

Toruń, 11-12.12.2023

**Nowe wyzwania w odwodnieniu
dróg zamiejskich i ulic
– Wytyczne rekomendowane
WR-D-71**

Podstawy wymiarowania urządzeń do odwodnienia w WR-D-71

Stanisław Gaca
Katedra Dróg, Kolei i Inżynierii Ruchu
Politechnika Krakowska



WYBRANE PROBLEMY

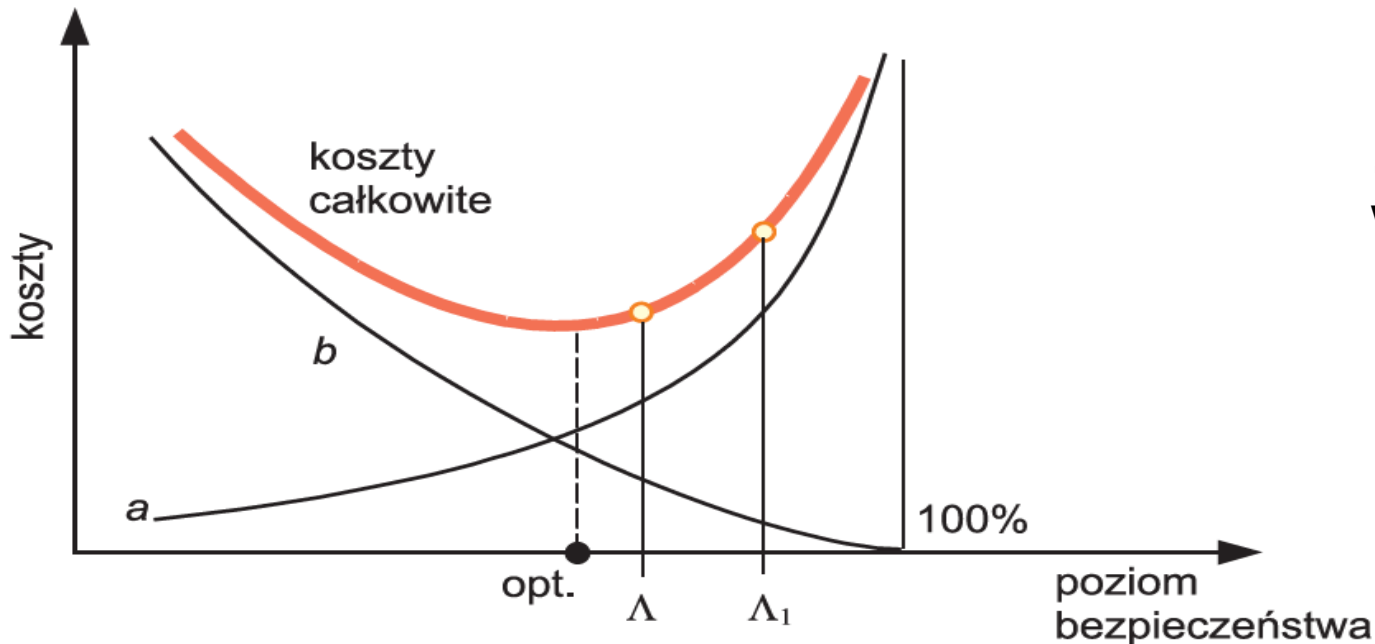
- 1. Jak uwzględniać losowość opadów deszczu w aspekcie oczekiwanej niezawodności funkcjonowania dróg?**
- 2. Odptyw wody ze zlewni jako podstawa wymiarowania urządzeń odwodnienia**
- 3. Inne wymagania funkcjonalne w wymiarowaniu urządzeń odwodnienia**

„Świadome projektowanie urządzeń odwodnienia wymaga dobrego zrozumienia uwarunkowań wynikających z losowości opadów deszczu”

Podstawowym narzędziem w projektowaniu powinna być analiza ryzyka ze świadomością ograniczeń ekonomicznych i funkcjonalnych.

RYZIKO - kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz jego skutków.
(*Prawdopodobieństwo poniesienia strat o określonej skali szkody*).

Zarządzanie ryzykiem - podejmowanie decyzji i realizowanie działań, które prowadzą do osiągnięcia akceptowalnego poziomu ryzyka.



Zależność kosztów bezpieczeństwa od wymaganego poziomu bezpieczeństwa
(*a – wydatki potrzebne na zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, b – straty wskutek zdarzeń i zjawisk niepożądanych*)

Przykład zapisu z wykorzystaniem elementów teorii ryzyka - oczekiwane koszty strat w ruchu pojazdów w sytuacji wystąpienia zdarzenia awaryjnego:

$$R = P \cdot S$$

S – miara konsekwencji zdarzenia awaryjnego

P – prawdopodobieństwo zdarzenia awaryjnego

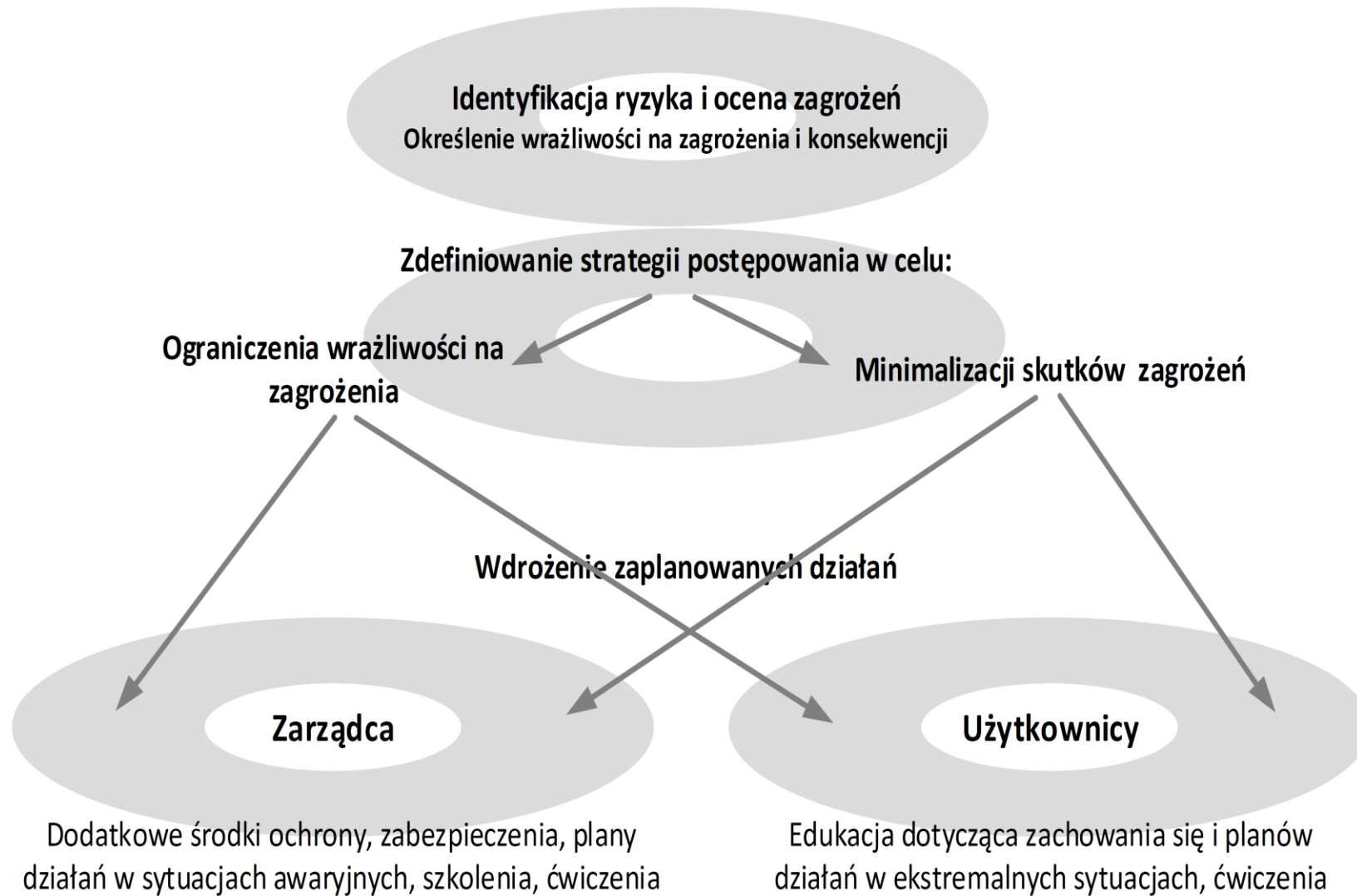
$$K = R_E \cdot P \cdot S$$

R_E – wystawienie na ryzyko – liczba pojazdów zatrzymanych w wyniku zdarzenia awaryjnego

Oddziaływanie na wielkość strat K :

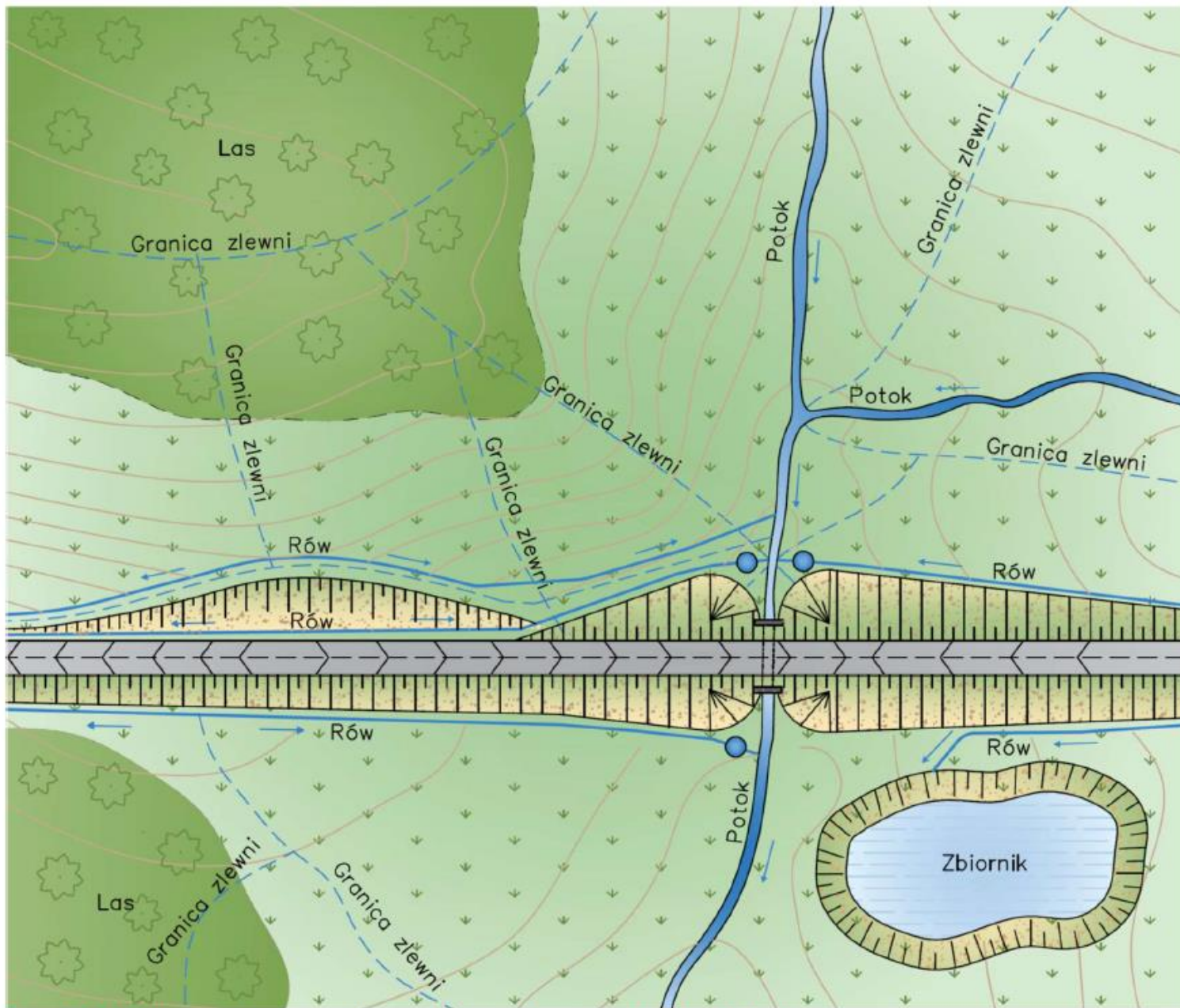
- zarządzanie R_E
- zmniejszenie P
- ograniczanie S

