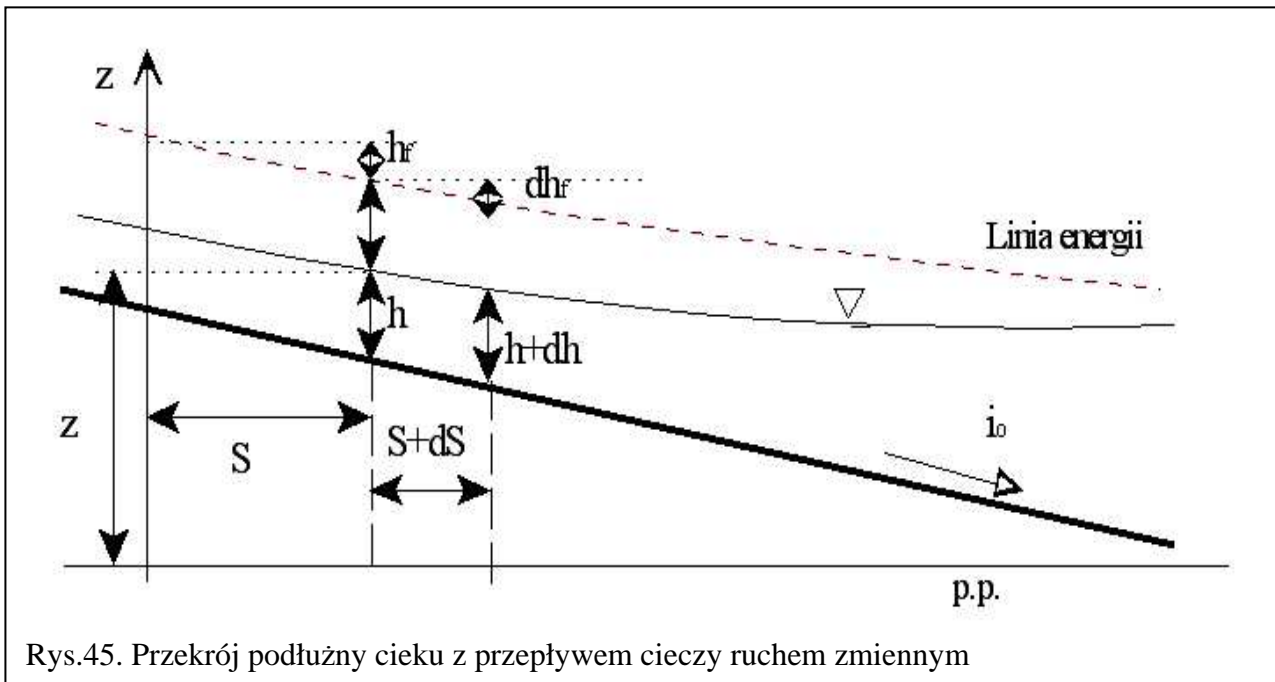


WYKŁAD 7

7.8. RUCH ZMIENNY USTALONY W KORYTACH PRYZMATYCZNYCH

7.8.1. Ogólne równanie ruchu

Ruchem zmiennym w korytach otwartych nazywamy taki przepływ, w którym parametry ruchu takie jak prędkość średnia w przekroju v , napełnienie h , pole przekroju poprzecznego A , szerokość w zwierciadle wody B zmieniają się na długości koryta s . Gdy kształt koryta cieku jest stały, niezmienny na długości, to parametry ruchu w danym przekroju cieku są zależne tylko od napełnienia koryta, czyli parametry te można jednoznacznie opisać funkcjami w których występuje tylko jedna zmienna niezależna - głębokość koryta h , natomiast głębokość ta zmienia się na długości koryta, tzn. jest zmienną zależną od długości cieku s , czyli $v = f(h)$, $A = f(h)$, $B = f(h)$, natomiast $h = f(s)$. Koryto o takich właściwościach nazywamy **korytem pryzmatycznym**.



Zakłada się, że rozpatruje się ruch, którego obraz nie zmienia się w czasie, a więc w każdym przekroju i w czasie natężenie przepływu jest stałe $Q = const$, czyli jest to **ruch ustalony**.

