



Politechnika
Wroclawska

Budownictwo Wodne

Projekt Jazu Stałego

Oscar Herrera-Granados

Katedra Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i Wodnego

Semestr Letni 2019/2020





Wymagany zakres prac do realizacji

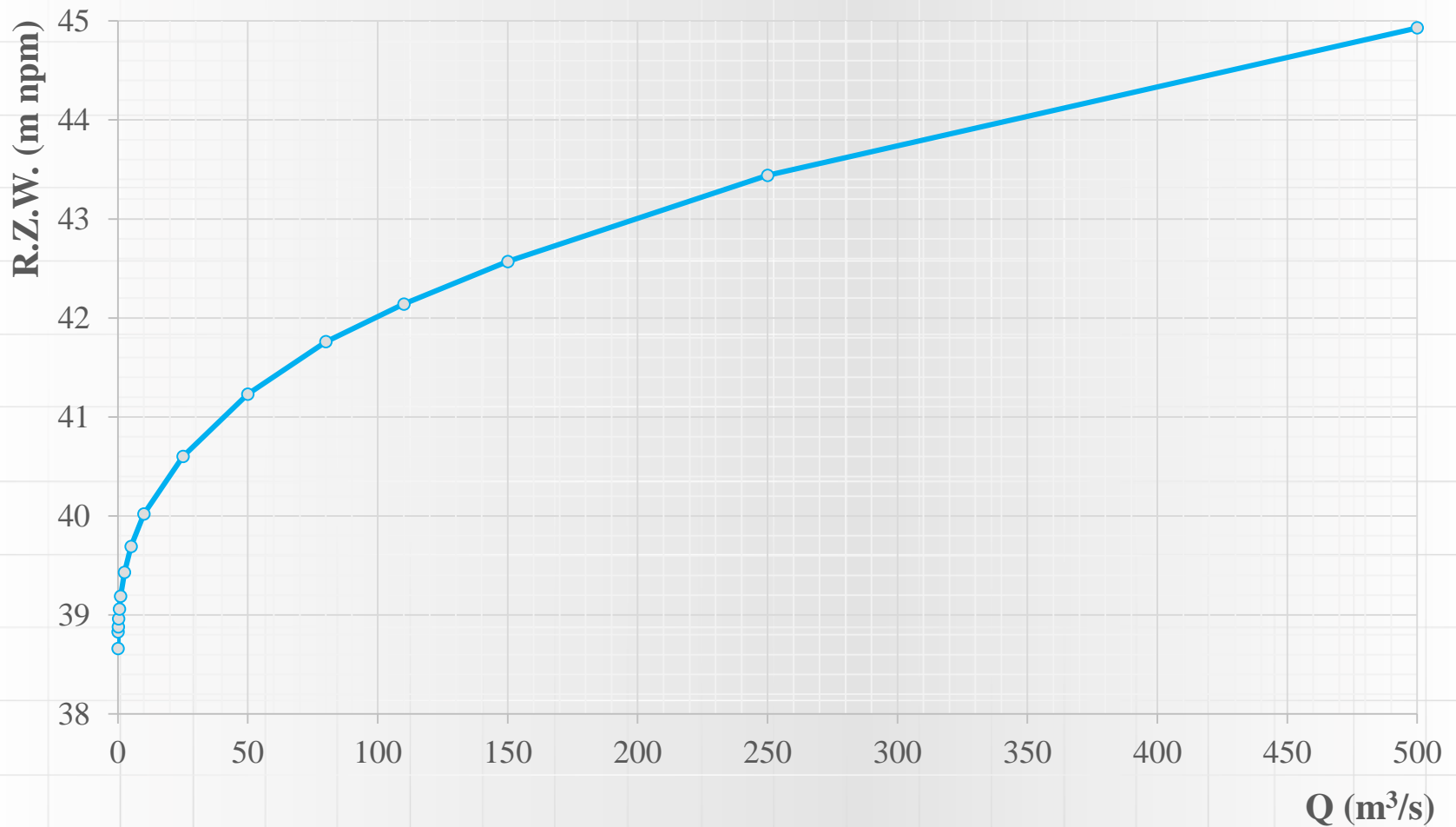
0. Wykonać opis techniczny projektowanej budowli wodnej niskiego spadku.
1. Obliczyć i narysować krzywą wydatku przekroju $Q = f(h)$ korzystając ze wzoru Manninga.
2. Obliczyć światło jazu stałego dla założonego przepływu obliczeniowego Q_m .
3. Wykonać obliczenia hydrauliczne dla wyznaczenia krzywej wydatku jazu stałego.
4. Określić parametry niecki wypadowej jazu dla najniekorzystniejszych warunków przepływu.
5. Określić wymaganą długość ścianek szczelnych metodą przybliżoną (Bligh'a lub Lane'a), przy założeniu stałej prędkości wzdłuż drogi filtracji.
6. Dla założonych parametrów jazu stałego, sprawdzić stateczność płyty na wypłynięcie i całej budowli na przesunięcie w płaszczyźnie posadowienia.
7. Wykonać rysunki zaprojektowanego jazu stałego: szkic sytuacyjny, widok z góry, **przekrój podłużny przez budowlę**.

Wymagany zakres prac do realizacji

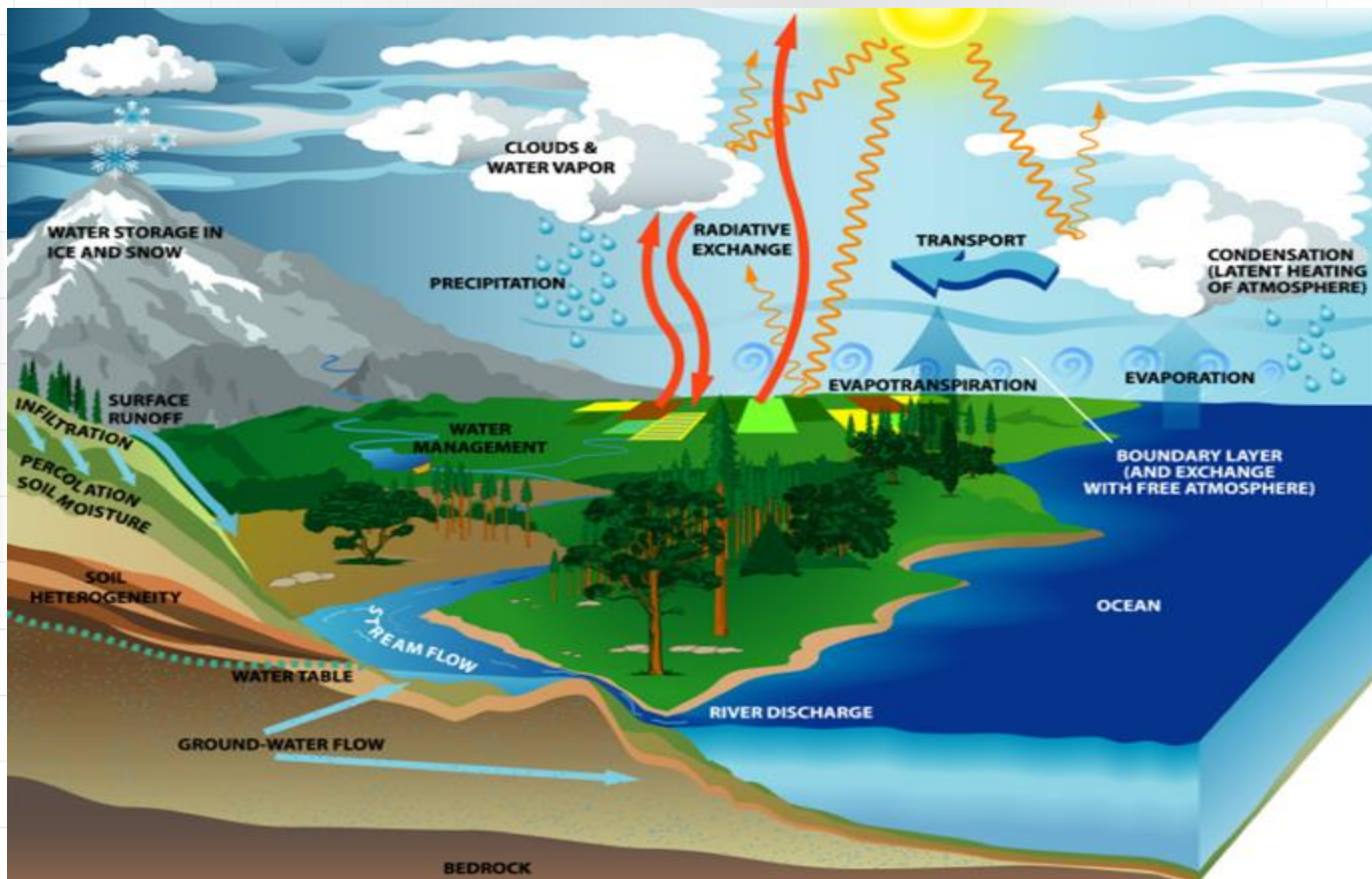
0. Wykonać opis techniczny projektowanej budowli wodnej niskiego spadu.
- 1. Obliczyć i narysować krzywą wydatku przekroju $Q = f(h)$ korzystając ze wzoru Manninga.**
2. Obliczyć światło jazu stałego dla założonego przepływu obliczeniowego Q_m .
3. Wykonać obliczenia hydrauliczne dla wyznaczenia krzywej wydatku jazu stałego.
4. Określić parametry niecki wypadowej jazu dla najniekorzystniejszych warunków przepływu.
5. Określić wymaganą długość ścianek szczelnych metodą przybliżoną (Bligh'a lub Lane'a), przy założeniu stałej prędkości wzdłuż drogi filtracji.
6. Dla założonych parametrów jazu stałego, sprawdzić stateczność płyty na wypłynięcie i całej budowli na przesunięcie w płaszczyźnie posadowienia.
7. Wykonać rysunki zaprojektowanego jazu stałego: szkic sytuacyjny, widok z góry, **przekrój podłużny przez budowlę.**

