego wartości decyduje wykładnik potęgi (stopień pierwiastka) (n), przyjmowany na podstawie kształtu i charakterystyki zlewni. Mając do dyspozycji najczęściej trzy wartości n (4, 6, 8) i bardzo nieprecyzyjne kryteria ich wyboru, trudno uznać otrzymane na ich podstawie wartości spływu za satysfakcjonujące. Propozycja ich uszczegółowienia i dokładniejszego dostosowania do warunków lokalnych powinna poprawić dokładność obliczeń szczególnie, że metoda stałych natężeń stosowana do obliczeń przepływów w kanałach deszczowych jest oceniana przez specjalistów jako zaniżająca te przepływy w stosunku do metody granicznych natężeń. Tym zagadnieniom jest poświęcony niniejszy referat. Można uznać zaprezentowane w nim propozycje za dyskusyjne, ale warto poświęcić im nieco uwagi.

2. Analiza wartości współczynnika spływu i ocena jego wpływu na wielkość przepływów obliczeniowych

Współczynnik spływu decyduje o wielkości obliczeniowego przepływu w sieci kanalizacji deszczowej. Jest to stosunek części opadu, jaki spadł na powierzchnię tej zlewni ($\psi = \frac{Q_{spł}}{Q_{opad}} < 1,0$). Jego wielkość zależy od [1, 2, 3, 4]:

- rodzaju pokrycia powierzchni zlewni,
- rodzaju zabudowy terenu zlewni,
- nachylenia dachów budynków,
- czasu trwania i częstotliwości występowania opadu,
- natężenia deszczu,
- spadku terenu zlewni,
- budowy geologicznej wierzchnich warstw gruntu,
- początkowego stanu wilgotności powierzchni terenu,
- ciepłoty powierzchni terenu.

Współczynnik spływu może być obliczany na podstawie wzorów spotykanych w literaturze [1, 4, 5] tj. wg wzoru stosowanego w b. ZSRR

$$\psi = z \cdot q^{0,2} \cdot t^{0,1}, \quad (1)$$

gdzie:

z – współczynnik doświadczalny, zależny od rodzaju pokrycia powierzchni zlewni,

q – natężenie deszczu, l/s,ha,

t – czas trwania deszczu, min,

lub wzoru Reinholda

$$\psi = \mu \cdot q^{0,567} \cdot t^{0,228}, \quad (2)$$

gdzie:

μ – współczynnik charakteryzujący zagospodarowanie zlewni i warunki klimatyczne, przyjmowany:

- dla śródmieścia o zwartej zabudowie $\mu = 0,0220$,
- dla przedmieścia z zwartą zabudową $\mu = 0,0169$,
- dla zabudowy luźnej $\mu = 0,0117$,
- dla powierzchni niezabudowanej $\mu = 0,0065$.

Może być również przyjmowany na podstawie literatury i odnoszony bądź do rodzaju zabudowy terenu zlewni, bądź do rodzaju pokrycia jej po-

wierzchni cząstkowych. W pierwszym przypadku wartości współczynnika spływu ψ przedstawiają się następująco [1, 3, 5]:

- zabudowa bardzo gęsta (stare dzielnice) $\psi = 0,7 \div 0,9$,
- zabudowa zwarta $\psi = 0,5 \div 0,7$,
- zabudowa luźna, wielorodzinna $\psi = 0,3 \div 0,5$,
- zabudowa willowa, jednorodzinna $\psi = 0,2 \div 0,3$,
- powierzchnie niezabudowane $\psi = 0,1 \div 0,2$,
- parki i obszary zielone $\psi = 0,0 \div 0,1$.

W drugim przypadku, zależnie od rodzaju powierzchni cząstkowych, można współczynnik spływu obliczyć jako średnią ważoną wg wzoru [1]

$$\psi_{\text{śred}} = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_i \cdot F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} = \frac{F_1 \cdot \psi_1 + F_2 \cdot \psi_2 + F_3 \cdot \psi_3 + \dots + F_n \cdot \psi_n}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n}, \quad (3)$$

przyjmując następujące wartości współczynnika spływu dla poszczególnych powierzchni cząstkowych [1, 2, 3, 4, 5]:

- dachy szczelne (blacha, papa, dachówka) $\psi = 0,9 \div 0,95$,
- jezdnie o nawierzchni asfaltowej, betonowej lub klinkierowej $\psi = 0,75 \div 0,85$,
- jezdnie brukowane bez zalanych spoin $\psi = 0,5 \div 0,7$,
- drogi tłuczniowe $\psi = 0,25 \div 0,5$,
- drogi i ścieżki żwirowe $\psi = 0,15 \div 0,3$,
- powierzchnie niezabudowane $\psi = 0,1 \div 0,2$,
- parki, ogrody $\psi = 0,0 \div 0,1$.

