

Opracowanie koncepcji ochrony przed powodzią – opis ćwiczenia projektowego

1. Położenie analizowanej rzeki

Analizowaną rzekę i miejscowość, w pobliżu której należy zlokalizować suchy zbiornik, należy odszukać korzystając ze strony www.mapy.geoportal.gov.pl wpisując w oknie „szukaj” podane w temacie projektu nazwy: rzeki głównej, lub jej dopływu lub miejscowości. Położenie analizowanej rzeki pokazać na mapie Polski (Rys. 1).

2. Lokalizacja suchego zbiornika i przekroju obliczeniowego

Na fragmencie mapy w skali 1:2000 lub 1:5000 (Rys. 2) z www.mapy.geoportal.gov.pl zaznaczyć wybrany przekrój obliczeniowy – przekrój zapory czołowej suchego zbiornika.

3. Charakterystyka rzeki od źródeł do przekroju obliczeniowego

Korzystając z narzędzi w www.mapy.geoportal.gov.pl określić charakterystykę danej rzeki od źródeł do przekroju obliczeniowego:

- Powierzchnia zlewni $A = \dots\dots\dots$ km² (podana w temacie)

- Długość drogi spływu $L + l = \dots\dots\dots$ km,

gdzie:

$L = \dots\dots\dots$ km – długość cieką od przekroju obliczeniowego do źródła,

$l = \dots\dots\dots$ km – długość suchej doliny na przedłużeniu osi doliny rzeki, mierzona od źródła rzeki do wododziału.

- Średni spadek cieką $J = \frac{W_g - W_d}{L + l} = \dots\dots\dots$ ‰

gdzie:

$W_g = \dots\dots\dots$ m n.p.m. – wysokość terenu na wododziale w punkcie przecięcia granicy zlewni z osią suchej doliny,

$W_d = \dots\dots\dots$ m n.p.m. – wysokość terenu w przekroju obliczeniowym,

- Dominujące w zlewni utwory geologiczne $\dots\dots\dots$ określone na podstawie map dostępnych na stronie: www.pig.gov.pl

4. Profil podłużny rzeki w rejonie suchego zbiornika

Korzystając z narzędzi na stronie www.mapy.geoportal.gov.pl wykonać profil podłużny rzeki w rejonie lokalizacji suchego zbiornika dolinowego (Rys. 3).

5. Parametry suchego zbiornika

Korzystając z narzędzi www.mapy.geoportal.gov.pl określić parametry suchego zbiornika i przedstawić na wykresie (Rys. 4):

- krzywą powierzchni zalewu w zbiorniku $F_z = f(Rz, zw, w.)$,

- krzywą pojemności zbiornika $V_z = f(Rz, zw, w.)$.

6. Przepływy charakterystyczne

W analizowanej zlewni nie są prowadzone obserwacje wodowskazowe - jest to tzw. zlewnia niekontrolowana, w której wartości przepływów określamy według wzorów empirycznych:

- Przepływ średni roczny – wzór Byczkowskiego i Mandes (Byczkowski 1996):

$$SSQ = 10^{-3} \cdot Sq \cdot A \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

A – powierzchnia zlewni [km²]

Sq – średni roczny odpływ jednostkowy [dm³·s⁻¹·km⁻²] dany wzorem:

$$Sq = 2,33 \cdot 10^{-6} \cdot P^{2,3} \cdot (Jez + 1)^{2,6} \cdot \psi^{0,11} \quad (2)$$

gdzie:

P – średni opad roczny w zlewni [mm], przyjmowany z Tabeli 1A dla najbliższej stacji synoptycznej IMGW,

J_{ez} – jeziorność zlewni [%] obliczona ze wzoru:

$$J_{ez} = \frac{F_j}{A} \quad (3)$$

F_j – powierzchnia jezior w zlewni [km²]

A – powierzchnia zlewni [km²]

ψ – stoczystość zlewni, określona wzorem:

$$\psi = \frac{W_g - W_d}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

gdzie:

W_g – wysokość terenu na wododziale, na przedłużeniu suchej doliny rozpatrywanego cieku [m n.p.m.],

W_d – wysokość terenu w przekroju obliczeniowym [m n.p.m.],

A – powierzchnia zlewni [km²].

- przepływ średni niski – obliczony ze wzoru Stachy (1990), stosowanego dla obszaru całego kraju z wyłączeniem Karpat:

$$SNQ = 4,068 \cdot 10^{-4} \cdot A^{1,045} \cdot SSq_g^{0,96} \cdot J^{0,11} (J_{ez} + 1)^{0,23} \quad (5)$$

gdzie:

SSq_g – średni z wielolecia odpływ jednostkowy pochodzący z zasilania podziemnego [dm³·s⁻¹·km⁻²], przy braku danych można przyjąć $SSq_g = 40 \div 50\% SSq$

J – spadek cieku [‰]

Pozostałe oznaczenia jak we wzorach (1) i (2).

