



Analiza wpływu wartości współczynnika spływu na przepływy obliczeniowe w kanałach deszczowych

Jadwiga Królikowska, Andrzej Królikowski, Piotr Tutak
Politechnika Krakowska

1. Wstęp

Współczynnik spływu (ψ) jest ważnym parametrem występującym w zależnościach na określenie odpływu wód deszczowych, ze zlewni zarówno w metodzie stałych natężeń jak i metodzie granicznych natężeń. Jego wartości nie są przedmiotem szczególnego zainteresowania specjalistów bo jest on przyjmowany najczęściej na podstawie literatury zależnie od rodzaju, charakteru i zagospodarowania zlewni, często bez wnikliwej analizy. Tymczasem już Imhoff [3] uważał, że nawet niewielka zmiana wartości współczynnika spływu bardziej wpływa na wielkość odpływu wód deszczowych niż inne parametry (q , F) obliczeń. Potrzebę zajęcia się tym problemem zasygnalizowano już przed dwoma laty w referacie na poprzednią konferencję [4]. Wówczas wykazano jakie ewentualne skutki w wielkości przepływu obliczeniowego przy projektowaniu kanałów deszczowych przynosi mało precyzyjne przyjęcie współczynnika spływu, nie odpowiadające dokładnie zagospodarowaniu powierzchni zlewni.

W niniejszej pracy natomiast dokonano szczegółowej analizy współczynnika spływu w relacji „współczynnik – przepływ”, rozszerzając nieco i uszczególniając parametry przyjęte do obliczeń analitycznych. Rozszerzenie danych wyjściowych dotyczyło górnej wartości współczynnika spływu (0,9) oraz powierzchni zlewni (dodano 75 i 100 ha). Natomiast krok obliczeniowy (zmianę wartości współczynnika spływu) przyjęto co 0,025, co miało jeszcze bardziej uściślić przyjmowaną wartość tego współczynnika i zwiększyć dokładność obliczeń.

2. Współczynnik spływu – charakterystyka

Istnieją dwie drogi wyznaczania wartości współczynnika spływu, na podstawie wzorów zawartych w literaturze przedmiotu [1÷3] bądź korzystając z zestawień tabelarycznych, zawartych również w tej literaturze [1÷3, 5, 6]

Współczynnik spływu jest wielkością indywidualną i charakterystyczną dla każdej zlewni, dla której jest wyznaczany. W procesie obliczania przepływu wód deszczowych występuje zarówno w metodzie stałych jak i granicznych natężeń. Związek pomiędzy współczynnikiem spływu, a zlewnią wyrażony jest, jako **zlewnia zredukowana** będąca iloczynem tych dwóch wielkości. Sam współczynnik wyraża stosunek między ilością wody deszczowej, która spłynie z danej powierzchni, a całkowitą ilością, która spadła na tę powierzchnię.

Opisuje się go w następującej postaci:

$$\psi = \frac{Q_{spl}}{Q_{opad}} < 1 \quad (1)$$

gdzie:

ψ – współczynnik spływu,

Q_{spl} – wielkość spływu z danej powierzchni [dm^3/s],

Q_{opad} – wielkość opadu na daną powierzchnię [dm^3/s].

Przedstawioną powyżej zależność uzasadnia się zjawiskami fizycznymi panującymi w środowisku. Głównymi czynnikami wpływającymi na wielkość spływu w obszarze zlewni są: parowanie, retencja powierzchniowa oraz infiltracja. W praktyce część wody deszczowej wsią-

ka w teren, a część wyparowuje od razu przy zwilżaniu nagrzanego powierzchni lub po zakończeniu deszczu powierzchnia zwilżona wysycha.

Na wartość współczynnika spływu wpływ mają [1, 3, 5, 6]:

- rodzaj pokrycia powierzchni zlewni,
- rodzaj zabudowy terenu,
- czas trwania deszczu,
- natężenie deszczu,
- pochyłość terenu (zlewnia nizinna, góraska lub mieszana),
- spadek dachów budynków (oraz innego rodzaju infrastruktury),
- budowa geologiczna wierzchnich warstw terenu,
- początkowy stan wilgotności terenu,
- temperatura powierzchni, na którą spadł opad.