Współczynniki te dotyczą terenów płaskich i okresu letniego. Przy zlewniach o znacznych spadkach powinno się przyjmować wyższe wartości (tabela 1).

W okresie zimowym może wystąpić większy spływ wód opadowych, ale nie uwzględnia się go w obliczeniach ze względu na brak wiarygodnych danych.

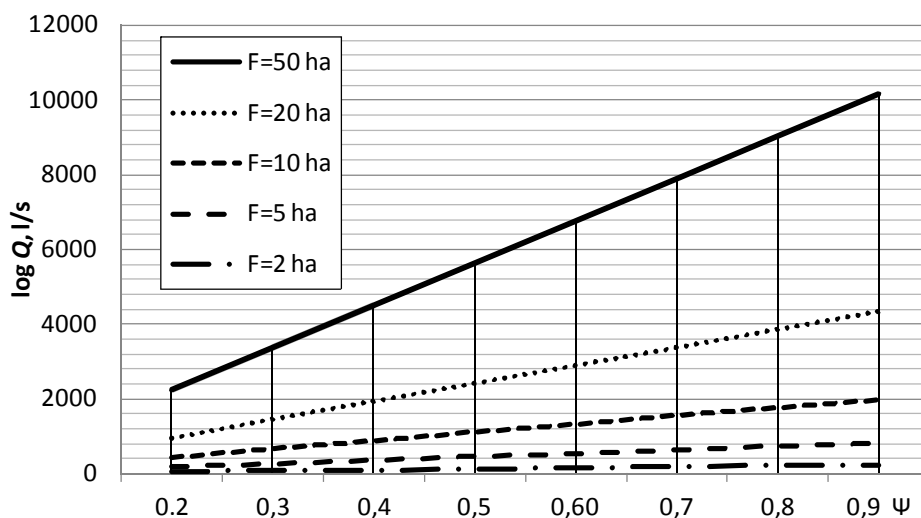
Nie ulega wątpliwości, że największy wpływ na wartość współczynnika spływu na rodzaj pokrycia powierzchni zlewni. Dla uzasadnienia podanego na początku niniejszego rozdziału stwierdzenia, przeprowadzono analizę obliczeniową dla potwierdzenia wpływu wartości przyjętego współczynnika spływu na wielkość przepływów obliczeniowych w kanałach deszczowych. Do tej analizy przyjęto następujące parametry wyjściowe:

- natężenie deszczu $q = 130 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$,
- powierzchnia zlewni $F = 2, 5; 10; 20; 50 \text{ ha}$,
- współczynnik spływu $\psi = 0,2 \div 0,8$, co $0,05$.

Tabela 1. Współczynnik spływu ψ zależnie od spadku terenu [1]
Table 1. Run-off coefficient ψ depending on area falling gradient [1]

Rodzaj zabudowy i użytków	Spadek terenu, %					
	0,5	1,0	2,5	5,0	7,0	10,0
Dzielnice miejskie – zabudowa częściowo zwarta, a częściowo luźna	0,60	0,62	0,65	0,70	0,75	0,80
Dzielnice willowe	0,40	0,42	0,45	0,50	0,55	0,60
Parki i ogrody	0,10	0,12	0,15	0,20	0,25	0,30
Grunty orne	0,05	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25
Lasy	0,01	0,02	0,04	0,06	0,10	0,15

Przeprowadzone obliczenia dobrze ilustruje wykres na rys. 1, na którym dla poszczególnych powierzchni zlewni podano zależność przepływu obliczeniowego od przyjętego współczynnika spływu. Z obliczeń i wykresu wynika, że zmiana współczynnika spływu o 0,05 powoduje zmianę przepływu o 6,25%. Przykładowo przy powierzchni zlewni $F = 2$ ha różnica ta wynosi 13 l/s, a przy powierzchni $F = 50$ ha jest to już 325 l/s. Zestawienie wyników obliczeń dla przyjętych powierzchni zlewni podano w tabeli 2.