W projektowaniu urządzeń odwodnienia podstawowym sposobem oddziaływania na ograniczania strat (zapewnienia niezawodności) jest dobór prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanego zdarzenia w powiązaniu z klasą drogi, ale nie można zapominać także o ograniczaniu wartości miary konsekwencji niepożądanego znaczenia

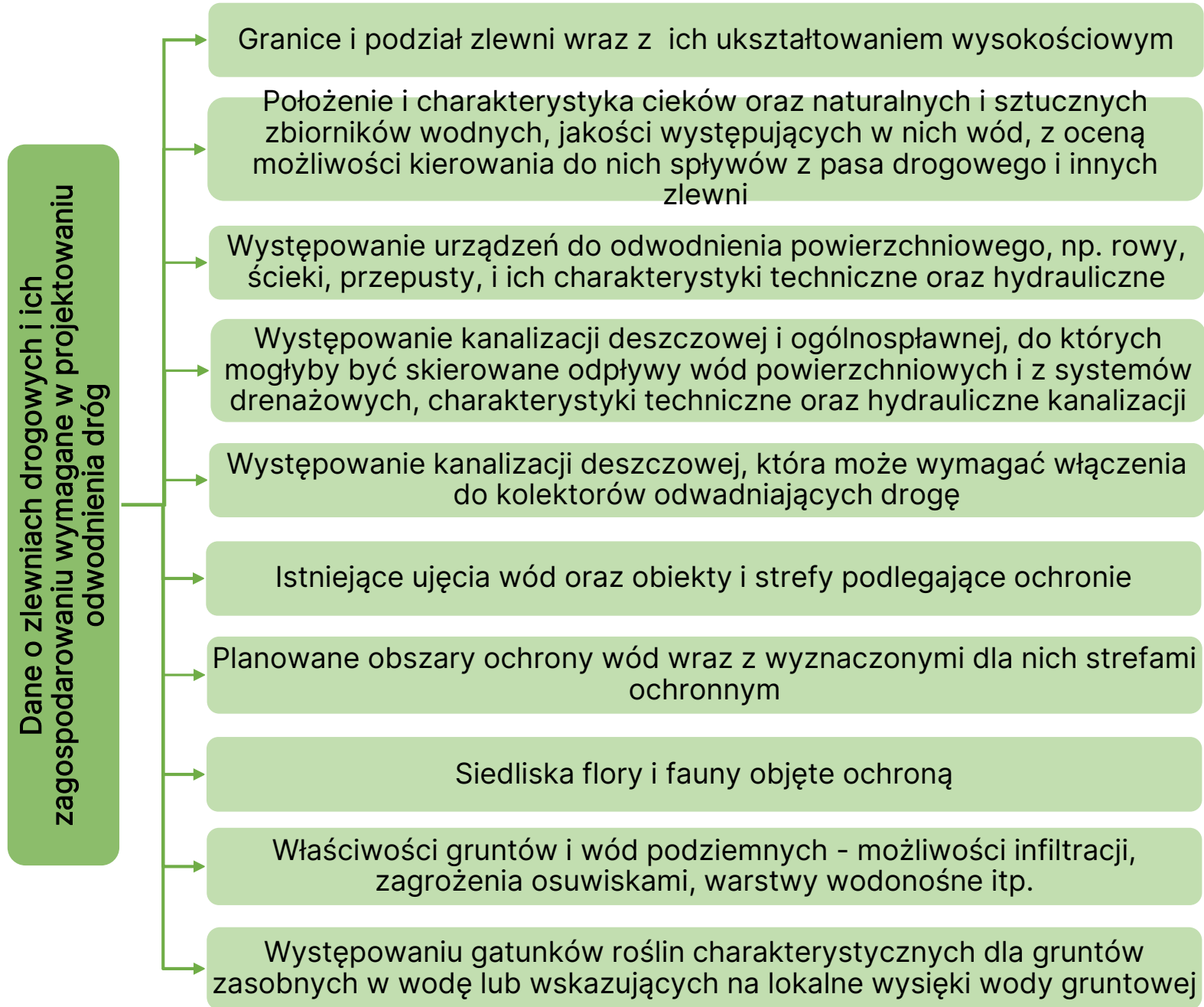


Schemat metody postępowania w celu minimalizacji skutków zagrożeń związanych ze zmianami klimatu (na podstawie: TR80A 2008:72148 Risk Management for Roads in a Changing Climate. A Guidebook to the RIMAROCC Method - Final version. ERA-NET ROAD)

Miarodajny odpływ wód opadowych lub roztopowych z pasa drogowego i z przyległych terenów do wymiarowania urządzeń odwadniających



Schemat obszaru analiz w projektowaniu systemów odwodnienia



Zestawienie podstawowych danych wymaganych w projektowaniu odwodnienia dróg

„NOWE w WR-D71-1” - obliczanie miarodajnego odpływu wód opadowych lub roztopowych z pasa drogowego i z przyległych terenów do wymiarowania urządzeń odwadniających

1. natężenia opadów miarodajnych w zależności od t_m i p należy określać na podstawie odczytu z **aktualnego atlasu opadowego dla miejsca inwestycji** lub z użyciem lokalnego modelu opadowego (dane z okresu minimum 20-30 lat obserwacji i nie starsze niż 50 lat)
2. prawdopodobieństwa (częstości) deszczów miarodajnych:

Odwadniane drogi lub ich części		Prawdopodobieństwo p [%]	Częstość C [lata]
Drogi zamiejskie	klasy A lub S	10	10
	klasy GP	20	5
	klasy G lub Z	50	2
	klasy L lub D	100	1
	miejsca obsługi podróżnych przy drogach klasy A lub S	10	10
	parkingi przy drogach klasy GP	20	5

Prawdopodobieństwa (częstości) deszczów miarodajnych

Odwadniane drogi lub ich części		Prawdopodobieństwo p [%]	Częstość C [lata]
Ulice	tereny mieszkaniowe	≤50	≥2
	centra miast, tereny usługowe i przemysłowe	≤20	≥5
	infrastruktura zaliczana do krytycznej z uwagi na funkcjonowanie sieci ulic	10	10
	najbardziej wrażliwe na zalania i podtopienia sekcje infrastruktury (np. wjazdy do tuneli, przejścia i przejazdy podziemne) – <i>także na drogach zamiejskich</i>	5	20