Najbardziej znaczącymi czynnikami wpływającymi na współczynnik spływu, spośród wyżej wymienionych są: rodzaj **pokrycia powierzchni zlewni** i **czas trwania deszczu**. Z tego właśnie powodu te dwie wielkości są najczęściej ze sobą utożsamiane, determinując jego wartość. Należy podkreślić, iż wysokość zabudowy znajdującej się na terenie zlewni nie wpływa na ilość wód opadowych, jaka spłynie po jej powierzchni. Przykładowe wartości współczynnika spływu, zależnie od rodzaju zagospodarowania zlewni i jej spadku zaprezentowano w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynnik spływu, zależnie od zagospodarowania zlewni i jej spadku [1, 3, 6]

Table 1. Runoff coefficient, depending on catchment management and its decline [1, 3, 6]

Rodzaj zabudowy i użytkowników	Spadek terenu [%]					
	0,5	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
Dachy	0,85	0,90	0,96	0,98	0,99	1,00
Bruki szczelne	0,70	0,72	0,75	0,80	0,85	0,90
Bruki zwykłe	0,50	0,52	0,55	0,60	0,65	0,70
Aleje spacerowe	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40
Zabudowa zwarta	0,80	0,82	0,85	0,90	0,95	1,00

Tabela 1. cd.
Table 1. cont.

Rodzaj zabudowy i użytkowników	Spadek terenu [%]					
	0,5	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
Zabudowa luźna	0,60	0,62	0,65	0,70	0,75	0,80
Zabudowa willowa	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

3. Ocena wpływu współczynnika spływu na przepływ ścieków w kanałach deszczowych

Niezależnie od sposobu zagospodarowania zlewni, drogi dochodzenia do indywidualnej wartości czy specyfiki projektowanego obiektu (instalacja, sieć, przelew burzowy, zbiornik retencyjny) przedział, w jakim może zmieniać się wartość współczynnika spływu mieści się w granicach od 0,1 do 0,9. Szczególny przypadek dotyczy całkowicie szczelnych powierzchni o dużym nachyleniu, w którym przyjmowany jest jako 1,0 (spływ całkowity).

W celu przedstawienia jak duży wpływ na przepływy obliczeniowe w kanałach deszczowych ma właściwe dobranie wartości współczynnika spływu, przeprowadzono analizę relacji „**współczynnik – przepływ**” w oparciu o niezmienny krok obliczeniowy i ogólnie znaną metodę stałych natężeń.

W analizie tej wartość współczynnika opóźnienia, charakterystycznego dla tej metody, założono jednakową we wszystkich przypadkach obliczeniowych równą 1,0. Dzięki temu wyeliminowano jego wpływ na wynik końcowy.

Na potrzeby przeprowadzenia obliczeń hydraulicznych przyjęto następujące parametry wyjściowe [7]:

- zakres współczynnika spływu: 0,1÷0,9,
- krok obliczeniowy (zmiana wartości współczynnika): co 0,025,
- wartość początkowa (startowa) współczynnika spływu: 0,1,

- wartość jednostkowego natężenia deszczu: $125,0 \text{ dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$ stała dla wszystkich przypadków obliczeniowych otrzymana w oparciu o założony czas trwania deszczu: 15,0 min i częstość: $C = 2,0$ lata,
- wartość współczynnika opóźnienia: 1,0,
- powierzchnie zlewni: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100 ha.

Przeprowadzone obliczenia przedstawiono w formie graficznej na rys. 1 oraz rys. 2 (skala logarymiczna), na których dla poszczególnych powierzchni zlewni podano zależność przepływu obliczeniowego od przyjętego współczynnika spływu. Z wykresów i obliczeń wynika, że zmiana współczynnika spływu zaledwie o 0,025 w odniesieniu do jego maksymalnej wartości, generuje zmianę przepływu o **2,78%**.