Na rys. 45. przedstawiono przekrój podłużny koryta cieku, którym płynie woda ruchem zmiennym. Poza wielkościami opisanymi wyżej, na rysunku tym zaznaczono straty energii na długości h_f , wysokość położenia zwierciadła wody z i spadek dna koryta i_0 . Przyjmując oznaczenia $J_{zw.w.}$ - spadek zwierciadła wody oraz J_e - spadek linii energii, można napisać następujące zależności:

$$dh_f = J_e ds ; \quad J_e = \frac{dh_f}{ds} = -\frac{d}{ds} \left(z + \frac{P_a}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} \right) = \frac{v}{c^2}$$

Z powyższych zależności otrzymujemy podstawowe równanie ruchu zmiennego:

$$J_{zw.w.} = \alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{c^2 R_h} \quad (88)$$

W ruchu jednostajnym spadki dna cieku, zwierciadła wody i linii energii są sobie równe i stałe na długości i określone są zależnością $i_o = J_{zw.w.} = J_e = v^2/c^2 R_h$. Ponieważ w ruchu jednostajnym $v = const$, ich obrazem są linie proste równoległe. Z równania (88) wynika, że spadek zwierciadła wody w ruchu zmiennym, w porównaniu z ruchem jednostajnym, opisany jest dodatkowo przez pochodną wysokości prędkości (pierwszy człon równ. 88) przy czym w tym przypadku wraz ze zmianą głębokości na długości cieku, zmienia się także prędkość średnia w przekroju, stąd przebieg linii energii i linii zwierciadła wody na długości cieku jest krzywoliniowy.

Po wyliczeniu pochodnej oraz wyznaczeniu dla wielkości przedstawionych na rys. 45 zależności

$$\alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right) = \alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{Q^2}{A^2 2g} \right) = -\frac{\alpha Q^2 B}{g A^3} \frac{dh}{ds} \quad J_{zw.w.} = i_o - \frac{dh}{ds}$$

i podstawieniu tych związków do równania (88) otrzymujemy to równanie w postaci:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i_o - \frac{Q^2}{A^2 c^2 R_h}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3}} \quad (89)$$

Jest to ogólne równanie ruchu wolnozmiennego dla koryt przyzmatycznych.

7.8.2. Badanie przebiegu krzywej zwierciadła wody

Przy rozwiązywaniu zagadnienia ruchu wody w omawianym przypadku konieczna jest znajomość warunków brzegowych i ogólnego przebiegu szukanych krzywych zwierciadła wody. Do analizy przebiegu szukanych krzywych wykorzystujemy równanie (89) sprowadzone do postaci:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i_o - J_e}{1 - F_r^2} = \frac{\text{Licznik}}{\text{Mianownik}}$$

gdzie: dh/ds - spadek zwierciadła wody względem dna, i_o - spadek dna, J_e - spadek linii energii,

