

***Projektowanie hydrotechniczne obiektów inżynierskich***

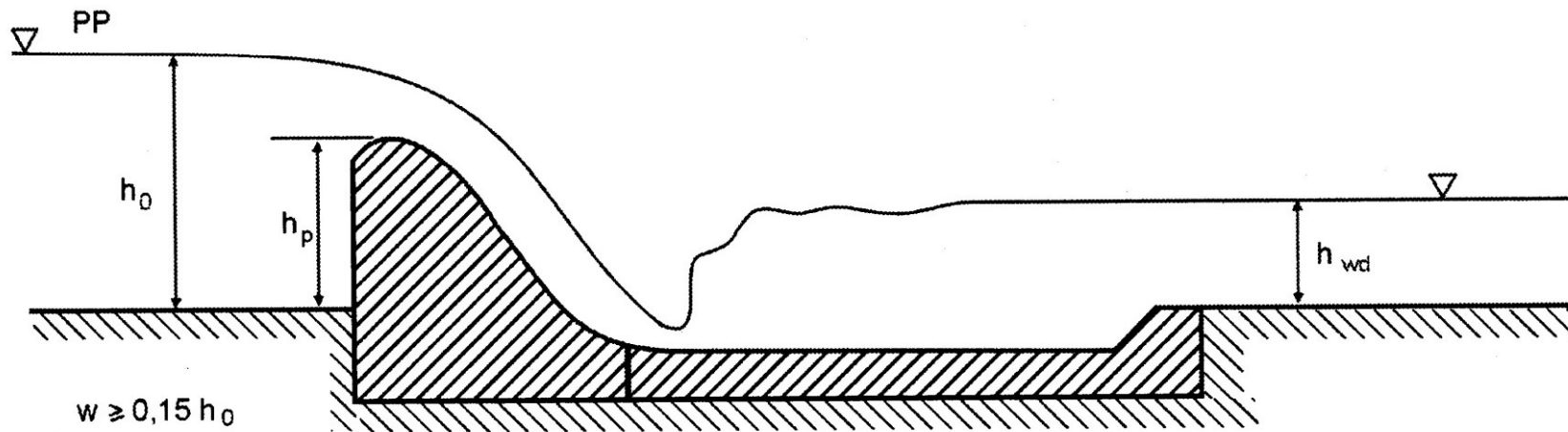
***Projekt:***

***⇒ Jaz ruchomy z płytą wypadową,***

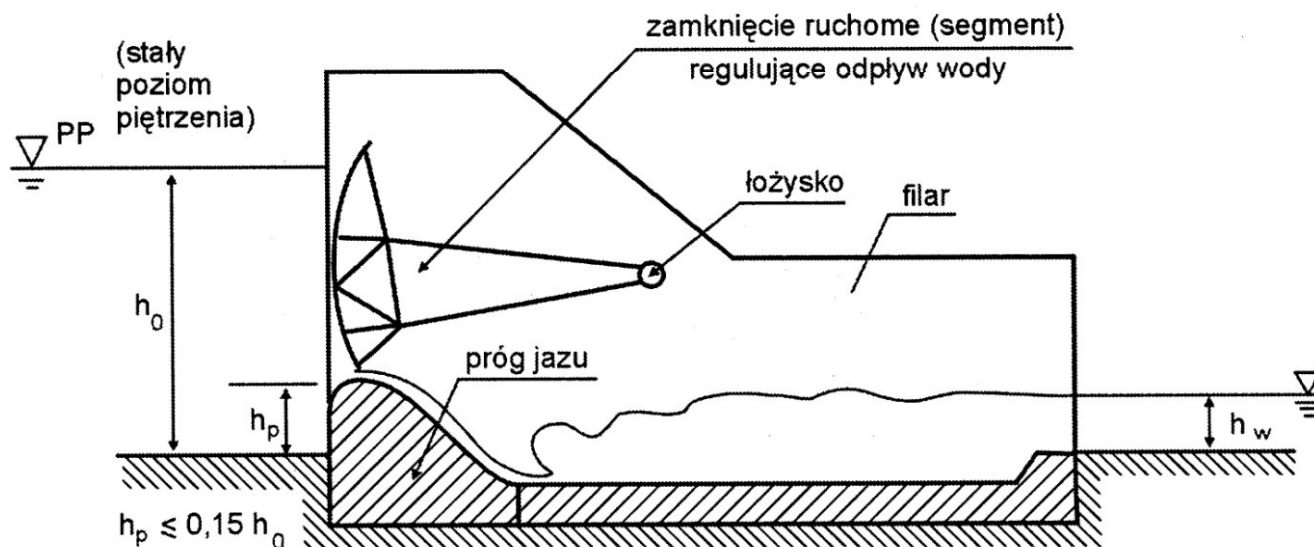
***⇒ zamknięcie: zasuwą płaską***

# Jazy

- przegradzają koryto rzeki, a nie całą dolinę,
- buduje się je w celu uzyskania spiętrzeń do różnych celów (ujęcie wody, do nawodnień, budowy elektrowni wodnych, dla celów żeglugowych i rekreacyjnych)



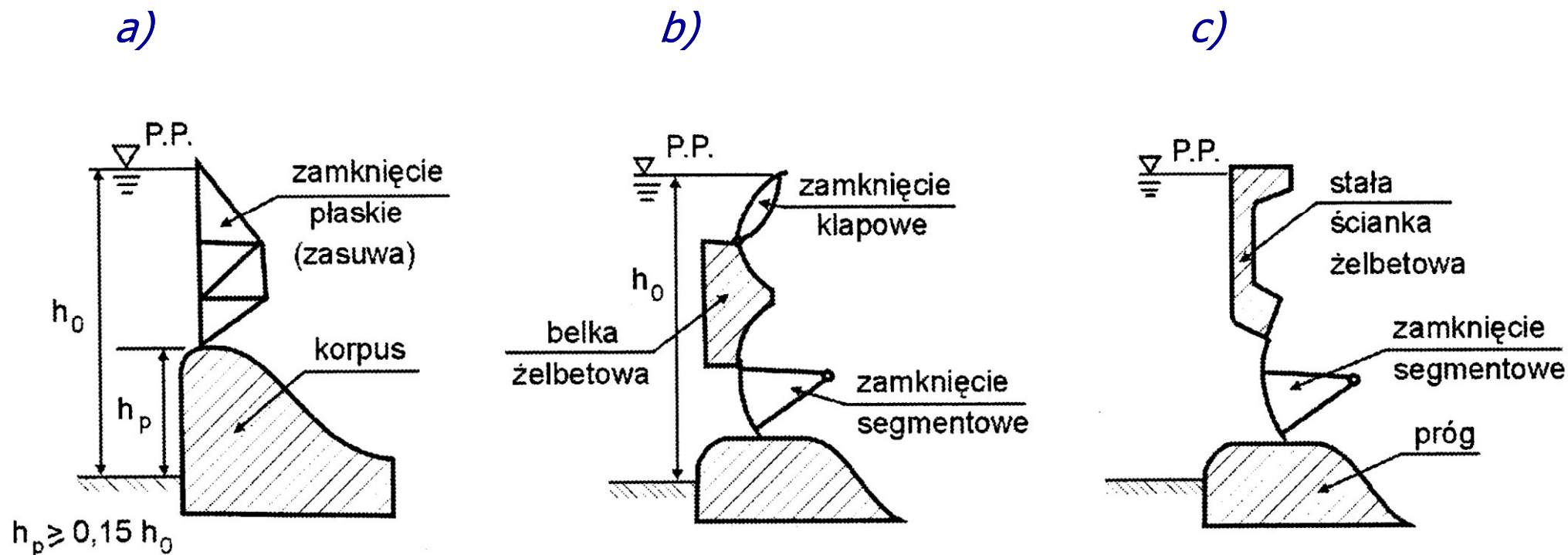
Jaz stały



Jaz ruchomy

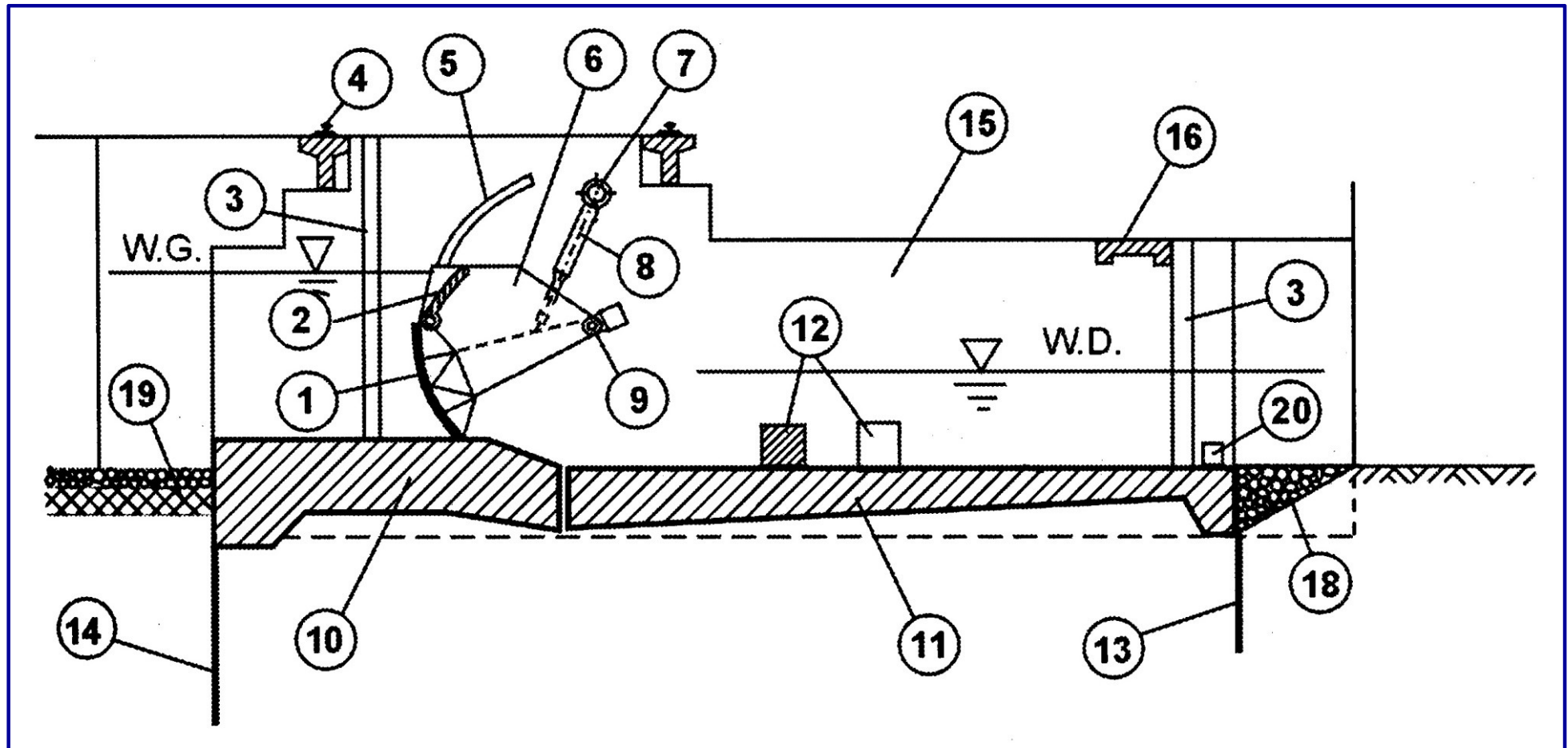
(utrzymanie piętrzenia na stałym poziomie niezależnie od przepływu wody w rzece)

# Jazy ruchome



- jaz z zamknięciem opartym na wysokim masywnym progu,
- jaz dwudzielny, w którym ruchome zamknięcie górne i dolne przedzielone jest w środku elementem stałym w postaci masywnej belki żelbetowej,
- jaz ze stałą ścianką piętrzącą o konstrukcji żelbetowej i ruchomym dolnym zamknięciem.

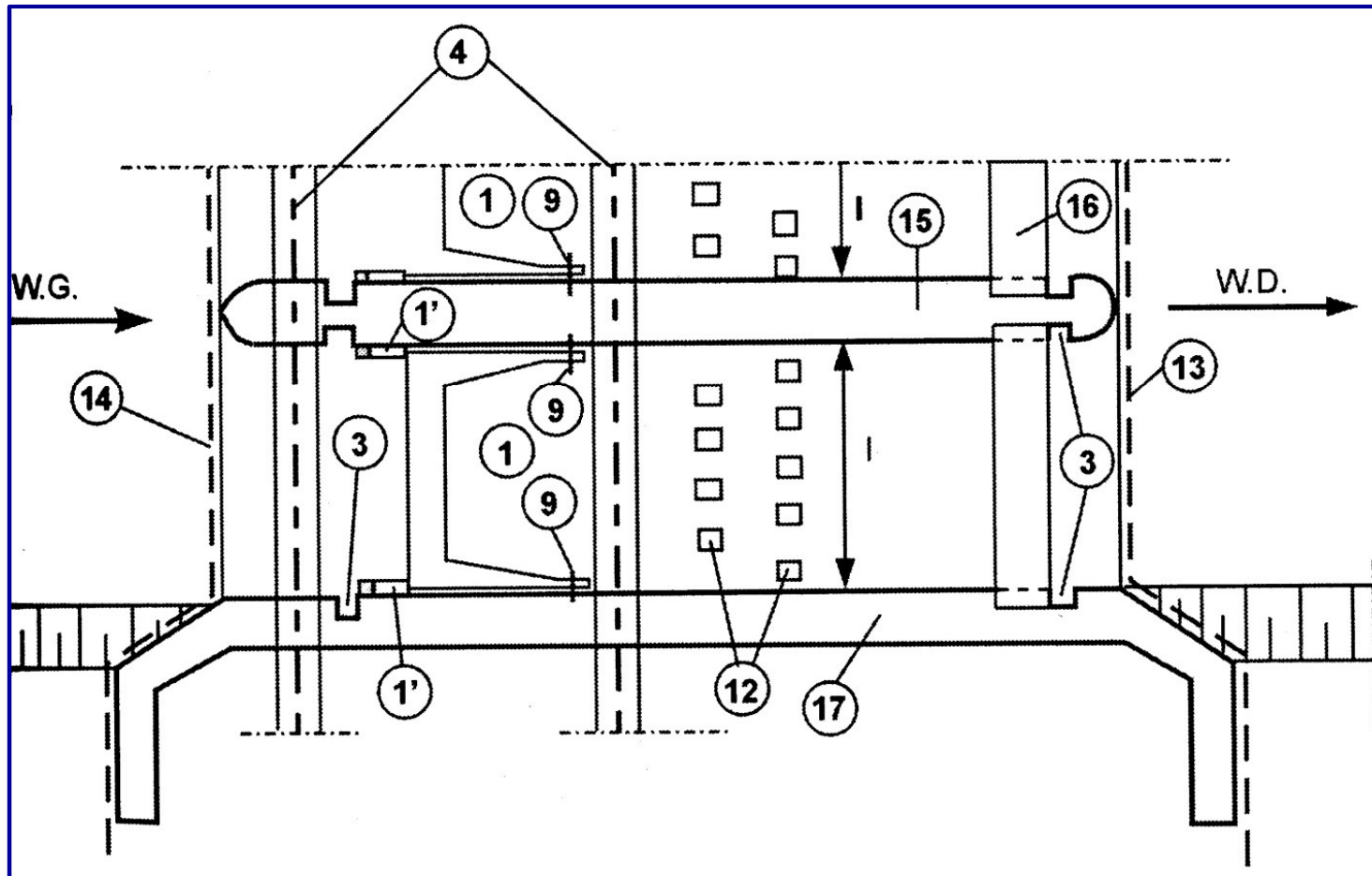
# Elementy składowe jazu ruchomego



- 1 – zamknięcie segmentowe; 2 – kłapa ruchoma; 3 – wnęki na zamknięcia remontowe; 4 – szyny dźwignicy; 5 – kierownica; 6 – boczna blacha osłonowa; 7 – zamocowanie podnośnika hydraulicznego; 8 – podnośnik hydrauliczny; 9 – łożysko oporowe zamknięcia segmentowego; 10 – próg jazu; 11 – płyta wypadowa; 12 – szykany; 13,14 - ścianki szczelne; 15 – filar jazu; 16 – mostek służbowy; 17 – przyczółek; 18 – drenaż; 19 – poziomy ekran szczelny; 20 – zęby na progu dolnym (zęby Rehbocka).



# Elementy składowe jazu ruchomego



- 1 – zamknięcie segmentowe; 1' – uszczelnienie; 2 – kłapa ruchoma;  
3 – wnęki na zamknięcia remontowe; 4 – szyny dźwignicy; 5 – kierownica;  
6 – boczna blacha osłonowa; 7 – zamocowanie podnośnika hydraulicznego;  
8 – podnośnik hydrauliczny; 9 – łożysko oporowe zamknięcia segmentowego;  
10 – próg jazu; 11 – płyta wypadowa; 12 – szykany; 13,14 - ścianki szczelne;  
15 – filar jazu; 16 – mostek służbowy; 17 – przyczółek; 18 – drenaż ;  
19 – poziomy ekran szczelny; 20 – zęby na progu dolnym (zęby Rehbocka).