Rys. 1. Zależność przepływu obliczeniowego od przyjętego współczynnika spływu dla wybranych powierzchni zlewni

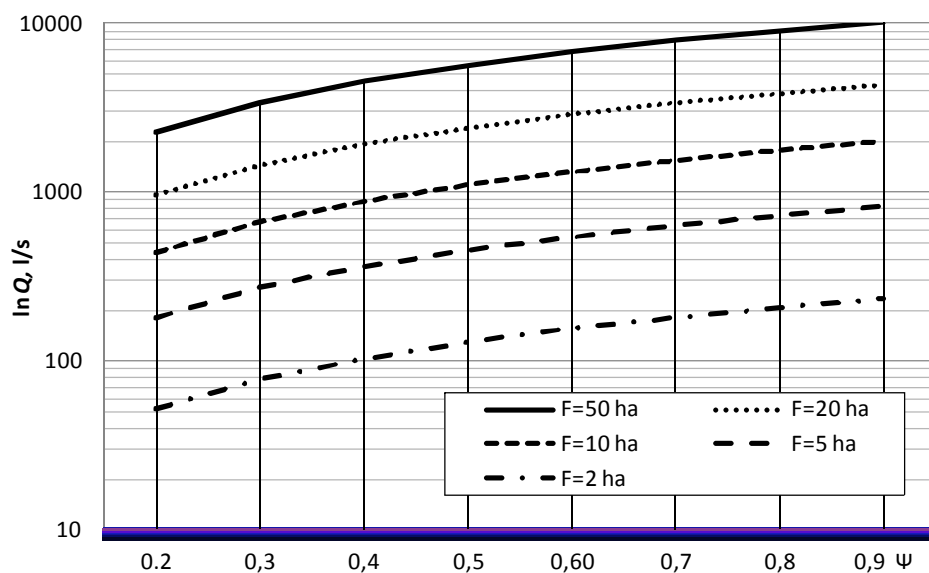
Fig. 1. Computational flow vs. accepted run-off coefficient for selected surfaces of drainage area

Tabela 2. Zestawienie różnicy przepływu obliczeniowego w zależności od powierzchni zlewni

Tabla 2. Comparison of differences of computational flow depending surfaces of drainage area

Powierzchnia zlewni, ha	Różnica w przepływie obliczeniowym w l/s, przy zmianie ψ o 0,05	Różnica w przepływie obliczeniowym w l/s, przy zmianie ψ o 0,01
2,0	13,0	26,0
5,0	32,5	65,0
10,0	65,0	139,0
20,0	130,0	260,0
50,0	325,0	650,0

Podany wykres (rys. 1) pozwoli na precyzyjniejsze przyjmowanie do obliczeń współczynnika spływu i szybką ocenę skutków zmiany jego wartości, nawet o 0,05. Umożliwi też dokładniejsze obliczenie przepływów w kanałach deszczowych zarówno w metodzie granicznych jak i stałych natężeń.



Rys. 2. Zależność przepływu obliczeniowego od przyjętego współczynnika spływu dla wybranych powierzchni zlewni

Fig. 2. Computational flow vs. accepted run-off coefficient for selected surfaces of drainage area

3. Analiza wartości współczynnika opóźnienia i krytyczna ocena jego stosowania przy ustaleniu przepływów obliczeniowych w kanałach deszczowych

Współczynnik opóźnienia φ jest zależny od czasu trwania deszczu i jego częstotliwości występowania i jest charakterystyczny dla metody stałych natężeń ustalania przepływów obliczeniowych w kanałach deszczowych. Może on być wyznaczany albo z wzoru Bürkli w zależności od powierzchni odwadnianej zlewni, wg wzoru:

$$\varphi = \frac{1}{n\sqrt{F}} \quad (4)$$

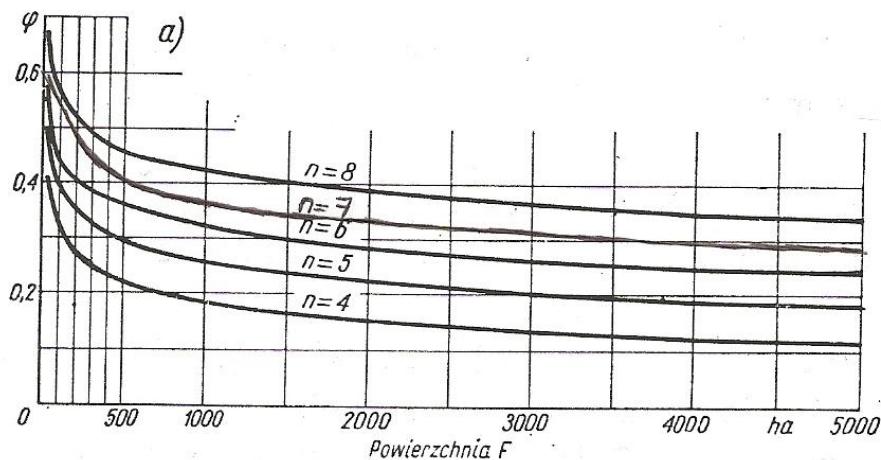
gdzie:

F – powierzchnia odwadnianej zlewni, ha,

n – wykładnik pierwiastka, przyjmowany:

- $n = 8$, dla dużych spadków terenu i zwartej zlewni, umożliwiającą uzyskanie prędkości w kanale $> 1,2$ m/s,
- $n = 6$, dla przeciętnych warunków odwadnianej zlewni i możliwości zyskania w kanale prędkości ok. 1,2 m/s,
- $n = 4$, dla niewielkich spadków terenu i wydłużonego kształtu zlewni, umożliwiającą uzyskanie w kanale prędkości ok. 1 m/s

ewentualnie z wykresu (rys. 3)



Rys. 3. Zależność współczynnika opóźnienia od powierzchni odwadnianej zlewni [3]

Fig. 3. Delay coefficient vs. accepted surface of drainage area [3]

lub w zależności od długości kanału, wg wzoru

$$\varphi = \frac{1}{m\sqrt{L}} \quad (5)$$

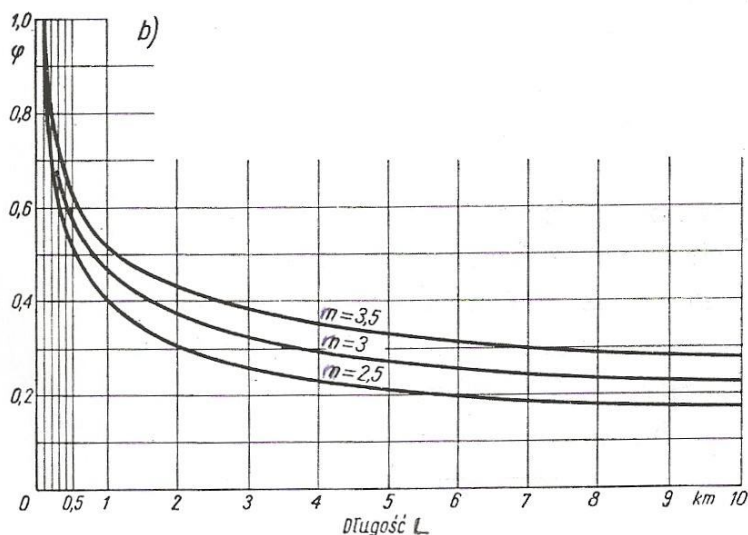
gdzie:

L – długość kanału, m,

m – wykładnik pierwiastka, przyjmowany:

- $m = 3,5$, dla dużych spadków kanałów,
- $m = 3$, dla średnich spadków kanałów,
- $m = 4$, dla małych spadków kanałów,

bądź na podstawie wykresu (rys. 4).



Rys. 4. Zależność współczynnika opóźnienia od długości kanału [3]

Fig. 4. Delay coefficient vs. channel length [3]

Z przybliżonej chociażby analizy kryteriów przyjmowania wartości wykładnika pierwiastka w obu wzorach (n i m) wynika, że są one bardzo nieprecyzyjne i nie przyczyniają się do uzyskania wymaganej dokładności obliczeń. Ponieważ w praktyce projektowej najczęściej stosowany jest wzór, uzależniający wartość współczynnika opóźnienia od powierzchni odwadnianej zlewni, dlatego przyjmowanemu wykładnikowi potęgi n poświęcono więcej uwagi.