Budownictwo Wodne – Krok 1

Obliczenie i narysowanie krzywej wydatku $Q = f(h)$



Budownictwo Wodne – Hydrologia





Budownictwo Wodne – Dane

Ostatni numer albumu	Grunt podłoża	Spadek	n_{KG}	n_{TZL} / n_{TZP}	Wysokość napiętrzenia przy przep. obl. - z (m)
1 - 2	Piasek drobny	0.0011	0.042	0.055 / 0.049	0.80
3 - 4	Żwir i piasek	0.0012	0.038	0.052 / 0.055	0.90
5 - 6	Piasek gruby	0.0008	0.036	0.048 / 0.049	0.80
7 - 8	Piasek sredni	0.0011	0.040	0.051 / 0.047	1.00
9 - 0	Piasek drobny	0.0009	0.038	0.053 / 0.046	0.90

Budownictwo Wodne – Krok 1

Na podstawie przekroju poprzecznego rzeki, obliczyć i narysować krzywą wydatku przekroju $Q = f(h)$ korzystając ze wzoru Manninga.

Zestawienie danych wyjściowych

- spadek dna rzeki – $I = 0.002$ (2‰),
- przekrój poprzeczny,
- współczynnik szorstkości do wzoru Manninga
- $n = 0.025$ (grunty budowlane- przewarstwione: piasek i żwir).
- Tereny zalewowe: wysoka trawa ($n = 0.035$)

Budownictwo Wodne – Krok 1

Na podstawie przekroju poprzecznego rzeki, obliczyć i narysować krzywą wydatku przekroju $Q = f(h)$ korzystając ze wzoru Manninga.