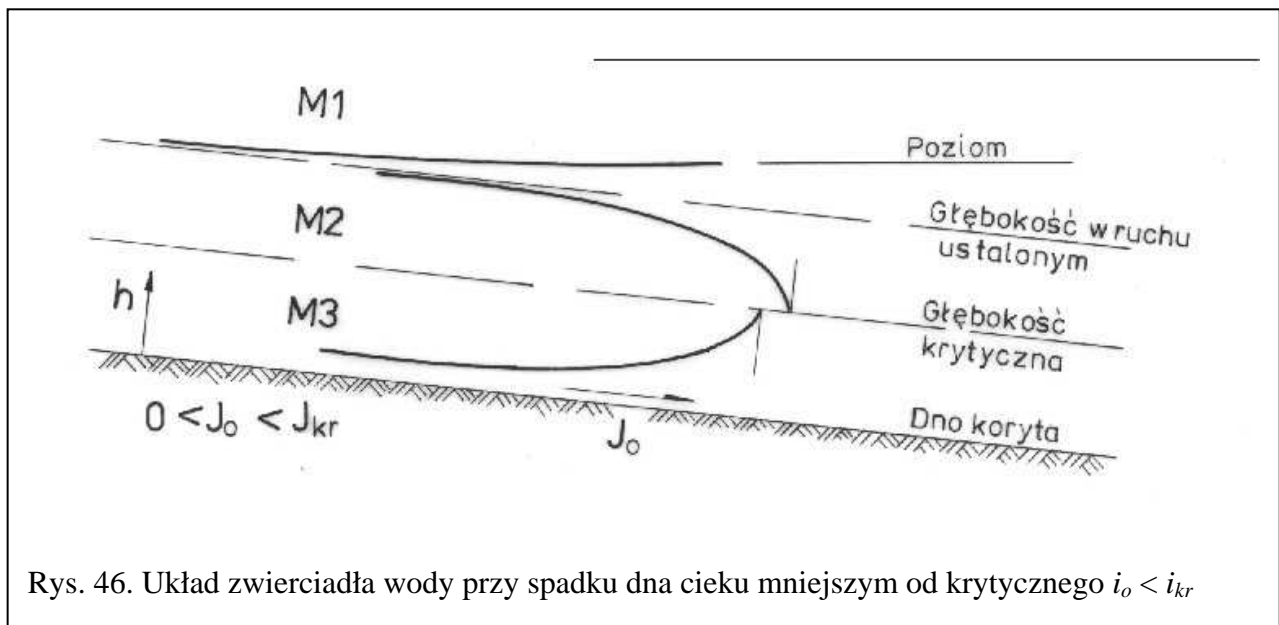
F_r - liczba Froude'a

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{\frac{1}{\alpha} g \frac{A}{B}}}$$

Przypadek 1. Spadek dna ciekłu mniejszy od spadku krytycznego

$i_o < i_{kr}$							
STREFA	h	J_e	F_r	L	M	dh/ds	KRZYWA
1	$h > H$	$J_e < i_o$	$F_r < 1$	+	+	+	M1
2	$h_{kr} < h < H$	$J_e > i_o$	$F_r < 1$	-	+	-	M2
3	$h < h_{kr}$	$J_e > i_o$	$F_r > 1$	-	-	+	M3

H - głębokość normalna, napelnienie koryta przy ruchu jednostajnym; h_{kr} , i_{kr} - głębokość i spadek krytyczny



Rys. 46. Układ zwierciadła wody przy spadku dna ciekłu mniejszym od krytycznego $i_o < i_{kr}$

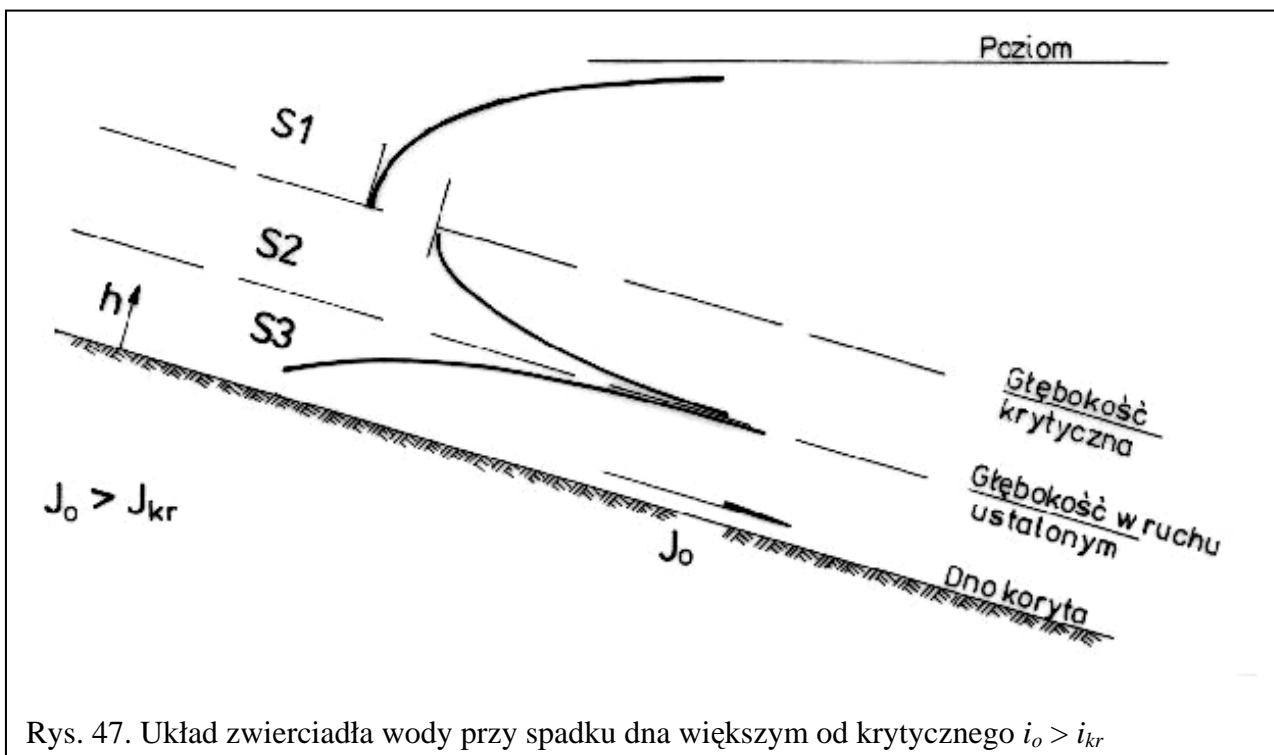
- ◆ **M1** Krzywa spiętrzenia (krzywa cofkowa) zwrócona wypukłością ku dołowi mająca asymptoty: linię poziomą przy h i linię zwierciadła wody w ruchu jednostajnym przy $h \rightarrow \infty$ (głębokość normalna).
 1. Sprawdzenie warunku $i_o < i_{kr}$
 2. Obliczenia krzywej: głębokość h maleje od H_p (wysokość piętrzenia) do $1,01 \cdot H$ (głębokość normalna + 1%).
- ◆ **M2** Krzywa depresji zwrócona wypukłością ku górze mająca asymptoty: linia zwierciadła wody w ruchu ustalonym przy $h \rightarrow H$ i linia pionowa.
 1. Sprawdzenie warunku $i_o < i_{kr}$
 2. Obliczenia krzywej: głębokość h rośnie od h_{kr} (głębokość krytyczna) do $0,99 \cdot H$ (głębokość normalna - 1%).
- ◆ **M3** Krzywa spiętrzenia zwrócona wypukłością ku dołowi zbliżająca się asymptotycznie do prostej pionowej przy $h \rightarrow h_{kr}$. Krzywa ta kończy się odskokiem hydraulicznym a rozpoczyna