## ***Treść projektu:***

Zaprojektować wybrane elementy jazu ruchomego w oparciu o dane hydrologiczne z Operatu hydrologicznego oraz następujące założenia:

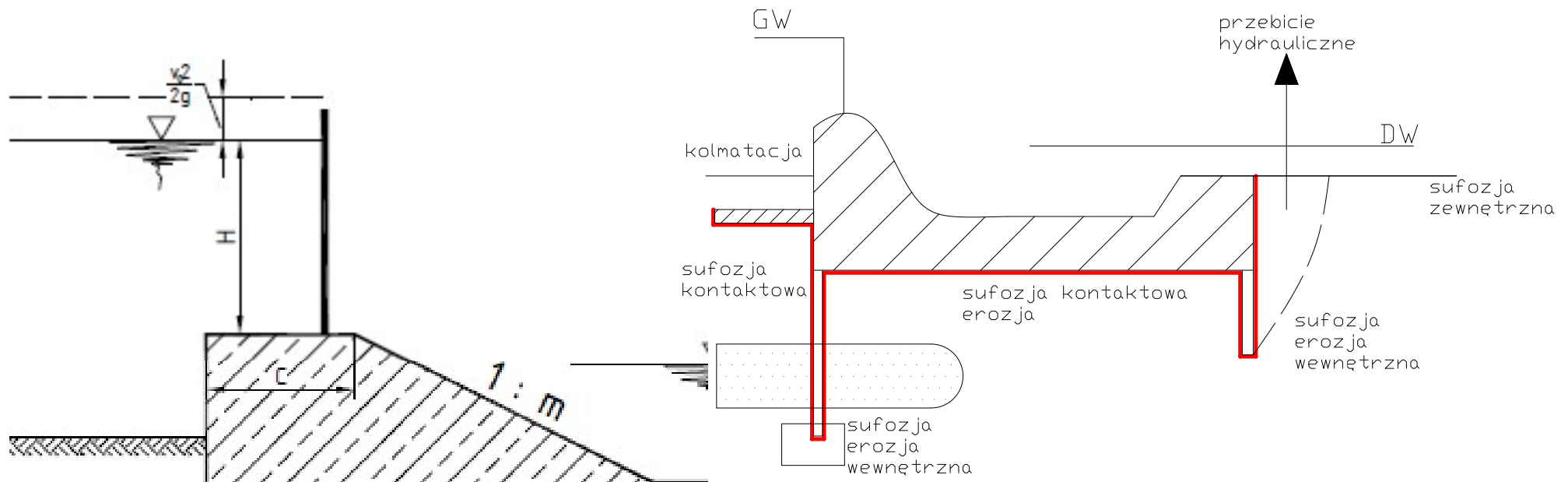
- *Rzędna piętrzenia: 197,2 m npm.*
- *Grunt pod budowlą: piasek średni.*
- *Klasa budowli piętrzącej: II.*
- *Rodzaj zamknięcia głównego: zasuwa płaska*

# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## WYMIAROWANIE PRZELEWU JAZU

[www.pg.gda.pl/~wste](http://www.pg.gda.pl/~wste)

*Wielkie wody o zadanym prawdopodobieństwie pojawiania się będą odprowadzane do dolnego stanowiska przy dopuszczalnym poziomie piętrzenia i przy zachowaniu stabilności koryta rzeki bezpośrednio za budowlą*



**Wielka woda, miarodajna** dla danej budowli, to największy przepływ wody, jaki dana budowla jest w stanie przepuścić ze stanowiska górnego do dolnego, bez obawy jej uszkodzenia i bez nadmiernego podpiętrzenia wody na stanowisku górnym.

# Definicje

według „Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”:

**Przepływ miarodajny („ $Q_m$ ”)** — rozumie się przez to przepływ, na podstawie którego projektuje się budowle hydrotechniczne

**Przepływ kontrolny („ $Q_k$ ”)** — rozumie się przez to przepływ, na podstawie którego sprawdza się bezpieczeństwo budowli w wyjątkowym układzie obciążenia.

## PRAWDOPODOBIEŃSTWO POJAWIANIA SIĘ PRZEPŁYWÓW MIARODAJNYCH I KONTROLNYCH DLA STAŁYCH BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Lp.	Rodzaj budowli	Przepływy	Prawdopodobieństw p% dla k	
			I	II
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
		kontrolny ( $Q_k$ )	0,02	0,05
	Reszta budowli w tym wch...	miarodajny ( $Q_m$ )	0,5	1,0

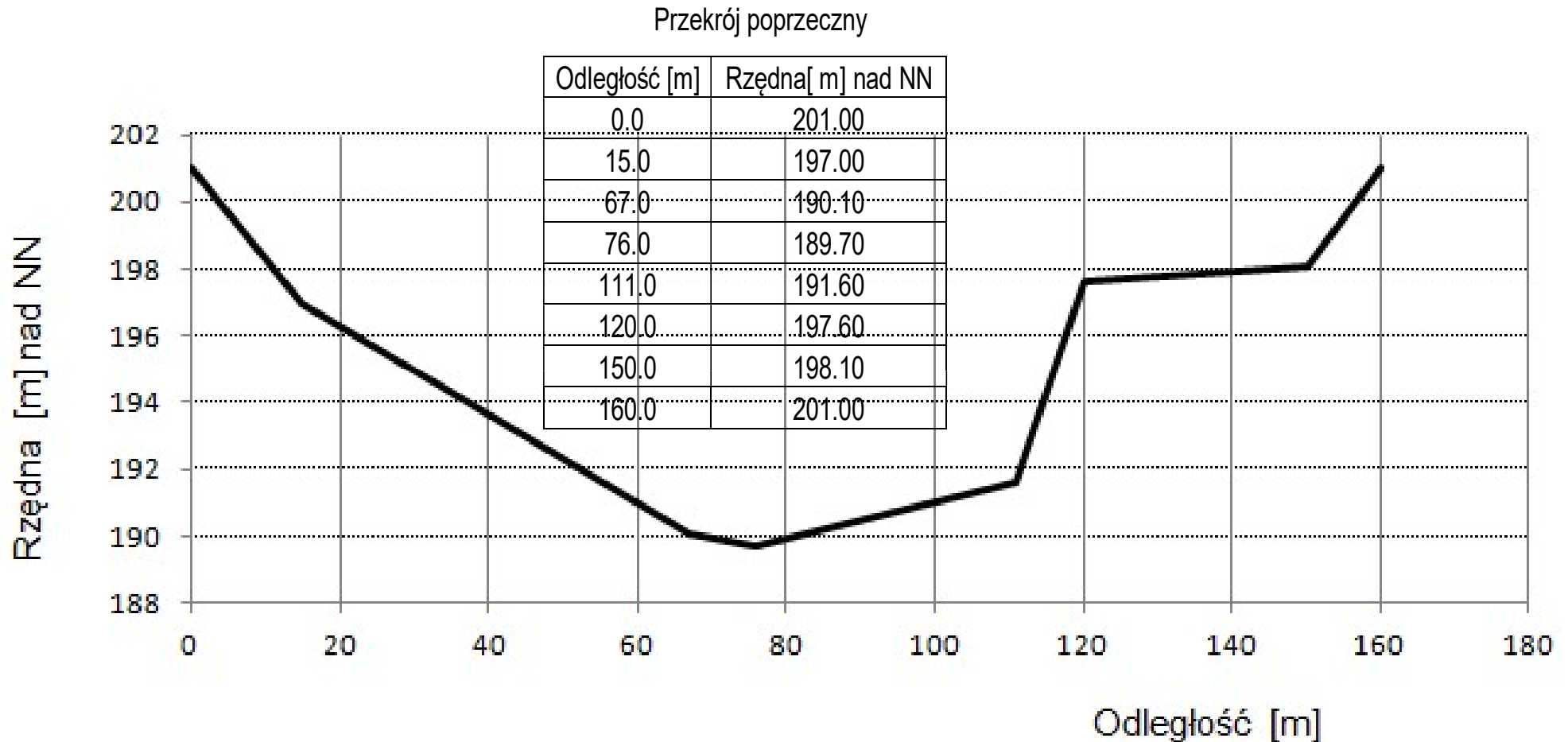
## Treść projektu:

# RZEKA PILICA - WODOWSKAZ PRZEDBÓRZ

*Przekrój wodowskazowy „Przedbórz” znajduje się na 207,2 km rzeki.*

*Powierzchnia zlewni dorzecza wynosi: 2544 km<sup>2</sup>.*

*Zero łaty wodowskazowej znajduje się na rzędnej: 189,7 m nad NN.*





Krzywa prawdopodobieństwa stanów wezbraniowych:

$Q(50\%)=124 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(10\%)=150 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(5\%)=160 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(1\%)=182,5 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q(0,5\%)=189 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(0,3\%)=195 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(0,1\%)=212 \text{ m}^3/\text{s}$      $Q(0,01\%)=325 \text{ m}^3/\text{s}$

według „Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”:

**Przepływ miarodajny („ $Q_m$ ”) — dla klasy II  $\rightarrow p = 0,3 \%$   $\rightarrow Q_m = 195 \text{ m}^3/\text{s}$**

**Przepływ kontrolny („ $Q_k$ ”) — dla klasy II  $\rightarrow p = 0,05 \%$   $\rightarrow Q_k = 250 \text{ m}^3/\text{s}$**

PRAWDOPODOBIENSTWO POJAWIANIA SIĘ PRZEPŁYWÓW MIARODAJNYCH I KONTROLNYCH DLA STAŁYCH BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Lp.	Rodzaj budowli	Przepływy	Prawdopodobieństw p% dla k		
			I	II	
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	
		kontrolny ( $Q_k$ )	0,02	0,05	
	Reszta budowli, w tym wały	miarodajny ( $Q_m$ )	0,5	1,0	

## ***Znaczenie określeń NN, NAP stosowanych w określeniu wysokości nad poziomem morza (n.p.m.) budowli hydrotechnicznych.***

W XVI wieku w Amsterdamie używano standardu średniego poziomu morza zwanego wówczas Poziomem Miejskim (stadspeil), z czasem ten standard zaczęto używać w reszcie kraju i nazwano go Amsterdamskim Poziomem (Amsterdams Peil).

W roku 1956 pod placem Dam wbito pal, na wierzchu którego umieszczono ćwiek z brązu. Ten punkt nazwano Normalnym Amsterdamskim Poziomem (**Normaal Amsterdams Peil** w skrócie **NAP**). W Niemczech nazywa się go **Normalnull - NN**. Ćwiek znajduje się 90 cm pod chodnikiem a 1,43 m powyżej NAP. Później w roku 1988, po wybudowaniu nowej amsterdamskiej opery, zwanej Stopera, umieszczono w niej następny pal na wysokości 0 m NAP.

Natomiast w Polsce e "poziom morza" odnosi się do: Morza Bałtyckiego w Zatoce Fińskiej, wyznaczonego dla mareografu w Kronsztadzie koło Petersburga w Rosji, Morza Północnego, wyznaczonego dla mareografu w Amsterdamie, Morza Adriatyckiego, wyznaczonego dla mareografu w Trieście. Rzędne w układzie wysokości określa się z pomiarów geodezyjnych nawiązanych do punktów podstawowej osnowy geodezyjnej kraju – wysokościowej osnowy geodezyjnej.

Układ wysokości Kronsztad jest częścią państwowego systemu odniesień przestrzennych wprowadzonego Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 2000 i jedynym obowiązującym od 1 stycznia 2010. Układy wysokościowe Amsterdam, Triest oraz lokalne przestały obowiązywać z dniem 31 grudnia 2009, jednak w zasobach ośrodków geodezyjnych są nadal przechowywane i są używane przez geodetów jako obligatoryjne do czasu przejścia na jednolity układ odniesienia. Poziom zerowy morza (Pz) odniesiony do wodowskazu w porcie morskim Kronsztadt oznacza się jako zero kronsztadzkie (Kron). Do przeliczania wysokości pomiędzy zerem amsterdamskim (HAmst.) oraz zerem kronsztadzkiem (HKron.) stosuje się, wyrażoną w metrach, zależność:

**HKron. = HAmst. + 0,08 (dokładniej 0,084 m)**

## Dane hydrologiczne → krzywa konsumcyjna: $Q=f(H)$

Stany i przepływy charakterystyczne:

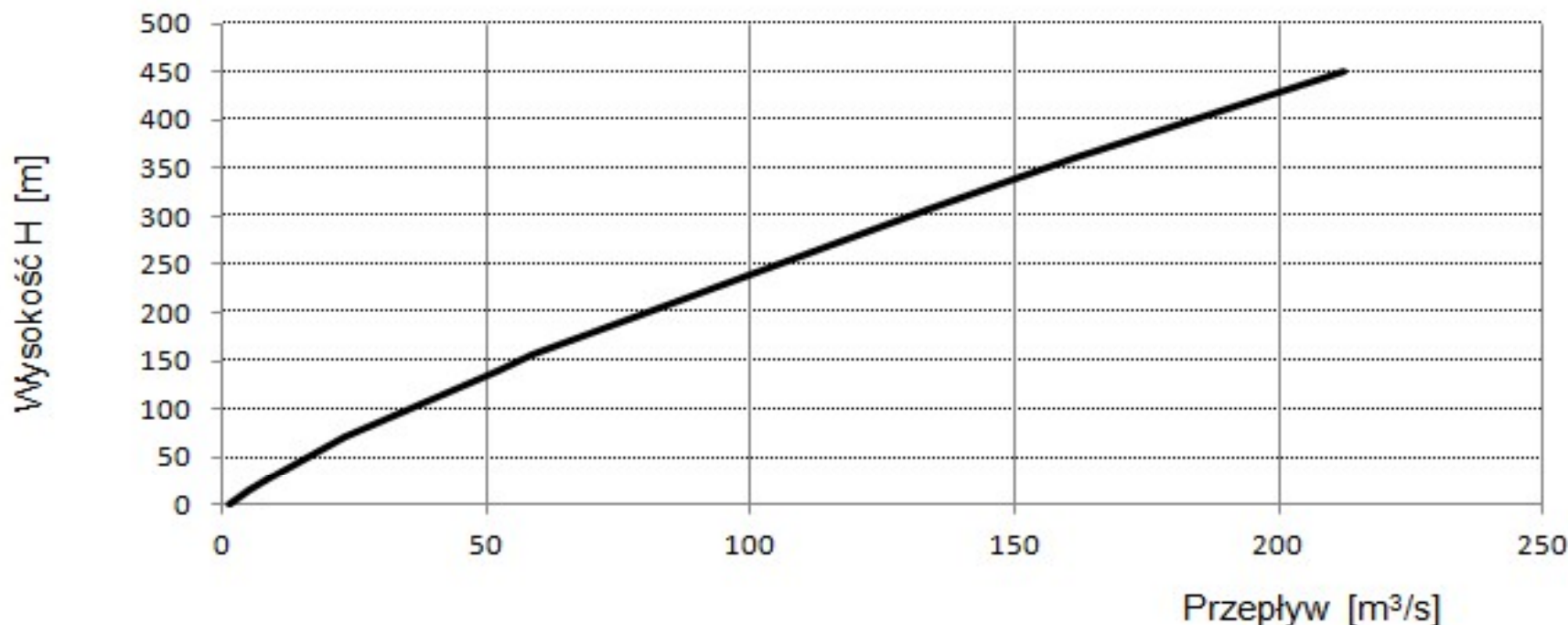
$H_{\max}=310$  cm dla  $Q=141$  m<sup>3</sup>/s

$H_{\text{śr}}=70$  cm dla  $Q=16$  m<sup>3</sup>/s

$H_{\min}=14$  cm dla  $Q=1,41$  m<sup>3</sup>/s

$$h_{\max} = H = \left(\frac{Q}{0,1}\right)^{\frac{1}{1,25}} - 8,35 = 420 \text{ cm}$$

Równanie krzywej konsumcyjnej:  $Q=0,1*(H+8,35)^{1,25}$  gdzie H w cm



Średni spadek zwierciadła wody:  $I= 0.625$  ‰

Krzywa prawdopodobieństwa stanów wezbraniowych:

$Q(50\%)=124$  m<sup>3</sup>/s  $Q(10\%)=150$  m<sup>3</sup>/s  $Q(5\%)=160$  m<sup>3</sup>/s  $Q(1\%)=182,5$  m<sup>3</sup>/s

$Q(0,5\%)=189$  m<sup>3</sup>/s  $Q(0,3\%)=195$  m<sup>3</sup>/s  $Q(0,1\%)=212$  m<sup>3</sup>/s  $Q(0,01\%)=325$  m<sup>3</sup>/s

# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## Dobór światła jazu

### *Światło przelewu - sumaryczna szerokość wszystkich otworów przelewowych*

Wymiarowanie będzie polegało na ustaleniu szerokości i wysokości przelewowych, które powinny być wystarczające dla przepuszczenia  $Q_m$

#### Wskazówki:

- powstanie zbyt dużej prędkości poniżej jazu → zmęczenia budowli
- bezpieczne przepuszczenie lodu
- wymiarowanie rumowiska
- typ zamknięcia
- rozporządzenie 2007:

LICZBA SPUSTÓW, SZTOLNI, LEWARÓW I TURBIN, KTÓRYCH NIE NALEŻY UWAGAĆ  
PRZY OKREŚLANIU WARUNKÓW PRZEPUSZCZENIA PRZEPŁYWU MIARODAJĄCEGO

Lp.	Ogólna liczba zainstalowanych urządzeń		Liczba nieuwzględniana w obliczeniach spustów, sztolni oraz turbin
	spustów, sztolni, lewarów	turbin elektrowni wodnych	
1	1–3	1–5	1

# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## Dobór światła jazu

Minimalne światło budowli określa się w celu uniknięcia nadmiernej koncentracji przepływu wody oraz związanej z tym erozji dna poniżej budowli piętrzącej.

$$b_{\min} = \frac{Q_m}{\lambda \cdot q_{\max}}$$

$\lambda$  – współczynnik odporności dna rzeki na erozję (wsp. dopuszczalnego wzrostu przepływu) [-],

$q_{\max}$  – maksymalne jednostkowe natężenie przepływu występujące w nurcie rzeki przed jej zabudową [ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ].