$$Q = v \cdot A$$

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

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

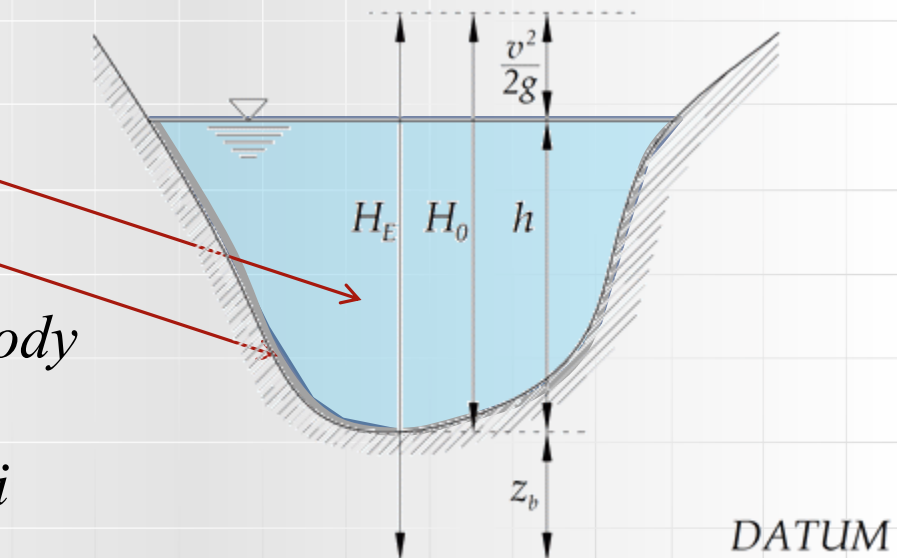
Q = natężenie rzeki

v = średnia wartość prędkości wody

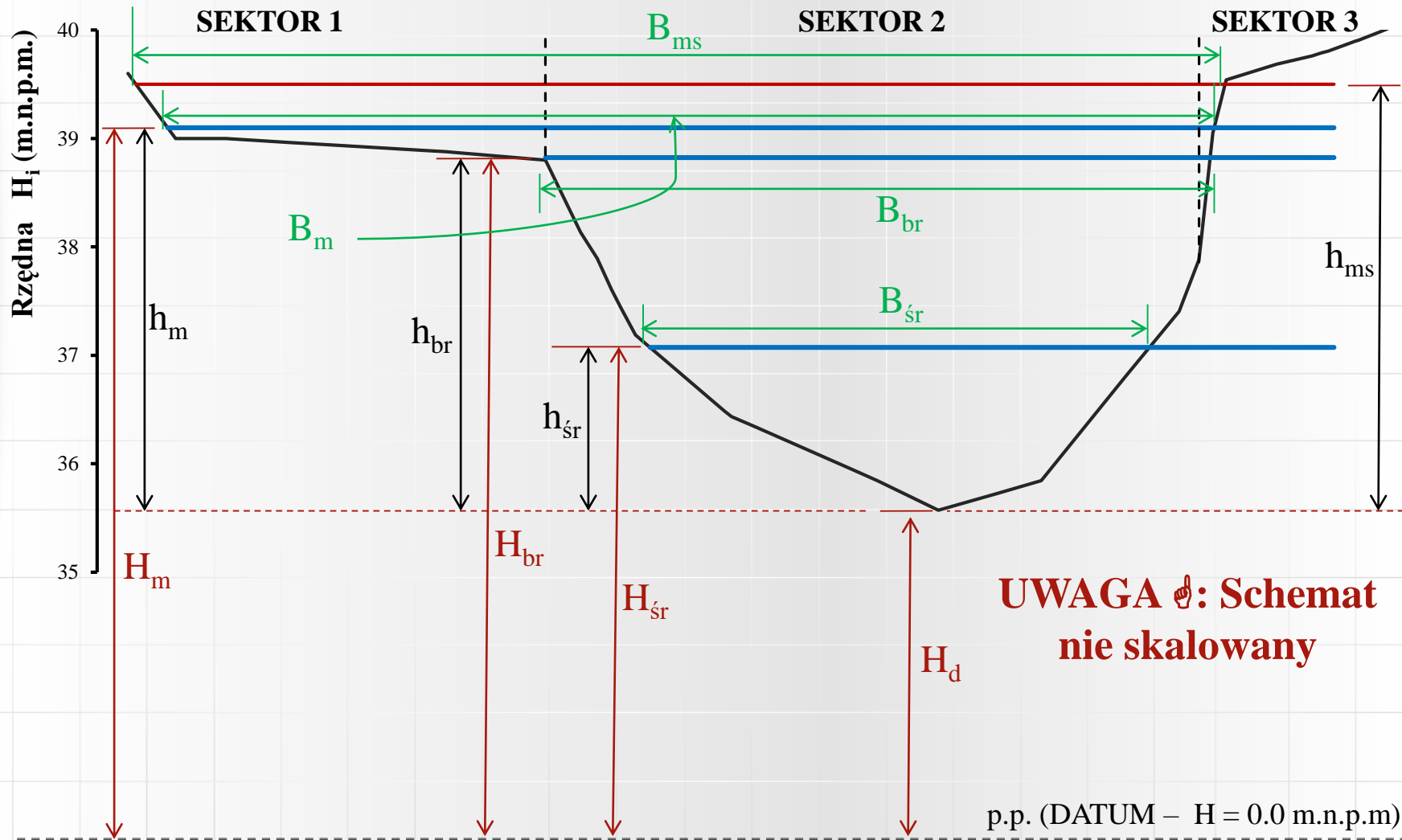
R_h = promień hydrauliczny

A = powierzchnia przekroju rzeki

u = obwód zwilżony

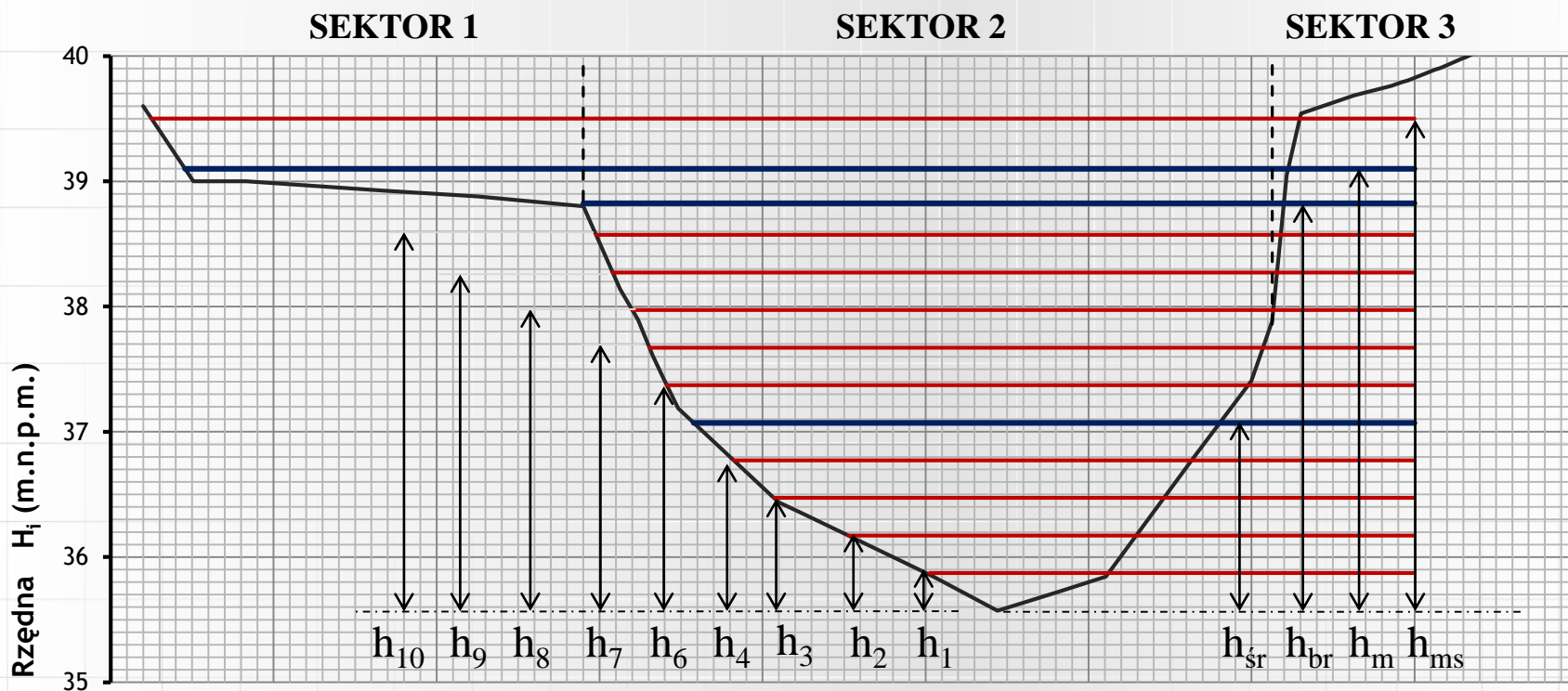


Budownictwo Wodne – Krok 1



Budownictwo Wodne – Krok 1

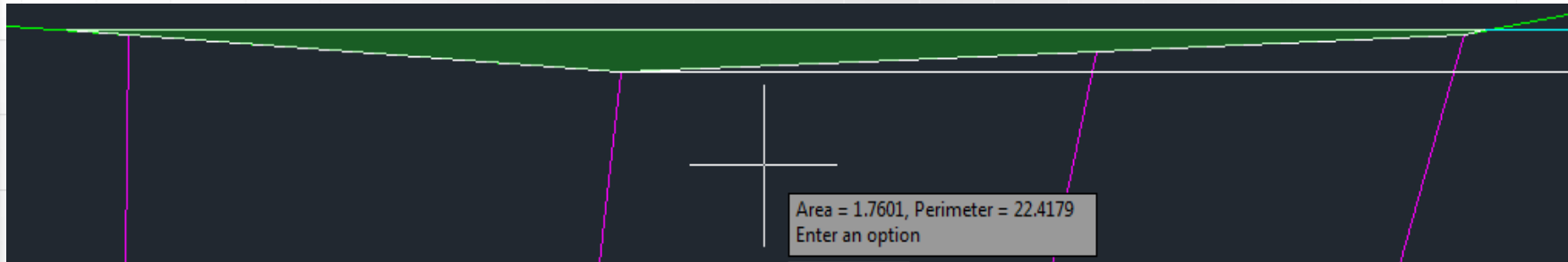
Aby narysować krzywą $Q=f(H)$, trzeba obliczyć natężenie dla różnych wysokości (H czy h). Nie zapominając najważniejszych poziomów: H_{sr} (rzędna wody średniej), H_{br} (rzędna wody brzegowej), H_m (rzędna wody miarodajnej) i H_{ms} ($H_m + z$). **UWAGA** $h_i = H_i - H_d$



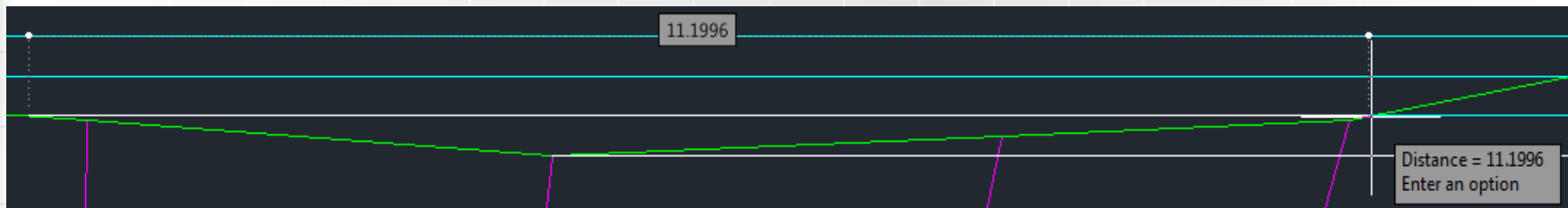
Dla niektórych rzędnych wody, przekrój ma być podzielony na sektory. Dla tych przypadków, trzeba obliczyć kilka natężeń i zsumować ich wartość: n.p. $Q_m = Q_{m_c} = Q_{m_1} + Q_{m_2} + Q_{m_3}$

Budownictwo Wodne – Krok 1

Przykład obliczeniowy dla $Q_1 = f(h_1)$



**z pomocą Autocad'a: Pola przekroju (Area) z głębokością $h_1 = 1.7601 \text{ m}^2$,
a obwód (Perimeter) = 22.4179 \text{ m}**



Szerokość rzeki (B_1) dla tej głębokości = 11.1996 m

$u = \text{obwód (Perimeter)} - B = 11.2183 \text{ m}$

**Ponieważ ten przekrój
znajduje się w drugim
sektorze:**

$$A_{1_2} = 1.7601 \text{ m}^2$$

$$B_{1_2} = 11.1996 \text{ m}$$

$$u_{1_2} = 11.2183 \text{ m}$$

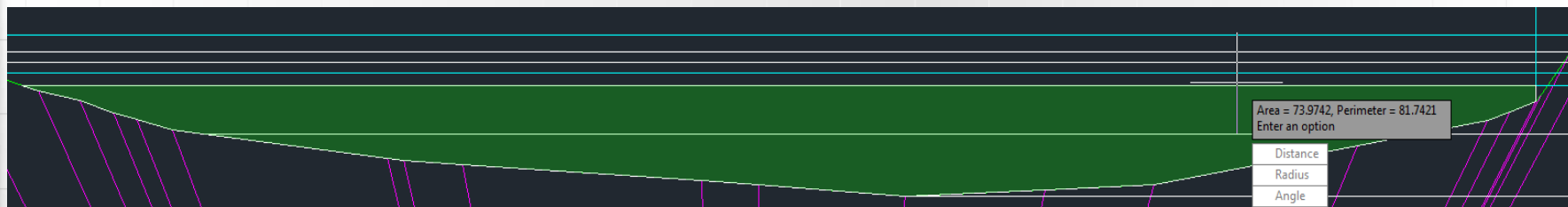
$$R_{h1_2} = 0.1569 \text{ m}$$

$$v_{1_2} = \frac{1}{0.025} \cdot 0.1569^{2/3} \cdot 0.002^{1/2} = 0.52037 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = Q_{1_2} = 0.52037 \cdot 1.7601 = 0.9159 \text{ m}^3/\text{s}$$