7. Przepustowość koryta rzeki

Parametry trapezowego przekroju poprzecznego koryta:

Głębokość koryta $t = \dots\dots\dots$ [m]

Szerokość dna $b = \dots\dots\dots$ [m]

Nachylenie skarp 1: $\dots\dots\dots$

Wsp. szorstkości $n = \dots\dots\dots$ [m^{-1/3}·s]

Lokalny spadek zw. wody $J = \dots\dots\dots$ [-]

Obliczenia przepustowości koryta wykonać według wzorów:

- Szerokość zwierciadła wody:

$$B = b + 2m_s h$$

- Pole powierzchni przekroju poprzecznego:

$$F = \frac{b + B}{2} \cdot h$$

- Długość obwodu zwilżonego:

$$U = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m_s^2}$$

- Promień hydrauliczny:

$$R = \frac{F}{U}$$

- Średnia prędkość przepływu wg Manninga:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

- Natężenie przepływu:

$$Q = V \cdot F$$

Wyniki obliczeń przepustowości koryta rzeki

Napełnienie koryta t [m]	Szerokość zw. wody B [m]	Pole powierzchni F [m ²]	Obwód zwilżony U [m]	Promień hydrauliczny R [m]	Prędkość średnia V [m/s]	Natężenie przepływu Q [m ³ /s]

Wykonać wykres krzywej przepustowości koryta $Q = f(t)$ (Rys. 5), z której należy odczytać napełnienie koryta przy przepływie SNQ .

$$SSQ = \dots\dots\dots, t_{SSQ} = \dots\dots\dots$$

$$SNQ = \dots\dots\dots, t_{SNQ} = \dots\dots\dots$$

Na podstawie wyników obliczeń uzupełnić profil podłużny analizowanego odcinka rzeki (Rys. 3), nanosząc linię zwierciadła wody SNQ oraz dna koryta.

8. Wysokość dobowego opadu maksymalnego o prawdopodobieństwie wystąpienia 1%

Określić wysokość dobowego opadu maksymalnego o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% (P1%) - obliczenia wykonać według wzoru Bogdanowicz i Stachy (1997):

$$P_{max}(t, p) = 1,42 \cdot t^{0,33} + \alpha(R, t)(-\ln p)^{0,584} \quad (6)$$

gdzie:

$P_{max}(t, p)$ – wysokość opadu maksymalnego [w mm] o określonym czasie trwania (t) i prawdopodobieństwie wystąpienia (p),

t – czas opadu [min],

p – prawdopodobieństwo opadu [-] (tj. dla prawdopodobieństwa opadu $p = 1\%$ do wzoru (6) podstawiamy $p = 0,01$)

α – współczynnik zależny od regionu Polski (R) i czasu opadu (t).

Dla regionu centralnego wartości α obliczamy z następującej zależności:

$$\bullet \text{ dla } t = 18 - 72 \text{ h: } \alpha = 3,01 \ln(t + 1) + 5,173 \quad (7)$$

Dla regionu południowego i nadmorskiego wartości α obliczamy ze wzoru:

$$\bullet \text{ dla } t = 12 - 72 \text{ h: } \alpha = 9,472 \ln(t + 1) - 37,032 \quad (8)$$

9. Przepływy maksymalne o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia

Określić maksymalne natężenie przepływu (przepływ kulminacyjny) w czasie wezbrania opadowego, stosując formułę Stachy i Fal (1989):

$$Q_{max p\%} = f \cdot F_I \cdot \varphi \cdot P_I \cdot A \cdot \lambda_p \cdot \delta_j \quad (9)$$

gdzie:

$Q_{max p\%}$ – przepływ maks. o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia [m³·s⁻¹]

f – bezwymiarowy wsp. kształtu fali; $f = 0,45$ na pojezierzach, $f = 0,60$ na pozostałych obszarach kraju;

F_I – maksymalny moduł odpływu jednostkowego, określony na podstawie wskaźnika hydromorfologicznej charakterystyki koryta rzeki ϕ_r :

$$\phi_r = \frac{1000 \cdot (L + l)}{m \cdot J^{0,33} \cdot A^{0,25} \cdot (\varphi \cdot P_I)^{0,25}} \quad (10)$$

oraz czasu spływu wody po stokach t_s wg Tabeli 1.