Przyjmowane wartości prawdopodobieństwa p deszczów miarodajnych mogą być niższe od rekomendowanych do obliczeń w powyższych tabelach, jeśli jest to uzasadnione lokalnymi uwarunkowaniami i wynikiem analiz ryzyka

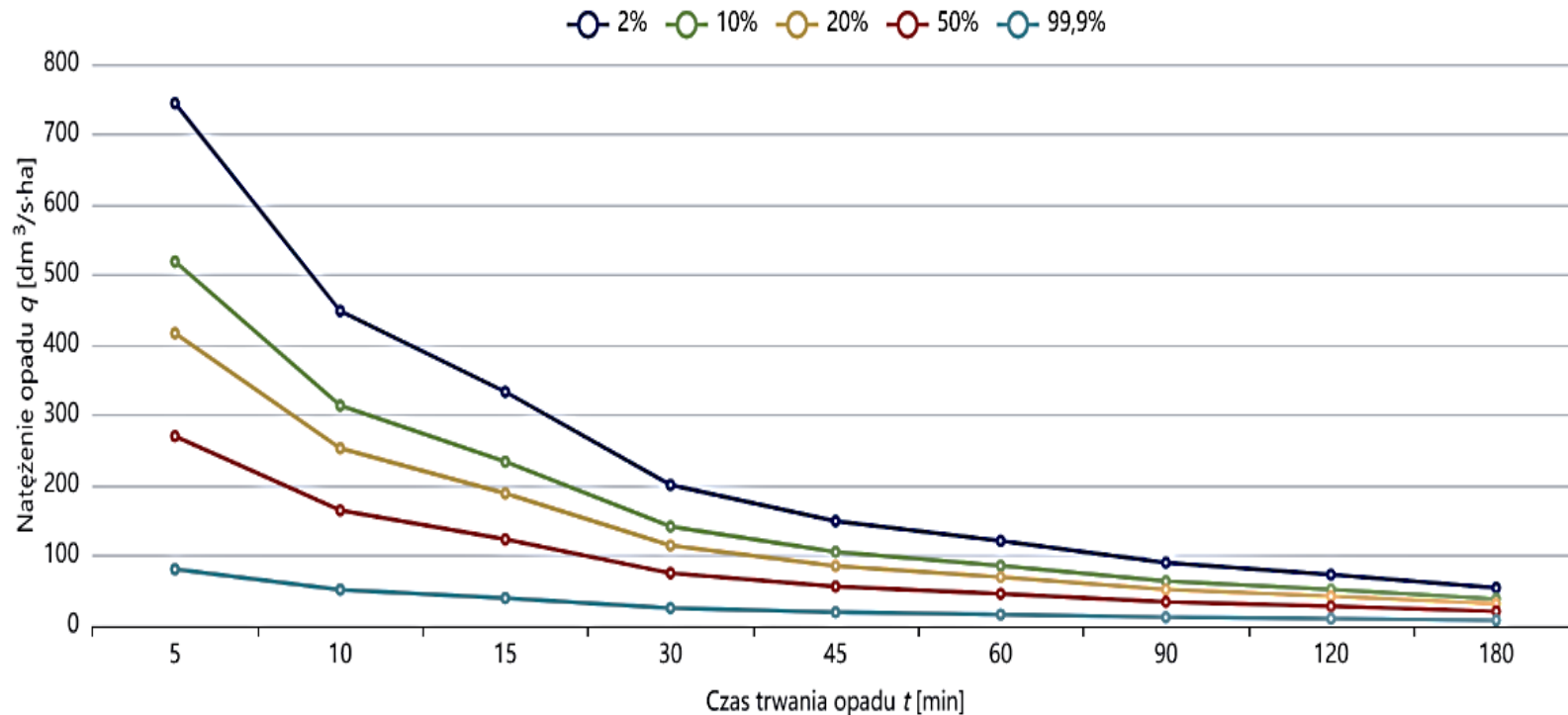
W rekomendowanej do obliczeń metodzie maksymalnych natężeń, miarodajne natężenie deszczu jest ustalane **na podstawie przyjętej częstości C (prawdopodobieństwa p) występowania oraz miarodajnego czasu trwania t_d** , przyjmowanego za równy czasowi przepływu t_p wód opadowych lub roztopowych przez projektowane kanały deszczowe. Przy tym, **miarodajny czas trwania deszczu t_d nie może być krótszy od minimalnego czasu trwania deszczu miarodajnego t_{dmin}** , zależnego od stopnia uszczelnienia i spadków terenów zlewni.

Najkrótsze miarodajne czasy trwania deszczu t_{dmin} , w zależności od spadku terenu i uszczelnienia powierzchni zlewni

Średni spadek terenu [%]	Stopień uszczelnienia [%]	Minimalny czas trwania deszczu [min]
<1	≤50	15
	>50	10
1-4	≥0	10
>4	≤50	10
	>50	5