Nazwa gruntu w korycie cieku	Symbol
Żwir	Ż
Pospółka	Po
Piasek gruby	Pr
Piasek średni	Ps
Piasek drobny	Pd
Piasek pylasty, gliniasty, pyły	P $\pi$ , P $g$ , $\pi$
Grunty organiczne	

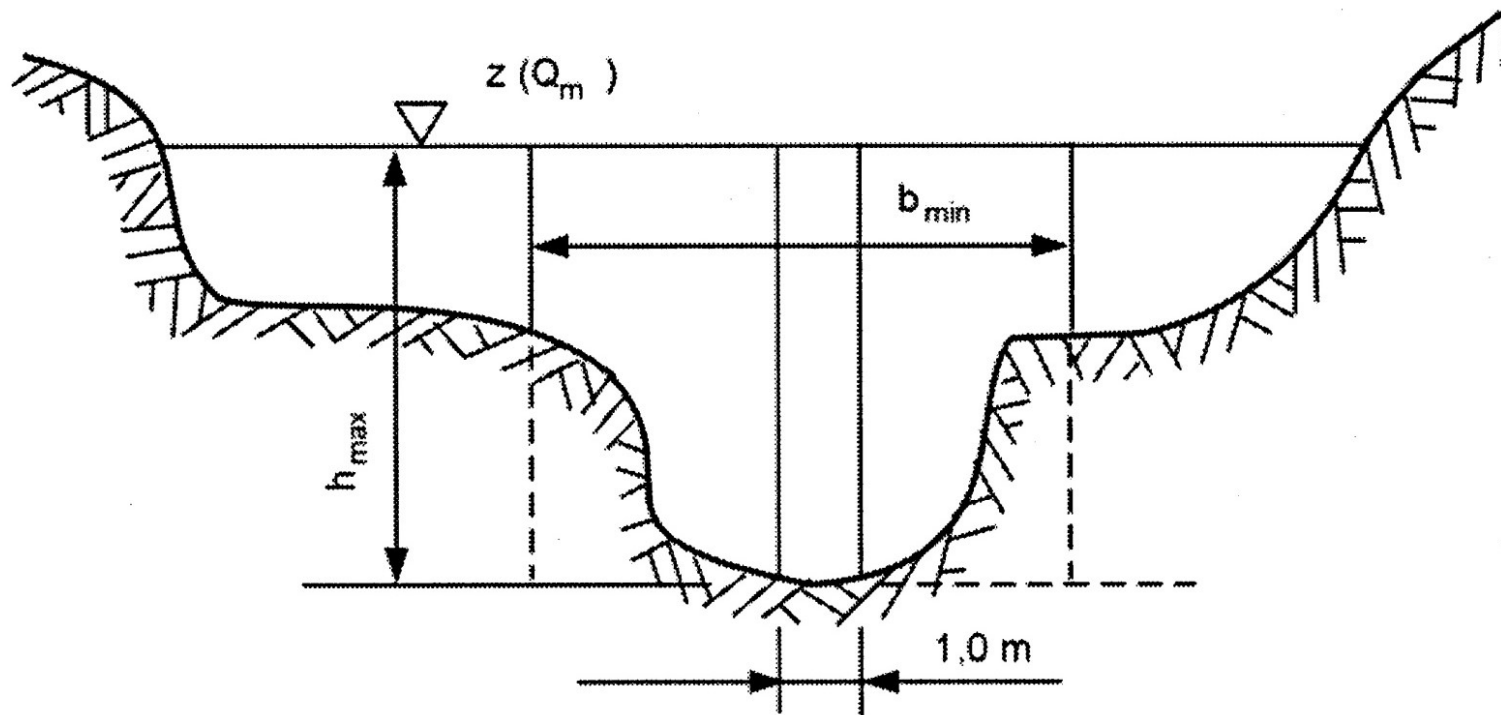
Grunt pod budowlą: piasek średni →  
→  $\lambda = 1,15$



# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## Dobór światła jazu

Maksymalny przepływ jednostkowy:  $q_{\max} = \frac{1}{n} \cdot h_{\max}^{5/3} \cdot I^{1/2}$



$h_{\max}$  – maksymalna głębokość wody w przekroju poprzecznym rzeki, występująca w warunkach przepływu miarodajnego  $Q_m$  [m].;

I - spadek podłużny zwierciadła wody w rzece przy przepływie miarodajnym

# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## Dobór światła jazu

z krzywej konsumcyjnej:

$$h_{\max} = 420 \text{ cm} \rightarrow Q = Q_m = 195 \text{ m}^3/\text{s}$$

rzeki we względnie dobrych warunkach  
lecz z pewną ilością kamieni i wodorostów:

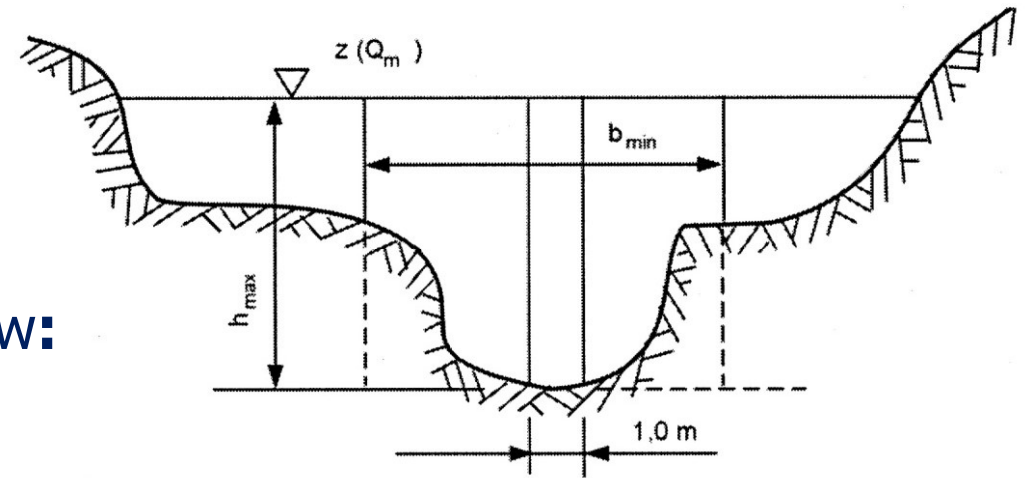
$$n = 0,035 \text{ (0,03-0,05)}$$

$$I = 0,625 \text{ ‰} = 0,000625 = 6,25 \times 10^{-4}$$

Maksymalny przepływ jednostkowy:

$$q_{\max} = \frac{1}{n} \cdot h_{\max}^{5/3} \cdot I^{1/2} = \frac{1}{0.035} \cdot 4.2^{5/3} \cdot \sqrt{6.25 \times 10^{-4}}$$

$$q_{\max} = 7.81 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$



# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

## Dobór światła jazu

Grunt pod budowlą: piasek średni →  $\lambda = 1,15$

$$Q_m = 195 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Minimalne światło budowli:**

$$b_{\min} = \frac{Q_m}{\lambda \cdot q_{\max}} = \frac{195}{1.15 \cdot 7.81} = 21.713 \text{ m}$$

**Przyjmuję 3 przęsła po 12 m każde.**

Według *Załącznika 8 „Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie” dla 3 urządzeń spustowych liczba urządzeń nieuwzględnianych w obliczeniach wynosi 1.*

Stąd całkowite światło przelewu uwzględniane w obliczeniach wynosi:

$$\mathbf{b = 24 \text{ m} (2 \text{ przęsła)}$$

# Jaz ruchomy z zasuwą płaską

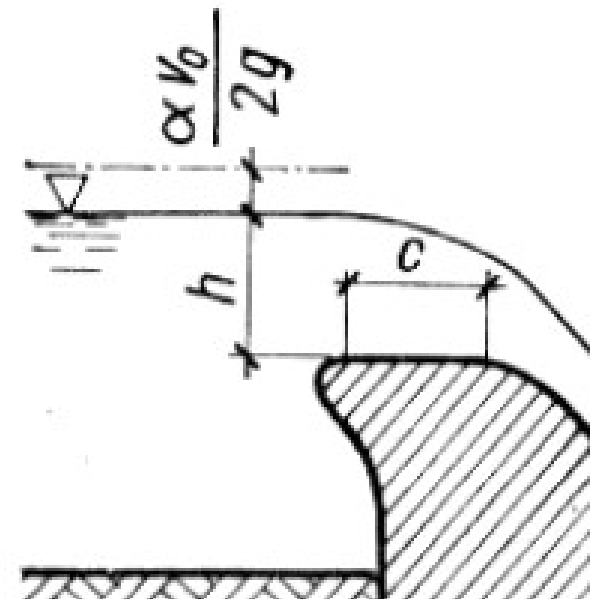
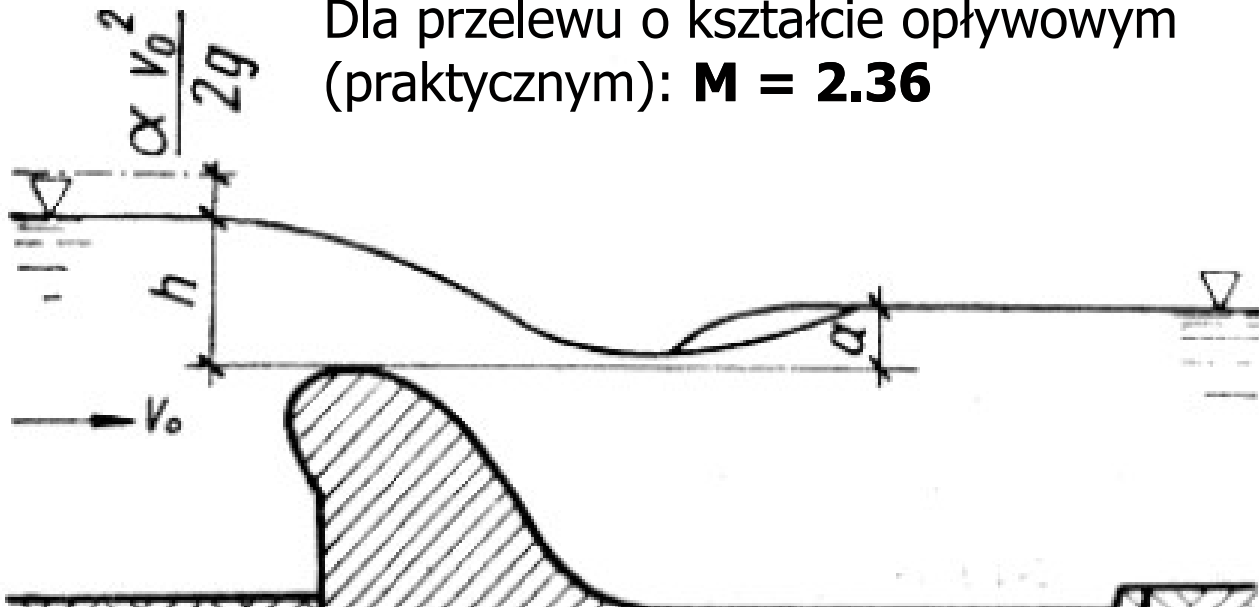
## Określenie rzędnej proggu piętrzącego

Wydatek przelewu jazowego:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot h_0} = M \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot b \cdot \left( h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$h = ?$$

Dla przelewu o kształcie opływowym (praktycznym): **M = 2.36**



# Wydatek przelewu jazu

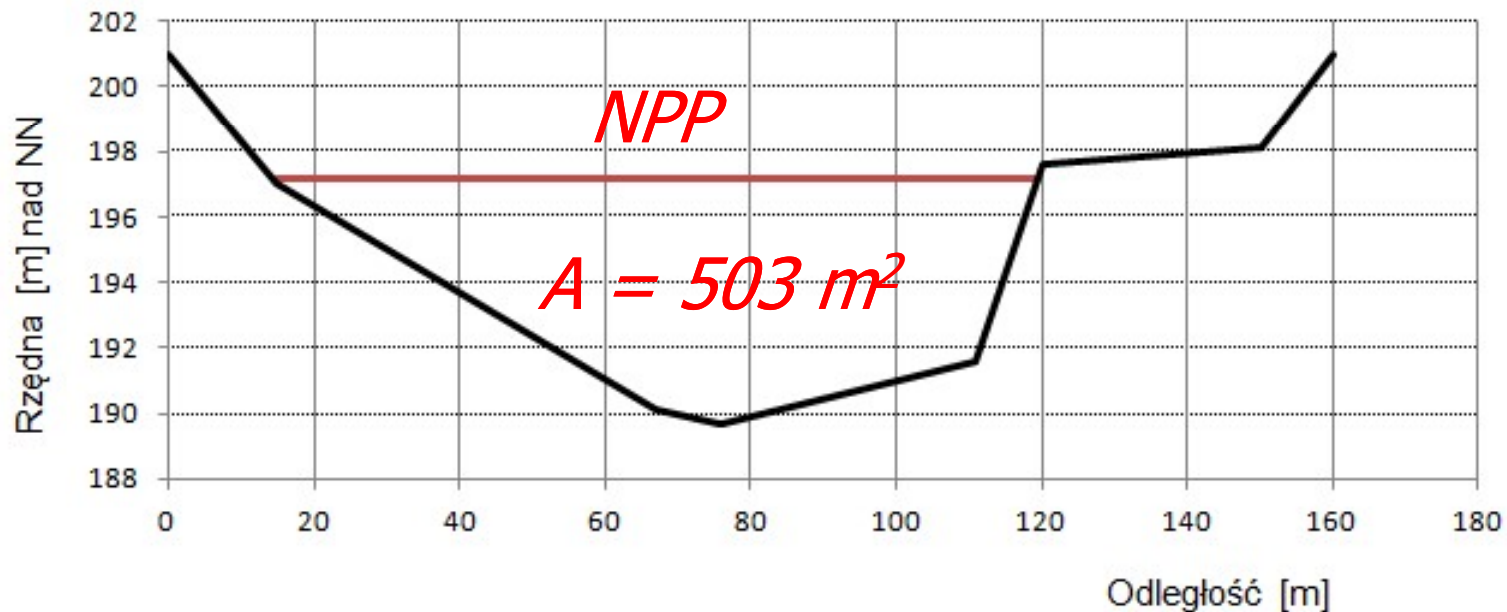
$$Q = M \cdot b \cdot \sqrt{\left( h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \right)^3} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$$

$\alpha$  – współczynnik nierównomierności strug,

$v_0$  – prędkość wody doływającej do budowli piętrzącej [m/s],

$$v_0 = \frac{Q_m}{A} = \frac{195}{503} = 0.39 \text{ m/s}$$

$v_0 < 1 \rightarrow$  pomijamy człon wysokości prędkości





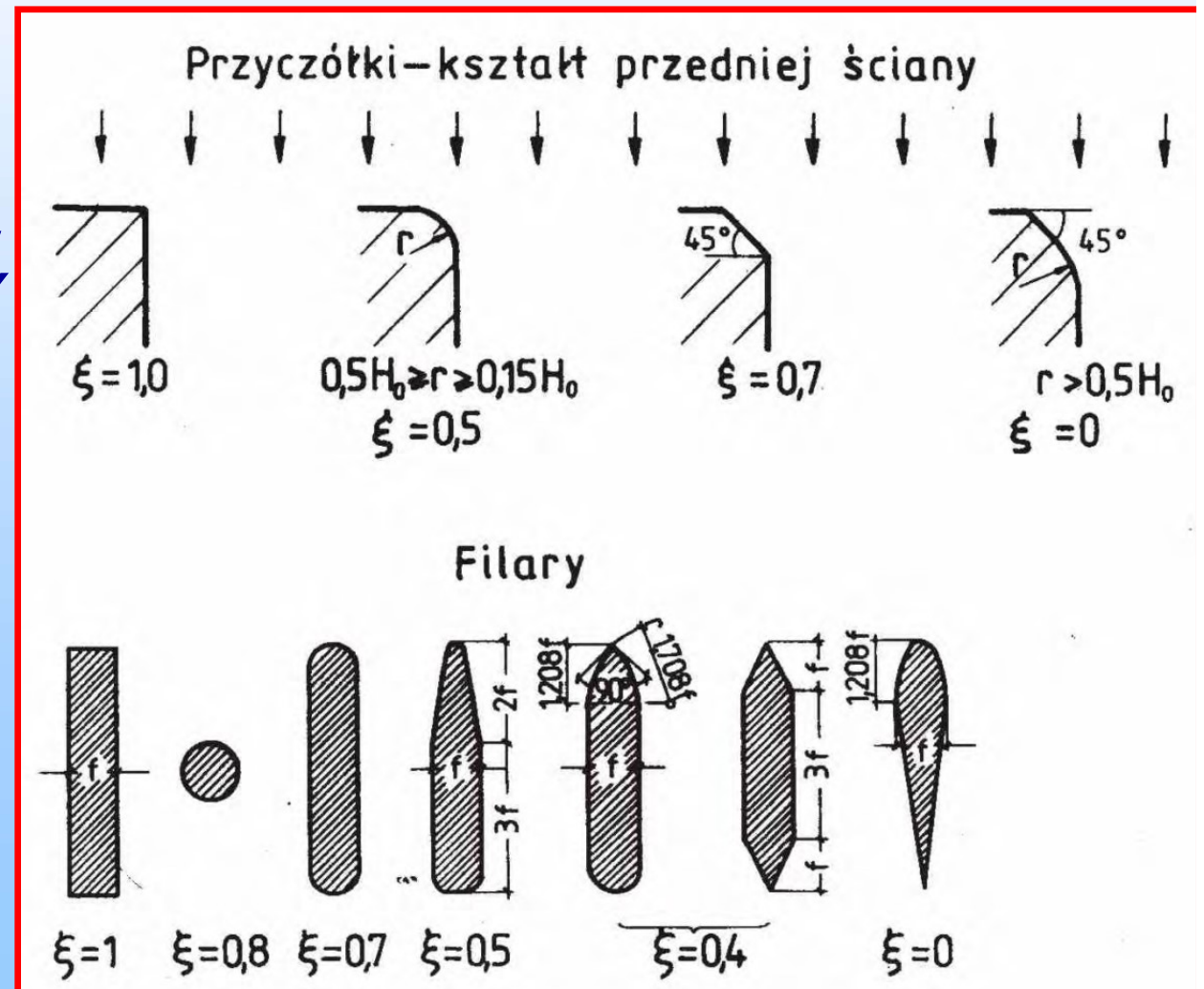
**Wydatek przelewu jazu:**  $Q = M \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$

$\varepsilon$  – współczynnik dławienia bocznego,  
 $\sigma$  – współczynnik podtopienia przelewu.