Wartość $F_I = f(\phi_r, t_s)$ odczytuje się z Tabeli 2; Pozostałe oznaczenia we wzorze (10):

$L + l$ - długość drogi spływu [km],

m - współczynnik szorstkości koryta cieku, przyjmowany według Tabeli 3,

J - uśredniony spadek cieku [‰],

A - powierzchnia zlewni [km²],

φ - współczynnik odpływu przyjmowany w zależności od dominujących w zlewni utworów geologicznych według Tabeli 4,

P_I - maksymalny opad dobowy o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 1\%$

λ_p - kwantyl rozkładu zmiennej dla danego prawdopodobieństwa pojawienia się według Tabeli 5,

δ_j - współczynnik zależny od wskaźnika jeziorności według Tabeli 6.

Obliczenia przepływu maksymalnego $Q_{max p\%}$ według wzoru (4) wykonać dla wartości λ_p odczytanych z Tabeli 5 dla danego regionu Polski (według załączonej mapy), przyjmując następujące prawdopodobieństwa:

Przepływ	Klasa techniczna budowli	Prawdopodobieństwo [%]	kwantyl rozkładu zmiennej λ_p	$Q_{max p\%}$ [m ³ ·s ⁻¹]
Miarodajny Q_m	IV	1,0		
	III	0,5		
Kontrolny Q_k	IV	0,5		
	III	0,2		
Dopuszczalny Q_{dop}	Nie zależny od klasy	20,0		
		30,0		
		50,0		

10. Hydrogram miarodajnej fali wezbraniowej i fali powodziowej

Według metody SCS określić współrzędne hydrogramu fali wezbraniowej z przepływem kulminacyjnym równym miarodajnemu $Q_m = Q_{max p\%}$ dla $p = 1\%$ (obiekt IV klasy) lub $p = 0,5\%$ (obiekt III klasy).

Współrzędne typowego hydrogramu fali wezbrania opadowego według SCS:

x	y
0,0	0,0
0,1	0,015
0,2	0,075
0,3	0,16
0,4	0,28
0,5	0,43
0,6	0,60
0,7	0,77
0,8	0,89
0,9	0,97
1,0	1,0
1,1	0,98
1,2	0,92
1,3	0,84
1,4	0,75
1,5	0,66
1,6	0,56
1,8	0,42
2,0	0,32

2,2	0,24
2,4	0,18
2,6	0,13
2,8	0,098
3,0	0,075
3,5	0,036
4,0	0,018
4,5	0,009
5,0	0,004

x, y – bezwymiarowe współrzędne hydrogramu fali

t_i – czas od początku fali [h] $t_i = x \cdot t_w$

t_w – czas wznoszenia się fali [h],

Q_i – przepływ w czasie t_i od początku wezbrania [m^3/s] $Q_i = y \cdot Q_{max p\%}$

$Q_{max p\%}$ – przepływ kulminacyjny o żądanym prawdopodobieństwie $p\%$ [m^3/s]

W obliczeniach przyjąć, że czas wznoszenia się fali t_w jest równy czasowi koncentracji T_c , który obliczamy według wzoru:

$$T_c = \left[2,187 \frac{(L+l)n_t}{\sqrt{J}} \right]^{0,467} + 0,01947 \frac{(L+l)^{1,155}}{(W_g - W_d)^{0,385}} \quad [\text{min}] \quad (11)$$

gdzie:

$L+l$ – długość drogi spływu [m]

$J = \frac{W_g - W_d}{L+l}$ – średni spadek ciekłu [-]

W_g i W_d – odpowiednio wysokość terenu na wododziale i w przekroju obliczeniowym w [m n.p.m.]

n_t – współczynnik szorstkości terenu – przyjąć według Tabeli 7.

Wyniki obliczeń współrzędnych hydrogramu fali wezbraniowej przedstawić w tabeli i na wykresie (Rys. 6).

11. Objętość miarodajnej fali wezbraniowej i fali powodziowej

Obliczyć objętości fali wezbraniowej i fali powodziowej dla miarodajnego przepływu kulminacyjnego Q_m . W obliczeniach objętości fali powodziowej przyjąć za podstawę fali

$Q_{dop} = Q_{brzeg}$.

Jeżeli z analizy wykonanej w p.12 wynikać będzie brak możliwości zretencjonowania całej objętości fali powodziowej, wówczas należy przyjąć większą wartość Q_{dop} w zakresie

$Q_{dop} = Q_{max p=50\%} \div Q_{max p=20\%}$.

Wyniki obliczeń objętości fali wezbraniowej i powodziowej zestawić w tabelach.

12. Maksymalna rzędna wody spiętrzonej w zbiorniku

Na podstawie krzywej pojemności zbiornika (Rys. 4) określić maksymalną rzędną wody spiętrzonej przy założeniu, że cała objętość fali powodziowej zostanie zretencjonowana w suchym zbiorniku.

13. Klasa techniczna obiektu

Określić klasę techniczną obiektu i sprawdzić czy klasa odpowiada przyjętej wcześniej w obliczeniach objętości fali wezbraniowej i powodziowej.