Przykład konsekwencji indywidualnego przyjęcia prawdopodobieństwa deszczu p

Natężenie opadu q dla różnych czasów trwania t



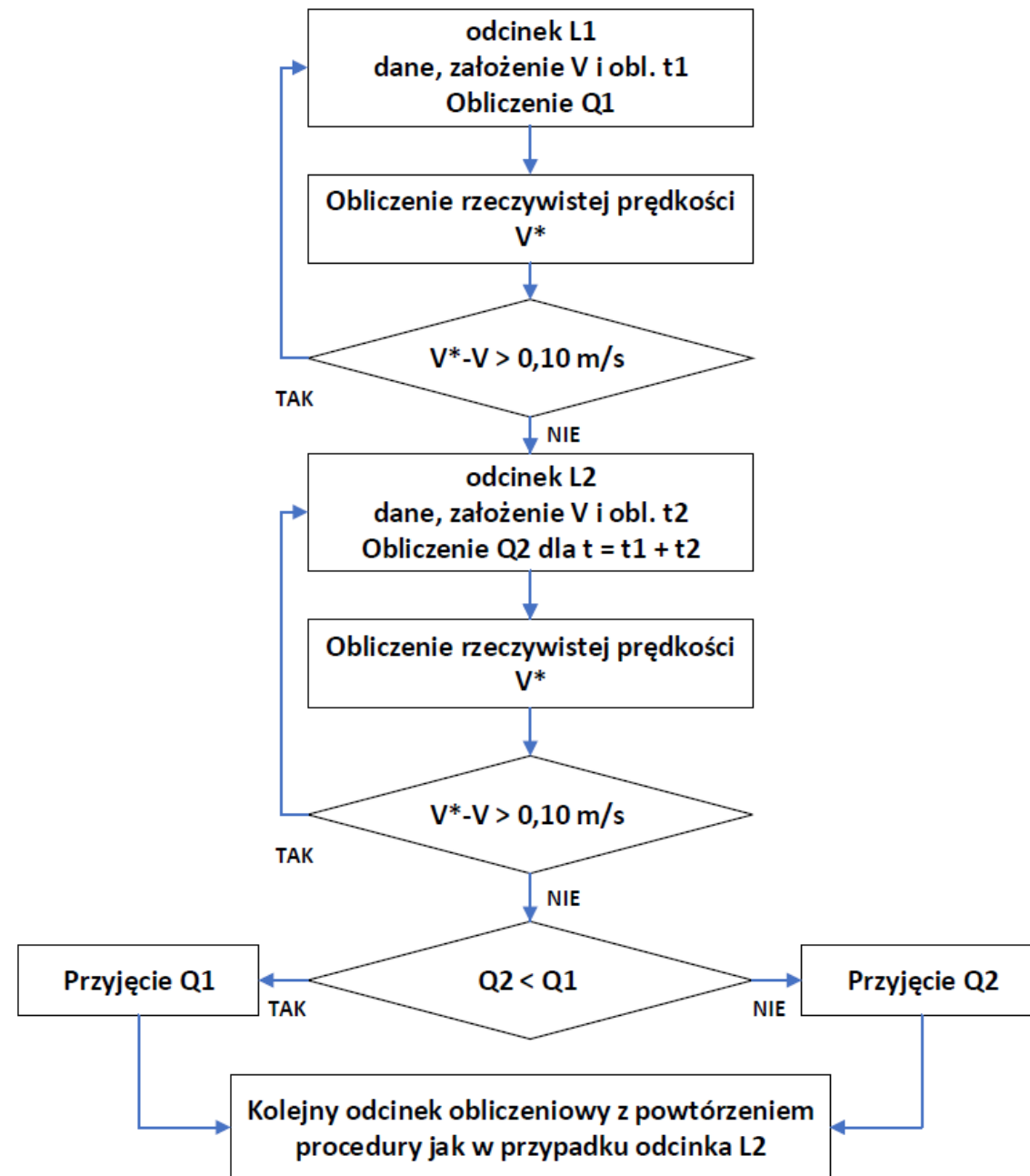
A. Odcinek autostrady: zalecane prawdopodobieństwo deszczu 10%, czas jego trwania 15 minut – natężenie opadu $q = 240$ l/s/ha,

B. Odcinek autostrady jako krytyczny element sieci, przyjęte prawdopodobieństwo deszczu 2%, czas jego trwania 15 minut – natężenie opadu $q = 335$ l/s/ha, tj. o 40% więcej w stosunku do standardowego założenia

Współczynniki spływu wody ze zlewni

Rodzaj nawierzchni / odwadniana zlewnia cząstkowa	Współczynnik spływu ψ [-]
Silnie uszczelnione powierzchnie:	
• nawierzchnie asfaltowe i betonowe	0,85-0,90 ¹⁾
• bruki kamienne i klinkierowe	0,75-0,85 ¹⁾
• nawierzchnie z kostki betonowej	0,75-0,85 ¹⁾
Słabiej uszczelnione powierzchnie:	
• bruki bez zalanych spoin	0,50-0,70 ¹⁾
• nawierzchnie tłuczniowe	0,25-0,60 ¹⁾
• nawierzchnie żwirowe	0,15-0,30 ¹⁾
Nieumocnione powierzchnie:	
• grunty rolne	0,05-0,25 ¹⁾
• lasy	0,01-0,15 ¹⁾
• parki i ogrody	0,10-0,30 ¹⁾
• aleje spacerowe	0,20-0,40 ¹⁾
Pozostałe tereny i powierzchnie przylegające do dróg ¹⁾ :	
• dachy budynków i wiat, zadaszenia ²⁾	0,95
• skarpy drogowe umocnione:	
– roślinnością	0,20 – 0,50 ³⁾
– elementami ażurowymi (geokraty, płyty ażurowe itp.)	0,50
– narzutem kamiennym, materacami gabionowymi itp.	0,70
– elementami szczelnymi (płyty betonowe itp.)	0,90

Obliczenia przepływów miarodajnych prowadzi się od najwyżej położonego odcinka, przez kolejne odcinki kanałów, aż do ich wylotów, uwzględniając przy tym zwiększające się powierzchni zredukowane odwadnianych zlewni, wydłużające się czasy przepływu w sieci i zredukowane względem tych czasów natężenia deszczu miarodajnego. W przypadku wystąpienia połączeń kanałów, przepływ miarodajny dla kolejnego niżej położonego odcinka sieci oblicza się dla zwiększonej łącznej powierzchni zredukowanej zlewni i dla czasu stanowiącego sumę czasu przepływu przez rozpatrywany odcinek i najdłuższego czasu przepływu spośród czasów ustalonych uprzednio dla łączących się kanałów. Przy tym obliczony w ten sposób przepływ miarodajny nie może być mniejszy od najwyższego spośród przepływów miarodajnych ustalonych uprzednio dla łączących się kanałów



Algorytm obliczeniowy miarodajnego odpływu wód opadowych (I)

Krok	Element obliczeń	
1	Ustalenie danych wejściowych: p (C), F_{z1} , F_{z2} , ..., F_{zn} , ψ_{z1} , ψ_{z2} , ..., ψ_{zn}	
2	Pierwszy z odcinków obliczeniowych o długości l_1 Obliczenie czasu przepływu przez pierwszy odcinek ze wzoru (5.2.2.1):	
		$t_{p1} = \frac{l_1}{60 \cdot v_1} \quad (5.2.2.1)$
	gdzie: t_{p1} – czas przepływu przez pierwszy odcinek obliczeniowy [min], l_1 – długość pierwszego odcinka obliczeniowego [m], v_1 – założona, przybliżona prędkość przepływu [m/s] (może to być domyślnie $v_1 = 1$ m/s).	
3	Czy obliczony czas przepływu t_{p1} jest dłuższy od minimalnego czasu trwania deszczu miarodajnego t_{dmin} ?	
	TAK przyjęcie: $t_{d1} = t_{p1}$	NIE przyjęcie: $t_{d1} = t_{dmin}$
4	Odczytanie z atlasu lub modelu opadowego dla określonego miarodajnego czasu trwania deszczu t_{d1} i przyjętej częstości deszczu C natężenia deszczu miarodajnego $q_{max}(t_{d1}, C)$	