Przekładając wartość zmiany procentowej na wartość liczbową wyrażoną [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$] w odniesieniu do założonych powierzchni zlewni i stałego, jednostkowego natężenia deszczu sytuacja przedstawia się następująco [7]:

$$\Delta Q_{\text{spł}} = \Delta\psi \cdot q \cdot F \quad (2)$$

gdzie:

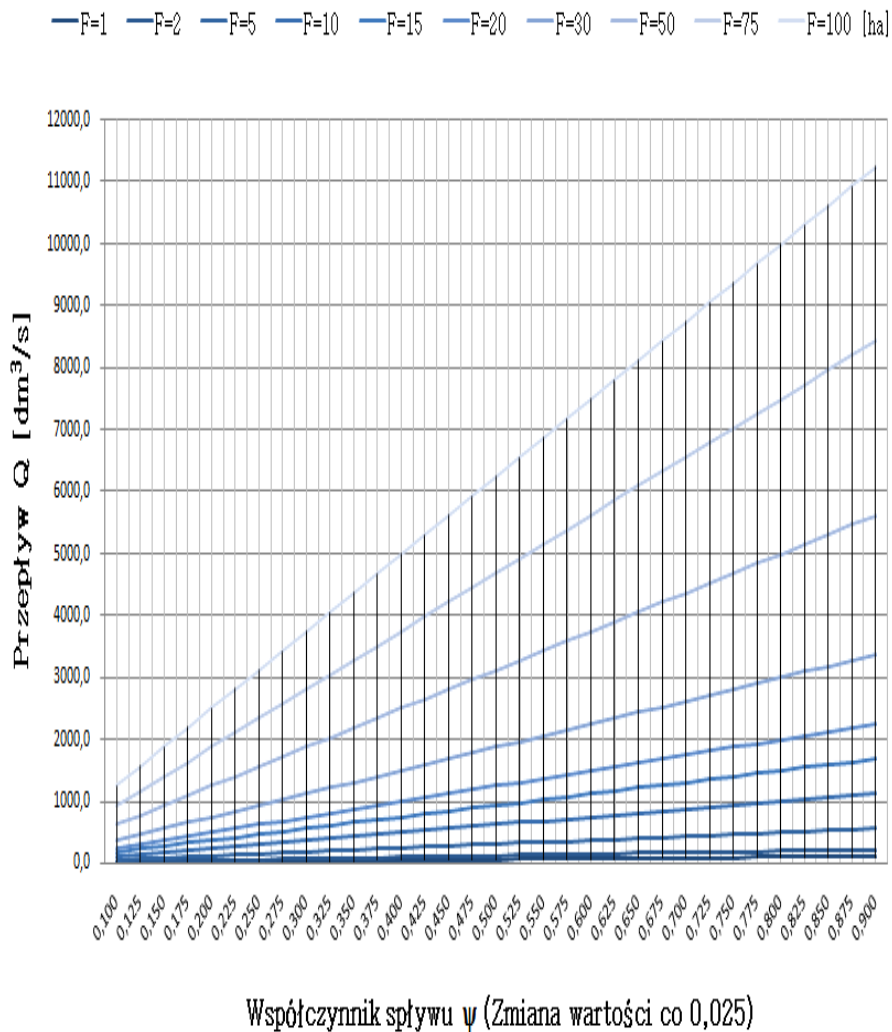
q – jednostkowe natężenie deszczu miarodajnego [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{ha})$],

F – pole powierzchni zlewni [m].

Wyniki analizy wrażliwości przepływu na współczynnik spływu przedstawiono w tabeli 2 i na rys. 2.

Przykładowo przy powierzchni zlewni $F = 5,0$ ha różnica w przepływie obliczeniowym kształtuje się na poziomie $15,6 \text{ dm}^3/\text{s}$, a dla zlewni $F = 75,0$ ha jest to już wartość ponad $234,0 \text{ dm}^3/\text{s}$. Liniową zależność dla przeprowadzonej analizy między opisywanymi wielkościami przedstawiono na rys. 2.

Biorąc pod uwagę, że zwiększenie kroku obliczeniowego spowodują proporcjonalną zmianę obliczeniowej różnicy w ilości ścieków deszczowych, stwierdzić można, iż są to znaczne wartości, realnie przekładające się na parametry i uwarunkowanie ekonomiczne systemu kanalizacji deszczowej.

