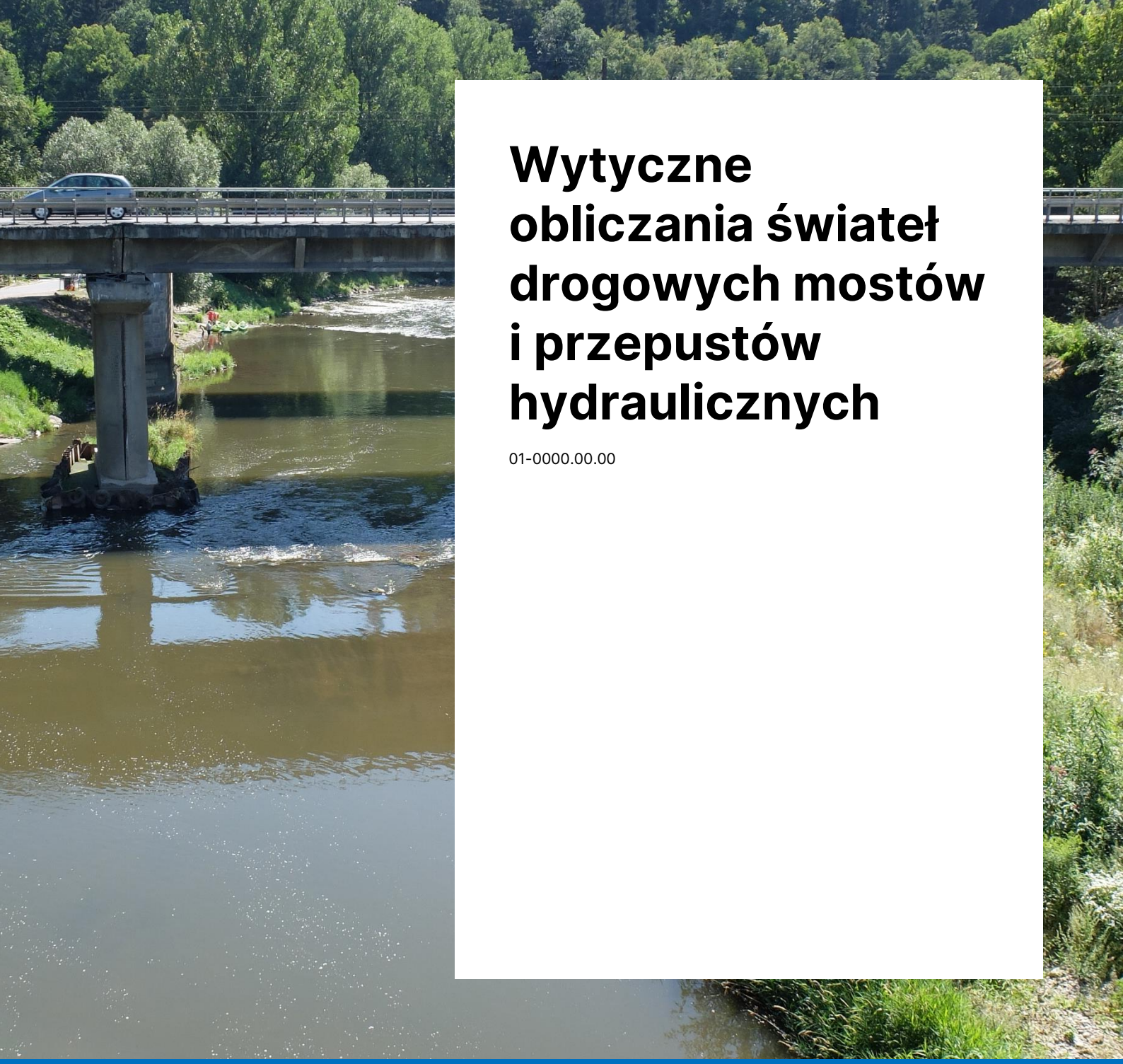


Wytyczne obliczania świateł drogowych mostów i przepustów hydraulicznych

01-0000.00.00

Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu

WR-M-12

WR-M-12
Wytyczne obliczania świateł drogowych mostów i przepustów hydraulicznych

Wersja: **01**
Obowiązuje od: **0000.00.00**
Rekomendował:

Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu:
1) nie stanowią przepisów techniczno-budowlanych w rozumieniu ustawy – Prawo budowlane,
2) zgodnie z ustawą o drogach publicznych przeznaczone są do dobrowolnego stosowania,
3) nie zwalniają osób wykonujących samodzielne funkcje techniczne w budownictwie z odpowiedzialności zawodowej.

Opracował Zespół w składzie:
Janusz Rymsza – Koordynator, Apoloniusz Kodura, Janusz Kubrak, Michał Kubrak, Piotr Kuźniar, Bohdan Utrysko

Jednostka odpowiedzialna:
Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych
ul. Chałubińskiego 4/6, 00-968 Warszawa

© Skarb Państwa – Minister Infrastruktury
Zdjęcie na okładce © IBDiM

Opracowanie sfinansowano ze środków Funduszu Spójności w ramach działania 2.1 Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna 2014-2020



Spis treści

1. Przedmiot i zakres stosowania

2. Wykaz opracowań powołanych
2.1. Akty prawne
2.2. Pozostałe opracowania

3. Definicje i objaśnienia skrótów
3.1. Definicje
3.2. Symbole

4. Wymagania ogólne
4.1. Podstawowe zasady projektowania
4.2. Dostosowanie mostu do warunków terenowych
4.3. Dane hydrologiczne
4.4. Wartości prawdopodobieństwa przewyższenia dla przepływów miarodajnych
4.5. Bezpieczne wzniesienie spodu konstrukcji mostu ponad zwierciadłem wody
4.6. Usytuowanie podpór
4.7. Mosty inundacyjne i mosty nad rozgałęzionymi korytami rzek
4.8. Ochrona przed nadmierną erozją
4.9. Zjawiska lodowe
4.10. Żegluga
4.11. Potoki górskie i rzeki podgórskie
4.12. Przepusty hydrauliczne

5. Obliczenia hydrauliczne mostów
5.1. Zasady ogólne
5.2. Zasady obliczania światła mostów
5.3. Pogłębienie przekroju w profilu mostowym
5.3.1. Obliczenia przekroju mostowego z dnem rozmywalnym
5.3.2. Obliczenia przekroju mostowego z dnem nierozmywalnym
5.4. Rozmycia dna (wyboje) przy filarach mostowych
5.5. Wysokość spiętrzenia przed mostem
5.5.1. Spiętrzenie przy nierozmytym przekroju mostowym
5.5.2. Spiętrzenie po wystąpieniu rozmycia dna w przekroju mostowym
5.6. Rzędna spodu konstrukcji mostowej
5.7. Mosty inundacyjne

6. Obliczenia hydrauliczne przepustów hydraulicznych
6.1. Zasady obliczeń
6.2. Wymiarowanie przepustu i obliczanie spiętrzenia przed przepustem
6.2.1. Algorytm postępowania
6.2.2. Typ 1 – przepust o niezatopionym wlocie i wylocie oraz spadku dna większym od krytycznego
6.2.3. Typ 2 – przepust o niezatopionym wlocie i wylocie oraz spadku dna mniejszym od krytycznego
6.2.4. Typ 3 – przepust o niezatopionym wlocie i dławionym wylocie
6.2.5. Typ 4 – przepust o zatopionych wlocie i wylocie
6.2.6. Typ 5 – przepust o zatopionym wlocie i niezatopionym wylocie
6.2.7. Typ 6 – przepust o zatopionym wlocie i przepływie ze swobodnym zwierciadłem
6.2.8. Dobór schematu hydraulicznego przepustu
6.3. Obliczenia stanowiska dolnego
6.3.1. Cel i zakres obliczeń
6.3.2. Głębokość i prędkość na wylocie z przewodu przepustu
6.3.3. Ukształtowanie wypadu
6.3.4. Ocena warunków hydraulicznych poniżej wylotu
6.3.5. Umocnienia wypadu

6.3.6. Głębokość rozmycia
6.4. Wspomaganie obliczeń przepustów

1. Przedmiot i zakres stosowania

(1) Przedmiotem wytycznych są zasady wymiarowania mostów drogowych oraz drogowych przepustów hydraulicznych ze względu na warunki hydrauliczne.

(2) Metodyka obowiązuje przy obliczaniu światła mostów oraz wymiarowaniu przepustów hydraulicznych na ciekach naturalnych i sztucznych.

(3) Podane wzory i zalecenia powinny być stosowane:

a) w odniesieniu do mostów na drogach klas A, S, GP, G, i Z projektowanych w przekrojach, w których powierzchnia zlewni nie przekracza 20 000 km^2,
b) w odniesieniu do mostów na drogach klas L i D oraz przepustów projektowanych w przekrojach, w których powierzchnia zlewni nie przekracza 30 000 km^2.

(4) W odniesieniu do mostów projektowanych w przekrojach o zlewniach większych niż wymienione w akapicie (3) oraz w przypadkach wymienionych poniżej, obliczenia hydrauliczne wraz z analizą procesów rozmycia dna i powstawania lokalnych wybojów, powinny być konsultowane z jednostkami naukowo-badawczymi oraz poparte wynikami fizycznych badań modelowych bądź modelowania numerycznego:

a) w przypadku cieku o zmiennej szerokości koryta, gdy zmiany szerokości koryta głównego, pomiędzy przekrojami zlokalizowanymi w odległości równej szerokości lustra wody brzegowej, są większe niż 50%,
b) w przypadku zlokalizowania mostu w bezpośrednim sąsiedztwie (w odległości mniejszej niż dwukrotna szerokość lustra wody miarodajnej) od obiektów budownictwa wodnego (nie dotyczy obiektów pełniących funkcję regulacyjną).

2. Wykaz opracowań powołanych

2.1. Akty prawne

[1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 r. w sprawie klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych (Dz. U. poz. 695).

[2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 579).

2.2. Pozostałe opracowania

[3] Obliczanie falowania na zbiornikach – wytyczne projektowania, Centralne Biura Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego „Hydroprojekt”, Warszawa, 1984.

3. Definicje i objaśnienia skrótów

3.1. Definicje

Cofka – odcinek koryta charakteryzujący się podwyższonym poziomem lustra wody w wyniku ograniczonej możliwości odpływu wody.

Cofka wiatrowa – podwyższenie lustra wody postępujące w górę cieku w wyniku podniesienia się poziomu wody w odbiorniku spowodowanego oddziaływaniem silnych wiatrów.

Głębokość średnia – obliczeniowa głębokość napełnienia koryta, wyznaczana jako iloraz pola przekroju przez szerokość lustra wody w danym przekroju.

Koryto (przekrój) wielodzielne – koryto cieku posiadające koryto główne oraz przyległe do niego tereny zalewowe aktywne w okresach powodziowych.

Koryto (przekrój) zwarte – koryto cieku pozbawione terenów zalewowych, zdolne do przeprowadzenia wód wielkich.

Koryto główne (łożysko) cieku – najniżej położona strefa doliny, na ogół obustronnie ograniczona wyraźnie ukształtowanymi brzegami, powyżej których leżą tereny zalewowe.

Koryto otwarte – przewód hydrauliczny, którego przekrój domknięty jest swobodną powierzchnią zwierciadła wody.

Krzywa spiętrzenia – przebieg linii zwierciadła wody na odcinku cofki.

Miarodajna rzędna zwierciadła wody – rzędna w niezabudowanym przekroju mostowym odpowiadająca przepływowi miarodajnemu.

Most inundacyjny – część przeprawy mostowej w formie przęseł zlokalizowanych na terenach zalewowych, hydraulicznie odciążający część mostu nad korytem głównym cieku.

Najwyższa Woda Żeglowna – najwyższy stan rzeki żeglownej, dla którego dopuszczana jest żegluga.

Przekrój mostowy – zabudowany przekrój cieku w osi mostu.

Przekrój niezabudowany – przekrój cieku planowany do zabudowania konstrukcją mostu.

Przepływ miarodajny – maksymalny przepływ roczny o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia.

Przepływy charakterystyczne – przepływy opisujące charakter cieku: przepływ odpowiadający wodzie brzegowej, przepływ miarodajny, przepływ odpowiadający Najwyższej Wodzie Żeglownej.

Prześwit – minimalna wysokość pomiędzy lustrem wody a spodem konstrukcji mostu.

Rok hydrologiczny – jednostka czasu używana do określania bilansu wodnego, rozpoczynająca się 1 listopada i kończąca się 31 października.

Ruch krytyczny – przepływ, który odbywa się z głębokością (zwaną głębokością krytyczną), dla której energia właściwa strumienia jest minimalna.

Ruch rwący – przepływ, który odbywa się z głębokością mniejszą od głębokości ruchu krytycznego.

Ruch spokojny – przepływ, który odbywa się z głębokością większą od głębokości ruchu krytycznego.

Szerokość przepustu hydraulicznego – największa odległość między wewnętrznymi krawędziami ścian bocznych, mierzona w poziomie.

Średnia prędkość przepływu – prędkość zastępcza, charakteryzująca całe pole prędkości w przekroju w taki sposób, że $Q = F \cdot v_{śr}$.

Światło mostu – światło mostu brutto zmniejszone o sumę grubości filarów na poziomie miarodajnej rzędnej zwierciadła wody.

Światło mostu brutto – odległość między ścianami przyczółków, mierzona na poziomie miarodajnej rzędnej zwierciadła wody, prostopadle do kierunku przepływu. W mostach bez przyczółków z przęsłami zatopionymi w nasypie, światło mostu powinno być odniesione do poziomu określonego wyżej, jako odległość między umocnionymi skarpami stożków nasypowych.

Taras zalewowy – jedna z równin zalewowych o podobnych rzędnych terenu, przylegająca do lewego, bądź prawego brzegu rzeki.

Woda brzegowa – sytuacja hydrologiczna, w której przepływ (nazywany pełnokorytowym) wypełnia koryto główne do poziomu naturalnej linii brzegowej.

Wysokość przepustu hydraulicznego – największa odległość pomiędzy dnem a dolną krawędzią stropu konstrukcji przepustu hydraulicznego, mierzona w pionie.

Zlewnia rzeki – obszar, z którego woda spływa do danego przekroju rzeki.

3.2. Symbole

(1) W tab. 3.2.1 zestawiono wykaz symboli użytych w niniejszych wytycznych wraz z odpowiednią jednostką oraz opisem.

Tab. 3.2.1. Wykaz zastosowanych symboli

Symbol	Jednostka	Opis
α	[-]	współczynniki Saint-Venanta w przekroju pod mostem
α_0	[-]	współczynniki Saint-Venanta w przekroju przed mostem
α_v	[-]	współczynnik uwzględniający rozkład prędkości w przekroju rzeki
ΔK_φ	[-]	poprawka uwzględniająca wpływ skośnego usytuowania filara do osi cieku
ΔK_e	[-]	poprawka uwzględniająca wpływ niesymetrycznego zwężenia cieku
ΔK_f	[-]	poprawka uwzględniająca wpływ filarów
Δz	[m]	spiętrzenie wywołane przez most
μ	[-]	współczynnik wydatku na wlocie do przepustu
μ_m	[-]	współczynnik wydatku
B	[m]	szerokość koryta
B_l	[m]	szerokość cieku przesłonięta nasypami wraz z przyczółkami mostu przy jednostronnym tarasie zalewowym
B_o	[m]	szerokość zwierciadła wody w przekroju niezabudowanym
B_{og}	[m]	szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m
B_{oz}	[m]	łączna szerokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m
B_{ozl}	[m]	szerokość terenów zalewowych przy brzegu lewym w przekroju niezabudowanym przy Q_m
B_{ozp}	[m]	szerokość terenów zalewowych przy brzegu prawym w przekroju niezabudowanym przy Q_m
B_w	[m]	szerokość wypadu
b_z	[m]	grubość zastępcza filara
c	[-]	wielkość zależna od rodzaju gruntu stanowiącego podłoże cieku
F	[m^2]	pole przekroju
d_i	[mm]	średnica i-tej frakcji gruntu
d_m	[mm]	średnia ważona średnica cząstek gruntu
D_9	[m]	średnica zastępcza, poniżej której zawarte jest 90% masy rumowiska
f	[-]	współczynnik
F_f	[m^2]	pole powierzchni zajętej przez filary
F_{fg}	[m^2]	łączne pole przekroju poprzecznego filarów w strefie koryta głównego przy Q_m, przed rozmyciem dna

F_{fz}	[m^2]	łączne pole przekroju poprzecznego filarów w strefie terenów zalewowych przy Q_m, przed rozmyciem dna
F_g	[m^2]	pole przekroju (netto) koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
F_{gbr}	[m^2]	pole przekroju brutto koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
F_{kr}	[m^2]	pole przekroju przy Q_m dla spadku krytycznego, w przepuście
F_m	[m^2]	pole przekroju mostowego (netto) przed rozmyciem
F_{mr}	[m^2]	pole przekroju mostowego (netto) po rozmyciu
F_o	[m^2]	pole przekroju cieku
F_{og}	[m^2]	pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m
F_{oz}	[m^2]	łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m
F_{ozl}	[m^2]	pole przekroju terenów zalewowych przy brzegu lewym w przekroju niezabudowanym przy Q_m
F_{ozp}	[m^2]	pole przekroju terenów zalewowych pry brzegu prawym w przekroju niezabudowanym przy Q_m
F_p	[m^2]	pole przekroju przewodu przepustu
F_z	[m^2]	pole przekroju (netto) terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
F_{zbr}	[m^2]	pole przekroju brutto terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
F_{wyl}	[m^2]	pole przekroju strumienia wody w przekroju wylotowym
Fr	[-]	Liczba Froude'a
g	[m/s^2]	przyspieszenie ziemskie
H_1	[m]	wzniesienie zwierciadła przed wlotem do przewodu przepustu ponad dno wlotu
H_2	[m]	wzniesienie zwierciadła wody za wylotem przewodu przepustu ponad dno wylotu
h	[m]	głębokość koryta
h_d	[m]	wzniesienie zwierciadła wody za przepustem hydraulicznym nad dnem wylotu przewodu
h_e	[m]	spiętrzenie eoliczne
h_f	[m]	wysokość fali
h_g	[m]	średnia głębokość koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
h_{gr}	[m]	średnia głębokość koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, po rozmyciu dna
h_i	[m]	głębokość w przekroju niezabudowanym (przed rozmyciem) w osi podpory „i"
h_{kr}	[m]	głębokość krytyczna w przewodzie przepustu
h_L	[m]	straty liniowe w przepuście
h_m	[m]	głębokość miarodajna
h_{mn}	[m]	średnia głębokość w przekroju mostowym z dnem nierozmywalnym
h_n	[m]	głębokość normalna w przewodzie przepustu
h_{og}	[m]	średnia głębokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m
h_{oz}	[m]	średnia głębokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m
h_p	[m]	wysokość przewodu przepustu
h_r	[m]	średnia głębokość koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, po rozmyciu dna
h_w	[m]	głębokość wody na wypadzie
h_{wt}	[m]	wysokość falowania i spiętrzenia wiatrowego
h_{wyl}	[m]	głębokość wody na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego
h_z	[m]	średnia głębokość terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
i	[-]	spadek cieku

I	[-]	spadek hydrauliczny koryta w rejonie projektowanego mostu
i_{kr}	[-]	spadek krytyczny obliczony dla przepływu miarodajnego i danego przekroju przepustu
i_p	[-]	spadek dna przewodu przepustu
i_t	[-]	spadek hydrauliczny przy przepływie Q_m wypełniającym cały przekrój przewodu przepustu
K	[-]	współczynnik strat
K_0	[-]	podstawowy współczynnik strat
K_1	[-]	współczynnik zależny od kształtu filara
K_2	[-]	współczynnik
K_3	[-]	współczynnik zależny od wielkości rozmycia i kształtu filara
L	[m]	światło mostu(całkowite)
L_{br}	[m]	światło mostu brutto (szerokość przekroju mostowego między przyczółkami)
L_{fg}	[m]	łączna grubość filarów w strefie koryta głównego
L_{fz}	[m]	łączna grubość filarów w strefie terenów zalewowych
L_g	[m]	światło mostu w strefie koryta głównego
L_{gbr}	[m]	światło mostu w strefie koryta głównego, brutto
L_p	[m]	długość przewodu przepustu
L_w	[m]	długość wypadu
L_z	[m]	światło mostu w strefie terenów zalewowych
L_{zbr}	[m]	światło mostu w strefie terenów zalewowych, brutto
M	[-]	współczynnik
n_i	[-]	współczynnik szorstkości według Manninga w strefie obliczanego rozmycia podpory „i”
n_p	[$m^{-1/3}s$]	współczynnik szorstkości wg Manninga przewodu przepustu
n_{pz}	[$m^{-1/3}s$]	zastępczy współczynnik szorstkości wg Manninga przewodu przepustu
p	[m]	uskok dna na końcu wylotu przepustu
P	[-]	stopień rozmycia – stosunek średnich głębokości po rozmyciu i przed rozmyciem dna, obliczonych dla miarodajnej rzędnej zwierciadła wody z_m w przekroju mostowym
p_i	[%]	udział i-tej frakcji gruntu
P_{nax}	[-]	maksymalne dopuszczalne rozmycie
Q	[m^3/s]	przepływ
Q_g	[m^3/s]	część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju mostowego
Q_m	[m^3/s]	przepływ miarodajny
Q_{og}	[m^3/s]	część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego
Q_{os}	[m^3/s]	część przepływu w przekroju niezabudowanym przypadająca na światło mostu brutto L_{br}
Q_{oz}	[m^3/s]	część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego
Q_{ozx}	[m^3/s]	część przepływu po terenach zalewowych przekroju niezabudowanego przypadająca na światło mostu brutto w strefie terenów zalewowych
Q_z	[m^3/s]	część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego
R_h	[m]	promień hydrauliczny przewodu przepustu
S_w	[m]	minimalny zasięg ubezpieczenia dna wokół filara
v	[m/s]	średnia prędkość przepływu wody w przewodzie przepustu
v_1	[m/s]	średnia prędkość przepływu wody przed wlotem do przewodu przepustu
v_{nr}	[m/s]	prędkość nierozmywająca
v_g	[m/s]	średnia prędkość w korycie głównym w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
v_o	[m/s]	średnia prędkość wody dopływającej w cieku powyżej mostu/przepustu

v_{og}	[m/s]	średnia prędkość w korycie głównym w przekroju niezabudowanym przy Q_m
v_{oz}	[m/s]	średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m
$v_{śr}$	[m/s]	średnia prędkość
v_{wyl}	[m/s]	prędkość na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego
v_z	[m/s]	średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna
z	[m]	różnica rzędnych dna pomiędzy wlotem a wylotem przewodu przepustu $z = L_p \cdot i_p$
z_m	[m]	miarodajna rzędna zwierciadła wody w przekroju niezabudowanym przy przepływie Q_m
z_s	[m]	rzędna zwierciadła wody miarodajnej Q_m spiętrzonej, w przekroju bezpośrednio przed mostem

4. Wymagania ogólne

4.1. Podstawowe zasady projektowania

(1) Most i przepust hydrauliczny należy projektować w taki sposób, aby warunki przepływu wody, ruchu rumowiska, spływu lodu i żeglugi na rzekach żeglownych nie uległy pogorszeniu.