się od pewnego wymuszonego napełnienia koryta (np. wypływ spod zasuwy przy wysokości podniesienia $a < h_{kr}$).

1. Sprawdzenie warunku $i_o < i_{kr}$
2. Przyjęcie drugiej głębokości sprzężonej równej głębokości normalnej $h_{2s} = H$
3. Obliczenie odskoku hydraulicznego: h_{1s} - pierwsza głębokość sprzężona, L_o - długość odskoku
4. Obliczenia krzywej: głębokość h rośnie od h_o (głębokość wypływu pod zasuwą) do h_{1s}

Przypadek 2. Spadek dna ciekę większy od spadku krytycznego

$i_o > i_{kr}$							
STREFA	h	J_e	F_r	L	M	dh/ds	KRZYWA
1	$h > h_{kr}$	$J_e < i_o$	$F_r < 1$	+	+	+	S1
2	$H < h < h_{kr}$	$J_e < i_o$	$F_r > 1$	+	-	-	S2
3	$h < H$	$J_e > i_o$	$F_r > 1$	-	-	+	S3



Rys. 47. Układ zwierciadła wody przy spadku dna większym od krytycznego $i_o > i_{kr}$

- ◆ **S1** Krzywa spiętrzenia zwrócona wypukłością ku górze mająca asymptotę poziomą przy $h \rightarrow \infty$ a przy $h \rightarrow h_{kr}$ zbliżająca się asymptotycznie do linii pionowej. Taki układ zwierciadła wody występuje powyżej przeszkody w korycie, gdzie panuje ruch krytyczny lub nastąpiło już przejście z ruchu podkrytycznego w nadkrytyczny.

1. Sprawdzenie warunku $i_o > i_{kr}$
 2. Przyjęcie pierwszej głębokości sprzężonej równej głębokości normalnej $h_{1s} = H$
 3. Obliczenie odskoku hydraulicznego: h_{2s} - druga głębokość sprzężona, L - długość odskoku
 4. Obliczenia krzywej: głębokość h maleje od H_p (wysokość piętrzenia) do h_{2s} .
- ◆ **S2** Krzywa depresji zwrócona wypukłością ku dołowi i posiadająca asymptoty: linię pionową i linię zwierciadła wody w ruchu jednostajnym. Taki układ zwierciadła wody panuje przy wypływie spod zamknięcia przy wysokości podniesienia $a > h_{kr}$ lub zmianie spadku koryta na spadek większy od krytycznego.
 1. Sprawdzenie warunku $i_o > i_{kr}$
 2. Obliczenia krzywej: głębokość h maleje od h_{kr} (głębokość krytyczna) do $1,01 \cdot H$ (głębokość normalna + 1%)
 - ◆ **S3** Krzywa spiętrzenia zwrócona wypukłością ku górze rozpoczynająca się od wymuszonego napełnienia koryta (wypływ spod zasuw przy wysokości podniesienia $a < H < h_{kr}$) i zbliżająca się asymptotycznie do linii zwierciadła wody w ruchu jednostajnym.
 1. Sprawdzenie warunku $i_o > i_{kr}$
 2. Obliczenia krzywej: głębokość h rośnie od h_o (głębokość poniżej zasuw) do $0,99 \cdot H_o$ (głębokość normalna - 1%)