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot n \cdot \frac{h}{b} \cdot \xi$$

$n$  – liczba przęseł jazu,  
 $b$  – światło przelewu [m],  
 $\xi$  – współczynnik kształtu filarów i przyczółka

Dla filarów zaokrąglonych:  
 $\xi = 0.7$



**Wydatek przelewu jazu:**  $Q = M \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$

$\varepsilon$  – współczynnik dławienia bocznego,  
 $\sigma$  – współczynnik podtopienia przelewu.

*Obliczenia prowadzimy metodą kolejnych prób poszukując  $h=?$ , dla którego wydatek przelewu  $1.1xQ_m > Q > Q_m$*

**$h = 2.35 \text{ m}$**

$n$  – liczba przęseł jazu,  
 $b$  – światło przelewu [m],  
 $\xi$  – współczynnik kształtu  
filarów i przyczółka

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot n \cdot \frac{h}{b} \cdot \xi = 1 - 0.2 \cdot 2 \cdot \frac{2.35}{24} \cdot 0.7 = 0.973$$

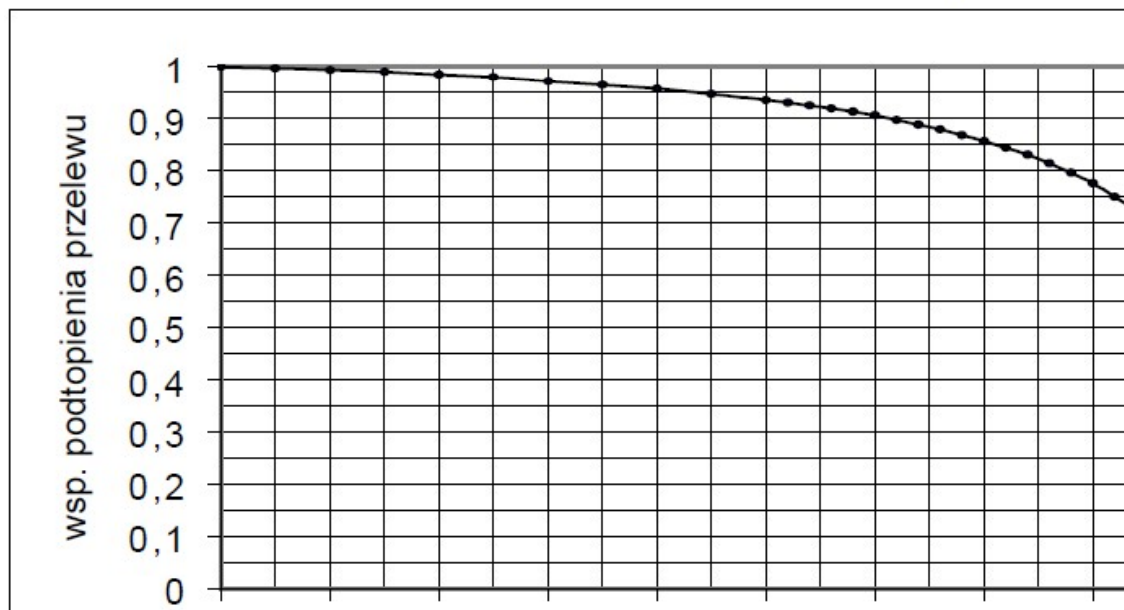
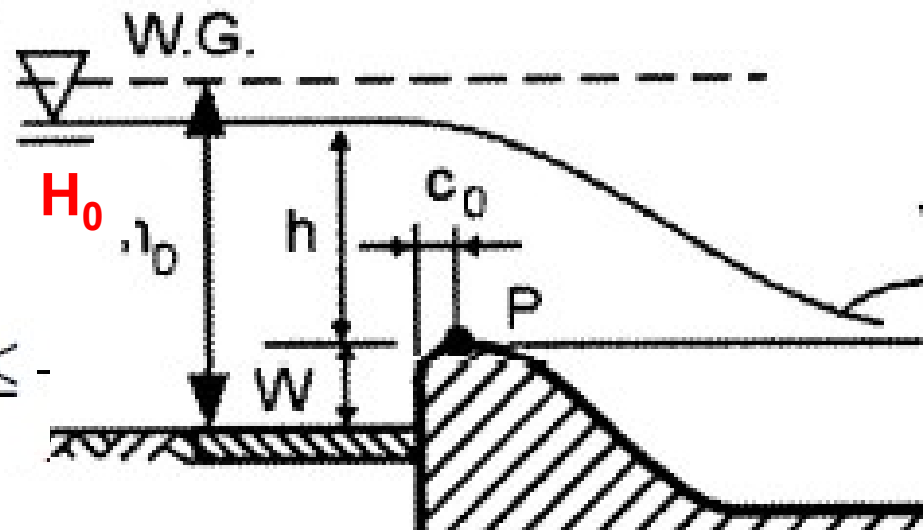
**Wydatek przelewu jazu:**  $Q = M \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$

**$\sigma$  – współczynnik podtopienia przelewu**  
**dla przelewów niepodtopionych  $\sigma = 1.0$**   
**dla przelewów podtopionych ( $a > 0$ )  $\sigma < 1.0$ :**

$$\sigma = \sqrt[4]{1 - \left(\frac{a}{H_0}\right)^2} \quad \text{dla } 0 \leq \frac{a}{H_0} < 0.9$$

$$\sigma = 0,81 \left[1 - \left(\frac{a}{H_0}\right)^{16}\right] \quad \text{dla } 0,9 \leq \frac{a}{H_0} < 1$$

na podstawie Tablic



Rzędna piętrzenia NPP=W.G.: 197.2 m npm.

Rzędna dna koryta rzeki: 189.7 m npm.

$H_0 \sim H = 197.2 - 189.7 = 7.5 \text{ m}$

$h = 2.35 \text{ m} \rightarrow W = H - h = 5.15 \text{ m}$

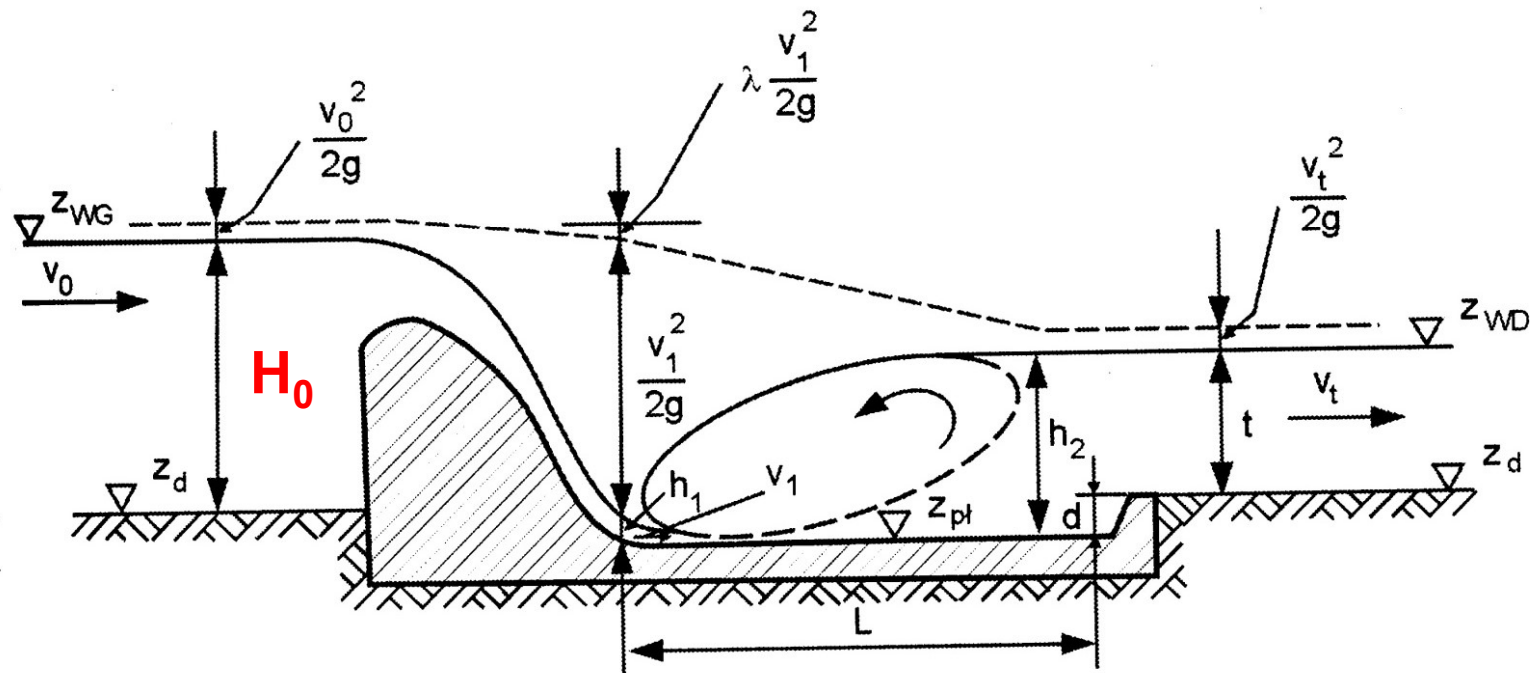
Rzędna korony progu P: 194.85 m npm.

Rzędna W.D.:  $189.7 + h(Q_m) = 193.9 \text{ m npm.}$

**$\sigma$  – współczynnik podtopienia przelewu**

$$a = W.D. - P = 193,9 - 194,85 = -0,95 \text{ m}$$

**$P > W.D. \rightarrow$  przelew niepodtopiony  $\rightarrow \sigma = 1,0$**

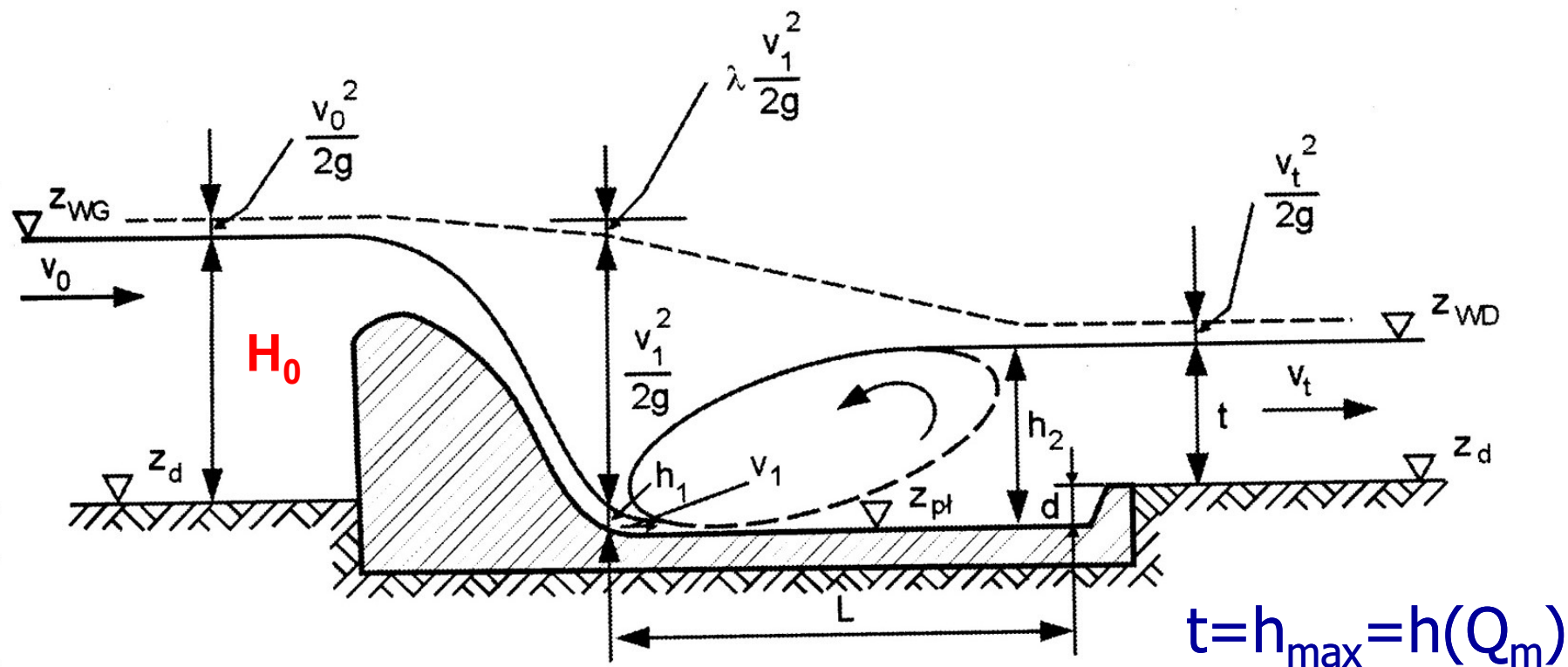


$$**$h = 2.35 \text{ m}$**$$

**Wydatek przelewu jazu:**  $Q = M \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$

$$Q = 2.36 \cdot 24 \cdot 2.35^{\frac{3}{2}} \cdot 0.973 \cdot 1.0 = 198.5 \text{ m}^3 / \text{s} > Q_m$$

# Wymiarowanie niecki wypadowej

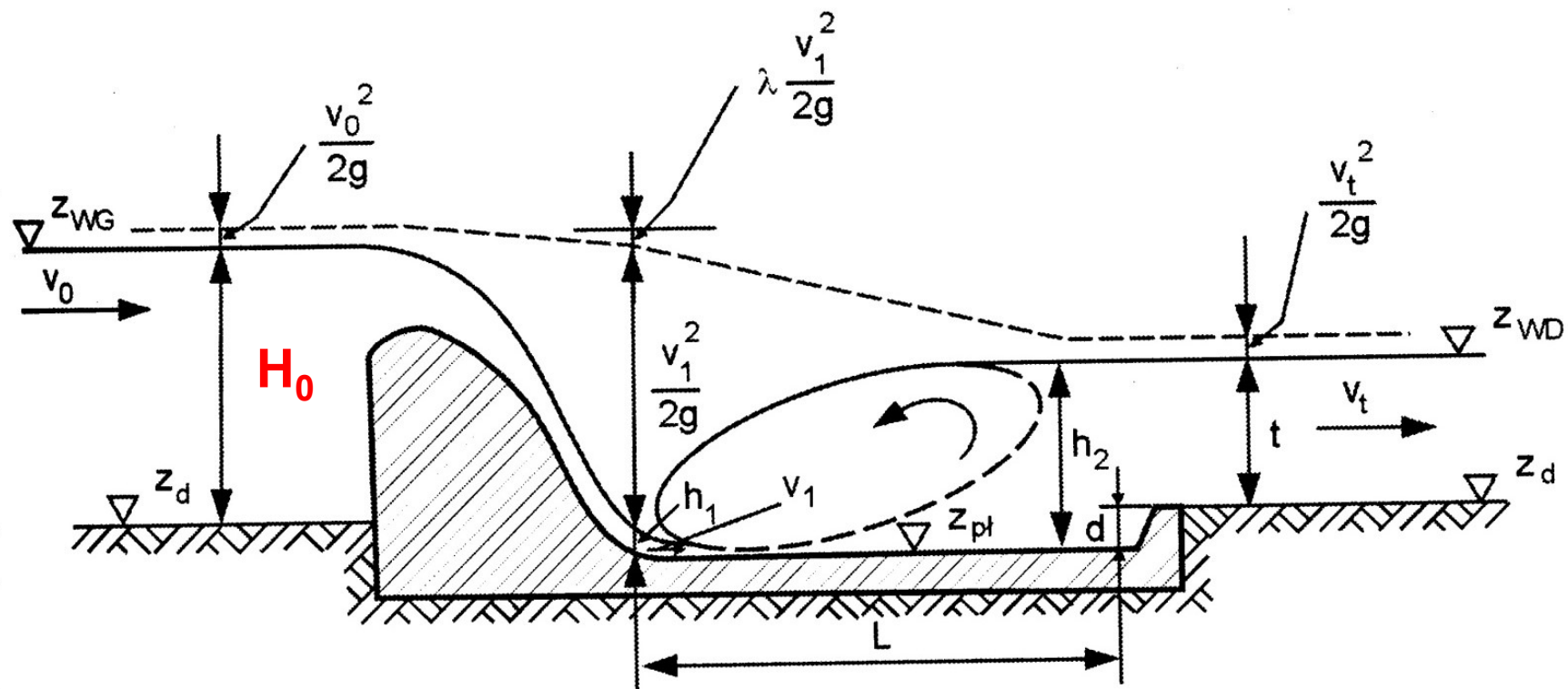


Wymiarowanie wypadu polega na takim doborze jego długości  $L$  oraz zagłębienia  $d$ , aby powstały odskok hydrauliczny w całości mieścił się w obrębie wypadu i był zatopiony.