(2) W szczególności należy unikać:

a) nadmiernego spiętrzenia wody powyżej mostu,
b) spiętrzenia wody powyżej przepustu mogącego prowadzić do strat w rejonie obiektu,
c) utrudnienia ruchu rumowiska, nadmiernego pogłębienia koryta pod mostem i rozmyć przy podporach,
d) utrudnienia w spływie lodu i obiektów unoszonych na wodzie w czasie wezbrań,
e) utrudnienia w żegludze dla rzek i kanałów żeglownych.

(3) Określenie „nadmierne" użyte w odniesieniu do spiętrzenia wody lub pogłębienia dna oznacza przekroczenie typowych wartości tych parametrów.

4.2. Dostosowanie mostu do warunków terenowych

(1) Zaleca się sytuować most w taki sposób, aby obszary zalewowe były przekraczane w najwęższym miejscu, a koryto główne w najszerszym.

(2) Oś mostu zaleca się zlokalizować prostopadle do nurtu rzeki występującego podczas przepływu miarodajnego, a oś przepustu zgodnie z tym kierunkiem.

(3) Przęsła mostu zaleca się umieszczać w ten sposób, aby najdłuższe przęsło było zlokalizowane nad najgłębszą częścią koryta głównego.

(4) Nie należy lokalizować mostu bezpośrednio poniżej ujścia dopływu, to jest strefy mieszania się rumowisk z dopływu i cieku głównego.

(5) Zaleca się dążyć do usytuowania mostu w takim miejscu, gdzie koryto cieku jest zbliżone do prostego.

(6) W przypadku przekraczania doliny rzeki obwałowanej, ukształtowanie budowanych nasypów ziemnych nie powinno powodować zaburzenia ruchu rumowiska.

(7) Most nie powinien być sytuowany na odcinku na którym występują: gwałtowne zwężenia koryta, ostre łuki lub progi

(8) Spełnienie wymagań, o których mowa w akapitach od (1) do (7), powinno być zapewnione w szczególności poprzez odpowiednią długość mostu, podział na przęsła oraz odpowiednie usytuowanie wysokościowe mostu w stosunku do przeszkody.

(9) Długość mostu powinna wynikać z warunku minimalnego światła mostu, zapewniającego przepływ miarodajny, bez spowodowania nadmiernego spiętrzenia wody w cieku, wywołującego dodatkowe zagrożenia oraz bez spowodowania nadmiernych rozmyć koryta cieku.

(10) Światło mostu, spiętrzenie przed mostem oraz wielkości rozmyć przy podporach powinny być określone w projekcie budowlanym.

(11) Określenie światła mostu stanowiącego część budowli piętrzącej i jego wysokościowe usytuowanie wchodzi w zakres projektowania budowli piętrzącej.

(12) W przypadku przewidywanej w rejonie mostu budowy obwałowań bądź prowadzenia prac regulacyjnych, powinny być uwzględnione warunki przepływu w przebudowanym korycie.

(13) W przypadkach, gdy głębokość średnia cieku podczas przepływu miarodajnego jest większa od 3,0 m zaleca się rozwiązanie kolizji drogi z ciekiem w formie mostu, a nie przepustu.

(14) Światło mostu brutto nie może być mniejsze od szerokości koryta głównego w przekroju niezabudowanym.

4.3. Dane hydrologiczne

(1) Dane hydrologiczne, w tym również ciągi statystyczne służące do wyznaczania przepływów o określonych prawdopodobieństwach, nie powinny być starsze niż 2 lata hydrologiczne od daty opracowania projektu.

(2) Dane hydrologiczne powinny zostać opracowane na podstawie obserwacji wodowskazowych i pomiarów hydrometrycznych prowadzonych przez państwową służbę hydro-meteorologiczną (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMiGW-PIB)).

(3) Wielkości przepływów charakterystycznych należy wyznaczyć w oparciu o jedną z metod:

a) w zlewniach kontrolowanych, na podstawie statystycznej analizy danych hydrologicznych w odniesieniu do najbliższego profilu wodowskazowego,
b) w zlewniach niekontrolowanych, na podstawie metod obliczeniowych opartych na relacji „opad-odpływ" lub na podstawie metod analogii hydrologicznej.

(4) Każdorazowe prowadzenie prac remontowych elementów mostu lub przepustu, które wpływają na ograniczenie światła mostu lub wymiarów przepustu hydraulicznego, powinno być poprzedzone analizą aktualnych wartości przepływów miarodajnych i porównania ich z wartościami przyjętymi w projekcie.

4.4. Wartości prawdopodobieństwa przewyższenia dla przepływów miarodajnych

(1) W odniesieniu do mostów, wartość prawdopodobieństwa przewyższenia przepływów dla wszystkich klas drogi należy przyjmować równą 0,5%.

(2) W odniesieniu do przepustów, wartość prawdopodobieństwa przewyższenia przepływów miarodajnych należy przyjmować równą 1,0%.

(3) Jeśli warunki ochrony przeciwpowodziowej dla danego odcinka rzeki zakładają niższe wartości prawdopodobieństwa przewyższenia, dopuszcza się warunkowo przyjęcie niższej wartości prawdopodobieństwa.

(4) W odniesieniu do mostów i przepustów na kanałach z regulowanym przepływem jako przepływ miarodajny powinien być przyjęty przepływ odpowiadający warunkom pracy kanału.

(5) Przepływ miarodajny dotyczący mostu bądź przepustu usytuowanego poniżej budowli piętrzącej powinien być skorelowany z łącznym przepływem przez sterowane urządzenia upustowe.

(6) Obliczenia wartości przepływu o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia na podstawie metody wymienionej w podrozdziale 4.3 akapit (3) lit. c, powinny opierać się na wartościach współczynników spływu/odpływu aktualnych w poprzednim roku hydrologicznym lub prognozowanych na podstawie miejscowych planów zagospodarowania terenu. Do obliczeń należy przyjąć wartości wyższe.

4.5. Bezpieczne wzniesienie spodu konstrukcji mostu ponad zwierciadłem wody

(1) Bezpieczne wzniesienie spodu konstrukcji mostu ponad zwierciadłem wody miarodajnej powinno wynosić:

a) w przypadku rzek nizinnych – 1,0 m, ze względu na bezpieczny spływ konarów drzew oraz lodu,
b) w przypadku rzek podgórskich i potoków górskich – 2,0 m, ze względu na bezpieczny spływ konarów drzew,
c) w przypadku rzek żeglownych – wzniesienie spodu konstrukcji mostu powinno dodatkowo zapewniać bezpieczną żeglugę pod mostem. Minimalne odległości pomiędzy rzędną spiętrzonej Najwyższej Wody Żeglownej a spodem konstrukcji mostowej określa rozporządzenie [1].

(2) W odniesieniu do rzek obwałowanych, jeżeli szerokość wałów w koronie wynosi co najmniej 2,5 m, należy zapewnić przejazd pod mostem pojazdów o wysokości co najmniej 3,0 m po wale

lub drogą objazdową po zawale, chyba że możliwe jest skrzyżowanie traktu po wale powodziowym z drogą prowadzącą na most.

(3) W odniesieniu do rzek i kanałów żeglownych, ustalając wzniesienie spodu konstrukcji mostowych należy przyjąć najwyższą wartość spośród wartości wyznaczonych dla warunku bezpiecznego przepuszczenia przepływu miarodajnego oraz warunku wynikającego z przepisów żeglugowych.

(4) W odniesieniu do rzek żeglownych, ustalając wzniesienie spodu konstrukcji mostowych należy wziąć pod uwagę wzniesienia mostów powyżej i poniżej. Uwzględniając wartości istniejących wzniesień oraz warunki podane w akapicie (3), należy zastosować wartość większą.

4.6. Usytuowanie podpór

(1) Płaszczyzny boczne ścian filarów oraz przyczółków powinny być dostosowane do przewidywanego kierunku przepływu miarodajnego i nie powinny tworzyć kąta większego niż 15° z kierunkiem przepływu na poziomie normalnym. Dopuszczalne jest zwiększenie kąta na podstawie badań na modelu fizycznym.

(2) W przypadku podpór ażurowych przez płaszczyznę boczną rozumie się płaszczyznę wyznaczoną przez elementy podpory.

(3) Na rzekach żeglownych dopuszcza się odchylenie kierunku płaszczyzn filarów i przyczółków od kierunku spływu wód żeglownych o kąt nie większy niż 10°.

(4) Wymagania określone w akapicie (1) nie mają zastosowania do podpór estakad nad dolinami małych cieków.

(5) Osie podpór mostów usytuowanych obok siebie, na tym samym prostym odcinku rzeki, powinny znajdować się w tej samej linii.

4.7. Mosty inundacyjne i mosty nad rozgałęzionymi korytami rzek

(1) Mosty inundacyjne należy projektować:

a) w przypadku mostów przekraczających tereny zalewowe prowadzące nie mniej niż 30% miarodajnego przepływu wody powodziowej w strefie tarasów zalewowych,
b) w każdym przypadku na przedłużeniu łach i starorzeczy występujących w rejonie mostu.

(2) Przy rozgałęzionych korytach rzek długość mostów powinna być określona według przepływu miarodajnego, rozdzielonego proporcjonalnie do zdolności przepustowych poszczególnych ramion rzeki. Do ustalenia długości każdego mostu powinna być przyjęta odpowiadająca mu część przepływu miarodajnego, zwiększona o 20% jego wartości.

(3) W przypadku trudności z ustaleniem rozdziału przepływu powinny być wykonane badania modelowe lub obliczenia numeryczne.

4.8. Ochrona przed nadmierną erozją

(1) Skarpy brzegów koryta głównego powinny być ubezpieczone przed erozją przy pomocy opasek brzegowych na długości równej co najmniej szerokości koryta głównego w górę oraz w dół rzeki od krawędzi mostu, odpowiednio od górnej i dolnej wody. Długość ubezpieczenia, zarówno w górę rzeki jak i w dół, nie może mieć mniejszej długości od szerokości mostu.

(2) Powierzchnia dna wokół podpór mostu powinna być zabezpieczona przed rozmyciem odpowiednio do obliczeniowej prędkości wody opływającej podporę (podrozdziały 5.3 i 5.4).

(3) Zasięg zabezpieczenia dna należy ustalać na podstawie głębokości rozmycia dna obliczonych według zasad z uwzględnieniem pogłębienia dna w przekroju mostowym i kąta stoku naturalnego materiału budującego dno pod wodą (podrozdziały 5.3 i 5.4). W przypadku przekroczenia prędkości dopuszczalnej nierozmywającej na tarasach zalewowych pod mostem,

powierzchnia tarasów pod mostem powinna zostać ubezpieczona przy pomocy narzutu kamiennego lub narzutu kamiennego w płotkach faszynowych.

(4) Projekt posadowienia podpór mostowych, powinien określić krytyczną głębokość rozmycia, po przekroczeniu której następuje utrata nośności fundamentu.

(5) Wartości krytycznych rzędnych dna przy poszczególnych podporach winny być archiwizowane w opisie technicznym mostu i porównywane okresowo z istniejącymi głębokościami rozmycia. Pierwszy pomiar rozmycia należy przeprowadzić po 1 roku użytkowania, następne pomiary podczas przeglądów okresowych co 5 lat. Osiągnięcie krytycznej rzędnej rozmycia jest wskazaniem do wszczęcia działań przeciwdziałających dalszej erozji.

4.9. Zjawiska lodowe

(1) Jeżeli spływ lodu odbywa się na poziomie przepływu miarodajnego, światło mostu mniejsze niż 30 m powinno być określone na podstawie tego przepływu zwiększonego o 15% jego wartości.

(2) W mostach wieloprzęsłowych światła poszczególnych przęseł w korycie rzeki, w celu zapewnienia niezakłóconego spływu lodów, nie powinny być mniejsze niż 1/10 szerokości koryta mierzonej w poziomie wody brzegowej.

4.10. Żegluga

(1) Usytuowanie mostu powinno spełnić wymagania administratorów wód w szczególności w zakresie umiejscowienia podpór, prędkości przepływu wód oraz odległości mostu od przystani, jeśli znajduje się on w jej pobliżu.

(2) Minimalne światło przęseł żeglownych, zależne od klasy śródlądowej drogi wodnej, należy przyjmować zgodnie z rozporządzeniem [2].

(3) Projektując światło przęsła żeglownego mostu, należy uwzględnić wielkości przęseł żeglownych mostów powyżej i poniżej projektowanej przeprawy.

(4) Projektowane światło przęsła żeglownego powinno być nie mniejsze niż wyższa wartość spośród podanych w akapitach (2) i (3).

4.11. Potoki górskie i rzeki podgórskie

(1) Przez potok górski rozumie się ciek charakteryzujący się łącznie poniższymi cechami:
- a) powierzchnia zlewni jest nie większa niż 180 km^2,
- b) stosunek przepływu maksymalnego rocznego o prawdopodobieństwie przekroczenia równym 1,00% do przepływu średniego z wieloletniego okresu jest większy niż 120,
- c) spadek zwierciadła jest nie mniejszy niż 0,30%.

(2) Przez rzekę podgórską rozumie się ciek charakteryzujący się łącznie poniższymi cechami:
- a) powierzchnia zlewni jest większa niż 180 km^2,
- b) stosunek przepływu maksymalnego rocznego o prawdopodobieństwie przekroczenia równym 1,00% do przepływu średniego z wieloletniego okresu jest większy niż 50,
- c) spadek zwierciadła jest nie mniejszy niż 0,05%.

(3) Na potokach górskich i rzekach podgórskich oraz na odcinkach cieków łączących je:
- a) światło mostu powinno być zwiększone o 15,00% wartości określonej w obliczeniach,
- b) mosty o świetle nie większym niż 25,0 m powinny być przewidziane jako jednoprzęsłowe,
- c) w mostach wieloprzęsłowych nad korytem głównym powinno być usytuowane przęsło o świetle nie mniejszym niż 25,0 m.

(4) Na potokach górskich dopuszcza się stosowanie przepustów tylko dla dróg klasy L i D.

(5) Na potokach górskich nie należy stosować przepustów hydraulicznych o wlotach zatopionych i przepustów hydraulicznych wielootworowych oraz o przewodach kołowych.

4.12. Przepusty hydrauliczne

(1) Zaleca się sytuować przepusty hydrauliczne w miejscach naturalnych zagłębień terenu.

(2) Przepusty łączące przydrożne rowy zaleca się sytuować prostopadle do osi drogi.

(3) Wymiary przepustów powinny zapewnić przepływ miarodajny, z uwzględnieniem ograniczeń dotyczących prędkości przepływu, stopnia wypełnienia przewodu przepustu oraz pochylenia podłużnego jego dna.

(4) Dno przepustu hydraulicznego powinno mieć pochylenie podłużne, zapewniające pokonanie oporów ruchu w przepuście przy przepływie miarodajnym, dostosowane do warunków napełnienia przepustu. Jeśli zastosowanie takiego pochylenia wymagałoby nadmiernego podniesienia wlotu lub wylotu przepustu ponad naturalne dno cieku, to pochylenie powinno być odpowiednio skorygowane. Pochylenie nie może być jednak mniejsze niż 0,5% z uwagi na niebezpieczeństwo nadmiernego zamulenia dna przepustu.

(5) Ze względu na utrzymanie ciągłości ekosystemu dopuszcza się niewielkie zamulenie w przepustach hydraulicznych na ciekach stale prowadzących wodę.

(6) Wymiary przewodu przepustu oraz ukształtowanie jego wlotu i wylotu mają za zadanie:
a) zapewnić odpowiednie warunki przeprowadzenia przepływu miarodajnego bez nadmiernego spiętrzenia przed przepustem,
b) zabezpieczyć przed istotnym rozmyciem lub zamuleniem dna cieku przed i za przepustem hydraulicznym.

(7) Maksymalna dopuszczalna prędkość przepływu wody przez przepust hydrauliczny wynosi:
a) 3,5 m/s – dla przewodu przepustu o wysokości nie większej niż 1,5 m,
b) 3,0 m/s – dla przewodu przepustu o wysokości większej niż 1,5 m.

(8) Przewody przepustów hydraulicznych o przekrojach prostokątnych i owalnych powinny mieć szerokość:
a) dla dróg klas A i S – nie mniejszą niż 1,0 m,
b) dla dróg klas GP, G i Z – nie mniejszą niż 0,8 m,
c) dla pozostałych dróg:
   – nie mniejszą niż 0,8 m – w przypadku gdy długość przepustu jest większa bądź równa 10,0 m,
   – nie mniejszą niż 0,6 m – w pozostałych przypadkach.

(9) Wysokość przewodów przepustów o przekrojach prostokątnych i owalnych powinna wynosić:
a) przy długościach większych niż 20,0 m – nie mniej niż 1,2 m,
b) przy długości nie większej niż 20,0 m pod drogami klas A, S, GP, G i Z – nie mniej niż 1,0 m,
c) przy długości nie większej niż 20,0 m pod drogami klas L i D – nie mniej niż 0,8 m.

(10) W przypadku przepustów o przekroju kołowym, wartości podane w akapitach (8) i (9) odnoszą się do średnicy. Do projektowania należy przyjąć większą wartość spośród wyznaczonych na podstawie akapitów (8) i (9).

(11) Minimalna wysokość przewodów przepustów przełazowych powinna wynosić 1,9 m.

(12) Wielkość przewodu przepustu hydraulicznego oraz ukształtowanie jego wlotu i wylotu powinny być tak przyjęte, aby spiętrzenie wody wywołane przepustem:
a) nie powodowało wystąpienia wody z brzegów koryta dopływowego,
b) w przypadku braku dobrze morfologicznie wykształconego koryta dopływowego – nie spowodowało zalania gruntów uprawnych, zabudowań, okolicznych dróg, terenów szczególnie chronionych.

(13) Przez spiętrzenie wody przed przepustem hydraulicznym rozumie się wzniesienie zwierciadła wody przed budowlą ponad miarodajną rzędną zwierciadła wody przy tym samym przepływie i w tym samym przekroju cieku przed jego zabudową.

(14) Poza obliczeniem spiętrzenia wody przed przepustem, wymagane jest określenie zasięgu krzywej spiętrzenia i zweryfikowanie, czy nie wpływa ona na warunki hydrauliczne budowli zlokalizowanych powyżej projektowanego przepustu oraz czy nie powoduje zagrożenia powodziowego dla terenów znajdujących się w jej zasięgu.