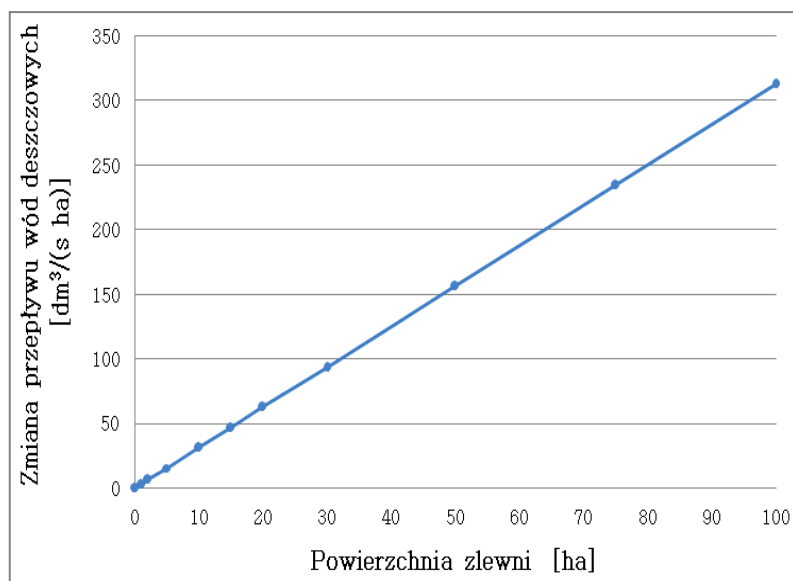


Rys. 1. Zależność przepływu obliczeniowego od przyjętego współczynnika spływu dla wybranych dziesięciu powierzchni zlewni [7]

Fig. 1. Dependence of analytical flow on assumed runoff coefficient for the selected ten catchment areas [7]

Tabela 2. Wyniki obliczeń wg wzoru (2) [7]**Table 2.** Results of calculations using Eq. (2) [7]

Powierzchnia zlewni, F [ha]	Różnica w przepływie obliczeniowym przy zmianie ψ o $\Delta\psi = 0,025$ [dm^3/s]
1,0	3,1
2,0	6,3
5,0	15,6
10,0	31,3
15,0	46,9
20,0	62,5
30,0	93,8
50,0	156,3
75,0	234,4
100,0	312,5

**Rys. 2.** Zależność zmiana – powierzchnia przy stałym kroku obliczeniowym [7]**Fig. 2.** Dependence change – area at a constant calculation step

4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone obliczenia hydrauliczne pod kątem zobrazowania relacji współczynnik spływu – przepływ, potwierdzają zdanie K. Imhoffa wspomniane we wprowadzeniu iż: „nawet mała zmiana współczynnika spływu bardziej wpływa na końcowy wynik obliczeń niż wszystkie inne ich elementy” oraz „właściwe przyjęcie współczynnika spływu decyduje o całym obliczeniu” [3] Znaczne różnice uzyskane w kolejnych etapach pozyskania przepływu ścieków deszczowych, są na to najlepszym dowodem. W celu zobrazowania rzędu zmian wielkości analizowanej składowej oraz ilości powstających ścieków deszczowych w obszarze zlewni, krok obliczeniowy przyjęto na poziomie 0,025 dla wszystkich rozpatrywanych przypadków. Wartość dobrano tak, aby w procesie projektowania i wymiarowania systemów odwodnień móc precyzyjnie dopasować współczynnik spływu i realnie ocenić skutki zmiany jego wartości posilując się wykresem przedstawionym na rys. 3. Literaturowy stopień dokładności, (literaturowy próg decyzyjności) doboru wartości współczynnika spływu kształtuje się na poziomie 0,05 a nawet 0,1 zależnie od metody pozyskania, co wydaje się być niewystarczające.

Najważniejsze wnioski idące z przeprowadzonych obliczeń w relacji współczynnik spływu – przepływ przedstawiają się następująco:

1. Przy stałej zmianie wartości współczynnika spływu, końcowa zmiana przepływu ścieków deszczowych wyrażona w $[dm^3/(s \cdot ha)]$ odnosząca się do analizowanych podprzedziałów jest stała. Jej wielkość zależna jest od przyjętego jednostkowego natężenia deszczu, które w przypadku metody stałych natężeń jest stałe dla wszystkich jednostek obliczeniowych, wielkości zlewni oraz kroku obliczeniowego (stopnia zmiany samego współczynnika).
2. Procentowa zmiana ilości ścieków deszczowych w stosunku do pierwotnego nagromadzenia wód opadowych ściśle uzależniona jest od wartości wyjściowego współczynnika spływu oraz jego zmiany (wartości granicznych przedziału).
3. Z przeprowadzonej analizy wynika, iż największy procentowy wpływ na wynik końcowy mają zmiany w obszarze niewielkich wartości (duża retencja i infiltracja zlewni). Związane jest to bezpośrednio