**Warunek zatopienia odskoku:**  $\eta = \frac{t + d}{h_2} \geq 1$



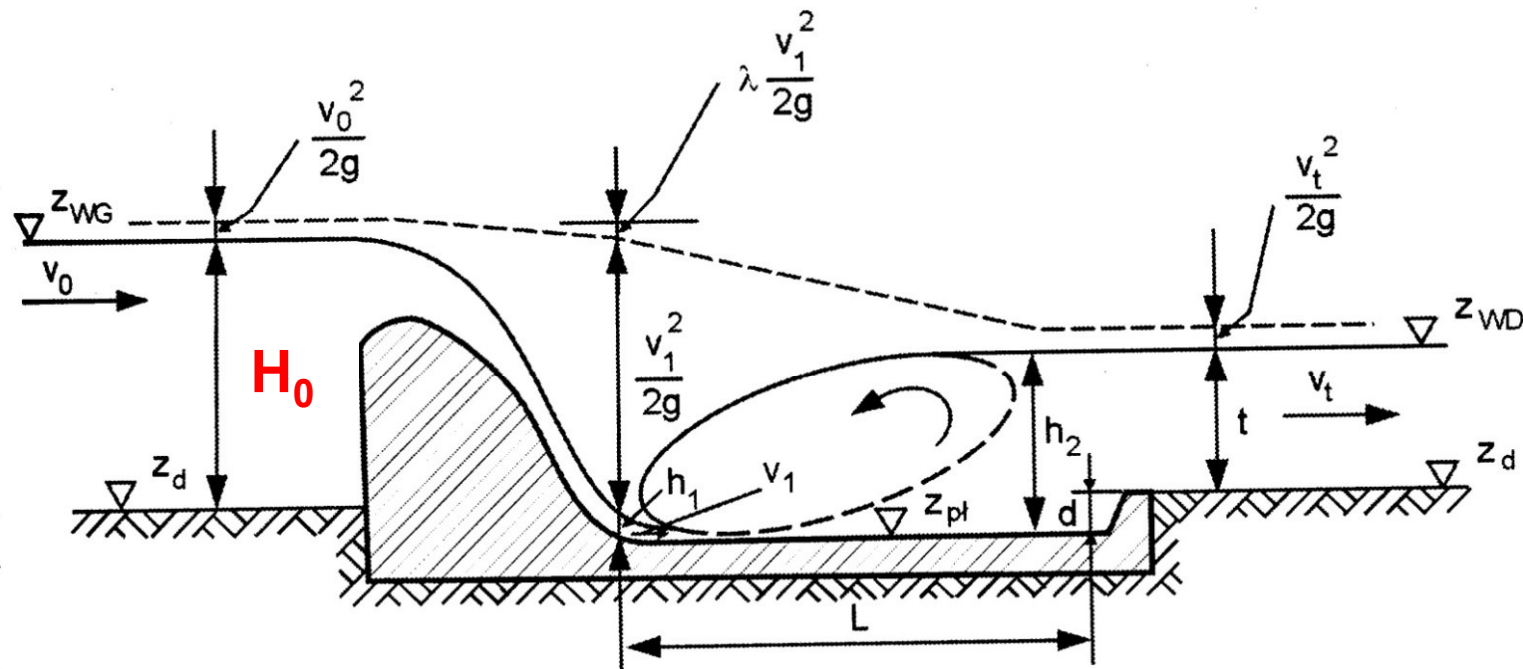
# Wymiarowanie niecki wypadowej



$$z_{WG} + \cancel{\frac{v_0^2}{2g}} - z_{pt} = h_1 + (1 + \zeta) \frac{v_1^2}{2g}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta}} \cdot \sqrt{2g \cdot (z_{WG} - z_{pt} - h_1)} = \varphi_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (z_{WG} - z_{pt} - h_1)}$$

# Wymiarowanie niecki wypadowej



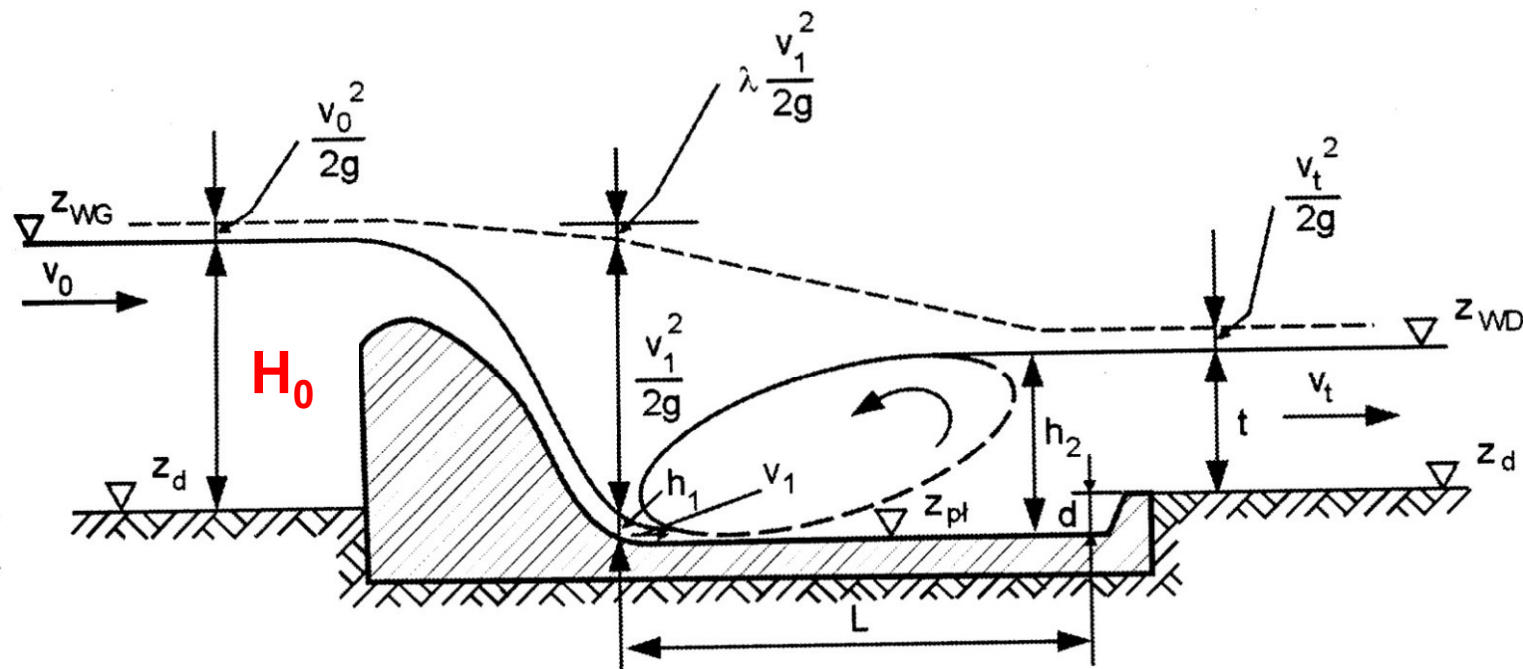
$$v_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (z_{WG} - z_{pt} - h_1)}$$

$$q = \frac{Q_m}{\varepsilon \cdot b} = \frac{195}{0.97 \cdot 24} = 8.377 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

$$h_1 = \frac{q}{v_1}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8A_1} - 1 \right)$$

# Wymiarowanie niecki wypadowej



*Minimalne zagłębienie niecki wypadowej:  $d_{min} = 0.25 \text{ m}$*

*Rzędna piętrzenia NPP =  $Z_{WG} = 197.2 \text{ m npm.}$*

*Rzędna dna koryta rzeki  $Z_d = 189.7 \text{ m npm.}$*

*Rzędna płyty niecki wypadowej  $Z_{pt} = 189.45 \text{ m npm.}$*

$$v_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (Z_{WG} - Z_{pt} - h_1)}$$

## Wymiarowanie niecki wypadowej

$$v_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (Z_{WG} - Z_{pł} - h_1)}$$

Współczynnik prędkości  $\varphi_1$  odnoszący się do przekroju mniejszej głębokości sprzężonej:  $\varphi_1 = \omega \varphi$

$\omega$  – współczynnik uzależniony od długości przelewającej się strugi wody,  
 $\varphi$  – współczynnik prędkości odnoszący się do korony jazu.

na podstawie Tablica

Wysokość budowli piętrzącej, m	0	10	20	30	40
Współczynnik $\omega$	1,0	0,97	0,92	0,87	0,81

na podstawie Tablica

Kształt części wlotowej przelewu	opływowy (wg krzywej Craggona)	łagodny	zaokrąglony	ścięty	ostrokąldziowy
----------------------------------	--------------------------------	---------	-------------	--------	----------------

## Wymiarowanie niecki wypadowej

Pierwsza głębokość sprzężona:  $h_1 = 0.74 \text{ m}$

$$v_1 = 0.985 \cdot 0.98 \cdot \sqrt{2g \cdot (197.2 - 189.45 - 0.74)}$$

$$v_1 = 11.32 \text{ m/s} \quad h_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{8.377}{11.32} = 0.74 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8A_1} - 1)$$

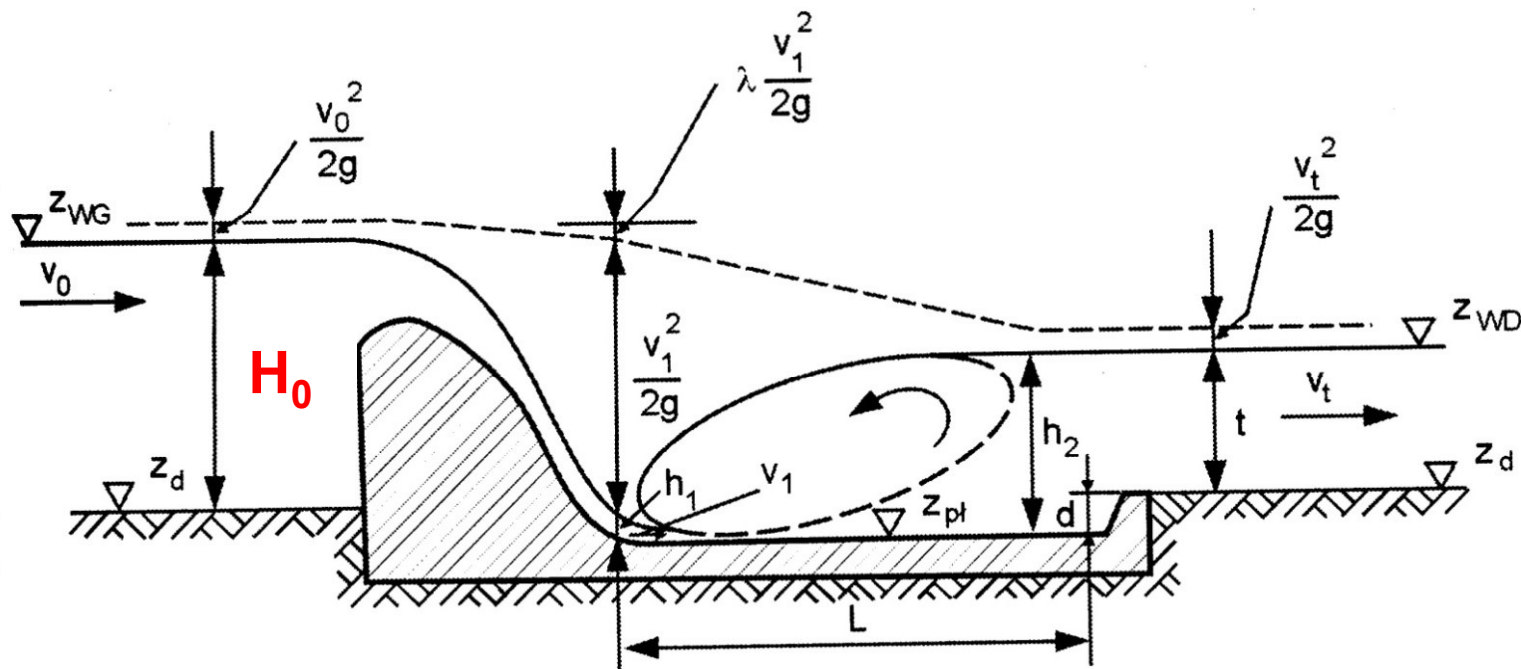
**Liczba Froude'a:**  $A_1 = \frac{v_1^2}{g \cdot h_1} = \frac{(11.32)^2}{g \cdot 0.74} = 17.65$

$$h_2 = \frac{0.74}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot 17.65} - 1) = 4.04 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{t + d}{h_2} = \frac{4.2 + 0.25}{4.04} = 1.10$$

$$\eta = 1.20 \div 1.25$$

# Wymiarowanie niecki wypadowej



*Zagłębienie niecki wypadowej:  $d = 0.90$  m*

*Rzędna piętrzenia NPP =  $Z_{WG} = 197.2$  m npm.*

*Rzędna dna koryta rzeki  $Z_d = 189.7$  m npm.*

*Rzędna płyty niecki wypadowej  $Z_{pt} = 188.8$  m npm.*

$$v_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{2g \cdot (Z_{WG} - Z_{pt} - h_1)}$$

## Wymiarowanie niecki wypadowej

Pierwsza głębokość sprzężona:  $h_1 = 0.71 \text{ m}$

$$v_1 = 0.985 \cdot 0.98 \cdot \sqrt{2g \cdot (197.2 - 188.8 - 0.71)}$$

$$v_1 = 11.86 \text{ m/s} \quad h_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{8.377}{11.86} = 0.71 \text{ m}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8A_1} - 1 \right)$$

**Liczba Froude'a:**  $A_1 = \frac{v_1^2}{g \cdot h_1} = \frac{(11.86)^2}{g \cdot 0.71} = 20.18$

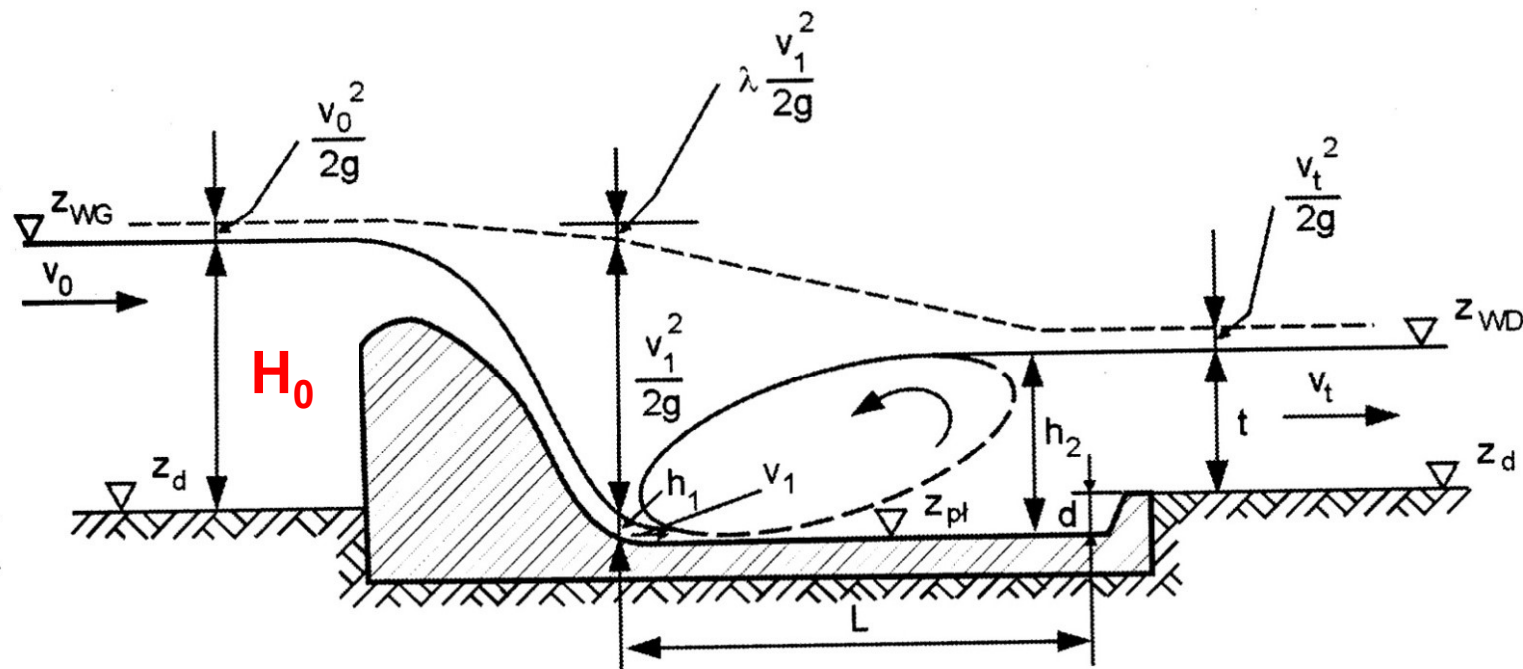
$$h_2 = \frac{0.71}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot 20.18} - 1 \right) = 4.17 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{t + d}{h_2} = \frac{4.2 + 0.90}{4.17} = 1.22$$

$$\eta = 1.20 \div 1.25$$



## Wymiarowanie niecki wypadowej



*Zagłębienie niecki wypadowej:  $d = 0.90 \text{ m}$*

*Długość odskoku hydraulicznego (niecki wypadowej):*

$$L = v \cdot (h_2 - h_1)$$

$h_2/h_1$	3	3÷4	4÷6	6÷
Współczynnik $v$	60	55	50	4

*$h_1 = 0.71 \text{ m}; h_2 = 4.17 \text{ m} \rightarrow h_2 / h_1 = 5.87$*

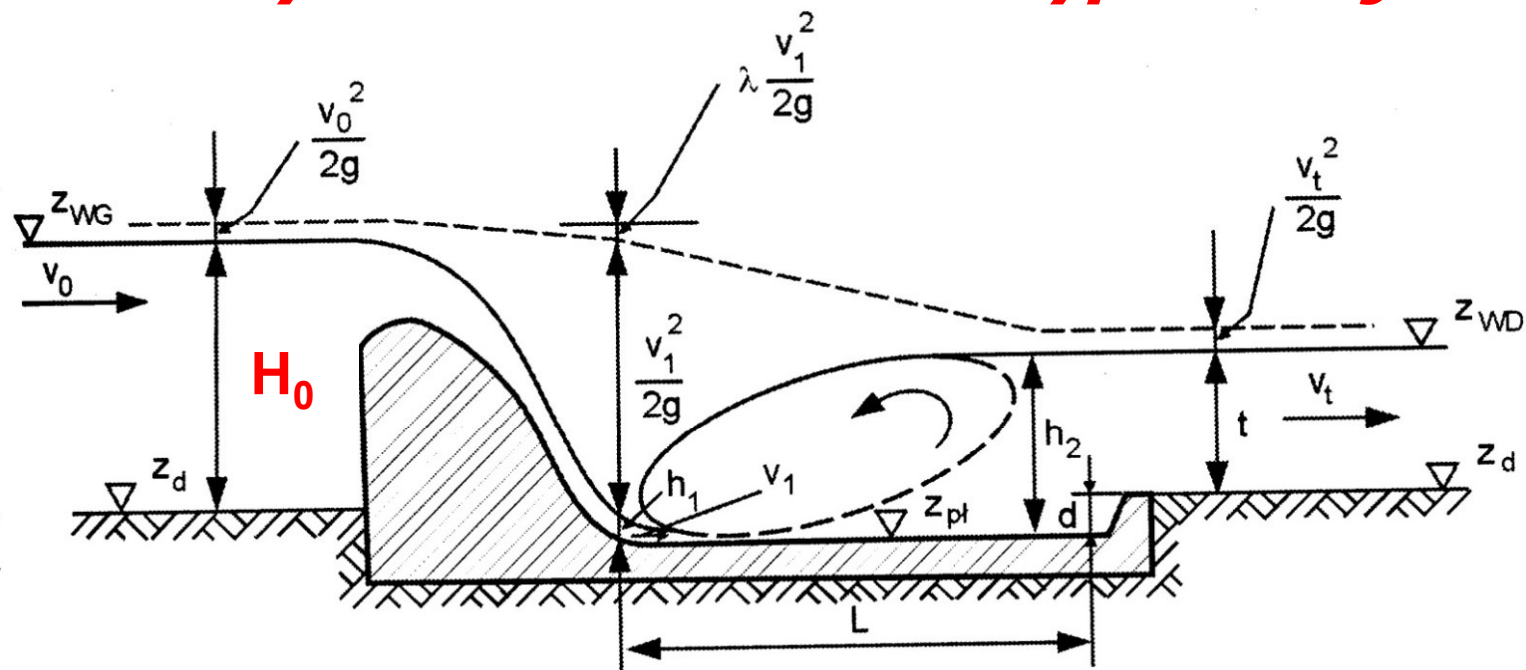
TABELA 1. Równania opisujące długość odskoku ( $L_0$ ) na poziomym dnie (za: Čerťousov i in. 1990, Dąbkowski i in. 1982)