(15) Dopuszcza się zastosowanie przepustów wielootworowych jedynie w sytuacji, gdy przewód o dużej wysokości powoduje nadmierne podniesienie niwelety jezdni, z wyjątkiem przepustów hydraulicznych na potokach górskich i rzekach podgórskich.

(16) W przypadku zastosowania przepustów wielootworowych, z zastrzeżeniem akapitu (17), łączny przepływ wszystkich otworów powinien być nie mniejszy niż 1,5 przepływu miarodajnego.

(17) W przepustach hydraulicznych pracujących niepełnym przekrojem przewodu strop prostokątnego oraz zwornik kołowego lub owalnego przewodu przepustu powinny być wzniesione nie mniej niż 0,25 m nad zwierciadłem wody przy przepływie miarodajnym, a głębokość wody w przewodzie nie powinna być większa niż 75% wartości jego wysokości bądź średnicy.

(18) Na ciekach, na których przy wysokich stanach wód mogą pojawiać się kłody drzew lub inne przedmioty mogące zablokować przepust, niedopuszczalne jest zastosowanie przepustów hydraulicznych o wlotach zatopionych.

(19) Przepusty hydrauliczne na ciekach, w których korytach panuje ruch rwący, powinny mieć odpowiednio uformowane wloty i wyloty, zapewniające przepływ bez zmiany jego charakteru.

(20) Jeżeli prędkość wody na wylocie przepustu hydraulicznego przekracza dopuszczalną prędkość nie powodującą rozmycia koryta cieku o więcej niż 20% jej wartości, to odcinek koryta cieku poniżej wylotu przepustu powinien być odpowiednio zaprojektowany oraz umocniony według sposobów określonych w podrozdziale 6.3.

5. Obliczenia hydrauliczne mostów

5.1. Zasady ogólne

(1) Podane zasady obowiązują przy projektowaniu mostów na ciekach naturalnych i sztucznych.

(2) Obliczenia hydrauliczne przeprowadza się dla przepływu miarodajnego Q_m [m^3/s]. Jest on równy maksymalnemu przepływowi rocznemu o prawdopodobieństwie przewyższenia p = 0,5%.

(3) Wartość przepływu miarodajnego Q_m określana jest metodami hydrologicznymi, nie opisanymi w treści niniejszych wytycznych.

(4) Miarodajna rzędna zwierciadła wody z_m [m] jest określana zgodnie z zasadami obliczeń hydraulicznych przepływów w korytach otwartych, w szczególności wielodzielnych.

(5) Jeżeli projektowany most znajduje się w zasięgu spiętrzenia istniejącej lub projektowanej budowli wodnej, to miarodajną rzędną zwierciadła wody z_m należy przyjąć na podstawie obliczeń rzędnych spiętrzenia tej budowli przy przepływie miarodajnym Q_m.

(6) Jeżeli projektowany most zlokalizowany jest na ujściowym odcinku cieku, należy uwzględnić wpływ cofki wód odbiornika na wartość miarodajnej rzędnej z_m.

(7) Łączną szerokość zwierciadła wody w przekroju niezabudowanym B_o [m] (rys. 5.1.1a), stanowiącą sumę szerokości koryta głównego B_{og} [m] i szerokości terenów zalewowych B_{ozl} [m] oraz B_{ozp} [m], obliczeniowo traktowanych łącznie jako B_{oz} [m] (rys. 5.1.1b), wyznacza się w poziomie miarodajnej rzędnej zwierciadła wody z_m.

(8) Szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym B_{og} wyznaczają morfologicznie ukształtowane krawędzie brzegów koryta głównego. W przypadku braku takich krawędzi w przekroju, koryto może być potraktowane jako zwarte.

(9) Pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym F_{og} [m^2] jest częścią całkowitego pola przekroju poprzecznego przypadającą na szerokość koryta głównego B_{og}.

(10) Pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym F_{oz} [m^2] jest częścią całkowitego pola przekroju poprzecznego przypadającą na łączną szerokość terenów zalewowych B_{oz}.

(11) Średnią głębokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym h_{og} [m] przy Q_m oblicza się ze wzoru (5.1.1):

$$h_{og} = \frac{F_{og}}{B_{og}} \tag{5.1.1}$$

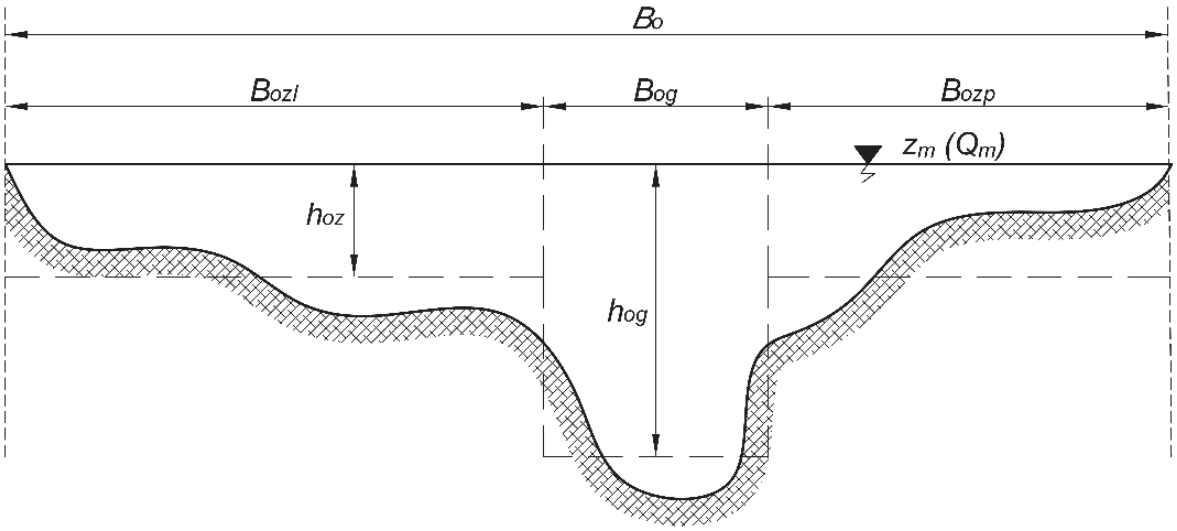
gdzie:
F_{og} – pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
B_{og} – szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m].

(12) Średnią głębokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym h_{oz} [m] przy Q_m oblicza się ze wzoru (5.1.2):

$$h_{oz} = \frac{\left(F_{ozl} + F_{ozp}\right)}{\left(B_{ozl} + B_{ozp}\right)} = \frac{F_{oz}}{B_{oz}} \tag{5.1.2}$$

gdzie:
F_{ozl} –pole przekroju terenów zalewowych na lewym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
F_{ozp} – pole przekroju terenów zalewowych na prawym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
F_{oz} – łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
B_{ozl} – szerokość terenów zalewowych na lewym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m].
B_{ozp} – szerokość terenów zalewowych na prawym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m].
B_{oz} – łączna szerokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m].

a)



B_o - łączna szerokość koryta głównego i terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m

B_{og} - szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m

B_{ozl} - szerokość terenów zalewowych na lewym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m

B_{ozp} - szerokość terenów zalewowych na prawym brzegu w przekroju niezabudowanym przy Q_m

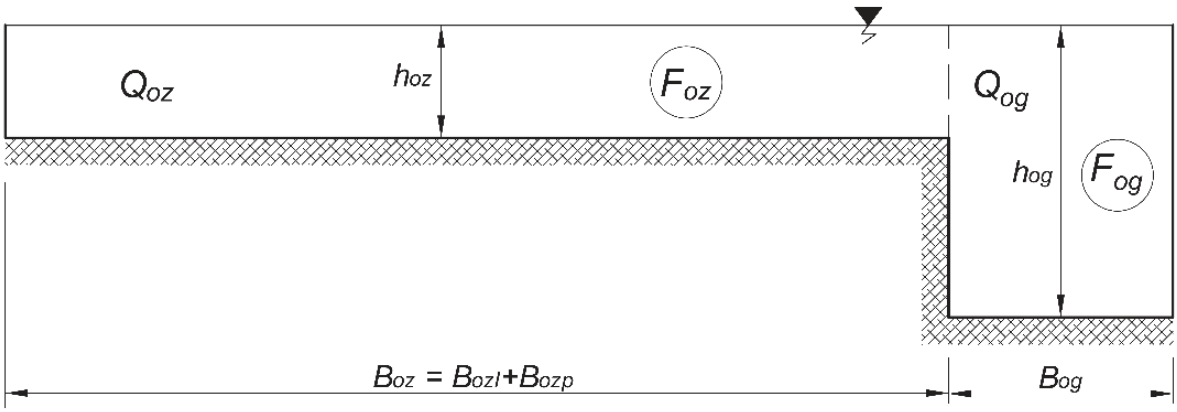
h_{oz} - średnia głębokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m

h_{og} - średnia głębokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m

z_m - miarodajna rzędna zwierciadła wody w przekroju niezabudowanym przy przepływie Q_m

Q_m - przepływ miarodajny

b)



Q_{og} - część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego

Q_{oz} - część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego

F_{og} - pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m

F_{oz} - łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m

Rys. 5.1.1. Przekrój wielodzielny, niezabudowany: a) w warunkach naturalnych; b) na schemacie obliczeniowym

5.2. Zasady obliczania światła mostów

(1) Przypadki obliczeniowe:

a) ruch wody w przekroju niezabudowanym, przy przepływie miarodajnym, jest ruchem spokojnym. W ogólnym przypadku przekrój mostowy jest wielodzielny, składający się z koryta głównego i terenów zalewowych:
   - dno w przekroju mostowym jest rozmywalne, ruch rumowiska odbywa się tylko w korycie głównym, a na terenach zalewowych występują jedynie lokalne rozmycia lub odkłady materiału niesionego przez rzekę,
   - dno w przekroju mostowym jest nierozmywalne, ruch rumowiska odbywa się nad tym dnem, bez jego naruszenia,

b) ruch wody w przekroju niezabudowanym, przy przepływie miarodajnym, jest ruchem rwącym. W takim przypadku zaleca się doprowadzenie przepływu do mostu i przeprowadzenie go pod mostem uregulowanym przekrojem cieku, zabezpieczonym przed rozmywaniem, bez naruszenia jego geometrii (zwężenia) konstrukcją mostu. Podane dalej zasady obliczeń nie dotyczą tego przypadku.

(2) Światło mostu brutto nie może być mniejsze od szerokości koryta głównego w przekroju niezabudowanym

(3) W przypadku przekroju wielodzielnego, obejmującego koryto główne oraz lewo- i prawobrzeżne tereny zalewowe, do obliczeń należy stosować schemat przekroju dwudzielnego złożonego z części głównej i zalewowej (rys. 5.1.1b), obejmującej oba tarasy łącznie.

(4) Minimalne światło mostu oblicza się z warunku dopuszczalnych rozmyć w przekroju mostowym:

a) jeżeli rozmycie (pogłębienie) dna koryta jest dopuszczalne, obliczenia opierają się na warunku równej ilości rumowiska transportowanego w korycie głównym przekroju niezabudowanego i w korycie głównym przekroju mostowego. Zależnością wiążącą parametry dwóch przekrojów (1 i 2) ze względu na zrównanie zdolności transportowej, jest wzór (5.2.1):

$$\frac{B_1}{B_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{4/3} \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{-3/2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{4/3} P^{3/2} \tag{5.2.1}$$

gdzie:
B – szerokość koryta [m],
Q – przepływ w korycie [m^3/s],
h – średnia głębokość koryta [m],
P – stopień rozmycia [-]; stopień rozmycia przekroju mostowego P jest to stosunek średnich głębokości po rozmyciu h_2 i przed rozmyciem h_1 dna, obliczonych dla miarodajnej rzędnej zwierciadła wody z_m w przekroju mostowym; wartości dopuszczalnych stopni rozmycia, w zależności od sposobu fundamentowania podpór, podano w tab. 5.2.1,

b) jeżeli rozmycie (pogłębienie) dna nie jest dopuszczalne, średnia prędkość w przekroju mostowym nie może przekraczać prędkości nierozmywających podanych w tab. 5.2.2 i tab. 5.2.3. Przy przepływie nad dnem umocnionym rozmycie nie nastąpi pod warunkiem nieprzekroczenia prędkości przepływu v_d podanych w tab. 5.2.4.

(5) Przy głębokościach różnych od 1,0 m, prędkości z tab. 5.2.2 i 5.2.3 należy pomnożyć przez $h^{1/5}$, gdzie h jest głębokością cieku podaną w metrach. Dla gruntów spoistych, przy głębokościach wody większych od 3,0 m, prędkość nierozmywającą z tab. 5.2.3 przyjmuje się jak dla głębokości równej 3,0 m. Dla niejednorodnych gruntów niespoistych za miarodajną do określenia prędkości nierozmywającej przyjmuje się średnią ważoną średnicę cząstek gruntu d_m [mm], obliczoną według wzoru (5.2.2):

$$d_m = \frac{\sum d_i p_i}{100} \tag{5.2.2}$$

gdzie:
d_i – średnica i-tej frakcji [mm],
p_i – udział i-tej frakcji [%].

(6) Dla gruntów o dużej nierównomierności uziarnienia, zawierających frakcje od ilastej do kamienistej, za miarodajne prędkości nierozmywające należy przyjmować prędkości odpowiadające średnicy d_{80}. Jest to średnica ziaren, które wraz z mniejszymi stanowią 80% masy gruntu.

Tab. 5.2.1. Maksymalny dopuszczalny stopień rozmycia P w zależności od sposobu fundamentowania podpór mostowych

Rodzaj fundamentu podpory	Nieopływowy fundament w granicach rozmycia	Półopływowy fundament w granicach rozmycia
Masywne fundamenty głębokie, na palach wielkośrednicowych i fundamentowanie bezpośrednio na skałach	1,30	1,40
Fundamenty na palach w ściance szczelnej	1,10	1,25
Fundamenty na palach bez ścianki szczelnej	1,00	1,10
Fundamentowanie bezpośrednio na gruncie	1,00	1,00

Tab. 5.2.2. Prędkości nierozmywające v_{nr} dla gruntów niespoistych przy głębokości strumienia równej 1,0 m

Rodzaj gruntu	Średnia średnica ziaren [mm]	Prędkość nierozmywająca [m/s]
Piaski pylaste	0,005÷0,050	0,20÷0,30
Piaski drobne	0,050÷0,250	0,30÷0,45
Piaski średnie	0,250÷1,000	0,45÷0,60
Piaski grube	1,000÷2,000	0,60÷0,70
Żwiry drobne	2,000÷5,000	0,70÷0,85
Żwiry średnie	5,000÷10,000	0,85÷1,05
Żwiry grube	10,000÷15,000	1,05÷1,20
Otoczaki drobne	15,000÷25,000	1,20÷1,40
Otoczaki średnie	25,000÷40,000	1,40÷1,80
Otoczaki grube	40,000÷75,000	1,80÷2,40
Skały słabe	-	2,50÷3,50
Skały twarde	-	3,50÷5,00

Tab. 5.2.3. Prędkości nierozmywające v_{nr} [m/s] dla gruntów spoistych przy głębokości strumienia równej 1,0 m

Rodzaj gruntu	Grunt średnio zwięzły	Grunt zwięzły	Grunt bardzo zwięzły
Lessy	0,7	1,0	1,3
Gliny, iły	0,8	1,2	1,7

Tab. 5.2.4. Prędkości dopuszczalne w korytach umocnionych v_d

Rodzaj umocnienia	Prędkość [m/s]
Darniowanie	
• na płask	1,2
• darnina w płotkach wiklinowych	1,8
Narzut kamienny	
• kamień o grubości 7,5 cm	2,4
• kamień o grubości 10,0 cm	2,7
• kamień o grubości 15,0 cm	3,3
• kamień o grubości 20,0 cm	3,9
Bruki	
• pojedynczy o grubości 15,0÷25,0 cm na warstwie mchu	2,5÷3,0
• pojedynczy o grubości 15,0÷25,0 cm w płotkach wiklinowych	3,0÷3,5
• pojedynczy z kamienia łamanego o grubości 20,0÷25,0 cm na warstwie tłucznia 10,0 cm	3,5÷4,0
• trylinka na warstwie żwiru	3,5
Koryta z okładziną	
• z kamienia łamanego na zaprawie	5,0÷6,0
• z betonu	6,0÷8,0
Umocnienia faszynowe	
• materac faszynowy o grubości 60,0 cm	3,0
• brzegosłon kryty	2,5
• brzegosłon płaski	2,0

5.3. Pogłębienie przekroju w profilu mostowym

5.3.1. Obliczenia przekroju mostowego z dnem rozmywalnym

(1) Przekrój mostowy dzieli się na:

a) część o świetle L_g usytuowaną w korycie głównym, w którym odbywa się ruch rumowiska,

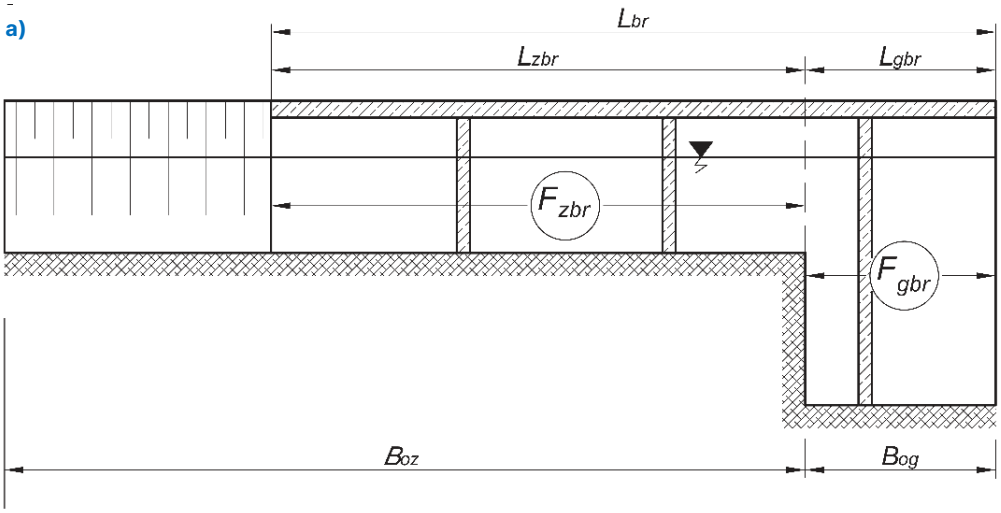
b) obliczeniową część boczną o świetle L_z (odzwierciedlającą obie części zalewowe – lewą i prawą), w której nie występuje ruch rumowiska.

(2) Rozmycia w korycie głównym przekroju mostowego (poszerzonym o ewentualne wcięcia) oblicza się z warunku zachowania ciągłości ruchu rumowiska. W części zalewowej rozmycia należy określać, porównując powstałe tam prędkości z prędkościami nierozmywającymi.

(3) Obliczenie przekroju mostowego z dnem rozmywalnym oparte są na założeniu istnienia wstępnej koncepcji mostu wpisanej w pomierzony przekrój poprzeczny doliny cieku (koryta głównego i terenów zalewowych) w zasięgu zwierciadła wody miarodajnej, zawierającej sposób posadowienia podpór mostu.

