

Promień hydrauliczny dla najkorzystniejszego przekroju wyznaczmy po uwzględnieniu zależności (12.7)

$$R_h = \frac{F}{U} = \frac{h^2(2\sqrt{1+m^2} - m)}{2h(2\sqrt{1+m^2} - m)},$$

skąd

$$R_h = \frac{h}{2}. \quad (12.8)$$

Widzimy więc, że promień hydrauliczny dla najkorzystniejszego przekroju trapezowego równy jest połowie głębokości koryta.

## 12.4. HYDRAULICZNE OBLICZANIE KANAŁÓW OTWARTYCH

W zakres hydraulicznego obliczenia kanałów otwartych wchodzi następujące typowe zadania:

1. Określić wydatek  $Q$  wody w kanale, znając jego szerokość  $b$ , głębokość napełnienia  $h$ , współczynnik nachylenia skarp  $m$ , współczynnik chropowatości  $n$  oraz spadek dna  $i$ . Zadania tego typu rozwiązujemy w następującej kolejności. Obliczamy przekrój  $F$  oraz promień hydrauliczny  $R_h$ . Następnie wyznaczamy ze wzoru lub z tablic, obliczonych wg wzoru Pawłowskiego, współczynnik  $C$ , po czym obliczamy wydatek  $Q$  ze wzoru Chézy (przykład 12.1)

$$Q = F C \sqrt{R_h i} = K \sqrt{i},$$

gdzie  $K = F C \sqrt{R_h}$ .

2. Ze wzoru Chézy można również obliczyć spadek dna  $i$  znając oprócz podanych wyżej wielkości wydatek  $Q$  (przykład 12.2)

$$i = \frac{Q^2}{F^2 C^2 R_h}.$$

3. Wyznaczyć głębokość napełnienia  $h$ , znając wydatek  $Q$ , szerokość dna  $b$ , współczynnik nachylenia skarp  $m$ , współczynnik chropowatości  $n$  oraz spadek dna  $i$ . Zadania tego typu rozwiązuje się metodą kolejnych przybliżeń (przykład 12.3).

4. Obliczyć szerokość dna  $b$  oraz głębokość napełnienia  $h$  dla najkorzystniejszego przekroju koryta, znając wydatek  $Q$ , spadek dna  $i$ , współczynnik nachylenia skarp  $m$  oraz współczynnik chropowatości  $n$ . Zadania takie rozwiązujemy również metodą doboru wielkości (przykład 12.4).

Przykład 12.1. Kanał o przekroju trapezowym w zwartej naturalnej ziemi na głębokość napełnienia  $h = 1,25$  m, szerokość dna  $b = 2,0$  m, spadek dna  $i = 0,0009$ , współczynnik nachylenia skarp  $m = 1,0$ , współczynnik chropowatości  $n = 0,03$ . Obliczyć wydatek  $Q$  wody oraz średnią prędkość  $v$  przepływu w kanale.

Rozwiązanie. Obliczamy hydraulicznie parametry przekroju poprzecznego kanału.

Pole przekroju

$$F = (b + m h)h = (2 + 1 \cdot 1,25) \cdot 1,25 = 4,063 \text{ m}^2.$$

Obwód zwilżony

$$U = b + 2h \sqrt{1 + m^2} = 2 + 2 \cdot 1,25 \sqrt{1 + 1^2} = 5,54 \text{ m}.$$

Promień hydrauliczny

$$R_h = \frac{F}{U} = \frac{4,063}{5,54} = 0,735 \text{ m}.$$

Współczynnik  $C$  obliczamy ze wzoru Pawłowskiego dla  $n = 0,03$  i  $R_h = 0,735$  m. W naszym przypadku  $C = 30,7 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$ .  
Charakterystyka wydatku

$$K = F C \sqrt{R_h} = 4,063 \cdot 30,7 \sqrt{0,735} = 107,4 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Wydatek wody

$$Q = K \sqrt{i} = 107,4 \sqrt{0,0009} = 3,22 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Średnia prędkość

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{3,22}{4,063} = 0,79 \text{ m/s}.$$

Przykład 12.2. Obliczyć spadek dna koryta o najkorzystniejszym przekroju trapezowym, jeżeli wydatek  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ , głębokość  $h = 2 \text{ m}$ , współczynnik nachylenia skarp  $m = 2$  oraz współczynnik chropowatości  $n = 0,025$ .