TABLE 1. Equations describing length of hydraulic jump ( $L_0$ ) on the horizontal bottom (1962, Hager et al. 1990, Dąbkowski et al. 1982)

Autor Author	Równanie Equation	N Num
Wóycicki	$L_0 = \left( 8 - 0,05 \frac{h_2}{h_1} \right) (h_2 - h_1)$	
Čerťousov	$L_0 = 10,3h_1(\text{Fr}_1 - 1)^{0,81}$	
Pavłowski	$L_0 = 2,5(1,9h_2 - h_1)$	
Smetana	$L_0 \approx 6(h_2 - h_1)$	
Bakhmeteff and Matzke	$L_0 = 5(h_2 - h_1)$	
Page	$L_0 = 5,6h_2$	

Źródło: **J. Urbański**, „Długość odskoku hydraulicznego na modelu jazu”, Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, Zeszyt 1 (39), 2008, Wyd. SGGW., str. 3÷12.

## Wymiarowanie niecki wypadowej



Zagłębienie niecki wypadowej:  $d = 0.90 \text{ m}$

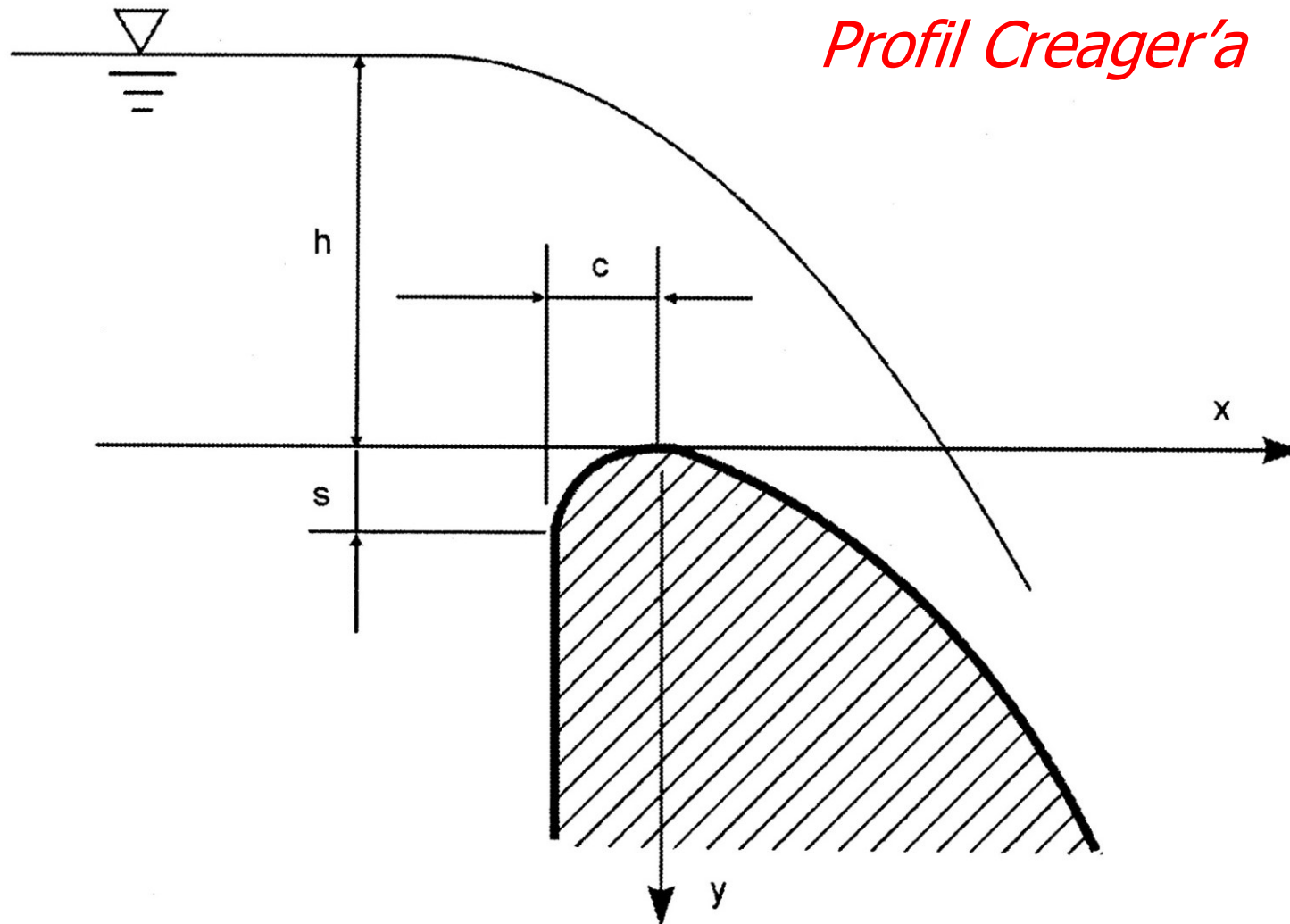
Długość niecki wypadowej:

$$L = 5.0 \cdot (4.17 - 0.71) = 17.3 \text{ m}$$

Przyjęto długość niecki wypadowej  $L = 17.5 \text{ m}$

# ***Profil przelewu – kształt i wymiary korpusu wersja I***

$\frac{x}{h}$	-0,03	-0,2	-0,1	0	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7
$\frac{y}{h}$	0,250	0,055	0,010	0	0,006	0,050	0,130	0,250	0,400	0,600	0,970	1,373



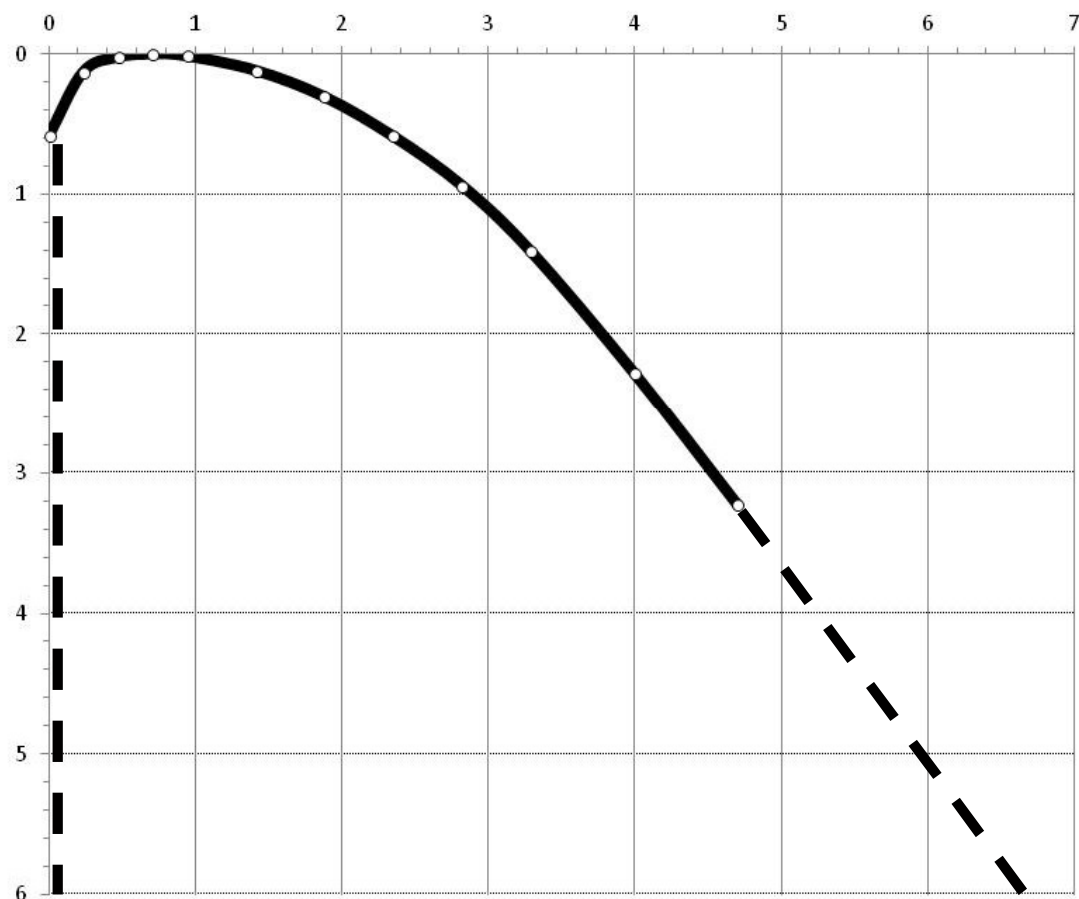
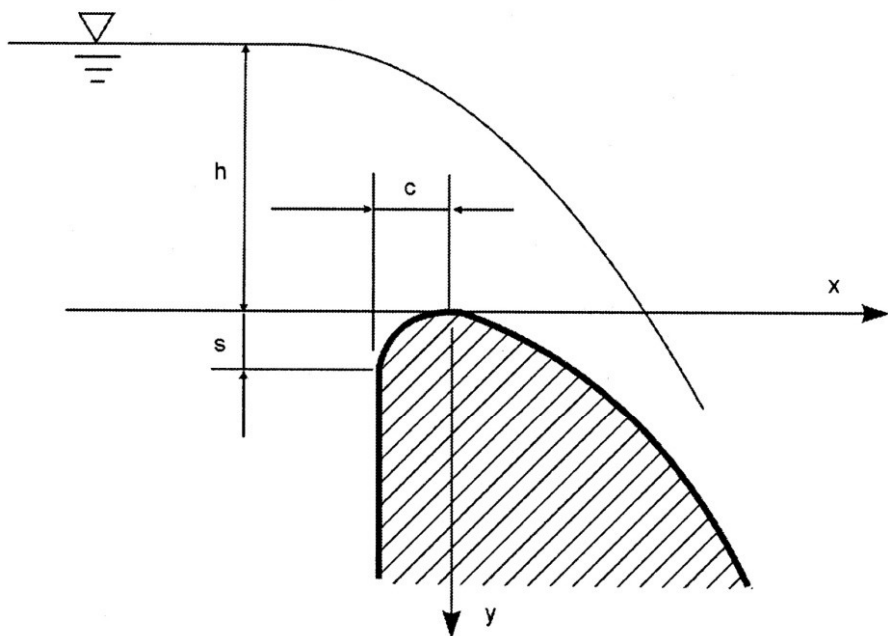
# Profil przelewu – kształt i wymiary korpusu

x/h	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7
y/h	0.25	0.055	0.01	0	0.006	0.05	0.13	0.25	0.4	0.6	0.97	1.373

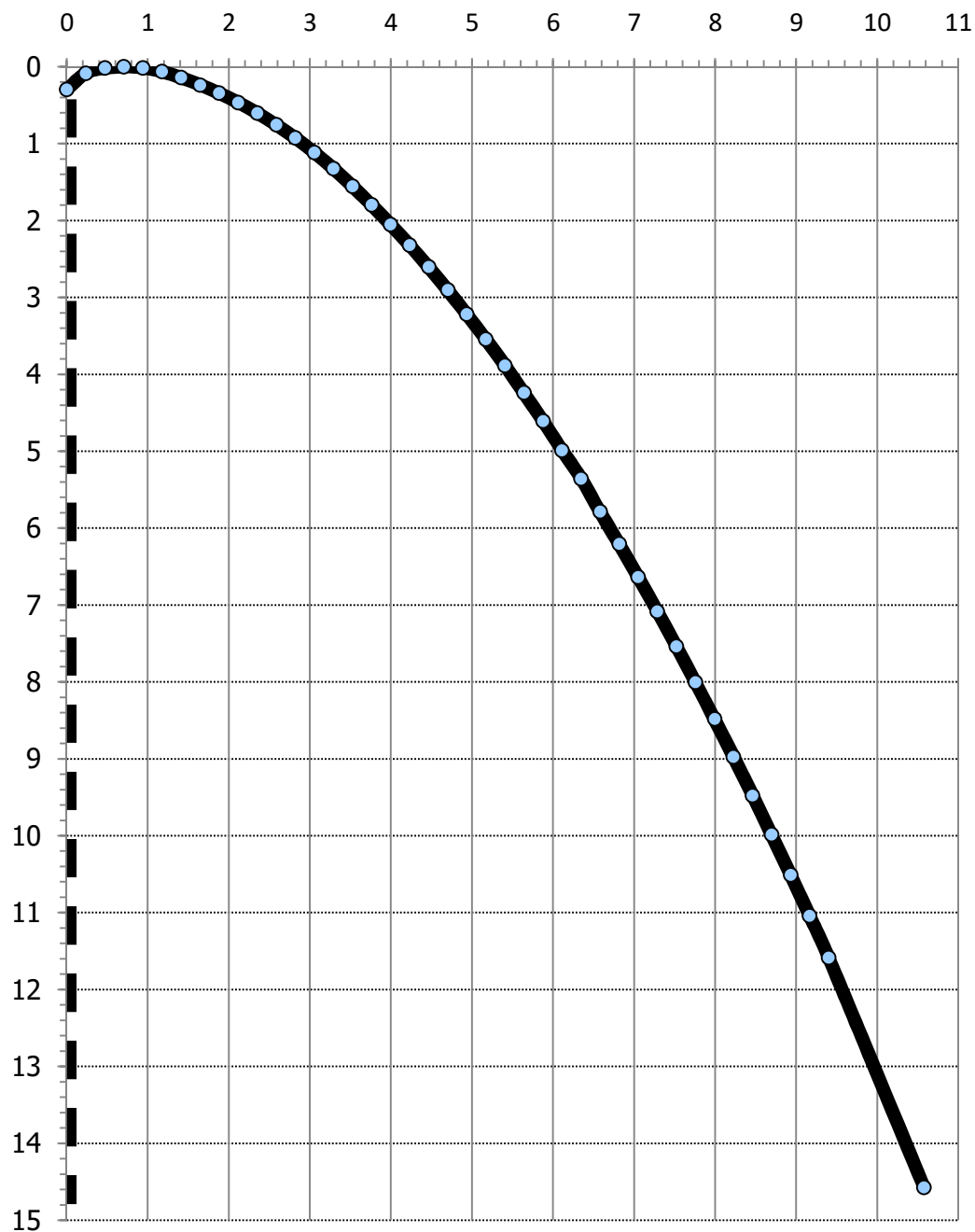
**$h = 2.35 \text{ m}$**

x	-0.71	-0.47	-0.24	0.00	0.24	0.71	1.18	1.65	2.12	2.59	3.29	4.00
y	0.59	0.13	0.02	0.00	0.01	0.12	0.31	0.59	0.94	1.41	2.28	3.23

X	0.00	0.24	0.47	0.71	0.94	1.41	1.88	2.35	2.82	3.29	4.00	4.70
Y	0.59	0.13	0.02	0.00	0.01	0.12	0.31	0.59	0.94	1.41	2.28	3.23



# Profil przelewu – wersja 2



		$h=$	$2.35$	$m$		
$x/h$	$y/h$				X	Y
0	0.126				0.00	0.30
0.1	0.036				0.24	0.08
0.2	0.007				0.47	0.02
0.3	0				0.71	0.00
0.4	0.006				0.94	0.01
0.5	0.027				1.18	0.06
0.6	0.06				1.41	0.14
0.7	0.1				1.65	0.24
0.8	0.146				1.88	0.34
0.9	0.198				2.12	0.47
1	0.256				2.35	0.60
1.1	0.321				2.59	0.75
1.2	0.394				2.82	0.93
1.3	0.475				3.06	1.12
1.4	0.564				3.29	1.33
1.5	0.661				3.53	1.55
1.6	0.764				3.76	1.80
1.7	0.873				4.00	2.05
1.8	0.987				4.23	2.32
1.9	1.108				4.47	2.60
2	1.235				4.70	2.90
2.1	1.369				4.94	3.22
2.2	1.508				5.17	3.54
2.3	1.653				5.41	3.88
2.4	1.804				5.64	4.24
2.5	1.96				5.88	4.61
2.6	2.122				6.11	4.99
2.7	2.279				6.35	5.36
2.8	2.462				6.58	5.79
2.9	2.64				6.82	6.20
3	2.824				7.05	6.64
3.1	3.013				7.29	7.08
3.2	3.207				7.52	7.54
3.3	3.405				7.76	8.00
3.4	3.609				7.99	8.48
3.5	3.818				8.23	8.97
3.6	4.031				8.46	9.47
3.7	4.249				8.70	9.99
3.8	4.471				8.93	10.51
3.9	4.698				9.17	11.04
4	4.93				9.40	11.59
4.5	6.2				10.58	14.57