(4) Sprawdzenie minimalnego światła mostu L polega na obliczeniu przepływu przypadającego na część przekroju w strefie koryta głównego o świetle L_g, dla maksymalnego dopuszczalnego stopnia rozmycia P_{max}, odpowiedniego do sposobu posadowienia podpór, a następnie na doborze światła L_z; koniecznego dla przepuszczenia pozostałej części przepływu. Schemat obliczeniowy zaprezentowano na rys. 5.3.1.1.

a)



B_{og} - szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m

B_{oz} - szerokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m

L_{br} - światło mostu brutto (szerokość przekroju mostowego między przyczółkami)

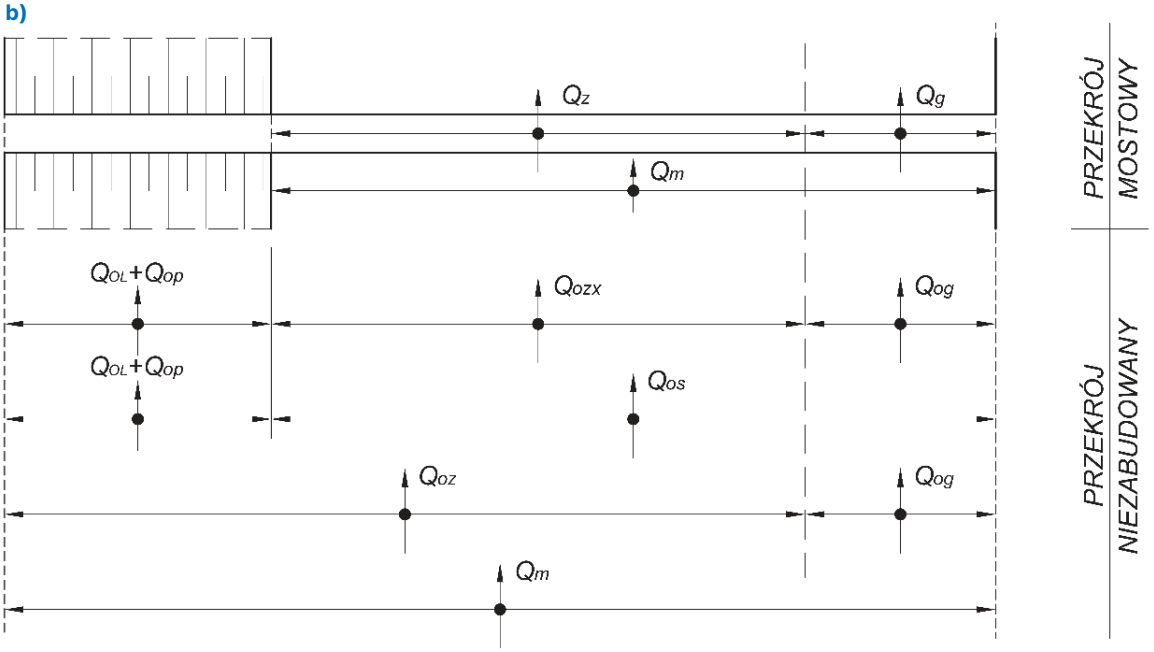
L_{gbr} - światło mostu w strefie koryta głównego, brutto

L_{zbr} - światło mostu w strefie terenów zalewowych, brutto

F_{gbr} - pole przekroju brutto koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna

F_{zbr} - pole przekroju brutto terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna

b)



Q_g - część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju mostowego

Q_z - część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego

Q_m - przepływ miarodajny

Q_{og} - część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego

Q_{oz} - część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego

Q_{ozx} - część przepływu po terenach zalewowych przekroju niezabudowanego przypadająca na światło mostu brutto w strefie terenów zalewowych

Q_{os} - część przepływu w przekroju niezabudowanym przypadająca na światło mostu brutto L_{br}

Rys. 5.3.1.1. Schemat obliczeniowy przekroju mostowego (a) oraz struktura przepływów obliczeniowych w przekroju niezabudowanym i przekroju mostowym (b)

(5) Tok postępowania jest następujący:

a) określenie światła mostu L_g w strefie koryta głównego [m] ze wzoru (5.3.1.1):

$$L_g = B_{og} - L_{fg} \tag{5.3.1.1}$$

gdzie:
B_{og} – szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
L_{fg} – łączna grubość filarów w strefie koryta głównego [m],

b) obliczenie przepływu Q_g [m^3/s] przez część przekroju o świetle L_g ze wzoru (5.3.1.2):

$$Q_g = Q_{og}\left(\frac{L_g}{B_{og}}\right)^{3/4}(P_{max})^{9/8} \tag{5.3.1.2}$$

gdzie:
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m^3/s],
L_g – światło mostu w strefie koryta głównego [m],
B_{og} – szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
P_{max} – przyjęty stopień rozmycia – stosunek średnich głębokości po rozmyciu i przed rozmyciem dna, obliczonych dla miarodajnej rzędnej zwierciadła wody z_m w przekroju mostowym [-],

Jeżeli w wyniku obliczeń okaże się, że $Q_g > Q_m$ oznacza to, że dla przyjętego stopnia rozmycia P_{max}, przepustowość przyjętego światła mostu L_g w strefie koryta głównego jest wystarczająca z punktu widzenia hydrodynamiki cieku; w takiej sytuacji należy zmniejszyć przyjętą wartość P_{max} i powtórzyć obliczenia,

c) obliczenie przepływu Q_z [m^3/s] w pozostałej części przekroju o świetle L_z ze wzoru (5.3.1.3):

$$Q_z = Q_m - Q_g \tag{5.3.1.3}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
Q_g – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju mostowego [m^3/s],

d) obliczenie wartości współczynnika f ze wzoru (5.3.1.4):

$$f = \frac{v_{og}^2 - v_{oz}^2}{v_{oz}^2 + 0{,}9giB_l} \tag{5.3.1.4}$$

gdzie:
v_{og} – średnia prędkość w korycie głównym w przekroju niezabudowanym przy Qm [m/s],
v_{oz} – średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Qm [m/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
i – spadek cieku [-],
$B_l = B_o - L_{br}$ – szerokość cieku przesłonięta nasypami wraz z przyczółkami mostu przy jednostronnym tarasie zalewowym [m],
$B_l = 0{,}5(B_o - L_{br})$ – szerokość cieku (jednostronnie) przesłonięta nasypami wraz z przyczółkami przy symetrycznych terenach zalewowych [m],
dla niesymetrycznych terenów zalewowych należy przyjmować pośrednie wartości B_l [m],

e) obliczenie wartości przepływu Q_{ozx} [m^3/s] przypadającego w korycie niezabudowanym na szerokość boczną światła mostu $L_{z\,br}$ (rys. 5.3.1.1b) ze wzoru (5.3.1.5):

$$Q_{ozx} = \frac{Q_z}{\sqrt{(1+f)\left(\frac{Q_g}{Q_{og}}\right)^2 - f}} \tag{5.3.1.5}$$

gdzie:
Q_z – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego [m^3/s],
f – współczynnik z lit. d [-],
Q_g – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju mostowego [m^3/s],
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m^3/s],

f) określenie minimalnego światła L_z [m] (czyli położenia przyczółków) polega na obliczeniu hydraulicznie wymaganej szerokości łącznej terenów zalewowych w przekroju mostowym wraz z łączną grubością filarów znajdujących się na terenach zalewowych $L_{zbr,min}$ [m] ze wzoru (5.3.1.6):

$$L_{zbr,min} = \frac{Q_{ozx}}{h_{oz} v_{oz}} \tag{5.3.1.6}$$

w którym:

$$h_{oz} = \frac{F_{oz}}{B_{oz}} \tag{5.3.1.7}$$

$$v_{oz} = \frac{Q_{oz}}{F_{oz}} \tag{5.3.1.8}$$

gdzie:
Q_{ozx} – część przepływu po terenach zalewowych przekroju niezabudowanego przypadająca na światło mostu brutto w strefie terenów zalewowych [m^3/s],
h_{oz} – średnia głębokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
v_{oz} – średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m/s],
F_{oz} – łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
B_{oz} – łączna szerokość terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
Q_{oz} – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego [m^3/s].

(6) Wobec spełnienia (na ogół) warunku (5.3.1.9):

$$L_{zbr} > L_{zbr,min} \tag{5.3.1.9}$$

należy określić rzeczywisty rozdział przepływu Q_m na Q_g i Q_z oraz rzeczywiste pogłębienie dna w przekroju mostowym, zgodne z koncepcją mostu. Tok postępowania jest następujący:

a) obliczenie rzeczywistej wartości Q_{ozx} [m^3/s] ze wzoru (5.3.1.10):

$$Q_{ozx} = v_{oz} F_z \tag{5.3.1.10}$$

gdzie:
v_{oz} – średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m/s],
F_z – pole przekroju (netto) terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna [m^2],

b) obliczenie współczynników β_o oraz β_l [-] ze wzorów (5.3.1.11) i (5.3.1.12):

$$\beta_o = \frac{Q_m}{Q_{og}} \tag{5.3.1.11}$$

$$\beta_l = \frac{Q_{ozx}}{Q_{og}} \tag{5.3.1.12}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m^3/s],
Q_{ozx} – część przepływu po terenach zalewowych przekroju niezabudowanego przypadająca na światło mostu brutto w strefie terenów zalewowych [m^3/s],

c) wyznaczenie wartości β_z [-] jako dodatniego pierwiastka równania kwadratowego ze wzoru (5.3.1.13):

$$\left(1/\beta_l^2 - 1 - f\right)\beta_z{}^2 + 2(1+f)\beta_o\beta_z + f - (1+f)\beta_o^2 = 0 \qquad (5.3.1.13)$$

gdzie:
β_l, β_o – współczynniki z lit. b [-],

d) obliczenie rzeczywistych przepływów Q_z oraz Q_g [m³/s] ze wzorów (5.3.1.14) i (5.3.1.15):

$$Q_z = \beta_z Q_{og} \qquad (5.3.1.14)$$

$$Q_g = Q_m - Q_z \qquad (5.3.1.15)$$

gdzie:
β_z – zgodnie z lit. c [-],
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m³/s],
Q_m – przepływ miarodajny [m³/s],
Q_z – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego [m³/s],

e) obliczenie średniej głębokości h_{gr} [m] w korycie głównym po rozmyciu (rys. 5.3.1.2) ze wzoru (5.3.1.16):

$$h_{gr} = h_{og}\left(\frac{L_g}{B_{og}}\right)^{-2/3}\left(\frac{Q_g}{Q_{og}}\right)^{8/9} \qquad (5.3.1.16)$$

gdzie:
h_{og} – średnia głębokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
L_g – światło mostu w strefie koryta głównego [m],
B_{og} – szerokość koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m],
Q_g – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju mostowego [m³/s],
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m³/s],

f) obliczenie średniej głębokości h_{zr} [m] na terenie zalewowym po rozmyciu (rys. 5.3.1.2) ze wzoru (5.3.1.17):

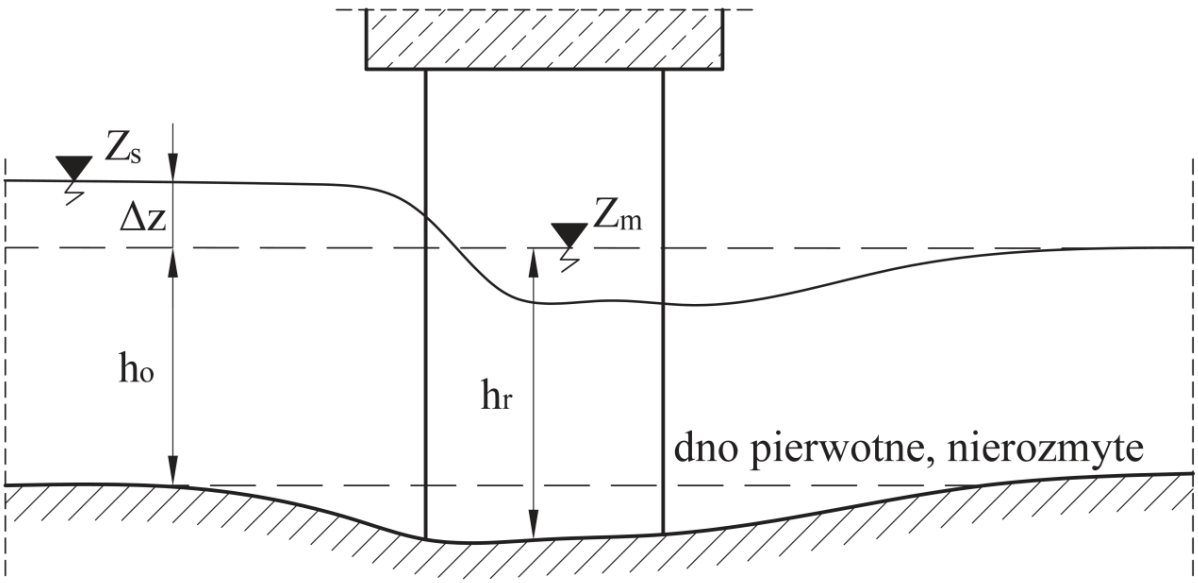
$$h_{zr} = \frac{Q_z}{L_z v_{nr}} = \frac{Q_z}{\left(L_{zbr} - L_{fz}\right)v_{nr}} \qquad (5.3.1.17)$$

gdzie:
Q_z – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego [m³/s],
L_z – światło mostu w strefie terenów zalewowych [m],
v_{nr} – prędkość nierozmywająca [m/s],
L_{zbr} – światło mostu w strefie terenów zalewowych, brutto [m],
L_{fz} – łączna grubość filarów w strefie terenów zalewowych [m],

g) lub sprawdzenie prędkości przepływu wody na nierozmytych terenach zalewowych v_z [m/s] w celu dobrania odpowiedniego rodzaju umocnienia ze wzoru (5.3.1.18):

$$v_z = \frac{Q_z}{F_z} = \frac{Q_z}{F_{zbr} - F_{fz}} \qquad (5.3.1.18)$$

gdzie:
Q_z – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego [m³/s],
F_z – pole przekroju (netto) terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna [m²],
F_{zbr} – pole przekroju brutto terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna [m²],
F_{fz} – łączne pole przekroju poprzecznego filarów w strefie terenów zalewowych przy Q_m, przed rozmyciem dna [m²],



Rys. 5.3.1.2. Rzędne i głębokości charakterystyczne

5.3.2. Obliczenia przekroju mostowego z dnem nierozmywalnym

(1) Dno w przekroju mostowym nie ulegnie pogłębieniu, jeżeli średnia prędkość w tym przekroju będzie nie większa:

a) dla dna naturalnego – od prędkości nierozmywającej v_{nr} [m³/s],
b) dla dna umocnionego – od prędkości dopuszczalnych v_d [m³/s].

(2) Minimalne światło mostu L [m] należy określać ze wzoru (5.3.2.1):

$$L = \frac{Q_m}{\mu_m h_{mn} v} \tag{5.3.2.1}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m³/s],
μ_m – współczynnik wydatku [-], który należy przyjmować:

- dla mostów jednoprzęsłowych z tab. 5.3.2.1,
- dla filarów zaokrąglonych od strony napływu wody $\mu_m = 0{,}78 + 0{,}021\sqrt{L}$,
- dla filarów zaostrzonych od strony napływu wody $\mu_m = 0{,}85 + 0{,}014\sqrt{L}$,
  (we wzorach tych L wyrażone jest w metrach), jeżeli światło mostu L jest większe niż 100 m, przyjmuje się μ_m = 0,99,
- dla mostów o świetle mniejszym niż 30 m, gdy miarodajnemu przepływowi towarzyszy spływ lodów, zaleca się zmniejszyć obliczoną wartość μ_m o 0,05,

h_{mn} – średnia głębokość w przekroju mostowym z dnem nierozmywalnym [m],
v – założona, średnia prędkość przepływu [m³/s], nie większa niż:

- prędkość krytyczna $v_{kr} = \sqrt{g \cdot h_{mn}}$,
- najmniejsza w przekroju prędkość nierozmywająca v_{nr} lub dopuszczalna v_d.

(3) Średnią prędkość przepływu v [m³/s], dla założonego światła L, należy obliczać ze wzoru (5.3.2.2):

$$v = \frac{Q_m}{\mu_m L h_{mn}} \tag{5.3.2.2}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m³/s],
μ_m – współczynnik wydatku [-], który należy przyjmować:

- dla mostów jednoprzęsłowych z tab. 5.3.2.1,
- dla filarów zaokrąglonych od strony napływu wody $\mu_m = 0{,}78 + 0{,}021\sqrt{L}$,
- dla filarów zaostrzonych od strony napływu wody $\mu_m = 0{,}85 + 0{,}014\sqrt{L}$,

(we wzorach tych L wyrażone jest w metrach), jeżeli światło mostu L jest większe niż 100 m, przyjmuje się μ_m = 0,99,
- dla mostów o świetle mniejszym niż 30 m, gdy miarodajnemu przepływowi towarzyszy spływ lodów, zaleca się zmniejszyć obliczoną wartość μ_m o 0,05,

L – światło mostu (całkowite) [m],
h_{mn} – średnia głębokość w przekroju mostowym z dnem nierozmywalnym [m].

Tab. 5.3.2.1. Współczynniki wydatku przekroju mostowego μ

Rodzaj przyczółków	μ
ze skrzydłami krzywoliniowymi	0,93
ze skrzydłami ukośnymi	0,88
ze skrzydłami równoległymi do osi drogi	0,86
ze skrzydłami prostopadłymi do osi drogi	0,83

5.4. Rozmycia dna (wyboje) przy filarach mostowych

(1) Niezależnie od pogłębienia koryta cieku pod mostem, bezpośrednio przy podporach mostowych powstają rozmycia lokalne (wyboje), mające wpływ na stateczność podpór. Głębokość wyboju należy obliczać dla każdego filara oddzielnie.

(2) Głębokość rozmyć lokalnych zależy od kształtu filara, kierunku i prędkości napływu wody na filar oraz rodzaju gruntu w korycie pod mostem. Należy ją obliczać ze wzoru (5.4.1):

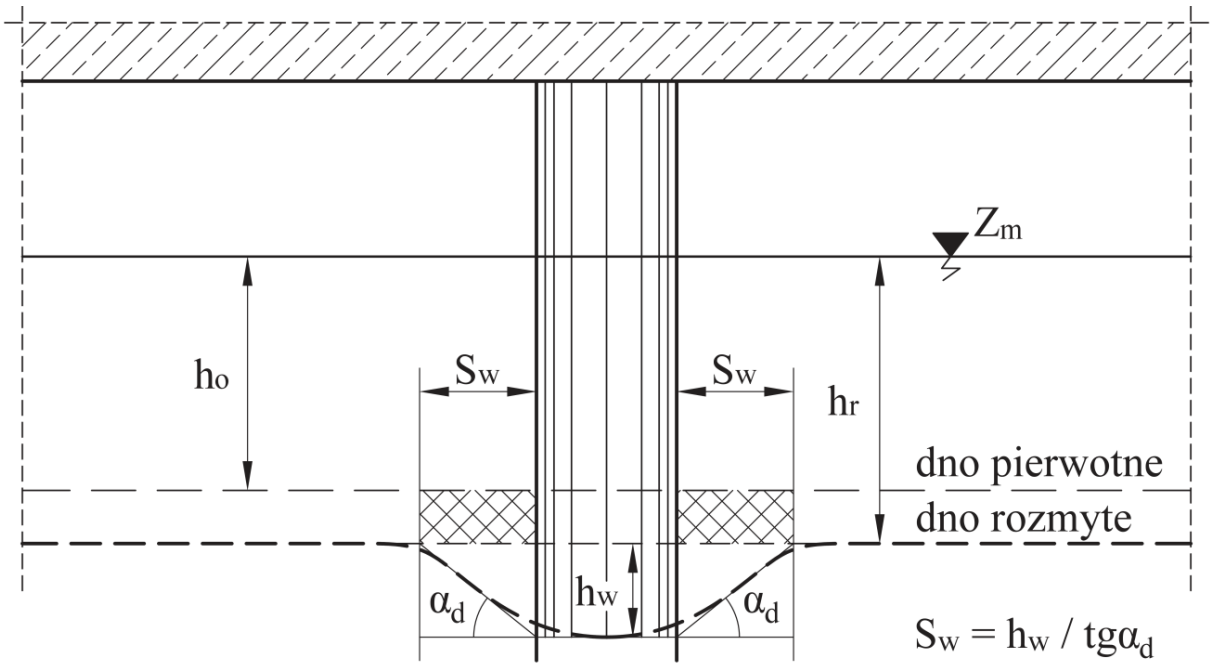
$$h_w = K_1 K_2 (a_v + K_3) \frac{v_i^2}{g} - c \tag{5.4.1}$$

gdzie:
h_w – głębokość wyboju [m] mierzona od poziomu dna rozmytego (rys. 5.4.1), obliczonego według zasad podanych w podrozdziale 5.3.1,
K_1 – współczynnik [-] zależny od kształtu filara (rys. 5.4.2),
K_2 – współczynnik [-] określany z wykresu (rys. 5.4.3) w funkcji wyrażenia $v_i^2/(gb_z)$,
a_v – współczynnik uwzględniający rozkład prędkości w przekroju rzeki przyjmowany jako:
- dla koryta głównego: a = 0,6,
- dla części przybrzeżnych i terenów zalewowych: a = 1,0,

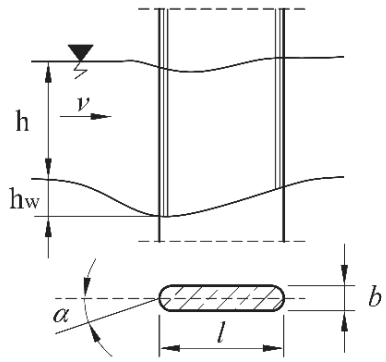
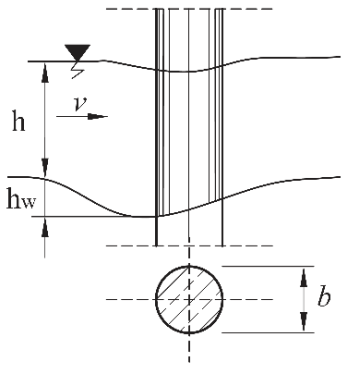
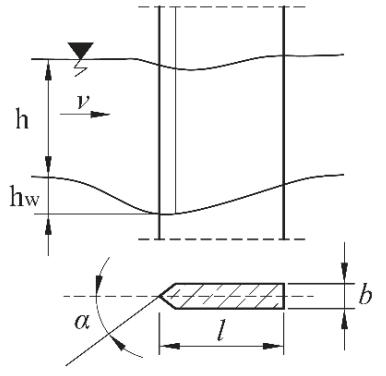
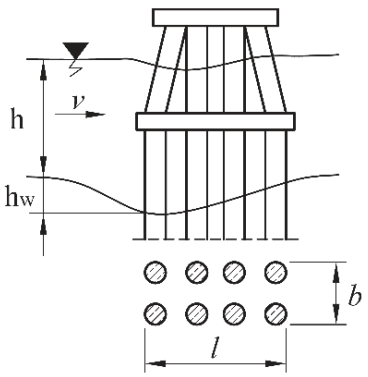
K_3 – współczynnik [-] zależny od stosunku głębokości w korycie rozmytym do grubości zastępczej filara h_r/b_z, odczytywany z nomogramu przedstawionego na rys. 5.4.4, dla typowych filarów na rys. 5.4.2,
v_i – średnia w pionie prędkość napływu wody na i-ty filar [m/s] w warunkach przepływu miarodajnego, obliczana jako $v_i = \frac{1}{n_i} h_i^{2/3} I^{1/2}$,
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
c – wielkość zależna od rodzaju gruntu stanowiącego podłoże cieku [-]:
- dla gruntów sypkich: $c = 30 d_{90}$,
- dla gruntów spoistych: $c = 6 v_{nr}^2/g$,

n_i – współczynnik szorstkości według Manninga w strefie obliczanego rozmycia podpory „i" [-],
h_i – głębokość w przekroju niezabudowanym (przed rozmyciem) w osi podpory „i" [m],
I – spadek hydrauliczny koryta w rejonie projektowanego mostu [-],
b_z – grubość zastępcza filara [m], w której α jest kątem odchylenia osi podpory od kierunku napływu wody przyjmowana jako:
- dla filarów typu A, B i D: $b_z = I \sin\alpha + b \cos\alpha$,
- dla filarów typu C przy dowolnym α: $b_z = b$,
  (filar składający się z dwóch okrągłych elementów (studni, pali) ustawionych jeden za drugim należy traktować jak filar typu C. W przypadku innych kształtów filarów należy przyjmować wartości współczynnika K_1 jak dla najbliższego schematu występującego na rys. 5.4.2),

d_{90} – średnica zastępcza [m], poniżej której zawarte jest 90% masy rumowiska,
v_{nr} – prędkość nierozmywająca określona w tab. 5.2.2 lub tab. 5.2.3 [m/s].