Rozwiązanie. Z warunków (12.7) i (12.8) na hydraulicznie najkorzystniejszy przekrój trapezowy koryta obliczamy

$$\beta = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m) = 2(\sqrt{1 + 2^2} - 2) = 0,47$$

oraz

$$R_h = \frac{h}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m}.$$

Szerokość dna

$$b = 0,47h = 0,47 \cdot 2 = 0,94 \text{ m}.$$

Pole przekroju

$$F = (b + m h)h = (0,94 + 2 \cdot 2)2 = 9,88 \text{ m}^2.$$

Współczynnik  $C$  obliczamy ze wzoru Manninga

$$C = \frac{1}{n} R_h^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} \cdot 1^{\frac{1}{6}} = 40 \text{ m}^{0,5}/\text{s}.$$

Charakterystyka wydatku

$$K = F C \sqrt{R_h} = 9,88 \cdot 40 \cdot \sqrt{1} = 395 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Spadek dna koryta

$$i = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{5^2}{395^2} = 0,00016.$$

Przykład 12.3. Wyznaczyć głębokość napełnienia  $h$  kanału betonowego o przekroju trapezowym, jeżeli znane są następujące wielkości:  $Q = 28 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $b = 3 \text{ m}$ ,  $i = 0,0019$ ,  $n = 0,017$  oraz  $m = 1,5$ .

Rozwiązanie. Zadanie to rozwiązujemy metodą kolejnych przybliżeń. Dobierając odpowiednio wartości  $h$  obliczamy dla nich wartości  $F$ ,  $U$ ,  $R_h$ ,  $C$  i  $Q$ , które wpisujemy do tablicy. Rozwiązanie zadania stanowi ta wartość, dla której obliczony wydatek równy jest zadanemu wydatkowi.

Pole przekroju, obwód zwilżony i promień hydrauliczny obliczamy ze wzorów:

$$F = (b + m h)h = (3 + 1,5h)h,$$

$$U = b + 2h \sqrt{1 + m^2} = 3 + 2h \sqrt{1 + 1,5^2} = 3 + 3,6 h,$$

$$R_h = \frac{F}{U} = \frac{(3 + 1,5 h) h}{3 + 3,6 h}.$$

Współczynnik  $C$  obliczamy ze wzoru Pawłowskiego dla  $n = 0,017$  i dla danego  $R_h$ .

Wydatek  $Q$  obliczamy ze wzoru  $Q = FC \sqrt{R_h} i$ .

Wyniki obliczeń dla zadanych wartości  $h$  podajemy w tabl.12.1.

Widzimy więc, że głębokość napełnienia  $h = 3,15$  m odpowiada zadanej wartości wydatku  $Q = 28 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tablica 12.1

$h$ [m]	$F$ [m <sup>2</sup> ]	$U$ [m]	$R_h$ [m]	$\sqrt{R_h}$ [m <sup>0,5</sup> ]	$C$ [m <sup>0,5</sup> /s]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]
1,0	4,5	6,61	0,681	0,826	54,90	2,82
2,0	12,0	10,22	1,170	1,080	60,40	9,80
3,0	22,5	13,82	1,630	1,280	63,80	25,30
3,1	23,7	14,16	1,670	1,290	64,10	27,20
3,2	24,9	14,52	1,716	1,310	64,38	29,00
3,15	24,3	14,35	1,695	1,300	64,28	28,00

**Przykład 12.4.** Obliczyć hydraulicznie najkorzystniejszy przekrój kanału, jeżeli  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $i = 0,002$ ,  $m = 1,75$ ,  $n = 0,0225$ .

Rozwiązanie. Z warunki (12.7) na najkorzystniejszy przekrój trapezowy koryta obliczamy

$$\beta = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m) = 2(\sqrt{1 + 1,75^2} - 1,75) = 0,532.$$

Przyjmując dowolne wartości  $h$ , obliczamy  $b = \beta h$ , a następnie podobnie jak w poprzednim przykładzie wartości  $F$ ,  $U$ ,  $R_h$ ,  $C$  i  $Q$ . Obliczone wartości tych parametrów wpisujemy w tabl.12.2.

Tablica 12.2

$h$ [m]	$b$ [m]	$F$ [m <sup>2</sup> ]	$R_h$ [m]	$\sqrt{R_h}$ [m <sup>0,5</sup> ]	$C$ [m <sup>0,5</sup> /s]	$\sqrt{i}$	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]
1	0,532	2,282	0,50	0,708	41,29	0,0447	3,68
2	1,064	9,128	1,00	1,000	44,00	0,0447	18,10
2,2	1,170	11,000	1,10	1,050	45,30	0,0447	23,40
2,1	1,117	10,050	1,05	1,024	44,85	0,0447	20,60

Najbardziej zbliżoną do zadanego wydatku  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$  jest podana w tabl.12.2 wartość  $Q$ , odpowiadająca parametrom najkorzystniejszego przekroju  $h = 2,1 \text{ m}$  oraz  $b = 1,117 \text{ m}$ .

### 12.5. RUCH PODKRYTYCZNY I NADKRYTYCZNY GŁĘBOKOŚĆ KRYTYCZNA

Rozważmy wolnozmienny przepływ w korytach otwartych z energetycznego punktu widzenia. Wzniesienie linii energii strumienia cieczy wyraża się w postaci

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{\alpha v^2}{2g}.$$

Dla dowolnego punktu  $M$  w przekroju poprzecznym koryta można napisać (rys.12.1b)

$$z + \frac{p}{\gamma} = h.$$

Energia bez uwzględnienia ciśnienia atmosferycznego wyrazi się w postaci

$$E = h + \frac{\alpha v^2}{2g}.$$