## ***Profil przelewu – kształt i wymiary korpusu***

*Promień krzywizny – przejścia korpusu jazowego w nieckę wypadową*

$$0.75 \cdot h < r < h + 0.2 \cdot p^{0.5}$$

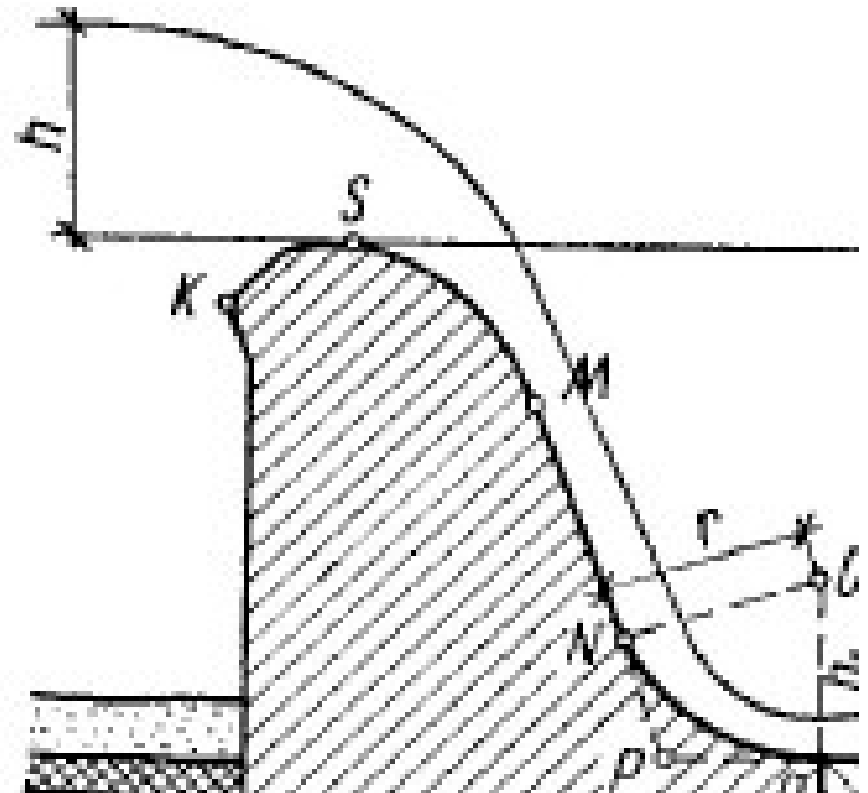
*h – wysokość strugi na przelewie (h = 2.35 m),*

*p – wysokość ściany spadowej (p = W+d = 5.15+0.9 = 6.05 m)*

$$1.76 \text{ m} < r < 2.84 \text{ m}$$

*Przyjmuję promień krzywizny:*

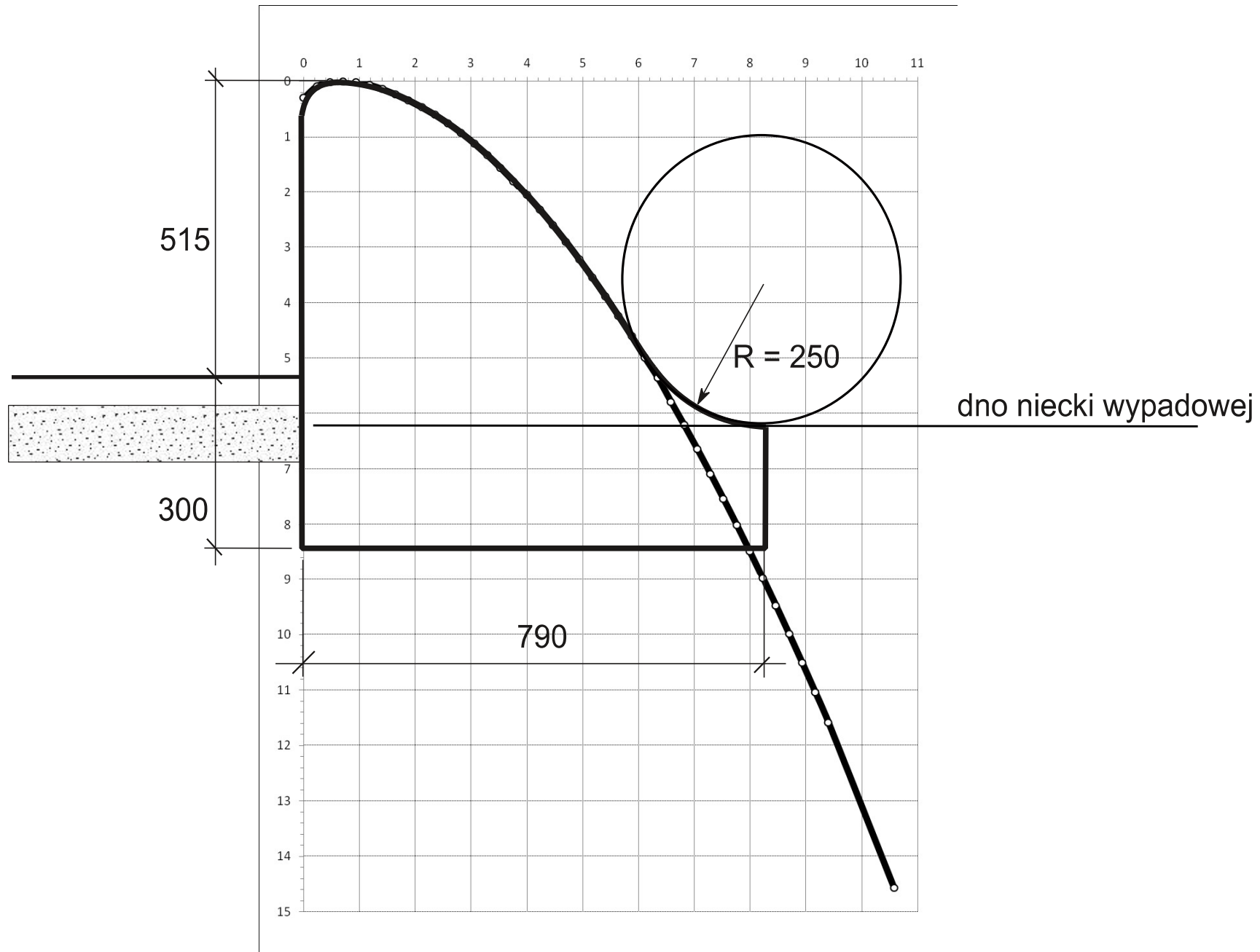
$$**r = 2.5 m**$$



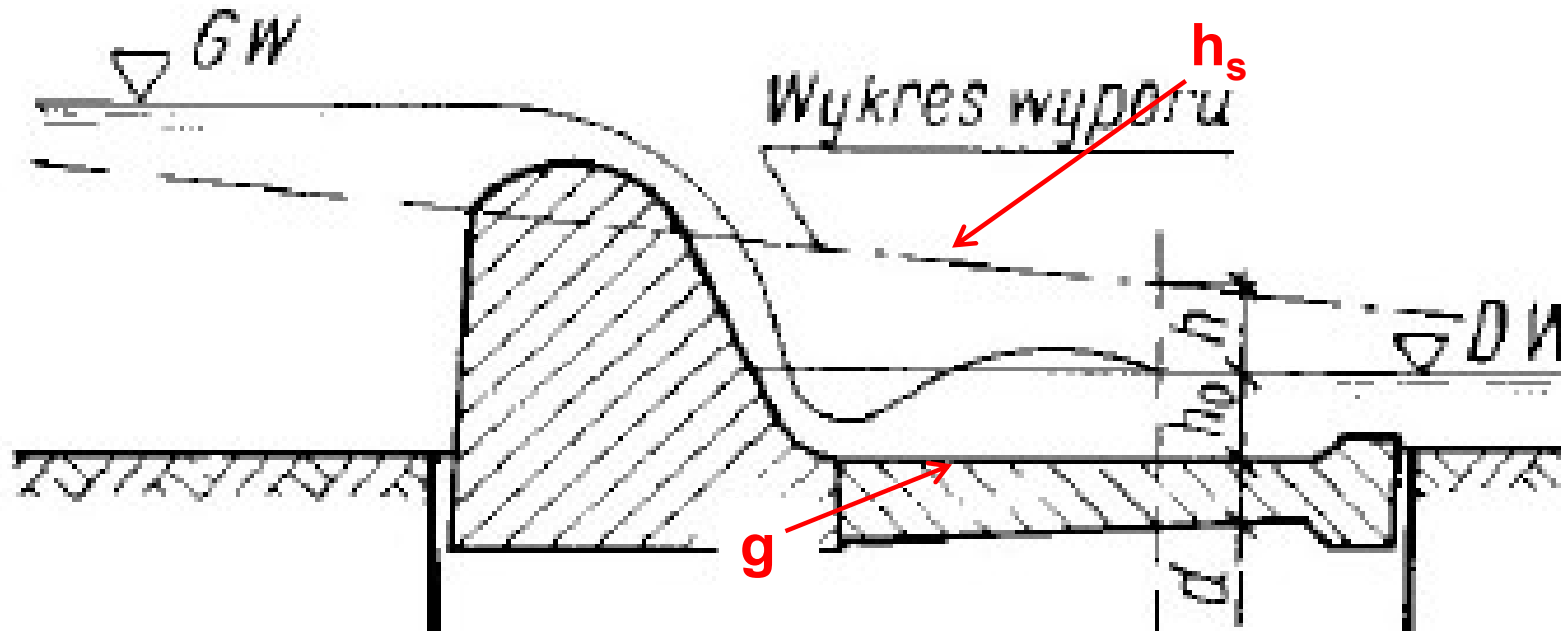


# Profil przelewu – kształt i wymiary korpusu

NPP = W.G.



## *Wymiarowanie płyty wypadowej*



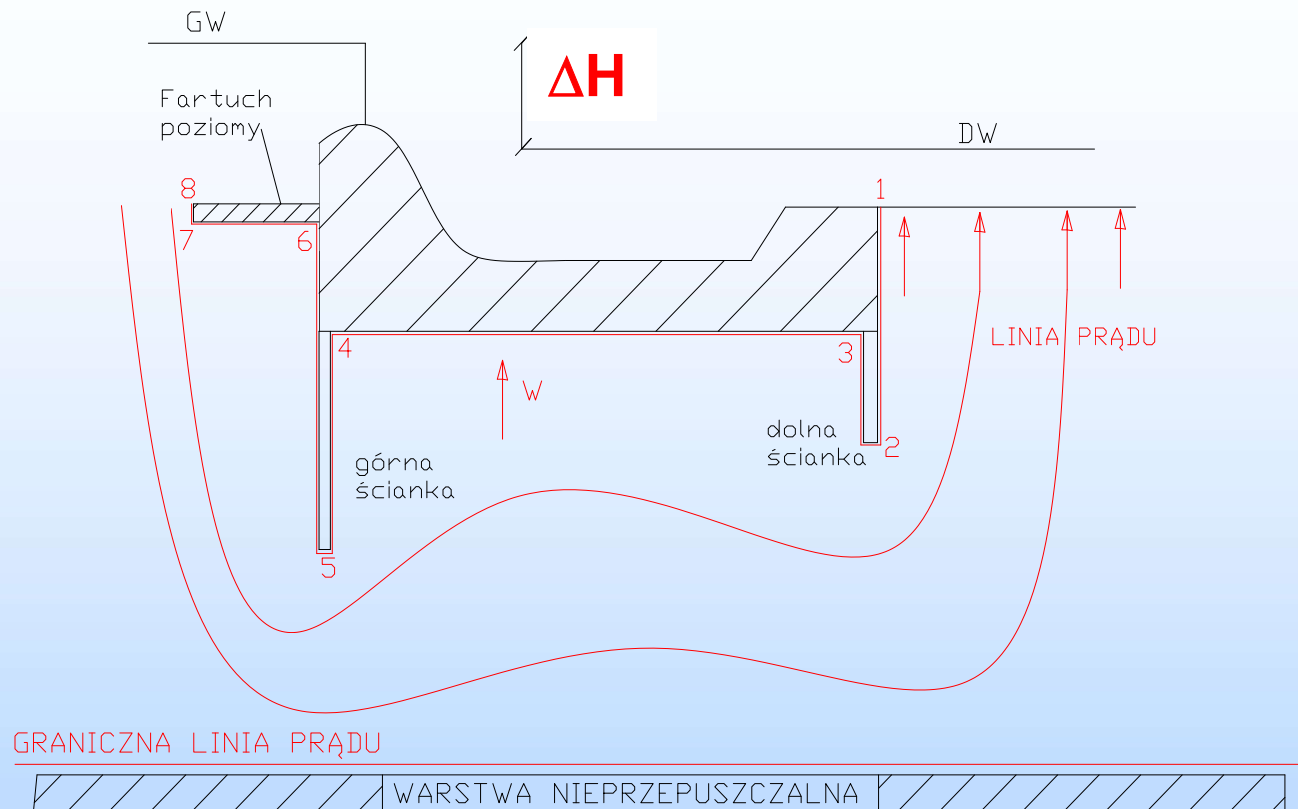
*Zagłębienie niecki wypadowej:  $d = 0.90 \text{ m}$*

*Długość niecki wypadowej  $L = 17.5 \text{ m}$*

*Minimalna grubość płyty wypadowej:  $g_{\min} = 0.85 \times h_s$*

*$h_s$  – różnica poziomów pomiędzy linią wyporu i wodą dolną przy normalnym poziomie piętrzenia i przepływie minimalnym*

# Filtracja pod budowlą



$I_p$  – potrzebna (minimalna) droga filtracji

$$I_{rz} > I_p = C \cdot \Delta H$$

$$\Delta H = H - H_{min} = 7.5 - 0.14 = 7.36 \text{ m}$$

# Filtracja pod budowlą

## WSPÓŁCZYNNIK C

na podstawie Tablica :

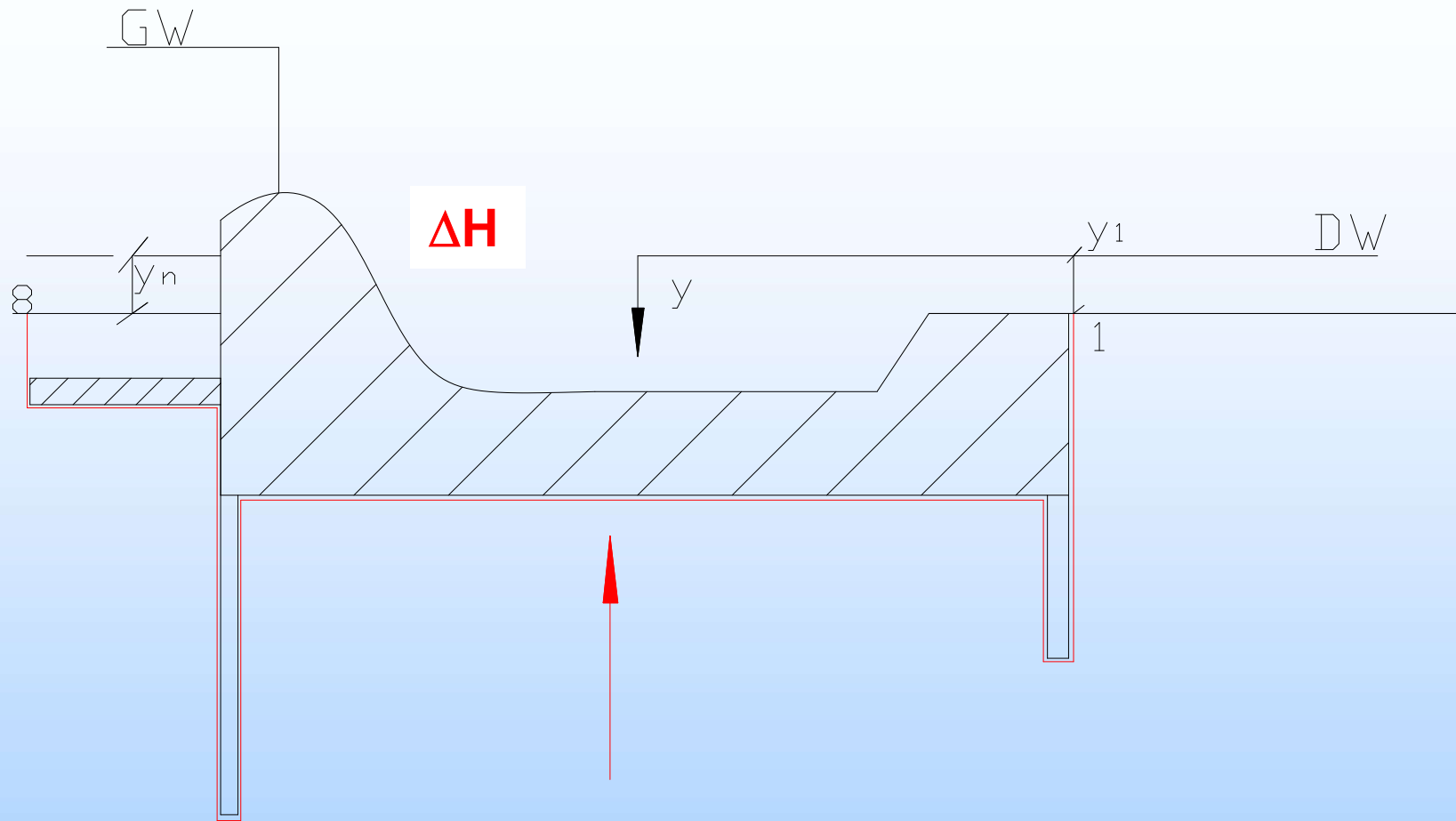
Rodzaj gruntu według PN-54/B-02480	Metoda	
	Bligha	
Piasek pylasty, pyły (muły)	18	
Piasek drobnoziarnisty	15	
Piasek średnioziarnisty	13	
Piasek gruboziarnisty	12	
Pospólka	9	
Żwiry	7	
Rumosze i zwietrzliny	-	
Zwały kamieniste	-	
Glina średniospoista	8	