Rys. 5.4.1. Rozmycia lokalne wokół filara i zasięg ubezpieczenia dna (widok z biegiem rzeki)

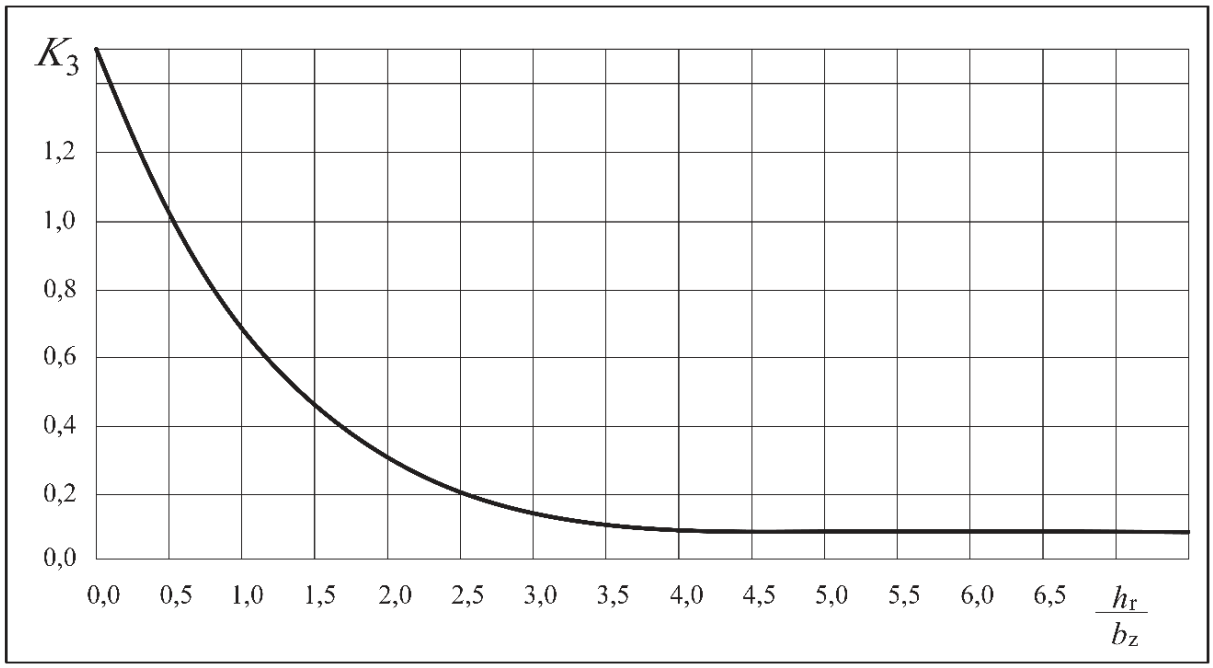
Typ	Schemat filara	K_1	Typ	Schemat filara	K_1
A		8,5	C		10,0
B		10,0	D		6,5

Rys. 5.4.2. Schematy wybranych typów filarów i wartości współczynnika K_1

(3) Jeżeli kształt filara odbiega od kształtów podanych w na rys. 5.4.2., wielkość i zasięg rozmycia należy określić na podstawie literatury lub badań modelowych.



Rys. 5.4.3. Wartości współczynnika K_2



Rys. 5.4.4. Wartości współczynnika K_3

5.5. Wysokość spiętrzenia przed mostem

5.5.1. Spiętrzenie przy nierozmytym przekroju mostowym

(1) Spiętrzenie Δz [m] należy obliczać w sposób iteracyjny ze wzoru (5.5.1.1):

$$\Delta z = K\frac{\alpha v^2}{2g} + \frac{\alpha_o(v_o^2 - v_s^2)}{2g} \qquad (5.5.1.1)$$

gdzie:
K – współczynnik strat [-], zgodnie z akapitem (2),
α – współczynniki Saint-Venanta w przekroju pod mostem [-], zgodnie z akapitem (3),
v – średnia prędkość pod mostem [m/s] w przekroju nierozmytym ograniczonym miarodajną rzędną zwierciadła wody obliczana ze wzoru (5.5.1.2):

$$v = \frac{Q_m}{\mu\left(F_g + F_z\right)} \tag{5.5.1.2}$$

w którym:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
μ – współczynnik przepływu przyjmowany z tab. 5.3.1,
F_g – pole przekroju (netto) koryta głównego w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna [m^2],
F_z – pole przekroju (netto) terenów zalewowych w przekroju mostowym przy Q_m, przed rozmyciem dna [m^2],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
α_o – współczynniki Saint-Venanta w przekroju przed mostem, zgodnie z akapitem (4),
v_o – średnia prędkość [m/s] w przekroju niezabudowanym obliczana ze wzoru (5.5.1.3):

$$v_o = \frac{Q_m}{F_{og} + F_{oz}} \tag{5.5.1.3}$$

w którym:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
F_{og} – pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
F_{oz} – łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],

v_s – średnia prędkość [m/s] powyżej mostu, po spiętrzeniu, obliczana ze wzoru (5.5.1.4):

$$v_s = \frac{Q_m}{F_{og} + F_{oz} + B_o \Delta z} \tag{5.5.1.4}$$

w którym:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
F_{og} – pole przekroju koryta głównego w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
F_{oz} – łączne pole przekroju terenów zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m^2],
B_o – szerokość zwierciadła wody w korycie przed mostem [m],
Δz – spiętrzenie wywołane przez most [m],

(2) Współczynnik strat K [-] oblicza się ze wzoru (5.5.1.5):

$$K = K_0 + \Delta K_f + \Delta K_e + \Delta K_\varphi \tag{5.5.1.5}$$

gdzie:
K_0 – podstawowy współczynnik strat, zależny od stopnia zwężenia koryta przez przyczółki i ich kształtu, określany z wykresu na rys. 5.5.1.1 w zależności od współczynnika M [-] ze wzoru (5.5.1.6):

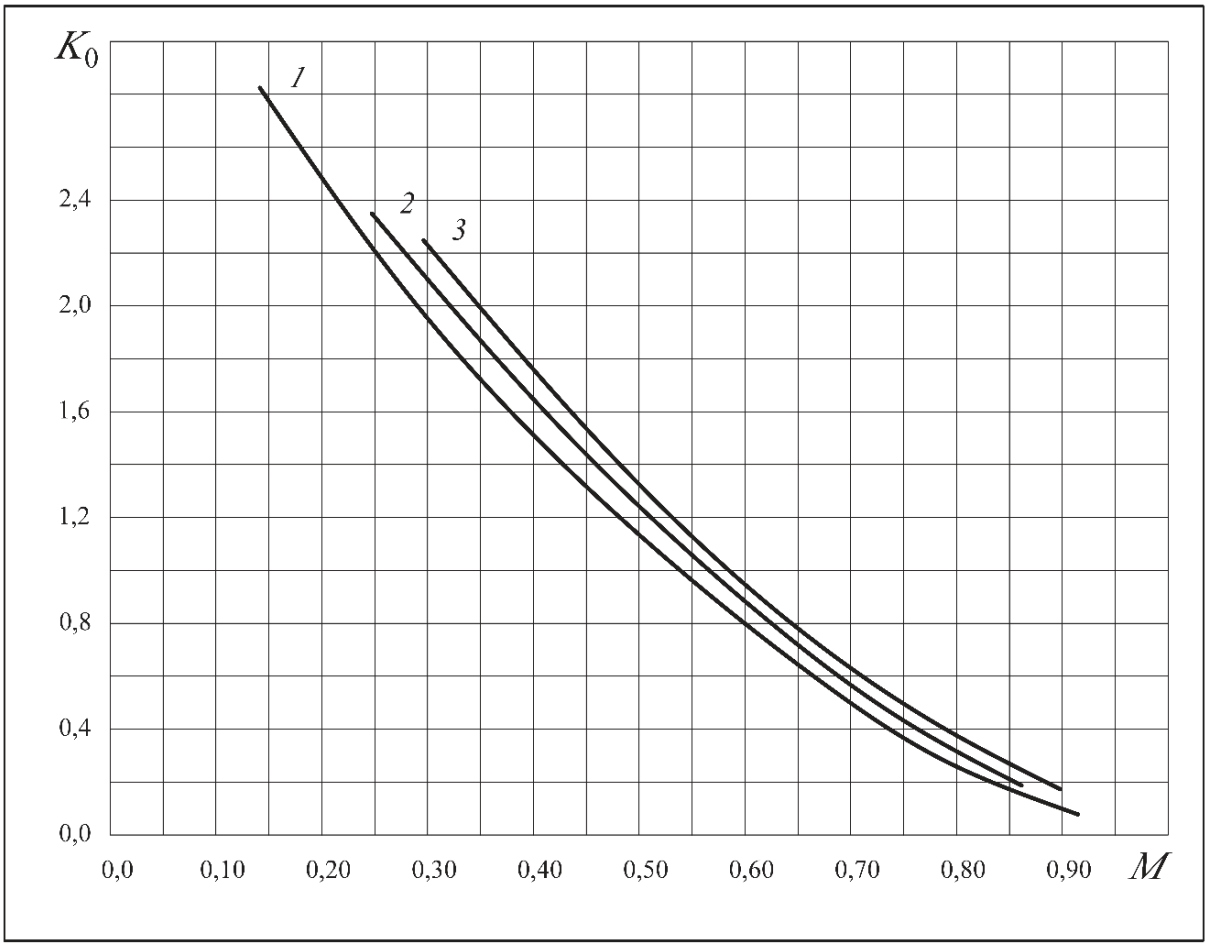
$$M = \frac{Q_{os}}{Q_m} \tag{5.5.1.6}$$

w którym:
Q_{os} – część przepływu w przekroju niezabudowanym przypadająca na światło mostu brutto L_{br} [m^3/s],
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],

Jeżeli odległość między przyczółkami jest większa niż 60 m, to wartość współczynnika K_0 odczytuje się z krzywej 1 niezależnie od kształtu przyczółka. Przy odległości między przyczółkami mniejszej oraz w przypadku:

- przyczółków zakończonych stożkami nasypowymi, przyczółków o skrzydłach pionowych odchylonych o kąt 30÷45°, współczynnik odczytuje się z krzywej 1,
- przyczółków o skrzydłach pionowych odchylonych o kąt 60°, współczynnik odczytuje się z krzywej 2,
- przyczółków o skrzydłach pionowych równoległych do kierunku przepływu, współczynnik odczytuje się z krzywej 3.

W przypadkach pośrednich wartości kątów odchylenia skrzydeł przyczółków, należy przyjmować interpolowane wartości współczynnika K_0,



Rys. 5.5.1.1. Wartości podstawowego współczynnika strat K_0

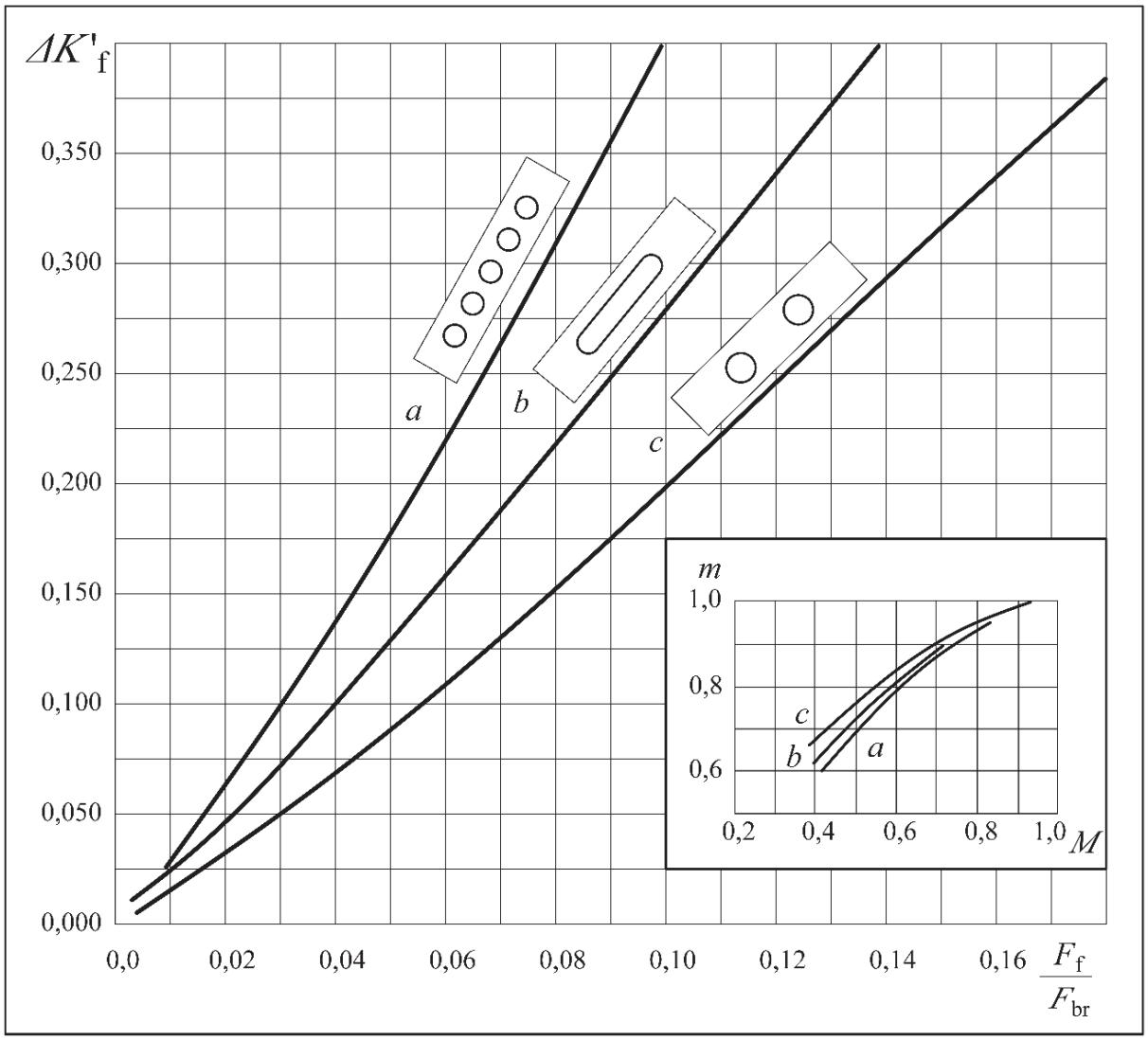
ΔK_f – poprawka uwzględniająca wpływ filarów określona wzorem (5.5.1.7):

$$\Delta K_f = m \cdot \Delta K_f' \tag{5.5.1.7}$$

Wartości m oraz ΔK_f określa się z rys. 5.5.1.2 w zależności od kształtu filara, wartości współczynnika M oraz wyrażenia określonego wzorem (5.5.1.8):

$$\frac{F_f}{F_{br}} = \frac{F_{fg} + F_{fz}}{F_{br}} \tag{5.5.1.8}$$

w którym:
F_f – pole powierzchni zajętej przez filary łącznie w korycie głównym (F_{fg}) i na terenach zalewowych (F_{fz}),
F_{br} – pole powierzchni przekroju mostowego ograniczone ścianami przyczółków,



Rys. 5.5.1.2. Wartości współczynników m i ΔK_f

ΔK_e – poprawka uwzględniająca wpływ niesymetryczności zwężenia cieku odczytywana z wykresu na rys. 5.5.1.3 w zależności od wartości M oraz e:

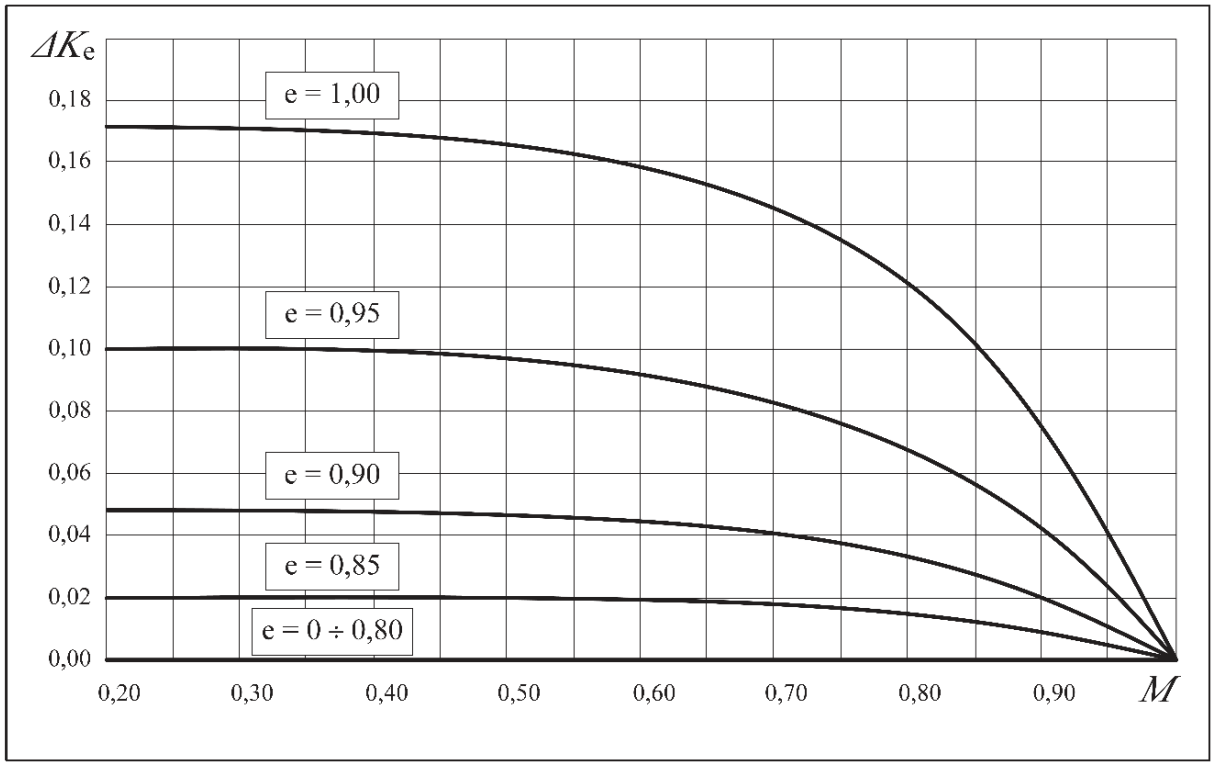
- jeżeli $Q_{ol} > Q_{op}$, to e określa się wzorem (5.5.1.9):

$$e = 1 - \frac{Q_{op}}{Q_{ol}} \tag{5.5.1.9}$$

- jeżeli $Q_{op} > Q_{ol}$, to e określa się wzorem (5.5.1.10):