Jeżeli klasa nie odpowiada przyjętej – powtórzyć procedurę obliczeń od punktu 10.

Czas wznoszenia fali t_w przyjąć jak w poprzednich obliczeniach.

Określić efektywność suchego zbiornika:

- Stopień redukcji miarodajnego przepływu kulminacyjnego:

$$R_Q = \left(1 - \frac{Q_{dop}}{Q_m}\right) \cdot 100\%$$

- Stopień redukcji objętości fali miarodajnej:

$$R_V = \left(1 - \frac{V_p}{V_w}\right) \cdot 100\%$$

14. Urządzenia upustowe i przelewowe suchego zbiornika

Należy zwymiarować upust denny i przelew powierzchniowy.

Wzór na wydatek upustu dennego:

$$Q_u = \mu_u \cdot F_u \sqrt{2gH} \tag{12}$$

gdzie:

μ_u – współczynnik wydatku upustu [-], przyjmujemy $\mu_u = 0,7$

F_u – powierzchnia przekroju poprzecznego upustu [m^2],

$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ – przyspieszenie ziemskie,

H – wysokość spiętrzenia [m].

Po przekształceniu wzoru (12) obliczamy powierzchnię przekroju poprzecznego oraz średnicę upustu dennego o przekroju kołowym:

$$F_u = \frac{Q_u}{\mu_u \sqrt{2gH}} \quad D_u = \sqrt{\frac{4F_u}{\pi}}$$

gdzie:

$Q_u = Q_{dop}$ [$m^3\cdot s^{-1}$]

D_u – obliczona średnica upustu [m]

Przyjęta średnica upustu D_u musi być \geq obliczonej i równa tzw. średnicy nominalnej (dostępnej w handlu) $D_u = D_n = \dots \dots \dots$ mm

Średnice nominalne rur stalowych D_n [mm]

Zakres średnic [mm]	Zmiana średnicy
100 - 150	co 25 mm: 100, 125, 150
200 - 500	co 50 mm: 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
500 - 1000	co 100 mm: 500, 600, 700, 800, 900, 1000
1000 - 2000	co 200 mm: 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000

Wzór na wydatek przelewu powierzchniowego:

$$Q_{pp} = m_{pp} \cdot B_{pp} \sqrt{2g} \cdot H_{pp}^{1,5} \tag{13}$$

gdzie:

m_{pp} – współczynnik wydatku przelewu [-], przyjmujemy $m_{pp} = 0,44$

B_{pp} – szerokość prostokątnego otworu przelewowego [m],

$g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ – przyspieszenie ziemskie,

H_{pp} – głębokość wody na przelewie powierzchniowym [m],

w obliczeniach przyjmujemy $H_{pp} = 0,3 - 0,5$ m.

Z przekształconego wzoru (13) obliczamy szerokość prostokątnego otworu przelewowego:

$$B_{pp} = \frac{Q_{pp}}{m_{pp} \sqrt{2g} \cdot H_{pp}^{1,5}}$$

gdzie $Q_{pp} = Q_k - Q_u$

15. Rzędna korony zapory

Określić rzędną korony zapory z uwzględnieniem zapasu bezpieczeństwa dla danej klasy technicznej obiektu oraz wysokości falowania wody na zbiorniku.

Wysokość fali h_f [m] w zbiorniku obliczamy ze wzoru:

$$h_f = 0,0208 \cdot V_w^{1,25} \cdot L^{0,75} \quad (9)$$

gdzie:

V_w – prędkość wiatru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

L – długość rozbiegu fali równa długości zbiornika [km].

Dla budowli III i IV klasy przy $MaxPP$ przyjmuje się prędkość wiatru $V_w = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

16. Dostosowanie czaszy zbiornika i terenu przyległego do funkcji obiektu retencyjnego

Przedstawić zakres prac związanych z dostosowaniem czaszy zbiornika i terenu przyległego do funkcji obiektu retencyjnego. Proponowane rozwiązania pokazać na mapie suchego zbiornika (Rys. 7)

17. Podsumowanie i wnioski

Podać najważniejsze parametry suchego zbiornika przeciwpowodziowego:

Klasa ważności obiektu =

Pojemność retencyjna = m^3

Powierzchnia zbiornika = ha

Wysokość spiętrzenia = m

MaxPP = m n.p.m.

Rzędna korony zapory = m n.p.m.

Efektywność działania:

– stopień redukcji miarodajnego przepływu kulminacyjnego

– stopień redukcji objętości fali miarodajnej

Uzasadnić celowość i zalety analizowanej lokalizacji suchego zbiornika lub wskazać przyczyny (lokalizacyjne, techniczne, środowiskowe) uzasadniające rezygnację z budowy zbiornika w rozpatrywanym miejscu.