7.8.3. Metody obliczeń

Metoda bezpośredniego całkowania (Bachmietiewa)

Całkowanie równania (89) możliwe jest jedynie przy założeniu określonych związków między głębokością h i pozostałymi wielkościami charakteryzującymi przekrój poprzeczny koryta tj. wielkościami A i B . Jest to możliwe przy przyjęciu określonego kształtu przekroju poprzecznego np. przekroju prostokątnego, parabolicznego, trapezowego itp. Najbardziej ogólne założenie przyjął **Bachmietiew**, który stwierdził że dla koryt pryzmatycznych o dowolnym kształcie przekroju poprzecznego w przybliżeniu spełnione są zależności:

$$\left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^x, \quad \text{oraz} \quad j = \frac{\alpha B c^2 R_h}{g A} = const \quad (90)$$

tzn. dla dowolnych dwóch przekrojów stosunek modułów przekroju $K^2 = A^2 \cdot c^2 \cdot R_h$ (rów. 70) w kwadracie równy jest stosunkowi głębokości w tych przekrojach podniesionych do stałej potęgi x . Wykładnik potęgowy x charakteryzuje kształt przekroju poprzecznego danego koryta. Wykładnik ten wyznacza się na podstawie wielkości K obliczonych dla przekrojów napełnionych do głębokości równych brzegowym wartościom h . Podobnie dla tych samych głębokości można obliczyć wartości j i do dalszych obliczeń przyjmować wartość średnią $j_{sr} = 0,5 (j_1 + j_2)$. Przy wyżej

opisanych założeniach oraz przy przyjęciu do obliczeń głębokości względnej $h / H = \eta$ **Bachmietew** otrzymał następującą postać równania:

$$\frac{i_o}{H}(s_2 - s_1) = (\eta_1 - \eta_2) - (1 - j_{sr}) \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{dn}{\eta^x - 1} \quad (91)$$

Wartość całki w równaniu (91) zależy od wartości wykładnika potęgowego. Dla określonych wartości wykładnika x wartości funkcji $\int \frac{dn}{\eta^x - 1} = \varphi(\eta)$ podane są w postaci tablic. W praktycznych obliczeniach wykorzystujemy równanie (91) w następującej postaci:

$$\frac{i_1}{H} = (\eta_2 - \eta_1) - (1 - j_{sr})[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)] \quad (92)$$

Równanie to ważne jest dla spadku dna $i_o > 0$.

Procedura obliczeń metodą Bachmietiewa

1. Obliczenie głębokości normalnej H
2. Obliczenia głębokości krytycznej h_{kr} i spadku krytycznego i_{kr}
3. Ustalenie granic zmienności napełnienia koryta h_i i typu krzywej
4. Obliczenie wykładnika potęgowego

$$x = 2 \frac{\log K_1 - \log K_2}{\log h_1 - \log h_2}$$

5. Obliczenie współczynnika j
6. Obliczenie współrzędnych krzywej dla przyjętych wartości h_i .

Dla krzywej MI można przyjąć

$$h_1 = h_{sr} = \frac{1}{2}(H_p + H); \quad h_2 = H; \quad K_1 = \frac{1}{n} A_{sr} R_{h_{sr}}^{\frac{2}{3}}; \quad K_2 = \frac{Q}{\sqrt{i_o}}$$

a dla obliczenia j_{sr} można przyjąć wprost parametry koryta przy napełnieniu h_{sr} . W obliczeniach krzywej MI przyjmuje się najczęściej $\eta_2 = \frac{H_p}{H} j$ oraz $\eta_1 = \frac{h_i}{H}$. Wartości funkcji $\varphi(\eta_1)$ i $\varphi(\eta_2)$ odczytujemy z tablic a odległości l_i między przekrojami o przyjętych głębokościach H_p i h_i obliczamy ze wzoru (92).