Algorytm obliczeniowy miarodajnego odpływu wód opadowych (II)

5	Obliczenie miarodajnego przepływu na końcu pierwszego odcinka obliczeniowego (na podstawie odczytanej wartości natężenia deszczu miarodajnego) ze wzoru (5.2.2.2):	
	$Q_1 = q_{max}(t_{d1}, C) \cdot \psi_{z1} \cdot F_{z1}$	(5.2.2.2)
	<p>gdzie:</p> <p>Q_1 – miarodajny przepływ na końcu pierwszego odcinka obliczeniowego [dm³/s],</p> <p>$q_{max}(t_{d1}, C)$ – natężenie deszczu miarodajnego [dm³/(s · ha)],</p> <p>ψ_{z1} – zastępczy współczynnik spływu zlewni cząstkowej odwadnianej przez pierwszy odcinek obliczeniowy [-],</p> <p>F_{z1} – powierzchnia zlewni cząstkowej odwadnianej przez pierwszy odcinek obliczeniowy [ha].</p>	
6	Dobranie dla przepływu miarodajnego Q_1 i przyjętego spadku dna kanału wymiarów kanału (zgodnie z podrozdziałem 5.2.3) oraz obliczenie rzeczywistej średniej prędkości przepływu przez kanał v_{rz1} .	
	<p>TAK</p> <p style="text-align: center;">powtórzenie obliczeń od kroku 3, podstawiając w drugim przybliżeniu za $v_1 = v_{rz1}$</p>	<p>NIE</p> <p style="text-align: center;">przejdźcie do kroku 7 – wymiarowanie kolejnego odcinka kanału</p>
7	<u>Drugi z odcinków obliczeniowych o długości l_2.</u>	
	Obliczenie czasu przepływu przez drugi odcinek ze wzoru (5.2.2.3):	
	$t_{p2} = \frac{l_2}{60 \cdot v_1}$	(5.2.2.3)
<p>gdzie:</p> <p>t_{p2} – czas przepływu przez drugi odcinek obliczeniowy [min],</p> <p>l_2 – długość drugiego odcinka obliczeniowego [m],</p> <p>v_1 – założona, przybliżona prędkość przepływu [m/s] (może to być domyślnie $v_1 = 1$ m/s).</p>		
8	Obliczenie sumarycznego czasu przepływu przez odcinki t_{cp} ($t_{cp} = t_{p1} + t_{p2}$)	

Algorytm obliczeniowy miarodajnego odpływu wód opadowych (III)

9	Czy obliczony sumaryczny czas przepływu t_{cp} jest dłuższy od minimalnego czasu trwania deszczu miarodajnego t_{dmin}		
	TAK przyjęcie: $t_{d2} = t_{cp}$	NIE przyjęcie $t_{d2} = t_{dmin}$	
10	Obliczenie miarodajnego przepływu na końcu drugiego odcinka obliczeniowego (na podstawie odczytanej wartości natężenia deszczu miarodajnego) ze wzoru (5.2.2.4):		
		$Q_2 = q_{max}(t_{d2}, C) \cdot (\psi_{z1} \cdot F_{z1} + \psi_{z2} \cdot F_{z2})$	(5.2.2.4)
	gdzie:		
	Q_2 – miarodajny przepływ na końcu drugiego odcinka obliczeniowego [dm^3/s], $q_{max}(t_{d2}, C)$ – natężenie deszczu miarodajnego [$dm^3/(s \cdot ha)$], ψ_{z1}, ψ_{z2} – zastępcze współczynniki spływu zlewni cząstkowych odwadnianych przez odpowiednio pierwszy i drugi odcinek obliczeniowy [-], F_{z1}, F_{z2} – powierzchnie zlewni cząstkowych odwadnianych przez odpowiednio pierwszy i drugi odcinek obliczeniowy [ha].		
11	Dobranie dla przepływu miarodajnego Q_2 i przyjętego spadku dna kanału wymiarów kanału (zgodnie z podrozdziałem 5.2.3) oraz obliczenie rzeczywistej średniej prędkości przepływu przez kanał v_{rz1}		

Algorytm obliczeniowy miarodajnego odpływu wód opadowych (IV)

12	Czy prędkość v_1 różni się od prędkości v_{rz1} więcej niż $\pm 0,1$ m/s?	
	TAK powtórzenie obliczeń od kroku 7, podstawiając w drugim przybliżeniu za $v_1 = v_{rz1}$	NIE przejdźcie do kroku 13 – sprawdzenie warunku współzależności zlewni
13	Czy $Q_2 < Q_1$?	
	TAK za miarodajny do zwymiarowania odcinka obliczeniowego l_2 przyjmuje się większy przepływ Q_1 – przejście do kolejnego odcinka obliczeniowego	NIE przejdźcie do kolejnego odcinka obliczeniowego
14	Kolejny odcinek obliczeniowy – powtarzanie kroków od 7 do 13 do ostatniego odcinka n	
ZAKOŃCZENIE PROCEDURY PO WYKONANIU OBLICZEŃ DLA OSTATNIEGO ODCINKA n. WYNIK: Q_n		

Przepustowość koryt otwartych zaleca się obliczać na podstawie formuły Chezy'ego i Manninga. W tym celu określa się: powierzchnię czynnego przekroju, obwód zwilżony, promień hydrauliczny oraz współczynnik szorstkości koryta

$$Q = A \cdot v$$

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot I_E^{1/2}$$

$$R_h = \frac{A}{L_u}$$

gdzie:

Q – przepływ [m^3/s],

A – pole powierzchni czynnego przekroju [m^2],

v – średnia prędkość przepływu [m/s],

n – współczynnik szorstkości zależny od sposobu umocnienia dna i ścian koryta [$\text{m}^{-1/3} \cdot \text{s}$];