Budownictwo Wodne – Krok 1

Przykład obliczeniowy dla $Q_9 = f(h_9)$



Pola przekroju A_{8_2} (Area) = 73.9742 m², a obwód P_{8_2} (Perimeter) = 81.7421 m



$$u_{8_2} = 81.7421 - 40.4551 - 0.3890 \text{ m} = 40.8980 \text{ m}$$

Ponieważ część tego przekroju znajduje się w drugim sektorze:

$$\begin{aligned} A_{9_2} &= 73.9742 \text{ m}^2 \\ B_{9_2} &= 40.4551 \text{ m} \\ u_{9_2} &= 40.8980 \text{ m} \\ R_{h9_2} &= 1.8087 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{9_2} &= \frac{1}{0.025} \cdot 1.8087^{2/3} \cdot 0.002^{1/2} = 2.6556 \text{ m/s} \\ Q_{9_2} &= 2.6556 \cdot 73.9742 = 196.4449 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Tak samo oblicza się natężenia części przekroju trzeciego sektora:

$$\begin{aligned} A_{9_3} &= 0.0583 \text{ m}^2 \\ B_{9_3} &= 0.2996 \text{ m} \\ u_{9_3} &= 0.4909 \text{ m} \\ R_{h9_3} &= 0.1188 \text{ m} \end{aligned}$$

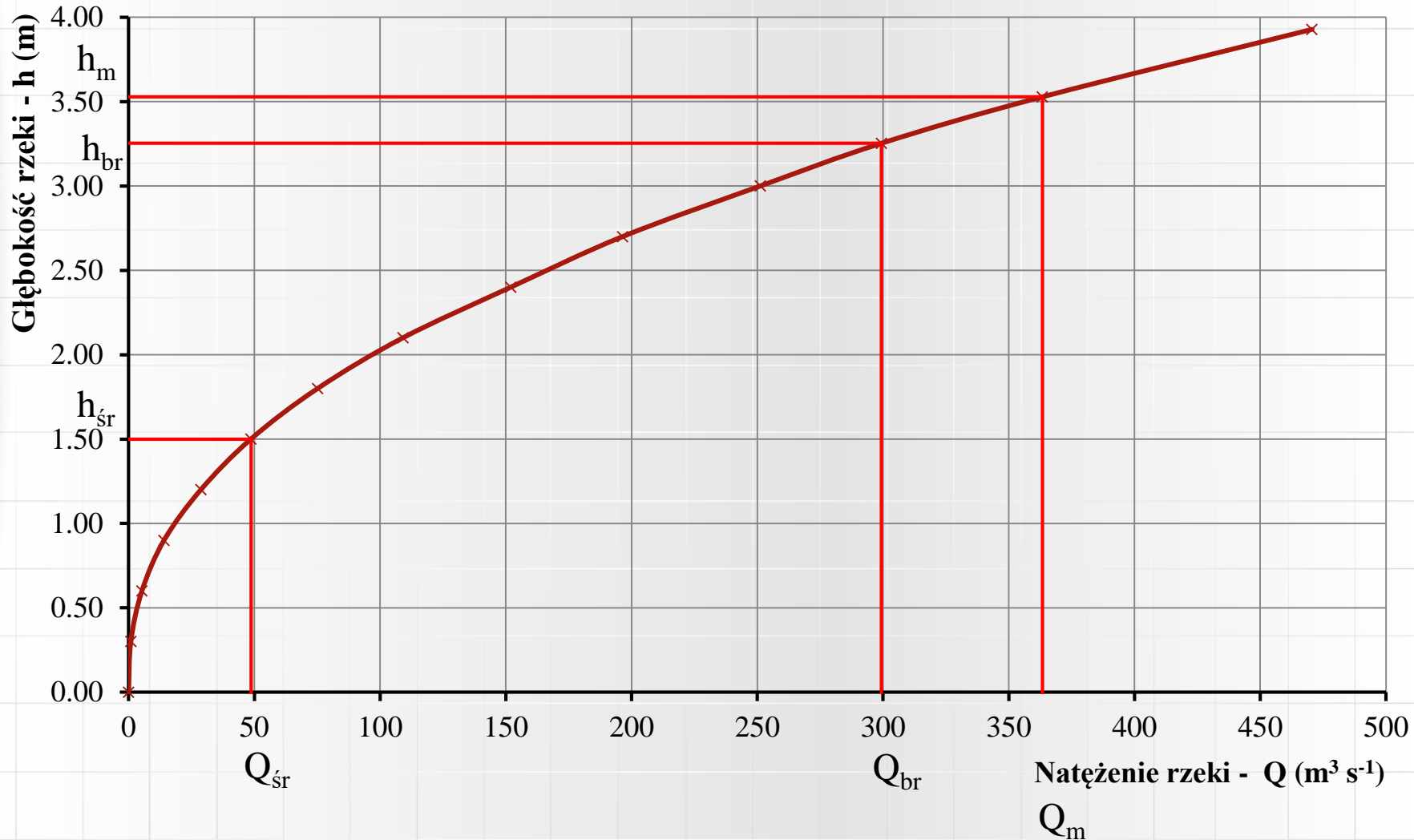
$$\begin{aligned} v_{9_3} &= \frac{1}{0.035} \cdot 0.1188^{2/3} \cdot 0.002^{1/2} = 0.3088 \text{ m/s} \\ Q_{9_3} &= 0.3088 \cdot 0.0583 = 0.0180 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$Q_9 = Q_{9_2} + Q_{9_3} = 196.4449 + 0.0180 = 196.4629$$