Metoda Czarnomskiego

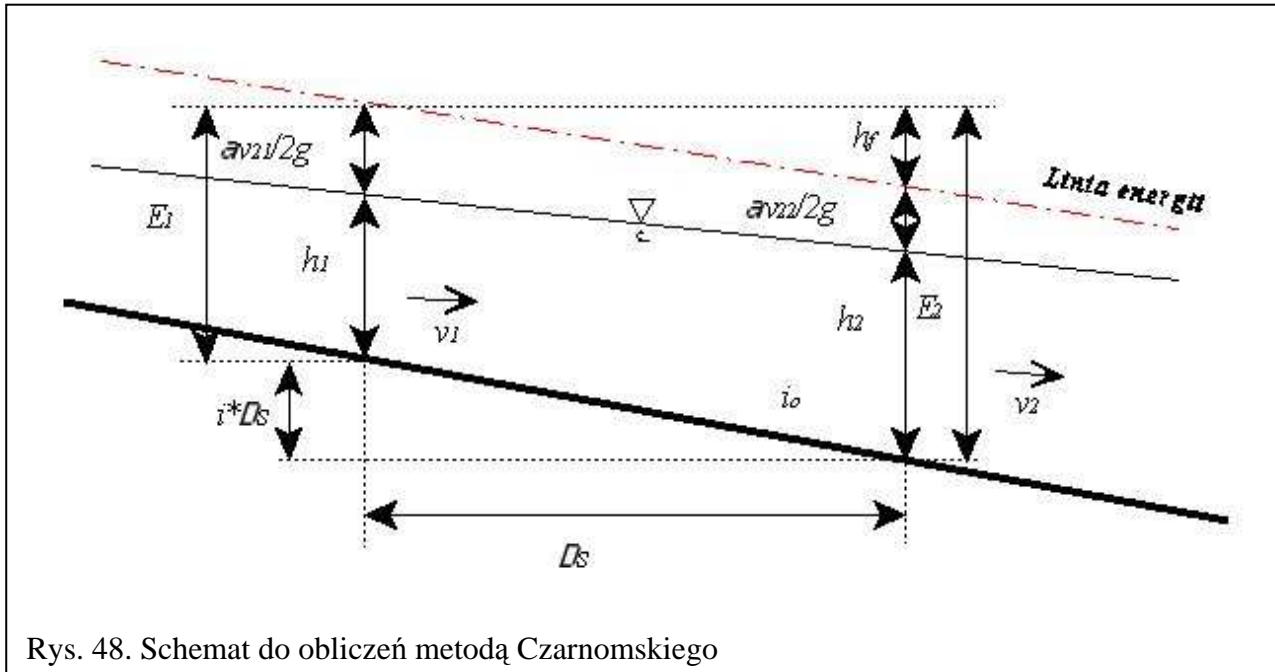
Punktem wyjścia w tej metodzie jest równanie Bernoulliego napisane dla dwóch przekrojów odległych od siebie o Δs , natomiast podstawowym założeniem metody jest przyjęcie

jednostkowych strat energii na tej długości ciekę jako średniej wartości ze spadków energii obliczonych dla tych przekrojów, czyli

$$J_e = \frac{v^2}{c^2 R_h}; \quad \frac{J_1 + J_2}{2} = J_{sr}; \quad h_f = J_{sr} \Delta s$$

Wykorzystując powyższe zależności oraz przyjmując oznaczenia jak na rys. 48, równanie Bernoulliego przybierze postać:

$$\Delta s \cdot i_o + E_1 = E_2 + \Delta s \cdot J_{sr} \quad (93)$$



Rys. 48. Schemat do obliczeń metodą Czarnomskiego

Z równania (93) możemy wyznaczyć nieznaną odległość s między dwoma przekrojami, dla których w jednym jest znana głębokość a w drugim głębokość założona. W tych obliczeniach korzystamy z następującej postaci równania:

$$\Delta s = \frac{E_2 - E_1}{i_o - J_{sr}}$$

Metoda **Czarnomskiego** jest szczególnie wygodna do obliczeń komputerowych.

Procedura obliczeń

1. Obliczenie głębokości normalnej H
2. Obliczenia głębokości krytycznej h_{kr} i spadku krytycznego i_{kr}
3. Ustalenie granic zmienności napełnienia koryta h_i i typu krzywej
4. Obliczenie współrzędnych krzywej dla wyjściowej znanej wartości h i kolejnych zakładanych głębokości h_i .

W przypadku koryta trapezowego

$$B = b + 2 m h_i, \quad A = (b + m h_i) h_i, \quad \chi = b + 2 h_i \sqrt{1 + m^2}, \quad R_h = \frac{A}{\chi}$$

$$c = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{6}}; \quad v = \frac{Q}{A}$$

Dla kolejnych przekrojów obliczamy:

$$E_i = h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g}; \quad J_i = \frac{v_i^2}{c_i^2 R_{hi}}$$

Odległość Δs_i między rozpatrywanymi przekrojami wyliczamy z równania (94).