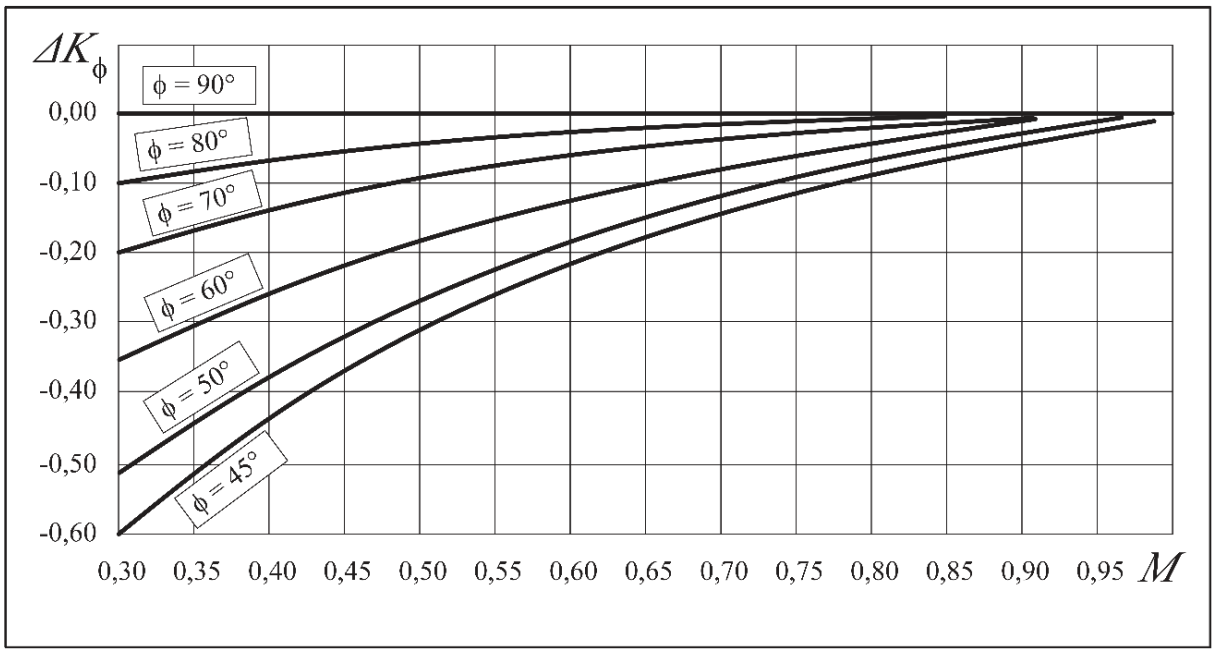
$$e = 1 - \frac{Q_{ol}}{Q_{op}} \tag{5.5.1.10}$$

w których:
Q_{ol} – przepływy w części lewej koryta niezabudowanego, zamkniętej nasypami dojazdowymi do mostu,
Q_{op} – przepływy w części prawej koryta niezabudowanego, zamkniętej nasypami dojazdowymi do mostu,



Rys. 5.5.1.3. Wartości współczynnika poprawkowego ΔK_e

ΔK_φ – poprawka uwzględniająca wpływ ukośnego usytuowania mostu w stosunku do osi cieku, której wartość określa się z wykresu na rys. 5.5.1.4 w zależności od wartości M i kąta skrzyżowania osi mostu z osią cieku φ.



Rys. 5.5.1.4. Wartości współczynnika poprawkowego ΔK_φ

(3) Współczynnik Saint-Venanta w przekroju pod mostem α [-] należy przyjmować ze wzoru (5.5.1.11) jako równy:

$$\alpha = 1 + M(\alpha_0 - 1) \tag{5.5.1.11}$$

gdzie:
M – współczynnik M [-] ze wzoru (5.5.1.6),
α_0 – współczynnik Saint-Venanta, zgodnie z akapitem (4).

(4) Współczynnik Saint-Venanta dla przekroju przed mostem α_0 [-] w przypadku przekroju zwartego należy przyjmować jako $\alpha_0 = 1{,}2$. W przypadku przekroju wielodzielnego należy go obliczać ze wzoru (5.5.1.12):

$$\alpha_0 = 1{,}1\frac{v_{og}^2 Q_{0g} + v_{oz}^2 Q_{0z}}{v_o^2 Q_m} \tag{5.5.1.12}$$

gdzie:
v_{og} – średnia prędkość w korycie głównym w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m/s],
Q_{og} – część przepływu mieszcząca się w strefie koryta głównego przekroju niezabudowanego [m^3/s],
v_{oz} – średnia prędkość na terenach zalewowych w przekroju niezabudowanym przy Q_m [m/s],
Q_{oz} – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego [m^3/s],
v_o – średnia prędkość wody dopływającej w cieku powyżej mostu [m/s],
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s].

(5) W pierwszym przybliżeniu wartość $\Delta z^{(1)}$ oblicza się ze wzoru (5.5.1.13):

$$\Delta z^{(1)} = K\frac{\alpha v^2}{2g} \tag{5.5.1.13}$$

gdzie:
K – współczynnik strat [-], zgodnie z akapitem (2),
α – współczynniki Saint-Venanta w przekroju pod mostem [-], zgodnie z akapitem (3),
v – średnia prędkość pod mostem [m/s] w przekroju nierozmytym ograniczonym miarodajną rzędną zwierciadła wody obliczana ze wzoru (5.5.1.2),
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

(6) Jeżeli spełniony jest warunek określony wzorem (5.5.1.14):

$$\frac{F_o + B_o \Delta z^{(1)}}{F_o} \leq 1{,}05 \tag{5.5.1.14}$$

gdzie:
F_o – pole przekroju przewodu przepustu [m^2],
B_o – szerokość zwierciadła wody w korycie przed mostem [m],
$\Delta z^{(1)}$ – spiętrzenie wywołane przez most [m],

to $\Delta z = \Delta z^{(1)}$.

5.5.2. Spiętrzenie po wystąpieniu rozmycia dna w przekroju mostowym

(1) Spiętrzenie Δz_r [m] należy obliczać ze wzoru (5.5.2.1):

$$\Delta z_r = C_r \Delta z \tag{5.5.2.1}$$

gdzie:
Δz – spiętrzenie przy nierozmytym przekroju mostowym [m]
C_r – współczynnik korekcyjny [-], zależny od stosunku F_m do pola tego przekroju po rozmyciu F_{mr}, równy zgodnie ze wzorem (5.5.2.2):

$$C_r = \left(\frac{F_m}{F_{mr}}\right)^{8/5} \tag{5.5.2.2}$$

w którym:
F_m – pole przekroju mostowego (netto) przed rozmyciem [m^2],
F_{mr} – pole przekroju mostowego (netto) po rozmyciu [m^2].

5.6. Rzędna spodu konstrukcji mostowej

(1) Minimalną rzędną spodu konstrukcji z_k [m] należy wyznaczać z wzoru (5.6.1):

$$z_k = z_s + h_{wt} + \Delta h \tag{5.6.1}$$

gdzie:
z_s – rzędna wody spiętrzonej powyżej mostu [m],
h_{wt} – wysokość falowania i spiętrzenia wiatrowego [m],
Δh – wolna przestrzeń określona odnośnymi wytycznymi (podrozdział 4.5) [m].

(2) Spiętrzenie wiatrowe oraz sfalowanie powierzchni wody należy uwzględniać na ujściowych odcinkach rzek wpadających do morza oraz na odcinkach rzek wpływających lub wypływających ze zbiorników wodnych.

(3) Wysokość h_{wt} [m], określającą całkowite oddziaływanie wiatru należy obliczać z wzoru (5.6.2):

$$h_{wt} = h_e + 0{,}5h_f \tag{5.6.2}$$

gdzie:
h_e – wysokość spiętrzenia wiatrowego (eolicznego) [m],
h_f – wysokość fali [m].

(4) Wysokości h_e i h_f [m] zależne są od miarodajnej prędkości wiatru, głębokości wody w zbiorniku lub korycie oraz długości rozbiegu fali. Obliczenia h_e i h_f należy wykonać według zasad podanych w [3]. Stosując powyższe wytyczne dla obiektów mostowych należy przyjmować miarodajną prędkość wiatru równą 20 m/s oraz wysokość fali o prawdopodobieństwie wystąpienia 1%, czyli $h_f = h_{1\%}$.

5.7. Mosty inundacyjne

(1) Obliczenie światła mostu inundacyjnego należy przeprowadzić zgodnie z zasadami obliczeń światła mostu głównego przy założeniu, że:

a) dopuszczalny stopień rozmycia przekroju mostowego wynosi $P = 1$,
b) część przepływu miarodajnego służąca do obliczeń mostu inundacyjnego w całości przypada na przekrój mostowy brutto. Spełnione są zatem warunki (5.7.1) i (5.7.2), tj. wartość spiętrzenia zwierciadła wody jest równa spiętrzeniu wywołanemu przez most główny:

$$Q_{os} = Q_m \tag{5.7.1}$$

$$Q_{oz} = Q_{ozx} = Q_z \tag{5.7.2}$$

gdzie:
Q_{os} – część przepływu w przekroju niezabudowanym przypadająca na światło mostu brutto L_{br} [m^3/s],
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
Q_{oz} – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju niezabudowanego [m^3/s],
Q_{ozx} – część przepływu po terenach zalewowych przekroju niezabudowanego przypadająca na światło mostu brutto w strefie terenów zalewowych [m^3/s],
Q_z – część przepływu mieszcząca się w strefie terenów zalewowych przekroju mostowego [m^3/s].

6. Obliczenia hydrauliczne przepustów hydraulicznych

6.1. Zasady obliczeń

(1) Obliczenia hydrauliczne przepustów hydraulicznych obejmują:
a) wyznaczenie wymiarów przepustu hydraulicznego (przewodu, wlotu i wylotu) dla przyjętego przepływu miarodajnego,
b) określenie wysokości spiętrzenia przed budowlą,
c) określenie rozmyć za budowlą i dobór odpowiednich umocnień.

(2) Współczynnik wydatku na wlocie do przepustu μ [-] dany jest zależnością (6.1.1):

$$\mu = \sqrt{\left(\frac{1}{1+\zeta_{wl}}\right)} \tag{6.1.1}$$

gdzie:
ζ_{wl} – współczynnik straty wlotowej, zgodnie z akapitem (5).

(3) Wielkość strat na długości h_L [m] dana jest zależnością (6.1.2):

$$h_L = \frac{n_p^2 L_p v^2}{R_h^{4/3}} \tag{6.1.2}$$

gdzie:
n_p – współczynnik szorstkości przepustu według Manninga [$m^{-1/3}s$],
L_p – długość przepustu [m],
v – średnia prędkość przepływu w przepuście [m/s],
R_h – promień hydrauliczny [m].

(4) W przypadku zamulenia dnia przepustu zaleca się stosowanie zastępczego współczynnika szorstkości według Manninga n_{pz} [$m^{-1/3}s$], obliczanego zgodnie z zależnością (6.1.3):

$$n_{pz} = \sqrt{\frac{n_1^2 U_1 + n_2^2 U_2}{U_1 + U_2}} \tag{6.1.3}$$

gdzie:
n_1 – współczynnik szorstkości według Manninga dna przepustu [$m^{-1/3}s$],
U_1 – obwód zwilżony części dennej przepustu – długość strefy kontaktu wody z dnem [m],
n_2 – współczynnik szorstkości według Manninga ścian przepustu [$m^{-1/3}s$],
U_2 – obwód zwilżony części dennej przepustu – długość strefy kontaktu wody ze ścianami przepustu [m].

(5) Wartość współczynnika ζ_{wl} [-] zależy od geometrii wlotu. Należy ją przyjmować z literatury lub w przybliżeniu. Orientacyjne wartości współczynników przyjmuje się następująco:
a) ζ_{wl} = 0,33 dla wlotów kołnierzowych, korytarzowych, portalowych i rozchylonych,
b) ζ_{wl} = 0,20 dla wlotów podwyższonych i opływowych,
c) ζ_{wl} = 0,60 dla przewodu wysuniętego z nasypu bez konstrukcji wlotowej.

6.2. Wymiarowanie przepustu i obliczanie spiętrzenia przed przepustem

6.2.1. Algorytm postępowania

(1) Tok postępowania obejmuje:
a) wyznaczenie wielkości przepływu miarodajnego na podstawie danych hydrologicznych,
b) wybranie rodzaju przepustu hydraulicznego: kształtu przekroju przewodu i wlotu do przepustu,
c) ustalenie profilu podłużnego przepustu hydraulicznego: długości, rzędnych dna na wlocie i wylocie przepustu,

d) dobranie schematu obliczeniowego na podstawie relacji pomiędzy wysokością przepustu, głębokością normalną, głębokością krytyczną, spadkiem dna przepustu, spadkiem krytycznym oraz głębokościami przed i za przepustem,
e) obliczenie przepustowości dla założonej wysokości spiętrzenia przed przepustem hydraulicznym oraz przyjętych wymiarów przewodu przepustu hydraulicznego: średnicy, szerokości lub pola przekroju,
f) porównanie uzyskanej przepustowości budowli z przepływem miarodajnym, w razie potrzeby modyfikacja schematu obliczeniowego lub wymiarów przepustu,
g) obliczenie głębokości i prędkości na wylocie z przepustu hydraulicznego,
h) obliczenie głębokości rozmycia za przepustem hydraulicznym, porównanie otrzymanych wyników z wartościami dopuszczalnymi,
i) dobranie niezbędnych umocnień koryta za przepustem hydraulicznym uwzględniających głębokość rozmycia.

(2) Do realizacji wybiera się rozwiązanie zapewniające nieprzekroczenie dopuszczalnego spiętrzenia i prędkości oraz techniczno-ekonomicznie korzystną głębokość zakończenia umocnień.

(3) Przedstawione w dalszej części przypadki obliczeniowe pozwalają na wyznaczenie przepustowości dla sześciu typowych przypadków pracy układu (patrz rys. 6.2.2.1, 6.2.3.1, 6.2.4.1, 6.2.5.1, 6.2.6.1, 6.2.7.1). Należy pamiętać, że przepustowość budowli jest uzależniona od szeregu parametrów geometrycznych i rodzaju ruchu. Możliwe jest zaprojektowanie układu pracującego z oczekiwaną przepustowością dla kilku schematów obliczeniowych. Dobór schematu jest uzależniony również warunkami panującymi w bezpośrednim otoczeniu budowli.

(4) Metody obliczeń dotyczące wymienionych schematów pracy przepustów hydraulicznych można wykorzystywać także i do innych przypadków, niewiele się od nich różniących. Nie zaleca się stosowania przepustów hydraulicznych, dla których $(H_1 - z) > 1{,}2h_p$ i jednocześnie $H_2 > 1{,}25h_{kr}$.

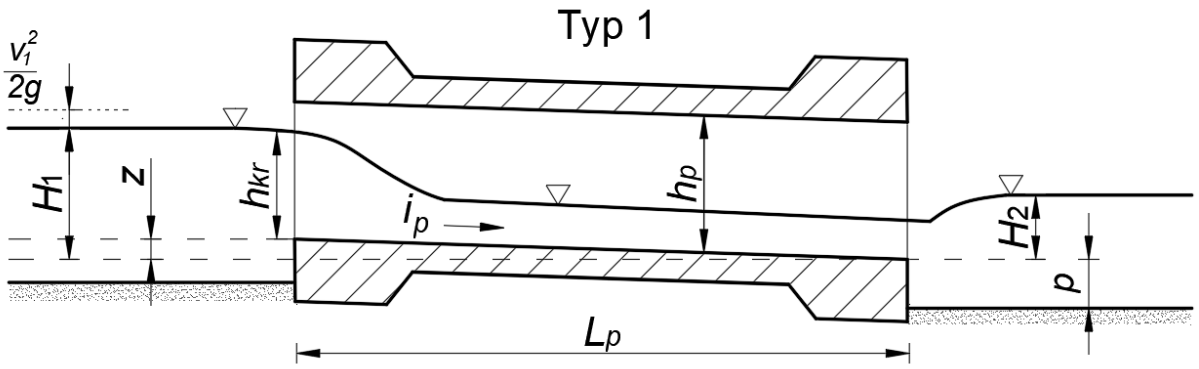
(5) W przypadku stosowania przepustu wielootworowego, przepływ obliczeniowy dla każdego z otworów Q [m^3/s] należy obliczać z zależności (6.2.1.1):

$$Q = \frac{1{,}5Q_m}{n} \tag{6.2.1.1}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
n – liczba otworów.

(6) Przepusty hydrauliczne na potokach, w których panuje ruch rwący, w przypadku gdy budowa ich jest dopuszczalna, projektować należy tak, aby na doprowadzeniu do nich, w samym przewodzie i na początkowym odcinku odprowadzenia za nim, zachowany był ruch rwący i wykluczona możliwość powstania odskoku hydraulicznego. Jako jedno z możliwych rozwiązań służących temu zaleca się stosowanie łącznie:
a) przepustu hydraulicznego o dnie wykonanym ze spadkiem zbliżonym do spadku cieku,
b) bystrotoku doprowadzającego strumień do przepustu hydraulicznego; szerokość bystrotoku nie powinna przekraczać dwukrotnej szerokości zwierciadła wody w przepuście hydraulicznym przy przepływie miarodajnym,
c) długiego i płynnego przejścia od bystrotoku do wlotu przepustu hydraulicznego.

6.2.2. Typ 1 – przepust o niezatopionym wlocie i wylocie oraz spadku dna większym od krytycznego



Rys. 6.2.2.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 1

(1) Wlot niezatopiony, w przepuście panuje ruch rwący. Układ zwierciadła wody kształtują warunki panujące na wlocie do przewodu przepustu. Zakłada się, że na wlocie do przewodu przepustu panuje głębokość krytyczna

(2) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} \leq 1{,}2$,

b) $h_n < h_{kr}$,

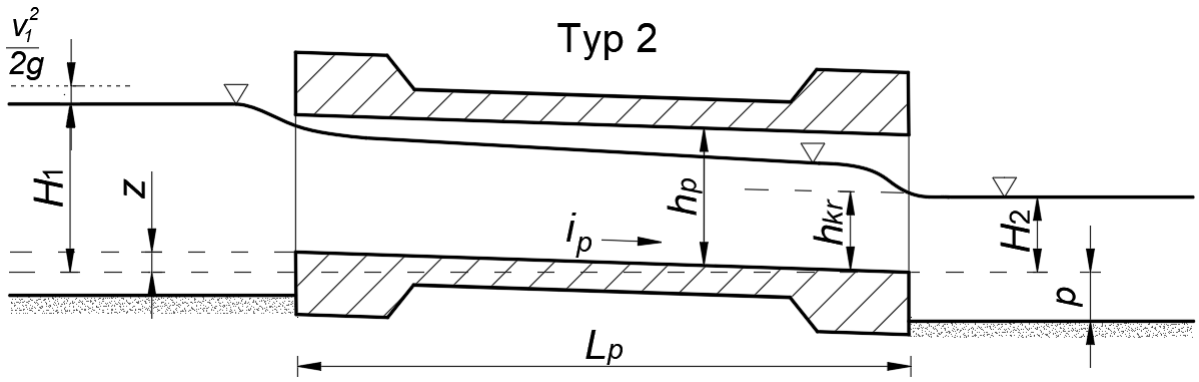
c) $H_2 < h_{kr}$.

(3) Wydatek przepustu Q [m^3/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.2.1):

$$Q = \mu F_{kr}\sqrt{2g\left(H_1 - z + \frac{v_1^2}{2g} - h_{kr}\right)} \qquad (6.2.2.1)$$

gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_{kr} – pole przekroju w ruchu krytycznym [m^2],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
z – różnica rzędnych dna na wlocie i wylocie z przepustu [m],
v_1 – prędkość w stanowisku górnym [m/s],
h_{kr} – głębokość krytyczna [m].