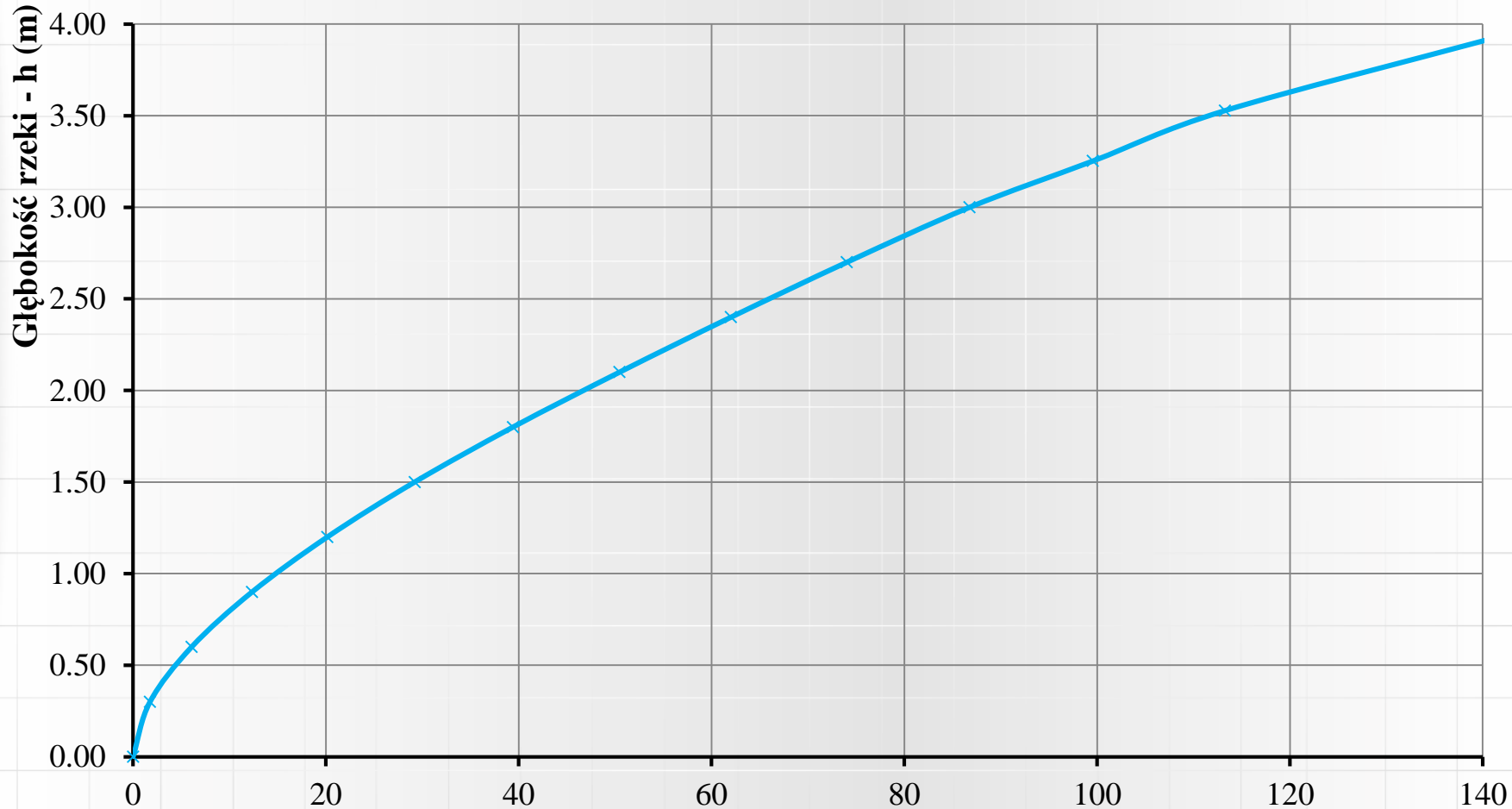
Budownictwo Wodne – Krok 1

<i>Lp</i>	<i>H</i> <i>m.n.p.m</i>	<i>h</i> <i>m</i>	<i>A₁</i> <i>m²</i>	<i>A₂</i> <i>m²</i>	<i>A₃</i> <i>m²</i>	<i>u₁</i> <i>m</i>	<i>u₂</i> <i>m</i>	<i>u₃</i> <i>m</i>	<i>Rh₁</i> <i>m</i>	<i>Rh₂</i> <i>m</i>	<i>Rh₃</i> <i>m</i>
1	35.872	0.300		1.7601			11.2183			0.1569	
2	36.172	0.600		6.0801			17.7084			0.3433	
3	36.472	0.900		12.3472			24.1729			0.5108	
4	36.772	1.200		20.1435			28.2206			0.7138	
5	37.072	1.500		29.2035			32.4671			0.8995	
6	37.372	1.800		39.3968			35.7247			1.1028	
7	37.672	2.100		50.4573			37.9617			1.3292	
8	37.972	2.400	0	62.0082	0		38.6574	0		1.6040	
9	38.272	2.700	0	73.9742	0.0583		40.8980	0.4909		1.8087	0.1188
10	38.572	3.000	0	86.5751	0.1828		41.9192	0.8696		2.0653	0.2102
11	38.825	3.253	0	93.3008	0.3391		42.7687	1.2569		2.1815	0.2698
12	39.100	3.528	3.8489	108.4445	0.5678	48.4706	42.7084	1.7072	0.079407	2.5392	0.3326
<i>Lp</i>	<i>h_{id}</i>	<i>n</i> <i>s m^{-1/3}</i>	<i>n (TZ)</i> <i>s m^{-1/3}</i>	<i>v₁</i> <i>m/s</i>	<i>v₂</i> <i>m/s</i>	<i>v₃</i> <i>m/s</i>	<i>Q₁</i> <i>m³/s</i>	<i>Q₂</i> <i>m³/s</i>	<i>Q₃</i> <i>m³/s</i>	<i>Q_c</i> <i>m³/s</i>	<i>B</i> <i>m</i>
1	h1	0.025	0.035		0.5204			0.9159		0.9159	11.1996
2	h2	0.025	0.035		0.8771			5.3330		5.3330	17.6545
3	h3	0.025	0.035		1.1431			14.1136		14.1136	23.7456
4	h4	0.025	0.035		1.4287			28.7799		28.7799	28.0857
5	hsr	0.025	0.035		1.6669			48.6785		48.6785	32.2882
6	h6	0.025	0.035		1.9094			75.2253		75.2253	35.8404
7	h7	0.025	0.035		2.1625			109.1150		109.1150	37.6339
8	h8	0.025	0.035	0.0000	2.4512	0.0000		151.9970	0.0000	151.9970	40.4551
9	h9	0.025	0.035	0.0000	2.6556	0.4322		196.4449	0.0180	196.4629	40.7547
10	h10	0.025	0.035	0.0000	2.9011	0.6324		251.1624	0.1156	251.2780	41.9741
11	hbr	0.025	0.035	0.0000	3.0089	0.7469		280.7372	0.2533	280.9904	42.9965
12	hm	0.025	0.035	0.3305	3.3294	0.8587	1.2720	361.0594	0.4876	362.8190	67.5915

Budownictwo Wodne – Krok 1



Budownictwo Wodne – Krok 1



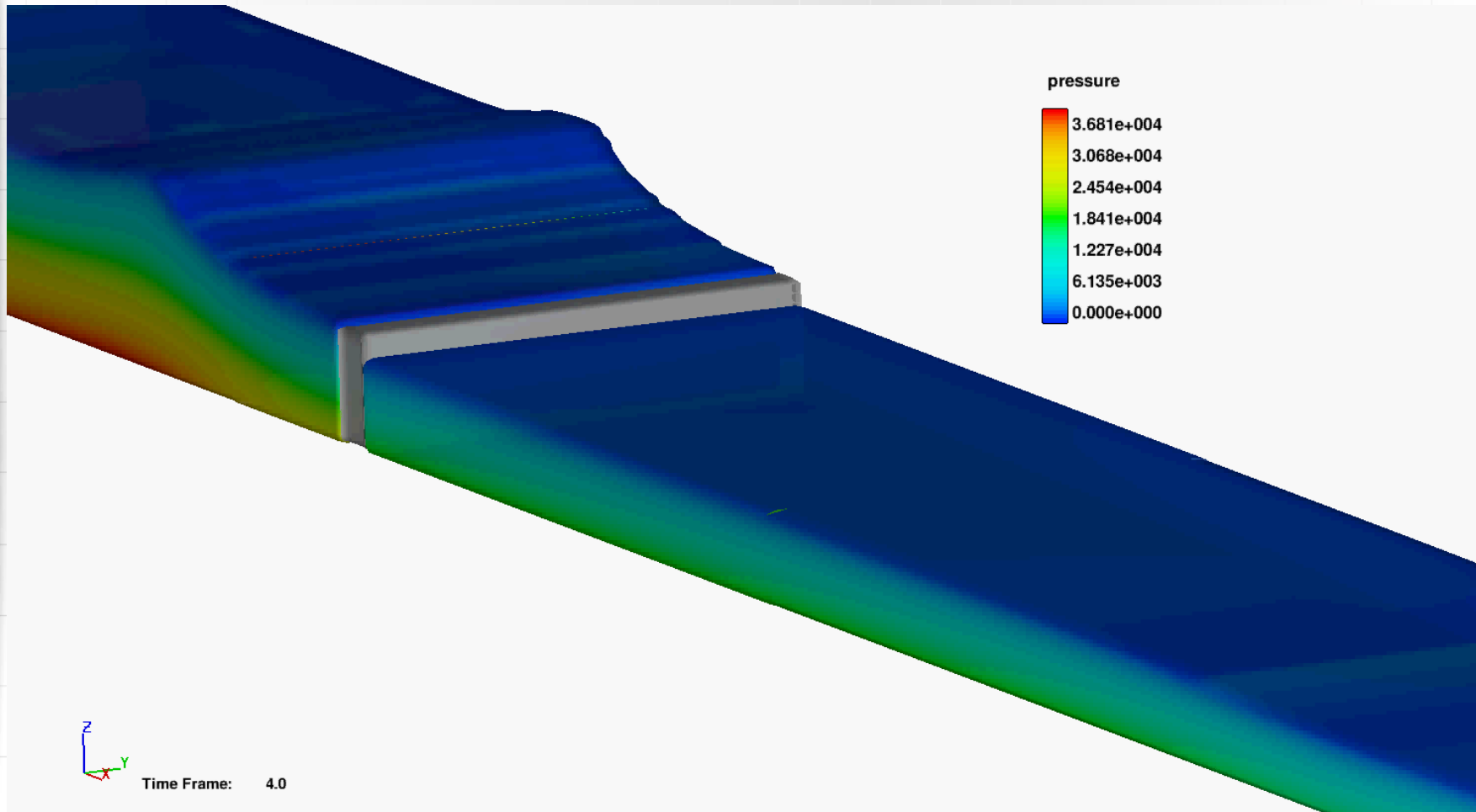
Krzywa $A = f(h)$

Pola Przekroju A(m²)

Wymagany zakres prac do realizacji

0. Wykonać opis techniczny projektowanej budowli wodnej niskiego spadku.
1. Obliczyć i narysować krzywą wydatku przekroju $Q = f(h)$ korzystając ze wzoru Manninga.
- 2. Obliczyć światło jazu stałego dla założonego przepływu obliczeniowego Q_m .**
3. Wykonać obliczenia hydrauliczne dla wyznaczenia krzywej wydatku jazu stałego.
4. Określić parametry niecki wypadowej jazu dla najniekorzystniejszych warunków przepływu.
5. Określić wymaganą długość ścianek szczelnych metodą przybliżoną (Bligh'a lub Lane'a), przy założeniu stałej prędkości wzdłuż drogi filtracji.
6. Dla założonych parametrów jazu stałego, sprawdzić stateczność płyty na wypłynięcie i całej budowli na przesunięcie w płaszczyźnie posadowienia.
7. Wykonać rysunki zaprojektowanego jazu stałego: szkic sytuacyjny, widok z góry, **przekrój podłużny przez budowlę.**