4. Propozycja rozszerzenia wartości wykładnika pierwiastka we wzorze Bürkli

Biorąc powyższe pod uwagę proponuje się stosowanie kryteriów umożliwiających dostosowanie bardziej precyzyjnych wartości n do warunków lokalnych. Przede wszystkim zaleca się przyjęcie 5 wartości tego wykładnika, od 4 do 8, co jeden (rys. 3) oraz dokładniejsze niż dotychczas stosowane, kryteria doboru jego wartości:

- $n = 8$, spadek terenu zlewni $> 5\%$, kształt zlewni zbliżony do kwadratu, odwadniana powierzchnia bardzo szorstka,
- $n = 7$, spadek terenu zlewni $3\div 5\%$, kształt zlewni zbliżony do prostokąta; stosunek szerokości do długości ok. 0,8, odwadniana powierzchnia dość szorstka,
- $n = 6$, spadek terenu zlewni $2\div 3\%$, kształt zlewni zbliżony do prostokąta; stosunek szerokości do długości ok. 0,6, odwadniana powierzchnia częściowo szorstka, częściowo gładka,
- $n = 5$, spadek terenu zlewni $1\div 2\%$, kształt zlewni zbliżony do prostokąta; stosunek szerokości do długości ok. 0,5, odwadniana powierzchnia dość gładka,
- $n = 4$, spadek terenu zlewni $< 1\%$, kształt zlewni zbliżony do prostokąta; stosunek szerokości do długości $\leq 0,4$, odwadniana powierzchnia – gładka.

5. Podsumowanie

Świadomość skutków, jakie w wielkości przepływu obliczeniowego przy projektowaniu kanałów deszczowych przynosi nieprecyzyjne przyjęcie współczynnika spływu, nie odpowiadające dokładnie zagospodarowaniu terenu zlewni, powinno spowodować większą staranność przy przyjmowaniu wartości współczynnika spływu. W każdym przypadku konieczna staje się wnikliwa analiza jego wartości.

Dokładność ustalenia przepływów obliczeniowych kanałów deszczowych, w metodzie stałych natężeń z pewnością poprawi wykorzystanie zaproponowanej propozycji większego wyboru wykładnika pierwiastka we wzorze Bürkli, bardziej konkretne kryteria jego przyjmowania i lepsze dostosowanie do planu zagospodarowania odwadnianej zlewni.

Mamy nadzieję, że propozycja ta wywoła dyskusję specjalistów.

Literatura

1. **Błaszczak W., Roman M., Stamatello H.:** *Kanalizacja tom 1.* Arkady Warszawa, 1974.
2. **Błażejowski R.:** *Kanalizacja wsi.* Wyd. PZITS O/Wlkp. Poznań, 2003.

3. **Imhoff K. i K.R.:** *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*. Poradnik, Arkady Warszawa, 1982.
4. **Suligowski Z.:** *Infrastruktura kanalizacyjna w gospodarce komunalnej*. Wydawnictwo P.G. Gdańsk, 2006.
5. **Szpindor A.:** *Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi*. wyd. 2. Arkady Warszawa 1998.

Estimation of Impact of Run-off and Delay Coefficients on Computational Flows in Storm Sewage System

Abstract

In the general equation for calculation of storm sewage run-off, in each selected method there are: run-off coefficient ψ (both in the method of border intensities and constant intensities) and delay coefficient (in the method of constant intensities). Run-off coefficient is accepted on the basis of literature depending on type and character of drainage area, most often without deeper analysis. And it is hard not to agree with Imhoff [3], that even small change of run-off coefficient change has bigger impact on final result than other parameters of calculations. So it is worth to thoroughly analyse accepted values of the coefficient.

In the case of the delay coefficient (φ), calculated most often with Bürkli equation in the method of constant intensities, its value is decided by index of power (degree of radical) (n), accepted on the basis of shape and characteristics of drainage area. Having to choose most often three values of n (4, 6, 8) and very imprecise criteria of their selection, it is hard to recognise obtained values of run-off on their basis as satisfying. The proposal of their more precise description and more exact accommodation to local conditions should improve accuracy of calculations, especially that method of constant intensities applied for calculations of flow in storm channels is estimated by experts as underrating those flows in relation to the method of border intensities. Present paper describes those issues. Proposal given in the paper may be considered as controversial, but it is worth to pay some attention to them.

The consciousness of the results which in value of computational flow when designing storm channels bring accepting imprecise coefficient of run-off, not answering actual drainage area development, should cause larger care during accepting value of run-off coefficient. In every case it is necessary to analyse its value.

Accuracy of determining of computational flows of storm channels, in the method of constant intensities certainly will improve utilization of proposal of higher selection of radical in Bürkli equation, more specific criteria of its accepting and better adaptation to dewatered drainage area development plan.