6.2.3. Typ 2 – przepust o niezatopionym wlocie i wylocie oraz spadku dna mniejszym od krytycznego



Rys. 6.2.3.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 2

(1) Wlot niezatopiony. W przewodzie przepustu panuje ruch spokojny. Układ zwierciadła wody kształtują warunki panujące na wylocie z przewodu przepustu. Na wylocie występuje głębokość krytyczna. Straty liniowe oblicza się ze wzoru (6.1.2) dla głębokości normalnej panującej w przewodzie przepustu.

(2) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} \leq 1{,}2$,

b) $h_n > h_{kr}$,

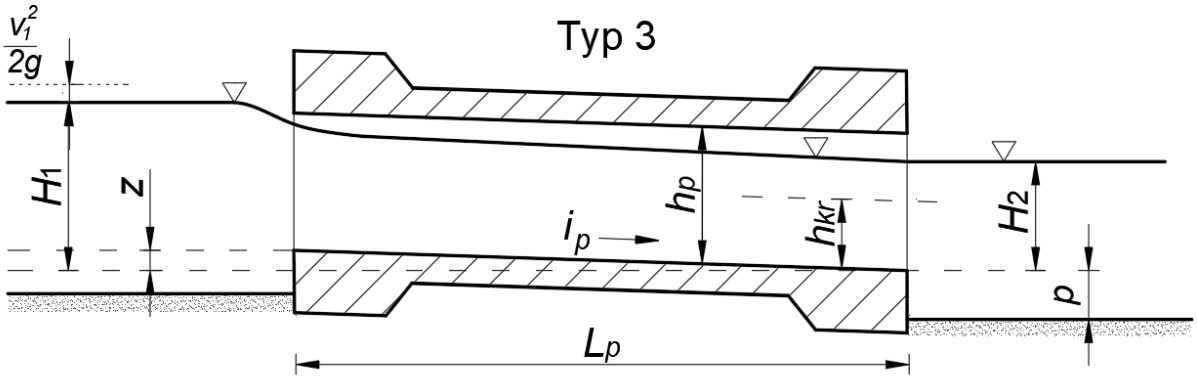
c) $H_2 < h_{kr}$.

(3) Wydatek przepustu Q [m^3/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.3.1):

$$Q = \mu F_{kr} \sqrt{2g\left(H_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_{kr} - h_L\right)} \qquad (6.2.3.1)$$

gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_{kr} – pole przekroju w ruchu krytycznym [m^2],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
v_1 – prędkość w stanowisku górnym [m/s],
h_{kr} – głębokość krytyczna [m],
h_L – straty na długości [m].

6.2.4. Typ 3 – przepust o niezatopionym wlocie i dławionym wylocie



Rys. 6.2.4.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 3

(1) Wlot niezatopiony. W przewodzie przepustu panuje ruch spokojny. Układ zwierciadła wody kształtują warunki na wylocie z przewodu przepustu. Dla p = 0, wzniesienie wody dolnej nad dno wylotu przewodu przepustu H_2 odpowiada głębokości miarodajnej w korycie. Straty liniowe oblicza się ze wzoru (6.1.2).

(2) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} \leq 1{,}2$,

b) $h_n > h_{kr}$,

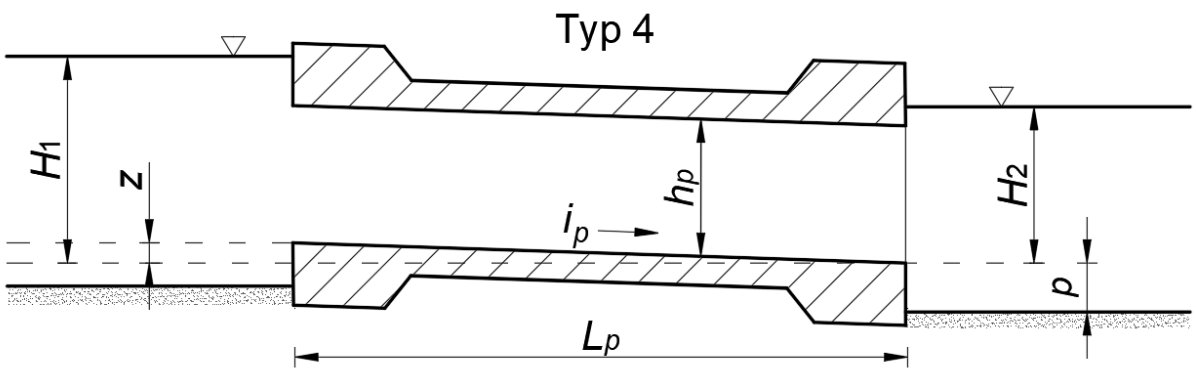
c) $H_2 > h_{kr}$.

(3) Wydatek przepustu Q [m^3/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.4.1):

$$Q = \mu F_p \sqrt{2g\left(H_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_2 - h_L\right)} \qquad (6.2.4.1)$$

gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_p – pole przekroju przewodu przepustu [m^2],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
v_1 – prędkość w stanowisku górnym [m/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
H_2 – napełnienie w stanowisku dolnym [m],
h_L – straty na długości [m].

6.2.5. Typ 4 – przepust o zatopionych wlocie i wylocie



Rys. 6.2.5.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 4

(1) Wlot zatopiony. Układ zwierciadła wody kształtują warunki na wylocie z przewodu przepustu. Promień hydrauliczny oblicza się dla całkowicie wypełnionego przewodu przepustu. Dla p = 0, wzniesienie wody dolnej nad dno wylotu przewodu przepustu H_2 odpowiada głębokości miarodajnej w korycie.

(2) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} > 1{,}2$,

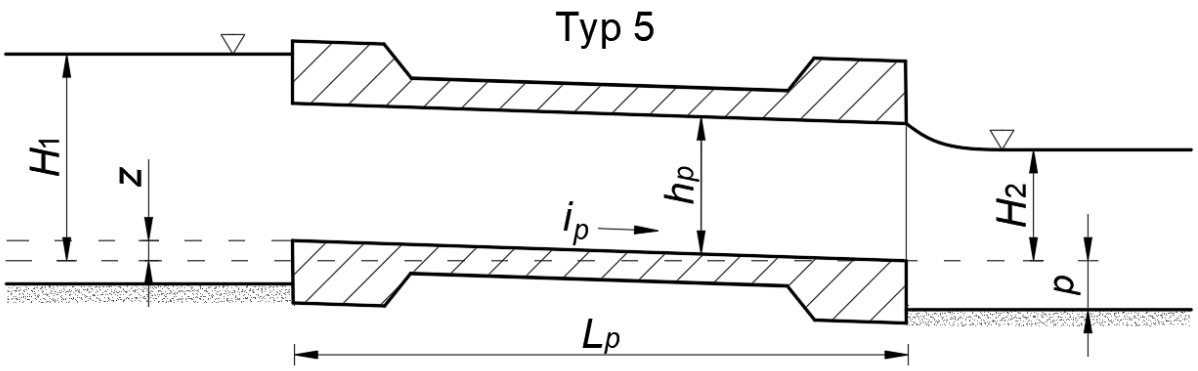
b) $H_2 > h_p$.

(3) Wydatek przepustu Q [m³/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.5.1):

$$Q = \mu F_p \sqrt{\frac{2g(H_1 - H_2)}{1 + 2g\frac{\mu^2 n_p^2 L_p}{R_h^{4/3}}}} \qquad (6.2.5.1)$$

gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_p – pole przekroju przewodu przepustu [m²],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
H_2 – napełnienie w stanowisku dolnym [m],
n_p – współczynnik szorstkości przepustu [m$^{-1/3}$s],
L_p – długość przepustu [m],
R_h – promień hydrauliczny [m].

6.2.6. Typ 5 – przepust o zatopionym wlocie i niezatopionym wylocie



Rys. 6.2.6.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 5

(1) Wlot zatopiony. Układ zwierciadła wody kształtują warunki na wylocie z przewodu przepustu. Promień hydrauliczny oblicza się dla całkowicie wypełnionego przewodu przepustu. Zakłada się, że głębokość wody na wylocie jest równa wysokości przepustu. Dla p = 0, wzniesienie wody dolnej nad dno wylotu przewodu przepustu H_2 odpowiada głębokości miarodajnej w korycie.

(2) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} > 1{,}2$,

b) $H_2 < h_p$,

c) $i_p < i_t$.

(3) Wydatek przepustu Q [m³/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.6.1):

$$Q = \mu F_p \sqrt{\frac{2g(H_1 - h_p)}{1 + 2g\frac{\mu^2 n_p^2 L_p}{R_h^{4/3}}}} \tag{6.2.6.1}$$

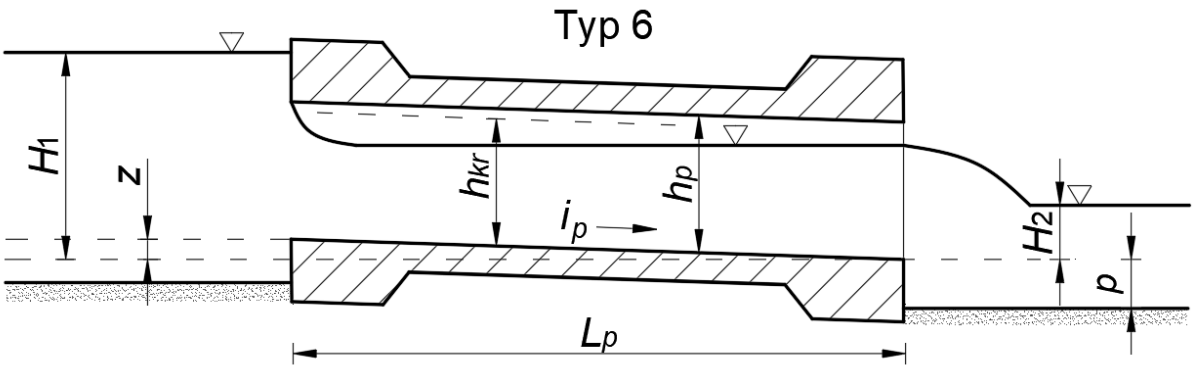
gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_p – pole przekroju przewodu przepustu [m²],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s²],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
h_p – wysokość przewodu przepustu [m],
n_p – współczynnik szorstkości przepustu [m$^{-1/3}$s],
L_p – długość przepustu [m],
R_h – promień hydrauliczny [m].

(4) Spadek i_t (spadek hydrauliczny w przepuście przy przepływie miarodajnym i całkowitym wypełnieniu przepustu) [i] wyznacza się ze wzoru (6.2.6.2):

$$i_t = \left(\frac{Q_m n_p}{F_p R_h^{2/3}}\right)^2 \tag{6.2.6.2}$$

gdzie:
Q_m – współczynnik wydatku na wlocie [m³/s],
n_p – współczynnik szorstkości przepustu [m$^{-1/3}$s],
F_p – pole przekroju przewodu przepustu [m²],
R_h – promień hydrauliczny [m].

6.2.7. Typ 6 – przepust o zatopionym wlocie i przepływie ze swobodnym zwierciadłem



Rys. 6.2.7.1. Schemat hydrauliczny przepustu – typ 6

(1) Wlot zatopiony. Układ zwierciadła wody kształtują warunki na wlocie do przewodu przepustu.

(2) Przypadek może zajść dla dowolnego spadku dna przepustu, zarówno większego jak i mniejszego od krytycznego

(3) Warunki wystąpienia:

a) $\frac{(H_1-z)}{h_p} > 1{,}2$,

b) $H_2 < h_p$,

c) $i_p > i_t$.

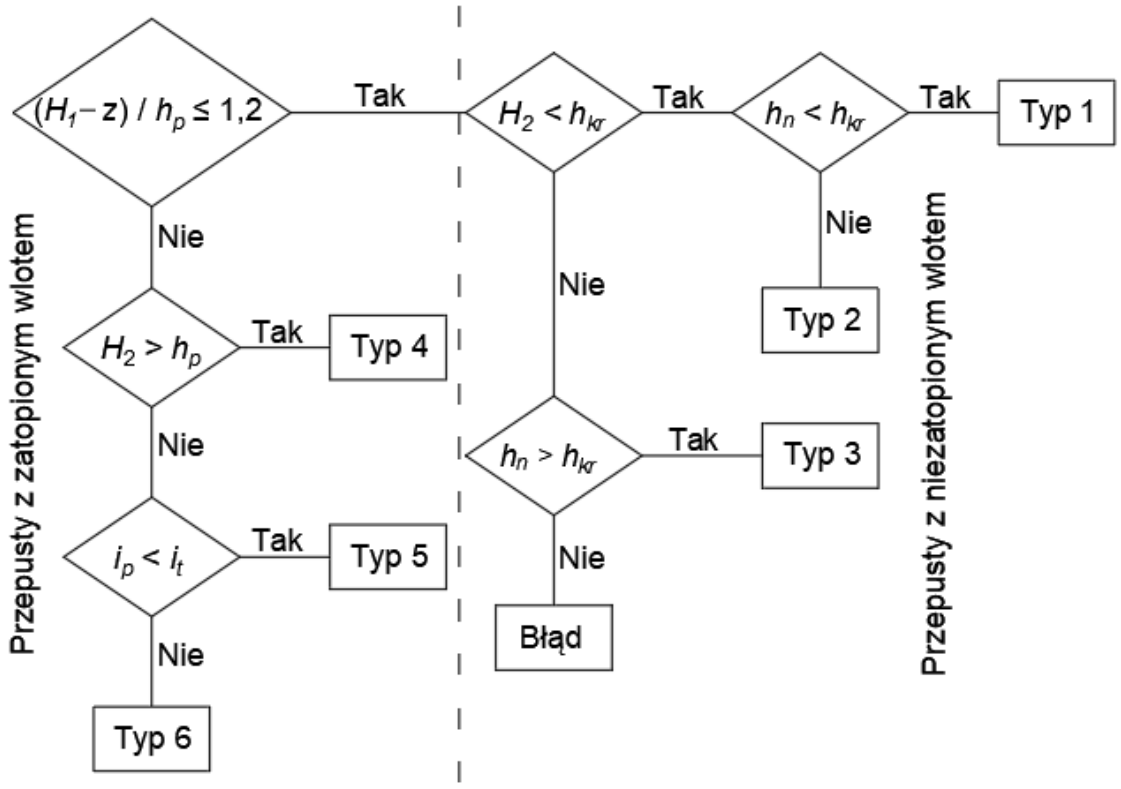
(4) Wydatek przepustu Q [m^3/s] przy założonym spiętrzeniu jest równy zgodnie ze wzorem (6.2.7.1):

$$Q = \mu F_p \sqrt{2g(H_1 - z)} \tag{6.2.7.1}$$

gdzie:
μ – współczynnik wydatku na wlocie [-],
F_p – pole przekroju przewodu przepustu [m^2],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
H_1 – napełnienie w stanowisku górnym mierzone od poziomu dna na wylocie [m],
z – różnica rzędnych dna na wlocie i wylocie z przepustu [m].

6.2.8. Dobór schematu hydraulicznego przepustu

(1) Schemat hydrauliczny przepustu zależy od relacji pomiędzy wysokością przepustu, głębokością normalną, głębokością krytyczną, spadkiem dna przepustu, spadkiem krytycznym oraz głębokościami przed i za przepustem. Kolejność sprawdzania warunków w celu ustalenia typu przepustu pokazano na rys. 6.2.8.1.



Rys. 6.2.8.1. Schemat logiczny doboru typu pracy przepustu

(2) Dobór typu przepustu wpływa na jego przepustowość. Zależności pozwalające obliczyć przepływ wody w przepuście dla założonego spiętrzenia dla wszystkich wymienionych wcześniej schematów hydraulicznych zestawiono w tab. 6.2.8.1.

Tab. 6.2.8.1. Zestawione zależności na przepustowość wszystkich typów przepustów

Kategoria	Typ	Spadek	Przekrój kontrolny	Przepustowość	Podrozdział
Wlot niezatopiony $\frac{(H_1-z)}{h_p} \leq 1{,}2$	1	$i_p > i_{kr}$	Wlot	$Q = \mu F_{kr}\sqrt{2g\left(H_1 - z + \frac{v_1^2}{2g} - h_{kr}\right)}$	6.2.2
	2	$i_p < i_{kr}$	Wylot	$Q = \mu F_{kr}\sqrt{2g\left(H_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_{kr} - h_L\right)}$	6.2.3
	3	$i_p < i_{kr}$	Wylot	$Q = \mu F_p\sqrt{2g\left(H_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_2 - h_L\right)}$	6.2.4
Wlot zatopiony $\frac{(H_1-z)}{h_p} > 1{,}2$	4	-	Wylot	$Q = \mu F_p\sqrt{\frac{2g(H_1 - H_2)}{1 + 2g\frac{\mu^2 n_p^2 L_p}{R_h^{4/3}}}}$	6.2.5
	5	$i_p < i_t$	Wylot	$Q = \mu F_p\sqrt{\frac{2g(H_1 - h_p)}{1 + 2g\frac{\mu^2 n_p^2 L_p}{R_h^{4/3}}}}$	6.2.6
	6	$i_p > i_t$	Wlot	$Q = \mu F_p\sqrt{2g(H_1 - z)}$	6.2.7

6.3. Obliczenia stanowiska dolnego

6.3.1. Cel i zakres obliczeń

(1) Obliczenia mają na celu zaprojektowanie dolnego stanowiska budowli w sposób zapobiegający jej zniszczeniu wskutek podmycia fundamentów. Zakres analiz i obliczeń obejmuje:

a) wymiary i kształt wylotu,
b) wymiary umocnień koryta w dolnym stanowisku,
c) głębokość rozmyć,
d) zaprojektowanie umocnień koryta.

(2) W przypadku niewielkich przepustów, przy niewielkich wysokościach uskoku (p < 0,20 m) dopuszcza się przyjmowanie postępowania uproszczonego, zakładającego wykonanie ubezpieczenia na odcinku nie krótszym niż 10 szerokości przepustu.

6.3.2. Głębokość i prędkość na wylocie z przewodu przepustu

(1) Głębokości wody h_{wyl} w przekroju wylotowym przewodu przepustu hydraulicznego, potrzebne do oceny warunków przepływu za budowlą, można przyjmować według tab. 6.3.3.1.

(2) Prędkości wody w przekroju wylotowym przewodu przepustu hydraulicznego v_{wyl} [m/s] należy określać ze wzoru (6.3.2.1):

$$v_{wyl} = \frac{Q_m}{F_{wyl}} \tag{6.2.7.1}$$

gdzie:
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
F_{wyl} – pole przekroju strumienia na wylocie odpowiadające napełnieniu h_{wyl}, zależne od kształtu przekroju przepustu [m^2].

6.3.3. Ukształtowanie wypadu

(1) Odpowiednio ukształtowany i umocniony odcinek koryta poniżej wylotu, nazywany wypadem, ma na celu rozprowadzenie przepływu na większą szerokość i zmniejszenie prędkości przepływu i głębokości rozmyć koryta. Podane dalej zalecenia ograniczają się tylko do konstrukcji wypadu i nie obejmują sposobów kształtowania przejść z wypadu w koryto naturalne.

(2) Wypad wymaga umocnienia gdy $v_{wyl} > 1{,}2\ v_{nr}$. Prędkość nierozmywającą v_{nr} należy przyjmować według tab. 5.2.2 i 5.2.3.

(3) Wypad powinien być ukształtowany względem osi przewodu przepustu hydraulicznego tak, aby strumień rozszerzał się symetrycznie z szerokości wylotu b_{wyl} (rys. 6.3.3.1) do szerokości koryta umocnionego B_w, na długości zależnej od warunków hydraulicznych w dolnym stanowisku budowli.