Budownictwo Wodne – Krok 2



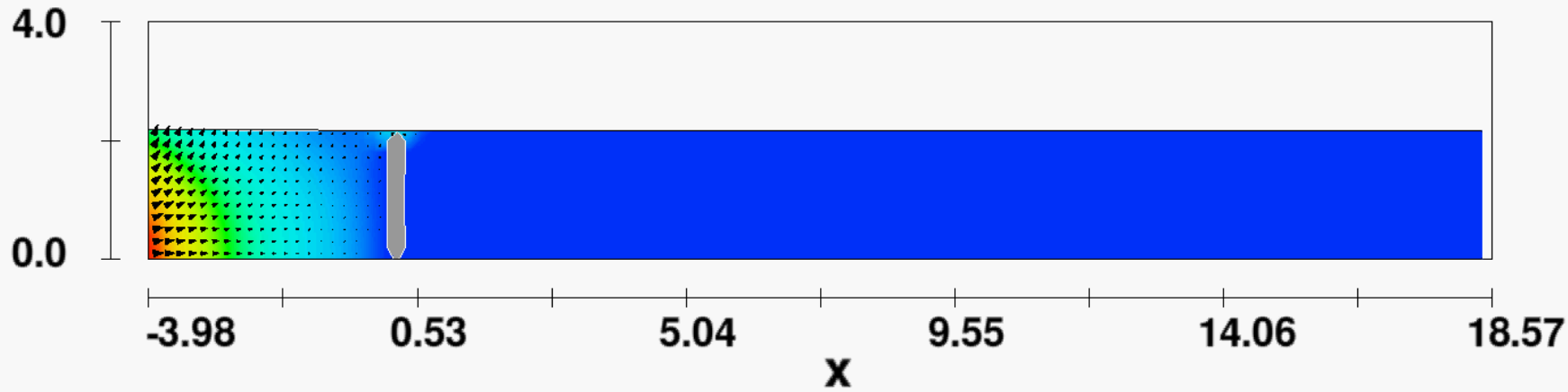
Budownictwo Wodne – Krok 2



(max=6.11E-02)

x-velocity and vectors

0.0000 0.0149 0.0299 0.0449 0.0598



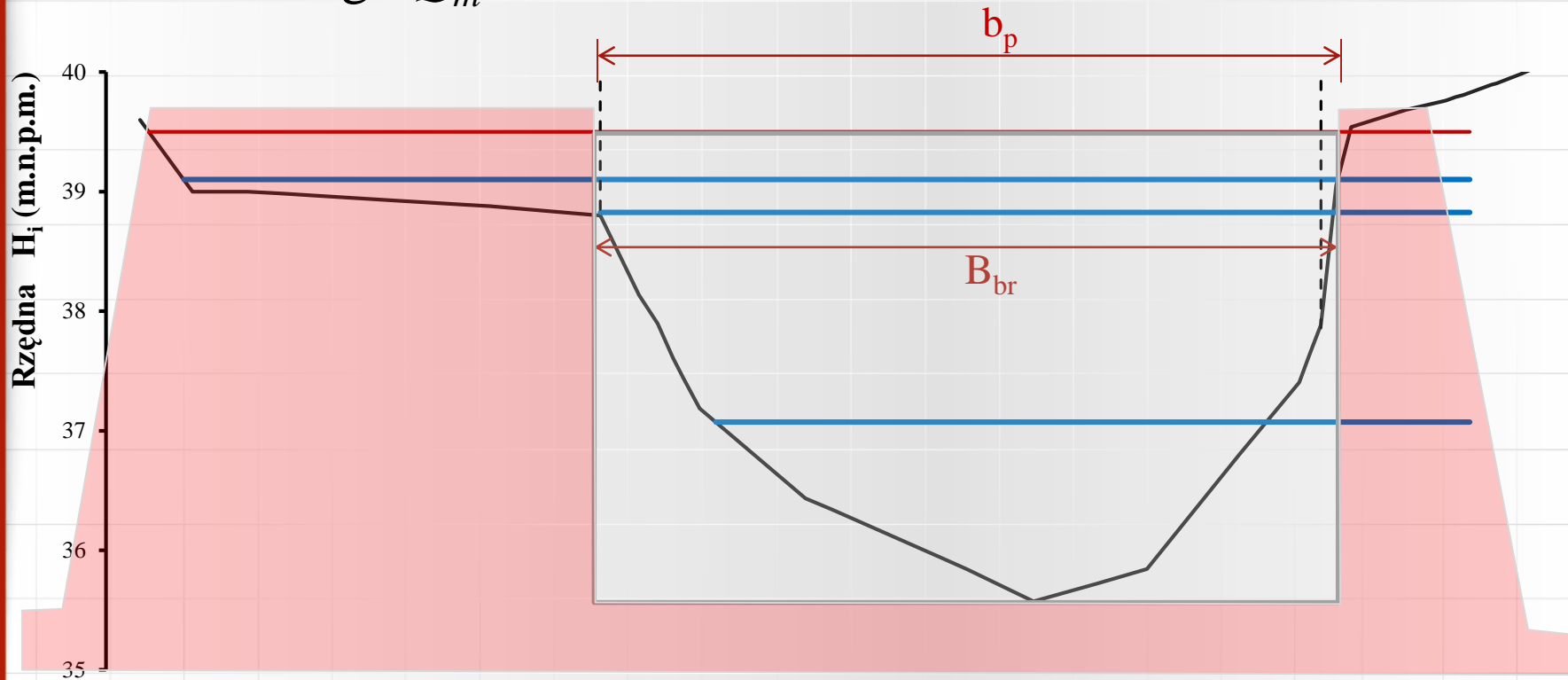
W przypadku budowli wodnych przepływy obliczeniowe dzieli się na tzw. **przepływ miarodajny i przepływ kontrolny**. Budowle wodne należy projektować na przepływ miarodajny, oznaczany jako Q_m oraz sprawdzać na przepływ kontrolny, oznaczany Q_k .

Lp.	Rodzaj budowli	Przepływy	Prawdopodobieństwo pojawienia się p% dla klasy			
			I	II	III	IV
1	Budowle posadowione na podłożu łatwo rozmywalnym, zbudowanym z gruntów nieskalistych, rumoszu skalnego lub miękkich skał oraz wszystkie budowle ziemne, ale bez wałów przeciwpowodziowych	miarodajny (Q_m)	0,1	0,3	0,5	1,0
		kontrolny (Q_k)	0,02	0,05	0,2	0,5
2	Pozostałe budowle, w tym wały przeciwpowodziowe	miarodajny (Q_m)	0,5	1,0	2,0	3,0
		kontrolny (Q_k)	0,1	0,3	0,5	1,0

kilometraż	$Q_{\dot{s}r}$ ($m^3 s^{-1}$)	Q_m ($m^3 s^{-1}$)	Q_k ($m^3 s^{-1}$)
12+001 do 14+000	35	333,45	398,68
10+001 do 12+000	36	364,37	430,96
8+001 do 10+000	38	386,0	453,0
6+001 do 8+000	39	397,80	465,25
3+001 do 6+000	41	408,85	476,58
0+000 do 3+000	43	424,08	492,20

Budownictwo Wodne – Krok 2

Obliczyć światło jazu stałego dla założonego przepływu obliczeniowego Q_m .