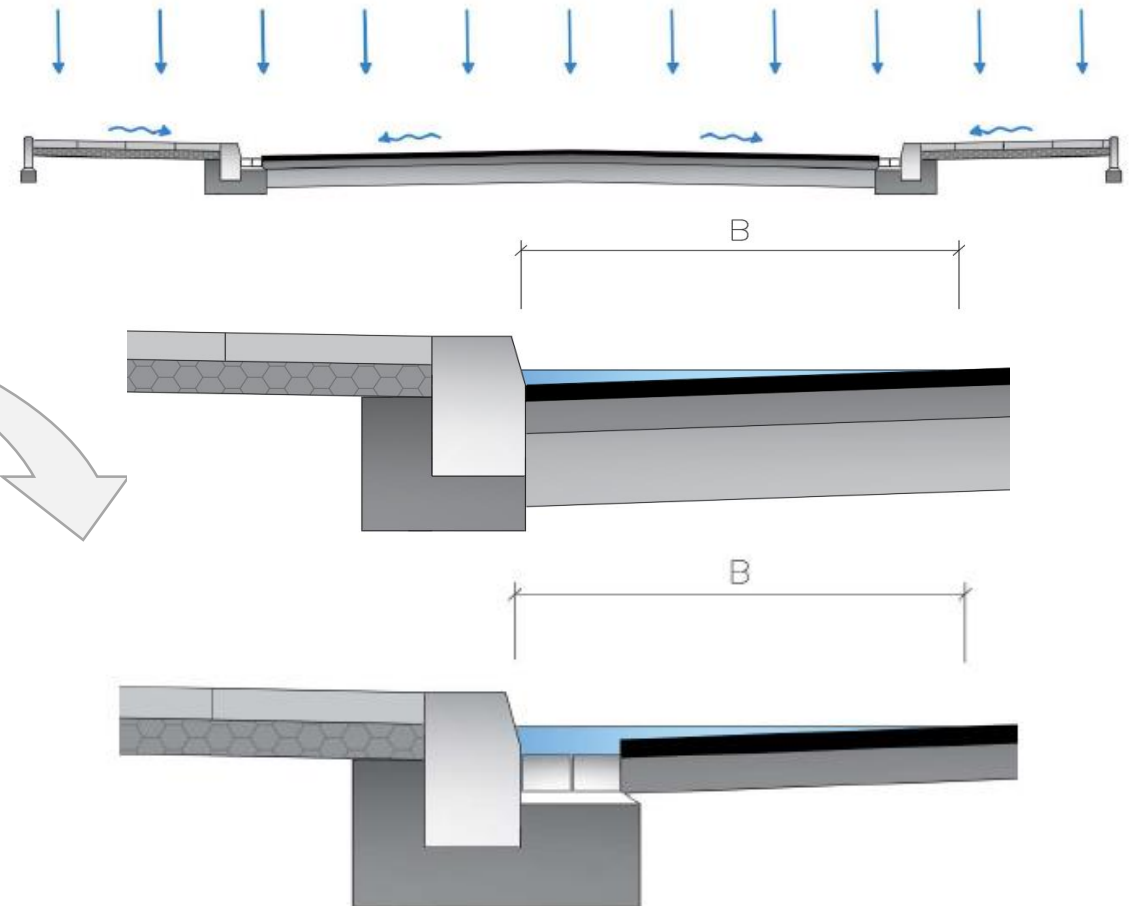
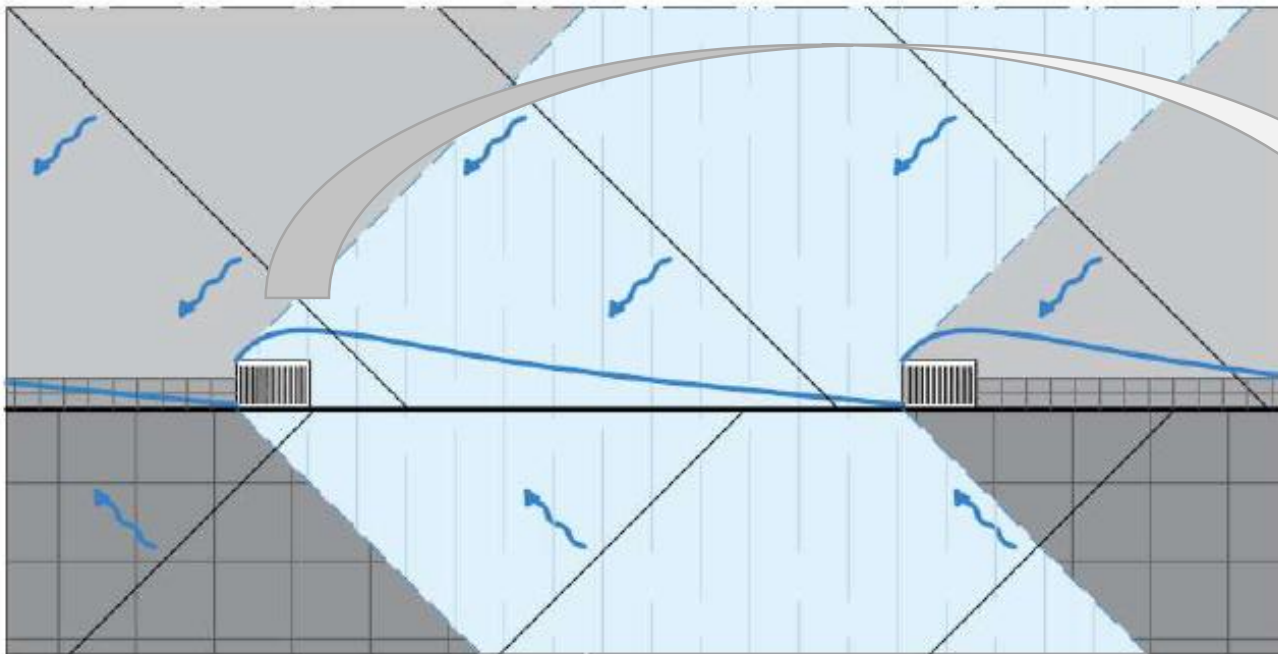
R_h – promień hydrauliczny [m]

I_E – spadek linii energii [-]; za wartość spadku linii energii (przy spełnieniu dodatkowych wymogów), można przyjmować wartość spadku podłużnego dna koryta;

L_u – obwód zwilżony [m]

Uwarunkowania funkcjonalne w obliczaniu przepustowości przekroju otwartego koryta, przy wyznaczaniu jego przekroju:

1. Ograniczenia maksymalnych wymiarów (zalecenia praktyczne)
2. Ograniczenia przepustowości odbiornika
3. Warunki bezpieczeństwa (strefa bez przeszkód, inne zagrożenia)
4. Komfort ruchu (piesi, rowerzyści)
5. Estetyka (szczególnie w miastach)