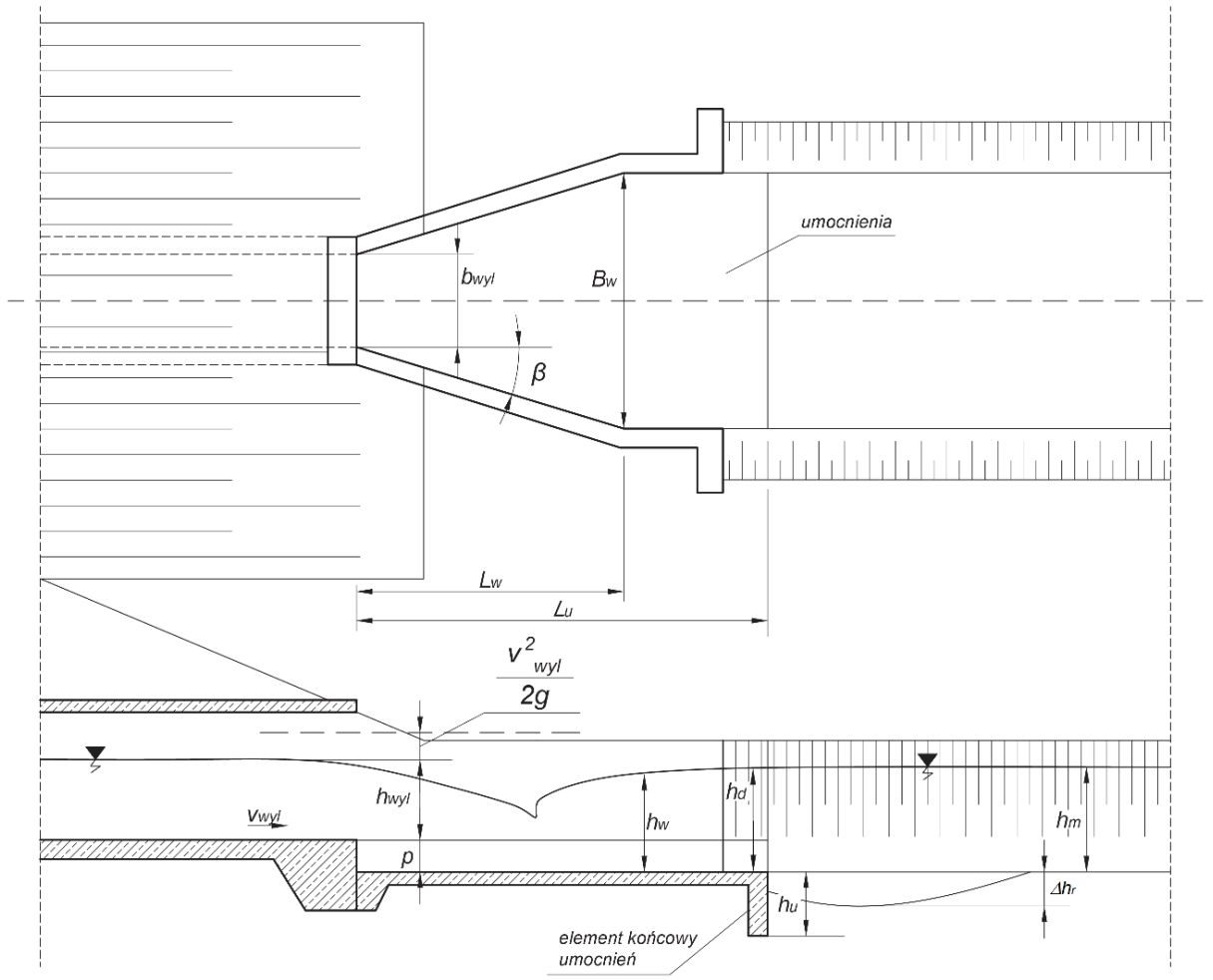
(4) Jeśli wypad ma charakter umocnionej powierzchni, a przekrój poprzeczny koryta cieku jest bardzo mały lub koryto nie jest wykształcone, zaleca się formowanie wypadu w postaci prostokątnej powierzchni umocnionej o wymiarach w planie $L_u \times B_w$.

(5) We wszystkich przypadkach, gdy koryto wypadu przechodzi w ukształtowane koryto cieku, np. rowu, zaleca się stosowanie prostoliniowego w planie rozszerzenia wypadu.

(6) Podane dalej zalecenia dotyczą przypadków, gdy uskok dna na końcu wylotu przepustu „p" nie przekracza 0,2 m. Gdy uskok ten jest większy, w obliczeniach wypadu należy uwzględnić rzeczywistą wysokość energii strumienia wody spadającego na płytę wypadu E_w [m](rys. 6.3.3.1), zgodnie ze wzorem (6.3.3.1):

$$E_w = h_{wyl} + \frac{v_{wyl}^2}{2g} \tag{6.3.3.1}$$

gdzie:
h_{wyl} – głębokość wody na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego [m],
v_{wyl} – prędkość na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego [m/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2].



Rys. 6.3.3.1. Schemat wypadu i jego umocnień

Tab. 6.3.3.1. Głębokości w przekroju wylotowym przepustu

Typ przepustu	Głębokości na wylocie h_{wyl}
1	$(0,70 \div 1,00)h_n$ [1)]
2	$(0,70 \div 0,80)h_{kr}$
3	h_m
4	h_p
5	$0,85h_p$
6	$0,85h_p$
[1)] za głębokość bezpieczną zaleca się przyjmować $h_{wyl} = 0,7h_n$	

(7) Kąt β odchylenia ścian wypadu od jego osi (rys. 6.3.3.1) należy określać:

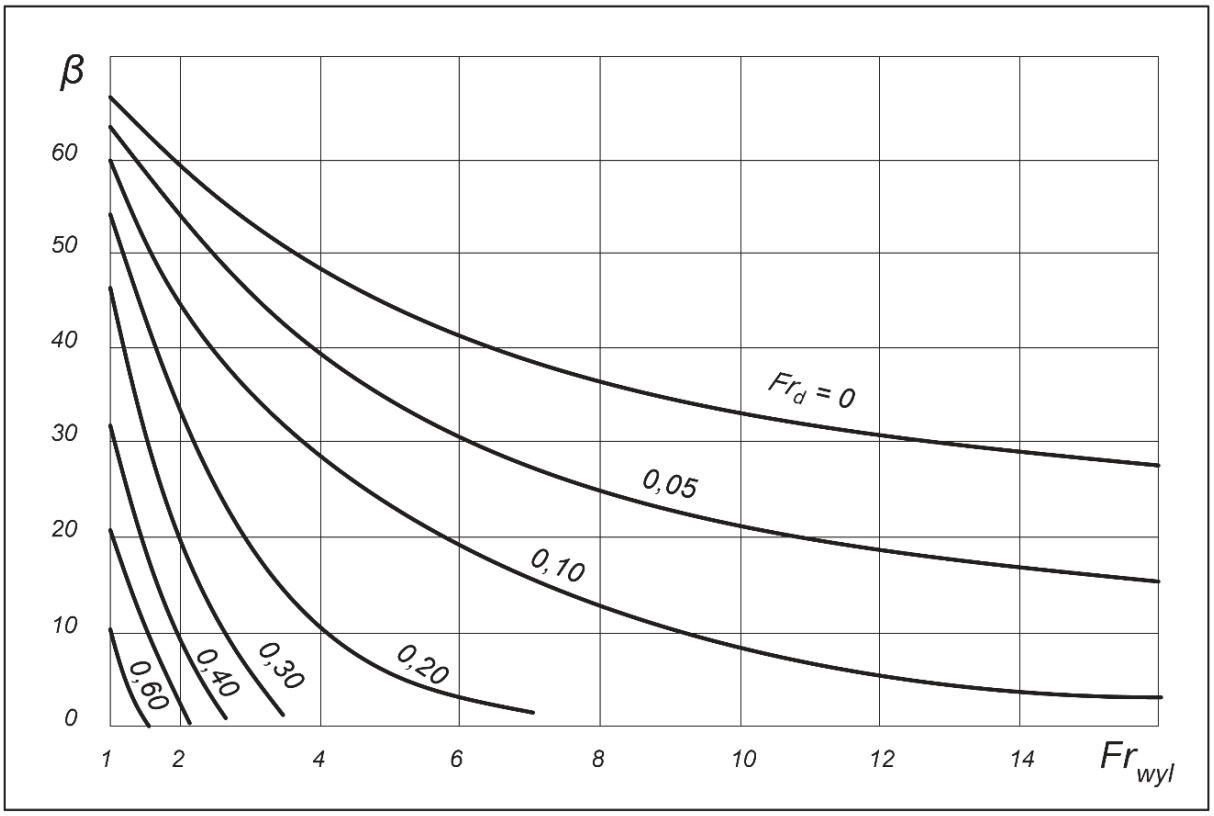
a) dla ruchu rwącego w korycie odpływowym – ze wzoru (6.3.3.2):

$$\beta = arctg\left(\frac{1}{0,30Fr_{wyl} + 0,54}\right) \tag{6.3.3.2}$$

gdzie:

$Fr_{wyl} = \frac{v_{wyl}^2}{gh_{wyl}}$ – liczba Froude'a w przekroju wylotowym,

b) dla ruchu spokojnego w tym korycie – z wykresu Šerenkova na rys. 6.3.3.2, gdzie $Fr_d = \frac{v_d^2}{gh_d}$ – liczba Froude'a w przekroju koryta odpływowego za wypadem.



Rys. 6.3.3.2. Wykres Šerenkova do określania kąta β w stopniach

(8) Wartości h_{wyl} i v_{wyl} należy określać zgodnie z metodyką podaną w podrozdziale 6.2, a wartość średniej głębokości wody h_d i prędkości v_d wyznaczać z warunków przepływu w korycie odpływowym przy przepływie miarodajnym. Jeśli na wylocie przepustu hydraulicznego występuje uskok dna (p > 0), to przy obliczeniach głębokość odmierza się od dna koryta lub powierzchni umocnionej.

(9) Po określeniu kąta β rozszerzenia ścian wylotu przepustu należy obliczyć długość wypadu L_w [m], na którym następuje całkowite rozszerzenie się strumienia, ze wzoru (6.3.3.3):

$$L_w = \frac{B_w - b_{wyl}}{2tg\beta} \tag{6.3.3.3}$$

gdzie:
za B_w należy podstawiać szerokość umocnień na wypadzie równą:

- szerokości koryta wypadu (dno i skarpy umocnione), równej 3÷5 świateł przepustu,
- szerokości umocnionej powierzchni traktowanej jako szerokość wypadu, gdy dolina cieku jest płaska i szeroka, zatapiana w czasie przejścia przepływu miarodajnego, a koryto cieku niewykształcone lub bardzo małe,

b_{wyl} – szerokość wylotu [m].

6.3.4. Ocena warunków hydraulicznych poniżej wylotu

(1) Warunki przepływu w dolnym stanowisku budowli kształtują się pod wpływem głębokości i prędkości przepływu w przekroju wylotu i w korycie odpływowym. Głębokość h_m w dolnym stanowisku budowli określa się jako różnicę rzędnej zwierciadła wody odpowiadającej przepływowi miarodajnemu i rzędnej dna wypadu (dna koryta poniżej wylotu).

(2) W celu ustalenia warunków hydraulicznych na wypadzie, w przypadku ruchu spokojnego w korycie odpływowym, należy porównać h_{wyl} z głębokością h_{kr} w przewodzie przepustu hydraulicznego.

(3) Jeżeli $h_{wyl} < h_{kr}$, to w obrębie stanowiska dolnego wystąpi odskok hydrauliczny i wymagane jest specjalne ukształtowanie odcinka koryta – wypadu.

(4) Jeżeli $h_{wyl} \geq h_{kr}$, to na wylocie z przepustu odskok hydrauliczny nie wystąpi i wystarczy wtedy umocnienie dna odpowiednie dla prędkości wylotowej.

(5) W przypadku wystąpienia odskoku należy obliczyć:

a) głębokość sprzężoną z głębokością na wylocie h_{2wyl} [m] ze wzoru (6.3.4.1):

$$h_{2wyl} = \frac{h_{wyl}}{2}\left(\sqrt{1 + 8\frac{Q_m^2}{g b_{wyl}^2 h_{wyl}^3}} - 1\right) \tag{6.3.4.1}$$

b) głębokość strumienia w ruchu rwącym, w przekroju poprzecznym na końcu rozszerzenia wypadu h_w [m] z równania (6.3.4.2):

$$h_w + \frac{1{,}1 Q_m^2}{2g h_w^2 B_w^2} = p + h_{wyl} + \frac{v_{wyl}^2}{2g} \tag{6.3.4.2}$$

gdzie:
h_{wyl} – głębokość wody na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego [m],
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
b_{wyl} – szerokość wylotu [m],
B_w – szerokość umocnień na wypadzie dobrana według podrozdziału 6.3.3 akapit (9),
p – uskok dna przepustu na wylocie nad poziomem płyty dna wypadu,
v_{wyl} – prędkość na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego [m/s],

c) głębokość strumienia h_{2w} [m] sprzężoną z głębokością h_w z równania (6.3.4.3):

$$h_{2w} = \frac{h_w}{2}\left(\sqrt{1 + 8\frac{Q_m}{g B_w^2 h_w^3}} - 1\right) \tag{6.3.4.3}$$

gdzie:

h_w – głębokość wody na wypadzie [m],
Q_m – przepływ miarodajny [m^3/s],
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
B_w – szerokość umocnień na wypadzie dobrana według podrozdziału 6.3.3 akapit (9).

(6) Porównanie wartości obliczonych głębokości pozwala zakwalifikować rozpatrywaną sytuację do jednego z następujących przypadków:

a) $h_{2wyl} \leq h_d$ – przejście z ruchu rwącego w przewodzie w ruch spokojny w korycie odbywa się w formie odskoku zatapiającego strumień w przekroju wylotowym budowli,
b) $h_{2wyl} > h_m \geq h_{2w}$ – odskok powstaje na długości rozszerzającego się wypadu lub w jego końcowym przekroju,
c) $h_{2w} > h_m$ – odskok jest odsunięty, co oznacza, że powstaje on w korycie, poniżej rozszerzonego wypadu, gdzie: $h_m = h_d + p$ – głębokość w kanale odpływowym, odpowiadająca rzędnej miarodajnej z_m.

6.3.5. Umocnienia wypadu

(1) Koryto za wylotem przepustu lub małego mostu powinno być umocnione, a długość umocnień L_u powinna spełniać następujące warunki:

a) $L_u \geq L_w$, gdzie L_w – długość wypadu określona według wzoru 6.3.3.2,
b) $L_u = (2 \div 3)D$ lub $(2 \div 3)b$; gdzie D – średnica przewodu kołowego, b – szerokość otworu prostokątnego.

(2) Typ umocnienia należy dobierać w zależności od prędkości obliczeniowej v_{obl}, której wartość zaleca się przyjmować jako równą $1{,}5v_{wyl}$ i powinno być ono układane na filtrze odwrotnym.

(3) Zaleca się stosować na końcu umocnień pionowy lub nachylony element ochronny (rys. 6.3.6.1), zagłębiony na $h_u \geq 1{,}3\Delta h_r$, gdzie: Δh_r – głębokość rozmycia obliczona dla występującego w dolnym stanowisku rodzaju ruchu według podrozdziału 6.3.6.

6.3.6. Głębokość rozmycia

(1) Do zaprojektowania głębokości założenia elementu zabezpieczającego na końcu umocnień potrzebna jest znajomość głębokości rozmycia koryta Δh_r [m]. Teoretyczną głębokość rozmycia należy obliczać w zależności od lokalizacji odskoku zgodnie z przypadkami podanymi w podrozdziale 6.3.4:

a) gdy odskok zatapia wylot budowli, ze wzoru (6.3.6.1):

$$\Delta h_r = h_d \left(\frac{v_{wyl}}{v_{nr}} - 1 \right) \tag{6.3.6.1}$$

b) gdy odskok powstaje na rozszerzającym się wypadzie, ze wzoru (6.3.6.2):

$$\Delta h_r = 1{,}85 h_{2w} - h_d \tag{6.3.6.2}$$

c) gdy odskok powstaje poza wypadem, ze wzoru (6.3.6.3):

$$\Delta h_r = 1{,}5 h_d \tag{6.3.6.3}$$

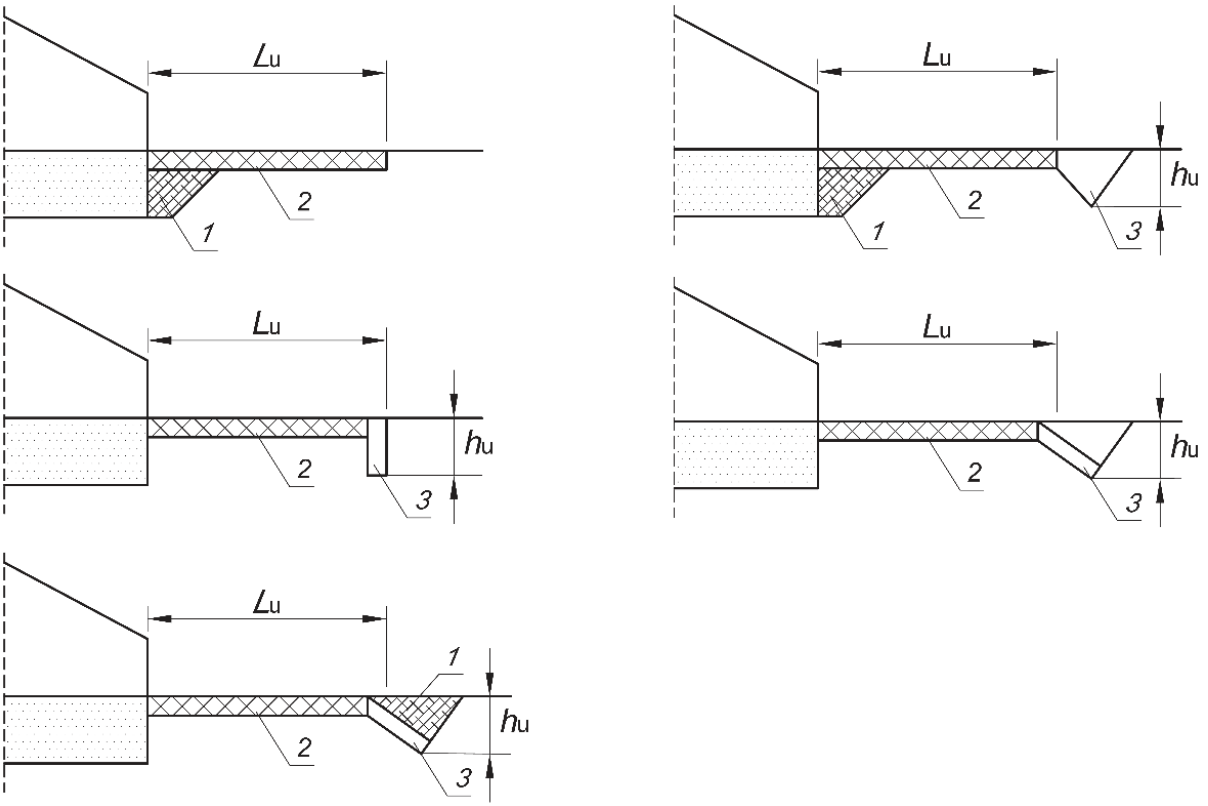
gdzie:
h_d – wzniesienie zwierciadła wody za przepustem hydraulicznym nad dnem wylotu przewodu [m],
v_{wyl} – prędkość na wylocie z przewodu przepustu hydraulicznego [m/s],
v_{nr} – prędkość nierozmywająca [m/s],
h_{2w} – głębokość strumienia sprzężona z głębokością h_w [m].

(2) Rzeczywistą maksymalną głębokość rozmycia oblicza się z wzoru (6.3.6.4):

$$\Delta h_{rmax} = k \Delta h_r \tag{6.3.6.4}$$

(3) Współczynnik redukcyjny k należy przyjmować z przedziału 0,6÷0,8, przy czym wartości mniejsze odpowiadają małym zlewniom, w których wezbrania są krótkotrwałe.

(4) Jeżeli obliczona głębokość rozmyć przekracza 2 m, należy na wylocie budowli zaprojektować urządzenie do rozpraszania energii (nieckę, próg, szykany itp.) zgodnie z zasadami projektowania wypadów budowli piętrzących.



Rys. 6.3.6.1. Typy umocnień poniżej przepustów: 1: – pryzma kamienna; 2 – narzut, bruk, płyty lub inne umocnienia dna; 3 – element Załącznik

6.4. Wspomaganie obliczeń przepustów

(1) W celu ułatwienia obliczeń przepustów opracowywano arkusze kalkulacyjne, stanowiące załącznik do niniejszych wytycznych. Skoroszyt arkuszy zawiera przykładowe obliczenia w formie interaktywnej – zmiana poszczególnych wartości pociąga za sobą wykonanie obliczeń.

(2) Skoroszyt składa się z 8 arkuszy:

a) arkusz „Typy przepustów" służy do wstępnego doboru typu przepustu na podstawie danych wejściowych: H_1, z, h_p, H_2, i_p, i_t, h_n, h_{kr}, po wprowadzeniu których schemat blokowy podpowiada wybór typu przepustu,

b) arkusze: „Typ 1", Typ 2", Typ 3", „Typ 4", „Typ 5" oraz „Typ 6", zawierają metodykę obliczeń dla poszczególnych typów przepustów. Po wprowadzeniu danych projektowych oraz parametrów przepustu, możliwe jest wykonanie niezbędnych obliczeń. Zamieszczony w każdym z arkuszy interaktywny schemat blokowy wyświetla aktualny typ przepusty wynikający z wprowadzonych danych. Wyświetlenie innego typu przepusty niż zakładany jest wskazaniem dla przeanalizowania danych wejściowych,

c) arkusz „Przewód kołowy" wspomaga projektanta w wyznaczeniu głębokości normalnej i krytycznej dla kołowego przekroju przepustu. Wartości głębokości normalnej i krytycznej są niezbędne przy definiowaniu typu przepustu i wykonywaniu obliczeń.