Przykład W kanale o spadku dna $i_1 = 1,5 \text{ ‰}$ i napełnieniu $H_1 = 1,335 \text{ m}$, zmieniono gwałtownie spadek na dziesięciokrotnie większy $i_2 = 15 \text{ ‰}$. Szerokość dna kanału $b = 1 \text{ m}$, nachylenie skarp $m = 2$ oraz współczynnik szorstkości $n = 0,025$. Obliczyć: a) natężenie przepływu Q w kanale, b) napełnienie koryta w ruchu jednostajnym na odcinku o spadku i_2 , c) odległości, w górę i dół od miejsca zmiany spadku, w jakiej napełnienie kanału jest praktycznie równe głębokości normalnej.

Rozwiązanie:

Obliczamy natężenie przepływu Q przy napełnieniu $h = H_1$

$$A = (b + m h) h = (1,0 + 2 \cdot 1,335) 1,335 = 4,899 \text{ m}^2$$

$$\chi = b + 2 h \sqrt{m^2 + 1} = 1,0 + 2 \cdot 1,335 \sqrt{2^2 + 1} = 6,970 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{\chi} = \frac{4,899}{6,970} = 0,703 \text{ m}$$

$$Q = A v = A \frac{1}{n} R_h^{2/3} i_0^{1/2} = 4,899 \cdot \frac{1}{0,025} \cdot 0,703^{2/3} \cdot 0,0015^{1/2} = 6,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obliczamy głębokość krytyczną h_{kr}

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{1,0 \cdot 6^2}{9,81} = 3,67 \text{ m}^3$$

Drogą kolejnych przybliżeń przyjęto $h_{kr} = 0,912$ m, dla której

$$A_{kr} = (1,0 + 2 \cdot 0,912) \cdot 0,912 = 2,575 \text{ m}^2$$

$$B_{kr} = 1,0 + 2 \cdot 2 \cdot 0,912 = 4,468 \text{ m}$$

$$\frac{A_{kr}^3}{B_{kr}} = \frac{2,575^3}{4,468} = 3,673 \text{ m}^5$$

Obliczamy spadek krytyczny i_{kr}

$$\text{Dla } h_{kr} = 0,912 \text{ m} \quad \chi_{kr} = 1 + 2 \cdot 0,912 \sqrt{2^2 + 1} = 5,079 \text{ m}$$

$$R_{hkr} = \frac{2,575}{5,079} = 0,507 \text{ m} \quad c_{kr} = \frac{1}{n} R_h^{1/6} = \frac{1}{0,025} 0,509^{1/6} = 43,53$$

$$i_{kr} = \frac{g \chi_{kr}}{B_{kr} \alpha c_{kr}^2} = \frac{9,81 \cdot 5,079}{4,648 \cdot 1,0 \cdot 35,719^2} = 0,00084$$

Ponieważ spadek dna $i_1 = 1,5$ ‰ jest mniejszy od spadku krytycznego $i_{kr} = 8,4$ ‰, napełnienie koryta na tym odcinku będzie zmieniało się od głębokości normalnej do głębokości krytycznej h_{kr} , czyli $h_{kr} < h_i < H_1$

$$B_{sr} = 1,0 + 2 \cdot 2 \cdot 1,124 = 5,496 \text{ m} \quad c_{sr} = \frac{1}{n} R_{h_{sr}}^{1/6} = \frac{1}{0,025} 0,606^{1/6} = 36,80$$

$$\text{Dla } h_{sr} = 1,124 \text{ m} \quad j_1 = \frac{i_0 \alpha c_{sr}^2 B_{sr}}{g \chi_{sr}} = \frac{0,0015 \cdot 1,0 \cdot 36,80^2 \cdot 5,496}{9,81 \cdot 6,027} = 0,1888$$

$$\text{Dla } H = 1,335 \text{ m} \quad j_2 = \frac{i_0 \alpha c^2 B}{g \chi} = \frac{0,0015 \cdot 1,0 \cdot 37,72^2 \cdot 6,34}{9,81 \cdot 6,976} = 0,1979$$

$$\vec{j} = \frac{j_1 + j_2}{2} = \frac{0,1888 + 0,1979}{2} = 0,1934$$

$$Q = \frac{Q}{\sqrt{i_0}} = \frac{6,0}{\sqrt{0,0015}} = 154,92 \quad K_{sr} = \frac{1}{n} A_{sr} R_{h_{sr}}^{2/3} = \frac{1}{0,025} 3 \cdot 651 \cdot 0,606^{2/3} = 104,$$

$$x = 2 \cdot \frac{\log K_{sr} - \log K_0}{\log h_{sr} - \log H} = 2 \cdot \frac{\log 104,58 - \log 154,92}{\log 1,124 - \log 1,335} = 4,57 \quad \Rightarrow \quad x = 4,6$$

$$\eta_1 = \frac{h_i}{H_1} = \frac{1,33}{1,335} = 0,996 \quad \eta_2 = \frac{h_{kr}}{H_1} = \frac{0,912}{1,335} = 0,683$$