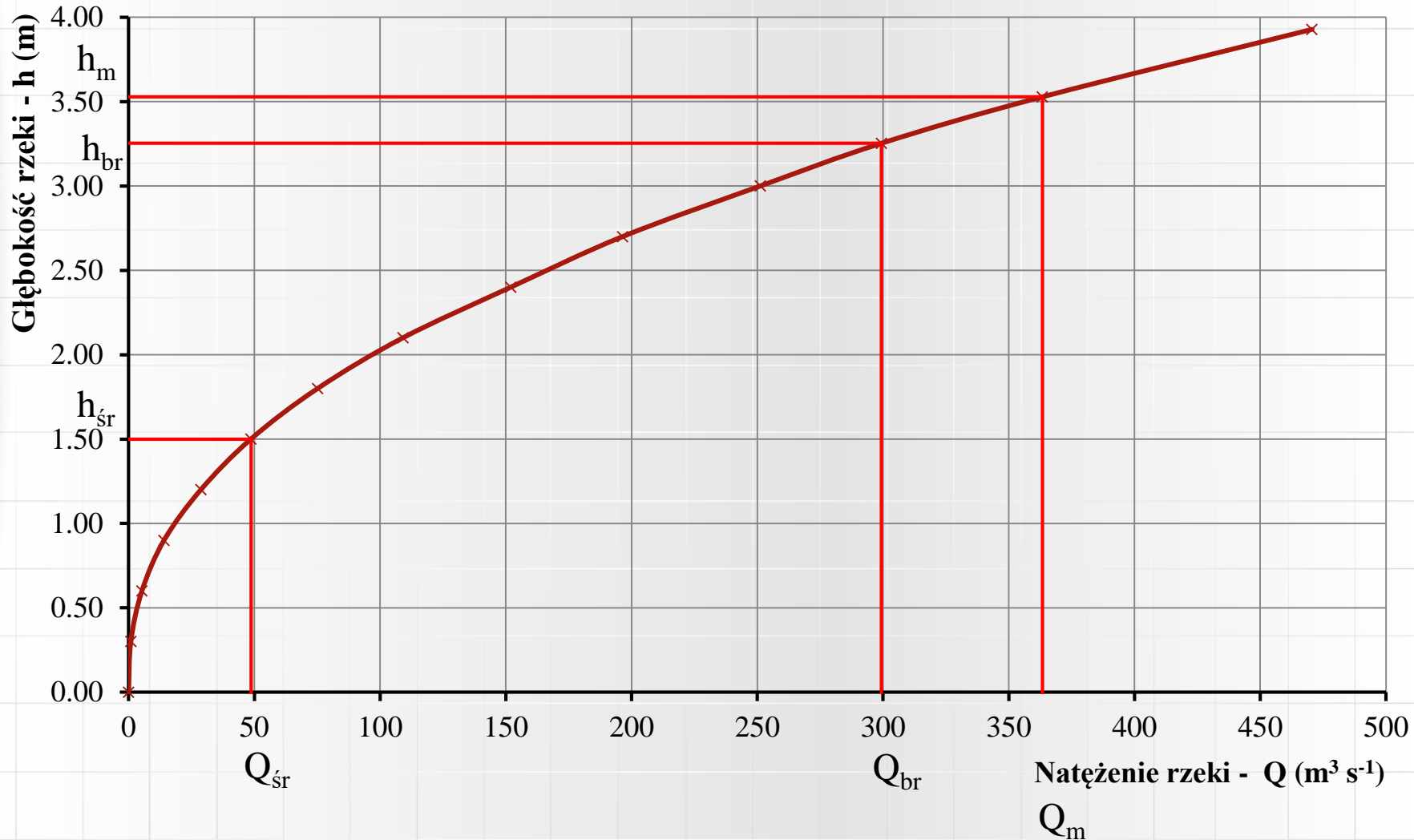


$$Q_m = 362.8190 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}; \text{ Nasz warunek } b_p \sim B_{br}$$

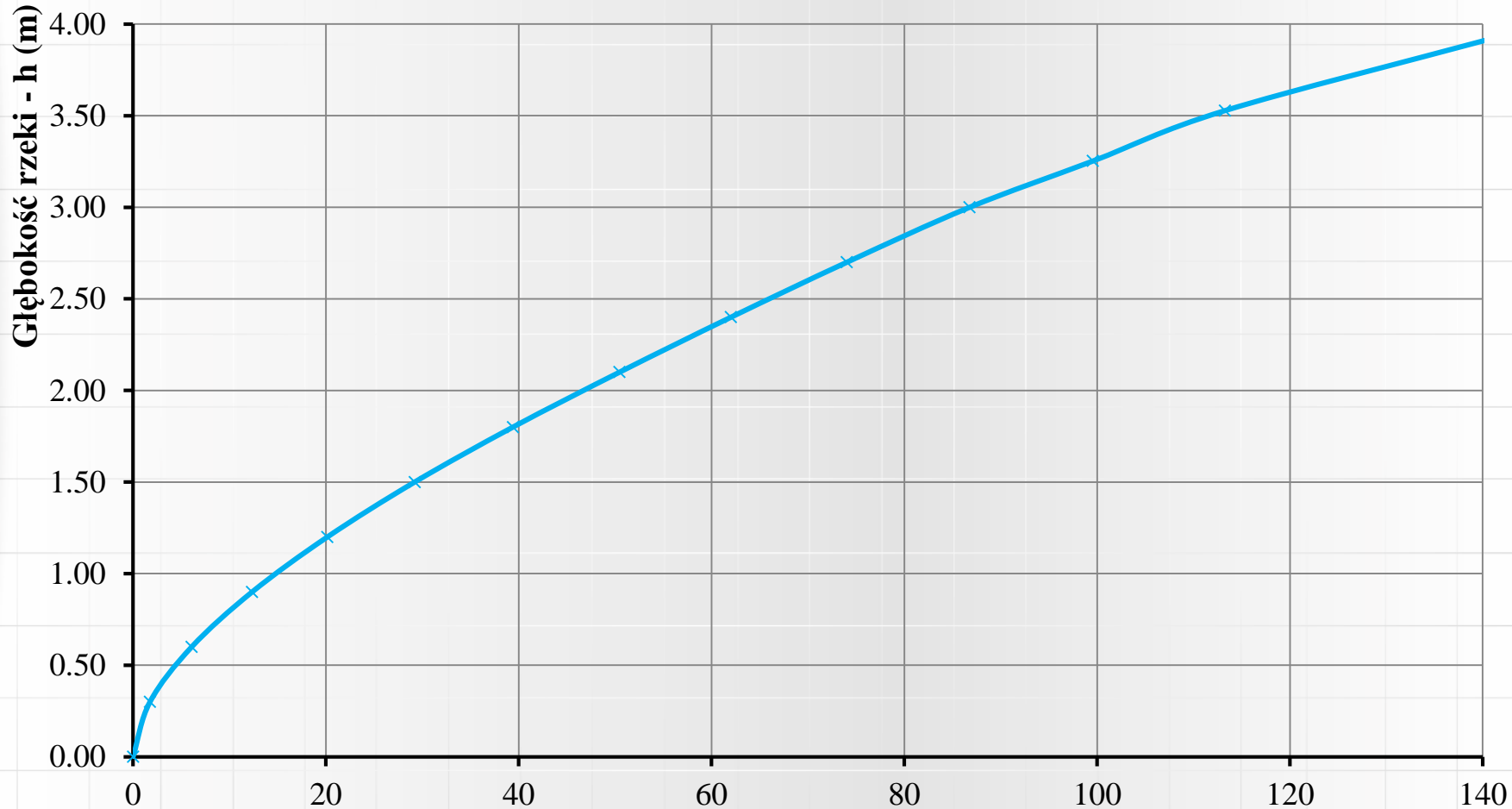
Budownictwo Wodne – Krok 2



Budownictwo Wodne – Krok 2



Budownictwo Wodne – Krok 2



Krzywa $A = f(h)$

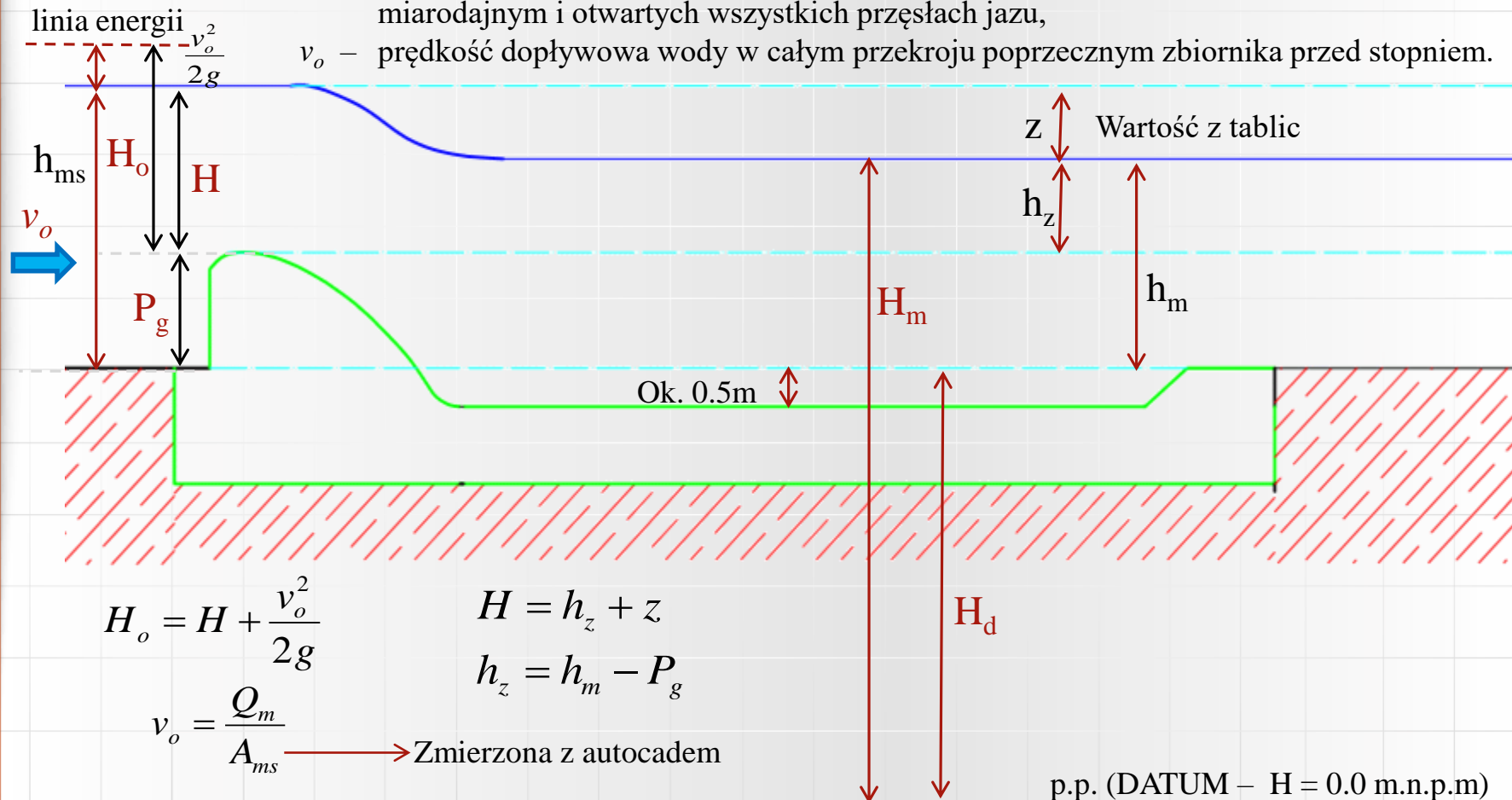
Pola Przekroju A(m²)