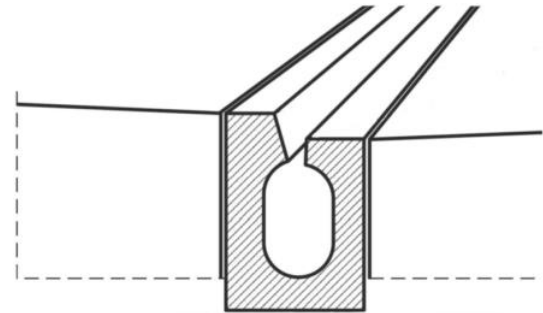
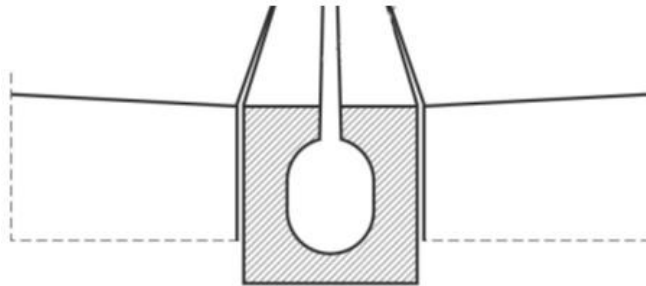
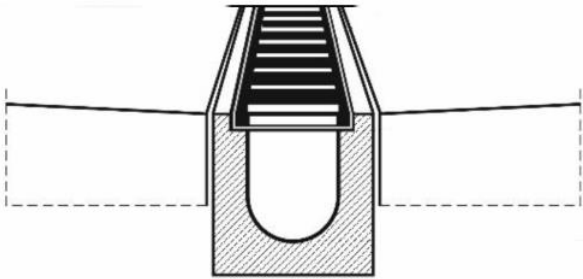
Dopuszczalne szerokości strugi wody ścieków przykrawężnikowych przed wpustem

Klasa drogi		Szerokość strugi wody w ścieku B [m]
Drogi zamiejskie	A, S	0,65 (lewostronnie) i 1,00 (prawostronnie)
	GP	0,60
	G, Z	0,50
	L, D	0,45
Ulice	GP, G, Z, L, D	≤0,50

Komentarz 1: dla projektanta nie może to być jedyny warunek, powinien analizować dodatkowe warunki funkcjonalne i brd

Komentarz 2: struga wody przed wpustem może wykraczać poza szerokość ścieku o wyróżnionej konstrukcji – częściowy spływ po jezdni. Natomiast sam ściek nie może być częścią jezdni!

Przepustowość ścieków (rynien), liniowych odwodnień skrzynkowych lub szczelinowych wykonywanych z płaskim dnem, tzn. bez spadku podłużnego, powinna być przyjmowana na podstawie wyników badań hydraulicznych przeprowadzanych przez producentów, uwzględniających geometrię, szorstkość i długość rynien.

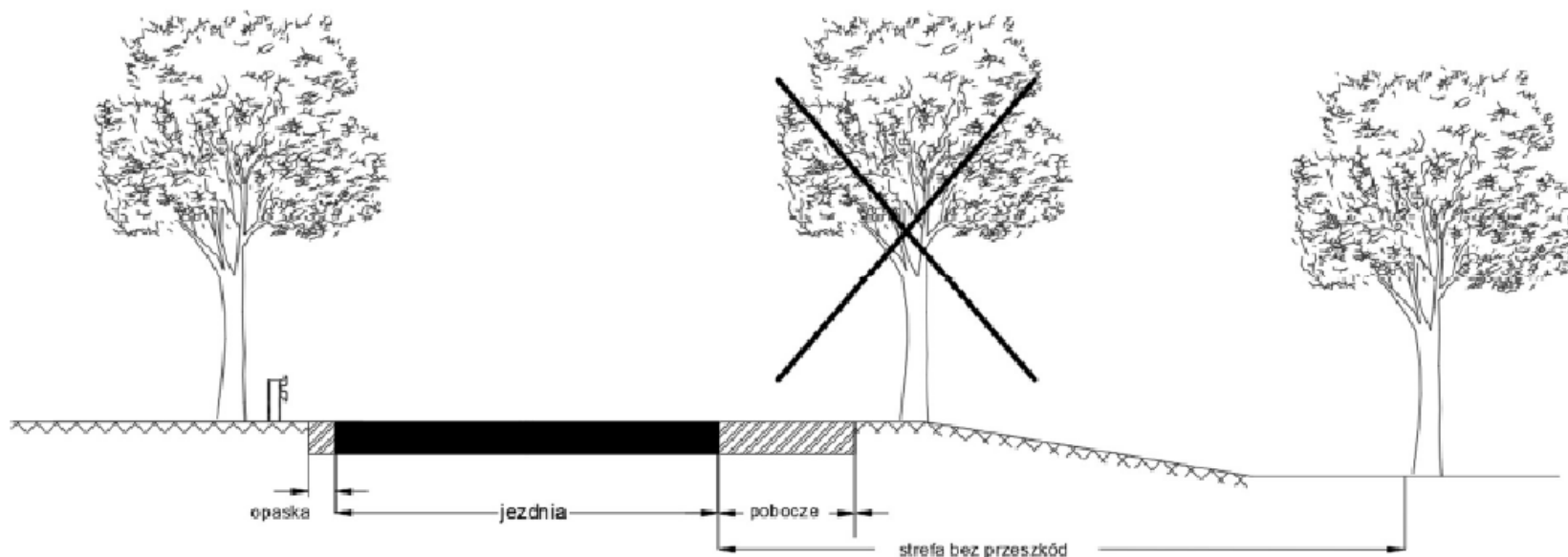


Warunki bezpieczeństwa

- Urządzenia odwodnienia jako potencjalna przeszkoda w strefie, która powinna być wolna od przeszkód
- Zagrożenia wynikające z przepełnienia urządzeń odwodnienia

STREFA BEZ PRZESZKÓD

Jeżeli prędkość dopuszczalna na drodze wynosi więcej niż 50 km/h, projektuje się strefy bez przeszkód (rys. 11.1), tj. obszary przylegające do jezdni, których ukształtowanie i zagospodarowanie ograniczają negatywne skutki wypadków i kolizji drogowych związanych z nie kontrolowanym zjechaniem pojazdu z jezdni. Obszar ten mierzy się od linii znaku poziomego na krawędzi pasa ruchu lub w przypadku jego braku – od krawędzi jezdni.



WNIOSKI – PYTANIA
(uczestnicy Forum)