Dla $x = 4,6$ $\varphi(0,996) = 1,751$ $\varphi(0,683) = 0,703$

$$S = \frac{H_1}{i_0} \left[\eta_2 - \eta_1 - (1-j) (\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)) \right] =$$

$$= \frac{1,335}{0,0015} [0,683 - 0,996 - (1 - 0,1934) (0,703 - 1,751)] = 473,8 \text{ m}$$

Na odcinku o spadku $i_2 = 15 \text{ ‰}$ dla założonej wartości $H_2 = 0,799 \text{ m}$ obliczamy

$$A = (b + mh) h = (1,0 + 2 \cdot 0,799) 0,799 = 2,076 \text{ m}^2$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} = 1,0 + 2 \cdot 0,799\sqrt{2^2 + 1} = 4,573 \text{ m}$$

$$R_h = \frac{A}{\chi} = \frac{2,076}{4,573} = 0,454 \text{ m}$$

$$Q = Av = A \frac{1}{n} R_h^{2/3} i_0^{1/2} = 2,076 \cdot \frac{1}{0,025} \cdot 0,454^{2/3} \cdot 0,015^{1/2} = 6,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ponieważ spadek dna po zmianie wynosi $i_2 = 15 \text{ ‰}$ i jest większy od spadku krytycznego $i_{kr} = 8,4 \text{ ‰}$, napełnienie koryta na tym odcinku będzie zmieniało się od głębokości krytycznej do głębokości normalnej, $H_2 < h_i < h_{kr}$.

$$h_{sr} = \frac{h_{kr} + H_2}{2} = \frac{0,912 + 0,799}{2} = 0,856 \text{ m} \quad A_{sr} = (1,0 + 2 \cdot 0,799) 0,799 = 2,231$$

$$\chi_{sr} = 1,0 + 2 \cdot 0,799\sqrt{1+2^2} = 4,828 \text{ m} \quad R_{h_{sr}} = \frac{2,231}{4,828} = 0,481 \text{ m}$$

$$B_{sr} = 1,0 + 2 \cdot 2 \cdot 0,799 = 4,424 \text{ m} \quad c_{sr} = \frac{1}{n} R_{h_{sr}}^{1/6} = \frac{1}{0,025} 0,481^{1/6} = 35,41$$

$$\text{Dla } h_{sr} = 0,856 \quad j_1 = \frac{i_0 \alpha c_{sr}^2 B_{sr}}{g \chi_{sr}} = \frac{0,015 \cdot 1,0 \cdot 35,41^2 \cdot 4,424}{9,81 \cdot 4,828} = 1,757$$

$$\text{Dla } H_2 = 0,799 \text{ m} \quad j_2 = \frac{i_0 \alpha c^2 B}{g \chi} = \frac{0,015 \cdot 1,0 \cdot 35,07^2 \cdot 1,0}{9,81 \cdot 4,573} = 1,726$$

$$\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2} = \frac{1,726 + 1,757}{2} = 1,7415$$

$$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i_0}} = \frac{6,0}{\sqrt{0,015}} = 48,99 \quad K_{sr} = \frac{1}{n} A_{sr} R_{h_{sr}}^{2/3} = \frac{1}{0,025} 2,321 \cdot 0,481^{2/3} = 56,99$$

$$x = 2 \cdot \frac{\log K_{sr} - \log K_0}{\log h_{sr} - \log H} = 2 \cdot \frac{\log 56,99 - \log 48,99}{\log 0,856 - \log 0,799} = 4,39 \rightarrow x = 4,4$$

$$\eta_2 = \frac{h_1}{H_2} = \frac{0,80}{0,799} = 1,001 \quad \eta_1 = \frac{h_{kr}}{H_2} = \frac{0,912}{0,799} = 1,14$$

$$\text{Dla } x = 4,4 \quad \varphi(1,001) = 1,344 \quad \varphi(1,14) = 0,267$$

$$S = \frac{0,799}{0,015} [1,001 - 1,14 - (1 - 1,7415) (1,344 - 0,267)] = 35,1 \text{ m}$$