- z procentowym udziałem zmiany współczynnika spływu w stosunku do jego wartości pierwotnej.
4. Korzystniejsza sytuacja, z punktu widzenia błędnie dobranego współczynnika spływu jest w przypadku, gdy jego zmiana ma miejsce w zakresach dużych wielkości, czyli zlewni o szczelnej, nieprzepuszczalnej powierzchni. Ewentualny błąd w doborze jego wartości w mniejszym stopniu przełoży się na ilość obliczeniowych ścieków deszczowych. Analogicznie jednak wpływ zmiany dla bardziej przepuszczalnych powierzchni, czyli mniejszych wartości współczynnika spływu, jest większy; tym nie mniej zlewnia o takim zagospodarowaniu posiada większe „możliwości” przyjęcia nadmiaru ścieków deszczowych, dzięki czemu powodziowe straty gospodarcze będą mniejsze.
 5. Z uwagi na coraz większą powszechność utwardzonych powierzchni, w procesie wymiarowania systemów odwodnień należy przyjmować większe wartości współczynnika spływu niż literaturowe. Wdrażany system ma spełniać swoje zadanie perspektywicznie przez szereg lat, uwzględniając trendy zmian klimatu oraz plan zagospodarowania przestrzennego na danym obszarze.

Literatura

1. **Błaszcyk W., Roman M., Stomatello H.:** *Kanalizacja tom 1*. Arkady, Warszawa 1974.
2. **Błażejowski R.:** *Kanalizacja wsi*. Wyd. PZITS O/Wlkp. Poznań 2003.
3. **Imhof K. i KR.:** *Kanalizacja miast i oczyszczanie ścieków*. Poradnik, Arkady, Warszawa 1982.
4. **Królikowska J., Królikowski A.:** *K/Ocena wpływu współczynnika spływu i opóźnienia na przepływy obliczeniowe w sieci kanalizacji deszczowej*. Rocznik Ochrony Środowiska Tom 11 cz. 1. Koszalin 2009.
5. **Suligowski Z.:** *Infrastruktura kanalizacyjna w gospodarce komunalnej*. Wydawnictwo P.G. Gdańsk 2006.
6. **Szpindor A.:** *Zaopatrzenie w wodę i kanalizacja wsi*. Wyd. 2 Arkady, Warszawa 1998.
7. **Tutak P.:** *Analiza wpływu doboru współczynnika spływu i opóźnienia na przepływy obliczeniowe w kanałach deszczowych*. Praca dyplomowa magisterska wykonana pod kierunkiem prof. A. Królikowskiego w Katedrze Wodociągów, Kanalizacji i Monitoringu Środowiska Politechniki Krakowskiej. Kraków 2010.

Analysis of Runoff Coefficient Value on Design Flow in Rainwater Channels

Abstract

The paper contains a thorough analysis of the runoff coefficient in the 'coefficient-flow' relation, with a constant step and the widely-known method of constant intensities. Correct runoff coefficient estimation is decisive in calculations, and even a small deviation in the runoff coefficient has a greater impact on the final outcome than any other element.

The analysis shows that the largest percentage impact on the final result have changes in the area of small values (high retention and infiltration of basin). It is connected directly with percentage share of change of runoff coefficient in relation to its original value.

More favourable situation from the viewpoint of wrongly chosen runoff coefficient is the case when the change occurs in the ranges of large values, that is the catchment of a sealed, impermeable surface. Error in selection of its value, in a smaller extent, will have impact on the amount of computational rainwater. By analogy, however, the impact of the changes for more permeable surface, that is smaller runoff coefficient is greater, although basin of such land use has bigger "possibilities" to adopt excess rainwater, and this way economic losses caused by flood would be reduced.

Because of increasing prevalence of paved surfaces in the process of sizing drainage systems bigger runoff coefficient values than in the literature should be assumed. The implemented system has to fulfil its long-term for several years taking into account trends of climate change and spatial planning in the area.