Budownictwo Wodne – Krok 2

gdzie: H – grubość warstwy wody przelewającej się przez próg jazu przy przepływie miarodajnym i wszystkich czynnych przesłach,

H_o – wzniesienie linii energii nad progiem w stanowisku górnym przy przepływie miarodajnym i otwartych wszystkich przesłach jazu,

v_o – prędkość dopływowa wody w całym przekroju poprzecznym zbiornika przed stopniem.



Budownictwo Wodne – Krok 2

Obliczyć światło jazu stałego dla założonego przepływu obliczeniowego Q_m .

Nasza propozycja $P_g = h_{sr}$

Poza tym, natężenie przelewu Q_p można policzyć z pomocą:

$$Q_p = m \cdot b_p \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2} \cdot \sigma_k \cdot \sigma_z \cdot \varepsilon$$

gdzie:

- m - współczynnik wydatku
- σ_k - współczynnik kształtu progu
- σ_z - współczynnik zatopienia przelewu
- ε - współczynnik kontrakcji bocznej i czołowej (dławienia)

Policzymy b_p dla warunków wody miarodajnej (Q_m) i jeżeli $B_{br} \sim b_p$, można pójść dalej ☺

$$b_p = \frac{Q_m}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2} \cdot \sigma_k \cdot \sigma_z \cdot \varepsilon}$$

Budownictwo Wodne – Krok 2

Nasza propozycja $P_g = h_{sr} = 1.50$ m. Informacja z naszej krzywy wydatku:

	H (m.n.p.m.)	h (m)	A (m ²)	Q (m ³ s ⁻¹)	B (m)
h_{sr}	37.072	1.500	29.2035	48.6785	32.2882
h_{br}	38.825	3.253	93.6399	280.9904	42.9965
h_m	39.100	3.528	112.8612	362.8190	67.5915
h_{ms}	39.500	3.928	141.0106	471.2769	70.2666

$$Q_m = 362.8192 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$v_o = \frac{Q_m}{A_{ms}} = \frac{362.8190}{141.0106} = 2.57299 \text{ m s}^{-1}$$

Dop. wysokość napiętrzenia przy
przepływie obliczeniowym $z = 0.40$ m
(Każda grupa ma inne wartości)

$$H_o = H + \frac{v_o^2}{2g} = 2.428 + \frac{2.573^2}{2 \cdot 9.81} = 2.7654 \text{ m}$$

$$h_z = h_m - P_g = 3.528 - 1.50 = 2.028 \text{ m}$$

$$m = f\left(\frac{H_o}{P_g}\right) \quad i \quad \frac{H_o}{P_g} = 1.8436$$

$$H = h_z + z = 2.028 + 0.40 = 2.428 \text{ m}$$

$$m = 0.474 \text{ (Tablica 3.5 – Depczynski -1999)}$$

Budownictwo Wodne – Krok 2

$\frac{H_o}{P_k}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8
0	0,494	0,491	0,489	0,487	0,485
1	0,483	0,481	0,479	0,477	0,475
2	0,473	0,471	0,468	0,466	0,464
3	0,462	0,460	0,458	0,456	0,454
4	0,452	0,449	0,447	0,445	0,443
5	0,441	0,439	0,437	0,435	0,433
6	0,430	0,428	0,426	0,424	0,422
7	0,420	–	–	–	–

Tablica 3.5 – Współczynnik m
Depczynski i Szamowski, 1999

$\frac{h_z}{H_o}$	σ_z	$\frac{f_z}{H_o}$	σ_z
0	1,00	0,55	0,965
0,05	0,999	0,60	0,967
0,10	0,998	0,65	0,947
0,15	0,997	0,70	0,933
0,20	0,996	0,75	0,910–0,800
0,25	0,994	0,80	0,760
0,30	0,991	0,85	0,700
0,35	0,988	0,90	0,590
0,40	0,983	0,95	0,410
0,45	0,978	1,00	0,000
0,50	0,972	–	–

Tablica 4.11 – Współczynnik σ_z
Fanti, 1971

$$\sigma_z = f\left(\frac{h_z}{H_o}\right) \quad i \quad \frac{h_z}{H_o} = 0.73334$$

$$\sigma_z = 0.91766$$

Wartość zinterpolowana
(Tablica 4.11 – Fanti, 1997)

$\varepsilon \sim 0.96$ (tak wybrałem)

$$b_p = \frac{Q_m}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2} \cdot \sigma_k \cdot \sigma_z \cdot \varepsilon}$$

$$b_p = \frac{362.819}{0.474 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 2.753^{3/2} \cdot 1 \cdot 0.918 \cdot 0.96}$$

$$b_p = 42.46 \text{ m}$$

Budownictwo Wodne – Krok 2

Sprawdzenia

Dla naszej propozycji $P_g = h_{sr}$

$$B_{br} = 42.9965 \text{ m}$$

$$b_p = 42.6259 \text{ m}$$

Proponuję $b_p = 43.00 \text{ m}$

Sprawdzenie 1: Dopuszczalny przepływ jednostkowy

$$q_m < 30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$$

$$q_m = \frac{Q_m}{b_p} = \frac{362.819}{43.00} = 8.437 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$$

$$8.45 < 30 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1} \quad \text{☺ ok.}$$

Sprawdzenie 2: Obliczenie natężenia przelewu

$$Q_p = m \cdot b_p \cdot \sqrt{2g} \cdot H_o^{3/2} \cdot \sigma_k \cdot \sigma_z \cdot \varepsilon$$

Budownictwo Wodne – Krok 2

Sprawdzenie 2 (c.d.): Obliczenie natężenia przelewu

$$v_o = \frac{Q_m}{A_{ms}} = \frac{362.812}{141.0145} = 2.573 \text{ m s}^{-1} \quad m = f\left(\frac{H_o}{P_g}\right) \quad i \quad \frac{H_o}{P_g} = 1.8436$$

$$H_o = H + \frac{v_o^2}{2g} = 2.428 + \frac{2.573^2}{2 \cdot 9.81} = 2.7654 \text{ m} \quad m = 0.474$$

(Tablica 3.5 – Depczynski -1999)

$$\sigma_z = f\left(\frac{h_z}{H_o}\right) \quad i \quad \frac{h_z}{H_o} = 0.73008 \quad \sigma_z = 0.9192 - \text{Wartość zinterpolowana}$$

(Tablica 3.10 – Depczynski -1999)

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot \zeta_p \frac{H_o}{b_p} \quad i \quad \frac{H_o}{b_p} = \frac{2.766}{43.0} = 0.064$$

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot 1 \cdot 0.064 = 0.987 \quad \sigma_k = 0.96 \quad \text{Wartość proponowana}$$

$$Q_p = 0.474 \cdot 43.0 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 2.766^{3/2} \cdot 0.96 \cdot 0.919 \cdot 0.987 = 361.84 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

361.84 > 362.819 m³s⁻¹ NIE!! ☹️ inna propozycja

Budownictwo Wodne – Krok 2

Dla $b_p = 43.50$ m oraz $P_g = 1.50$ m $\longrightarrow Q_p = 366.0996$ m³s⁻¹

$$366.10 > 362.819 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$$

$$\Delta = \left| \frac{Q_p - Q_m}{Q_p} \right| \leq 0.05$$

$$\Delta = \left| \frac{366.10 - 362.82}{366.10} \right| = 0.009 \leq 0.05$$

ok!! ☺ idziemy dalej