$$I_{rz} > I_p = C \cdot 7.36$$

Według Bligh'a:  $I_p = 13 \times 7.36 = 95.68 \text{ m}$

Według Lane'a:  $I_p = 6 \times 7.36 = 44.16 \text{ m}$

# Filtracja pod budowlą



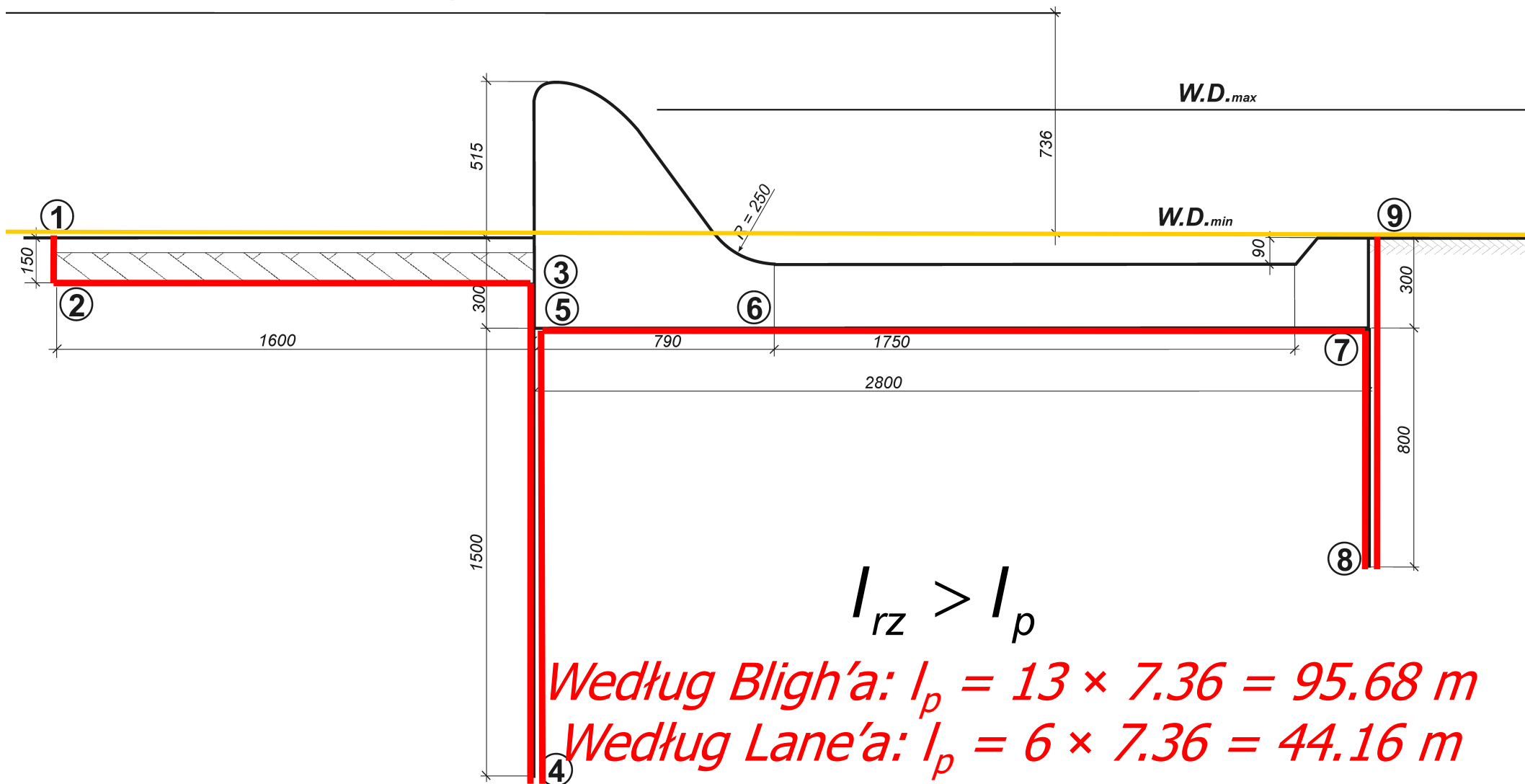
$$I_{rz} > I_p$$

Według Bligh'a:  $I_{rz} = \Sigma l_i + \Sigma h_i$

Według Lane'a:  $I_{rz} = 0.333 \times \Sigma l_i + \Sigma h_i$

# Filtracja pod budowlą

NPP = W.G.



$$l_{rz} > l_p$$

Według Bligh'a:  $l_p = 13 \times 7.36 = 95.68 \text{ m}$

Według Lane'a:  $l_p = 6 \times 7.36 = 44.16 \text{ m}$

Według Bligh'a:  $l_{rz} = 3+8+8+28+15+15+1.5+16+1.5 = 96 \text{ m} > l_p$

Według Lane'a:  $l_{rz} = 0.333 \times (28+16) + 3+8+8+15+15+1.5+1.5 = 66.7 \text{ m} > l_p$



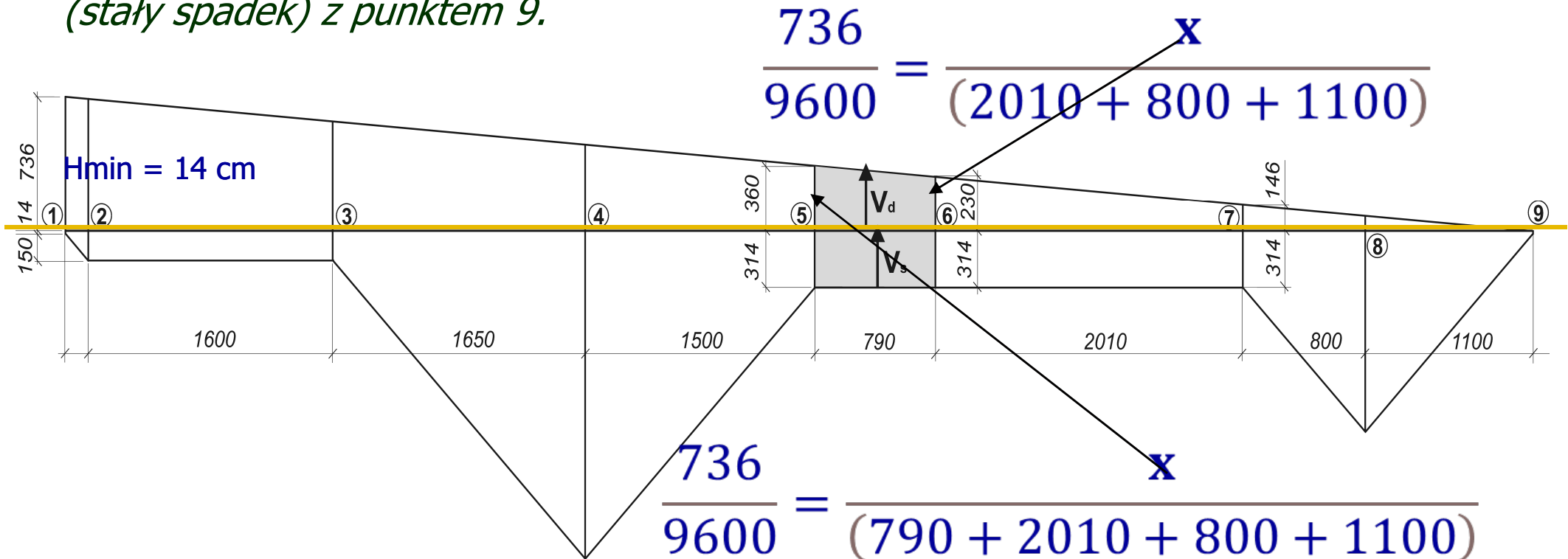


# Wypór

Ponieważ prędkość i spadek linii ciśnień piezometrycznych są wielkościami stałymi (założenie Bligh'a) możemy sporządzić wykres ciśnień hydrodynamicznych na całej długości obrysu podziemnego budowli.

Wykres dzielimy na dwie części:

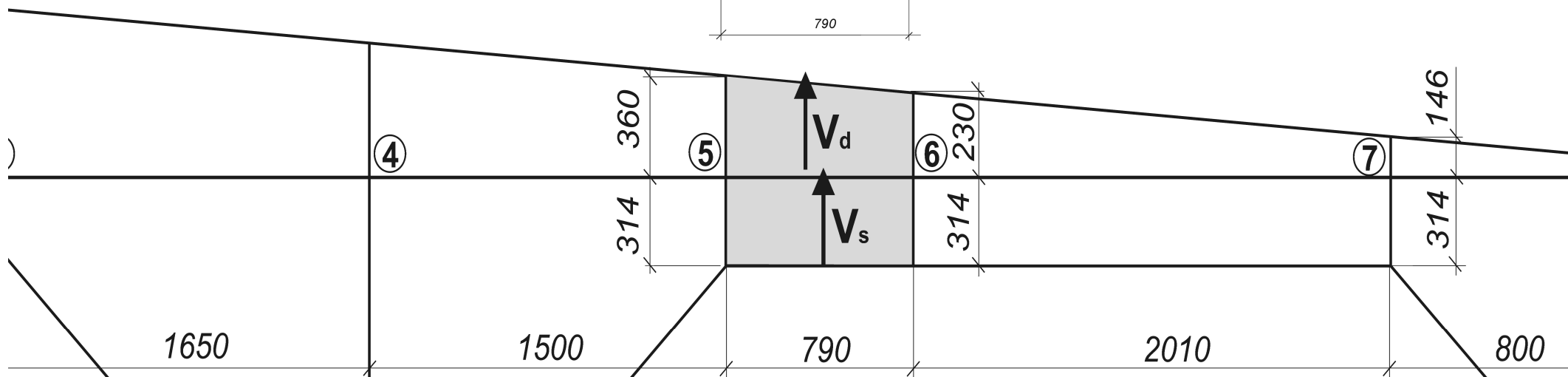
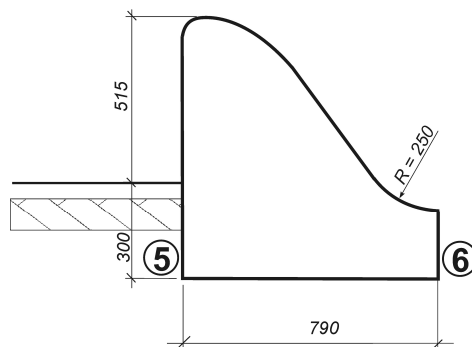
- dolna przedstawia wykres ciśnień wynikających z głębokości położenia poszczególnych punktów obrysu budowli poniżej poziomu odniesienia (zwierciadła W.D.),
- górna przedstawia spadek ciśnienia hydrodynamicznego – w punkcie 1 odmierzymy  $\Delta H$  (różnica poziomów pomiędzy W.G i W.D.) i otrzymany punkt łączymy prostą (stały spadek) z punktem 9.



# Wypór

Obliczamy wypór działający na korpus jazu:  $V = V_s + V_d$

NPP = W.G.



Pole bryły wyporu statycznego (na 1 mb szerokości jazu):  $F_s = 3.14 \times 7.90 = 24.806 \text{ m}^2$

$$V_s = F_s \times \gamma_{\text{wody}} = 24.806 \times 9.81 = 243.35 \text{ kN/mb}$$

Pole bryły wyporu dynamicznego (na 1 mb szerokości jazu):  $F_d = 0.5(3.6 + 2.3) \times 7.90 = 23.305 \text{ m}^2$

$$V_d = F_d \times \gamma_{\text{wody}} = 23.305 \times 9.81 = 228.62 \text{ kN/mb}$$

# Wypór

Wypór całkowity wynosi:  $V = V_s + V_d = 243.35 + 228.62 = 471.97 \text{ kN/m}$

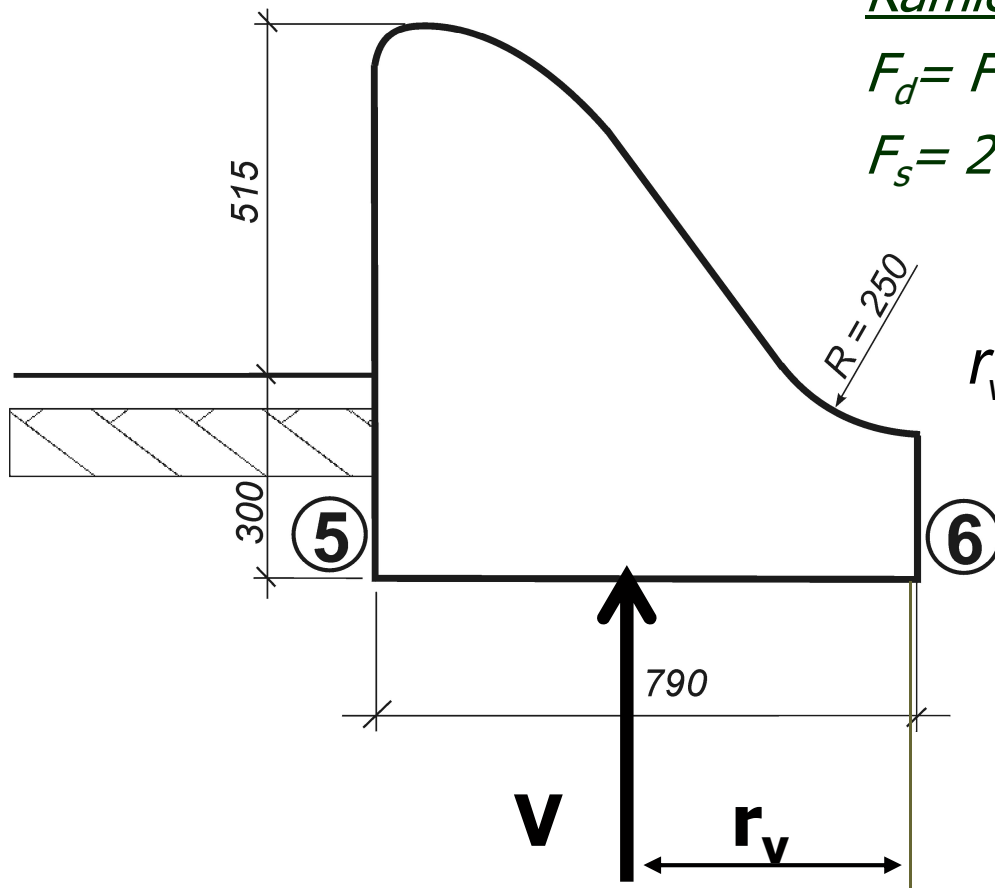
NPP = W.G.

Ramię siły wyporu względem punktu 6 -  $r_v$ :

$$F_d = F_{d1} + F_{d2} \rightarrow 23.305 \text{ m}^2 = 5.135 + 18.17$$

$$F_s = 24.806 \text{ m}^2$$

$$r_v = \frac{0.667 \cdot F_{d1} + 0.5 \cdot F_{d2} + 0.5 \cdot F_s}{F_{d1} + F_{d2} + F_s} \cdot 7.9$$



$$r_v = \frac{0.667 \cdot 5.135 + 0.5 \cdot 18.17 + 0.5 \cdot 24.806}{5.135 + 18.17 + 24.806} \cdot 7.9 = \frac{24.911}{48.111} \cdot 7.9 = 4.09 \text{ m}$$

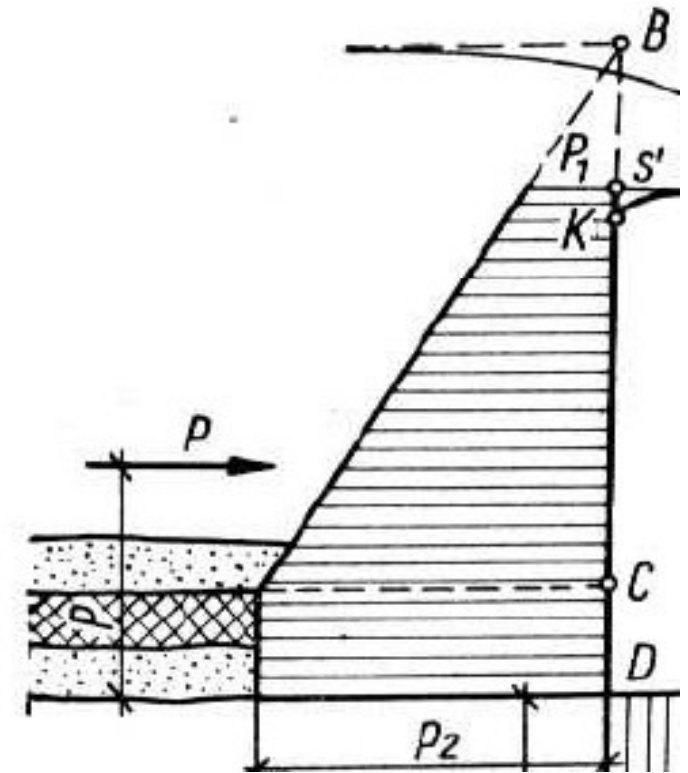
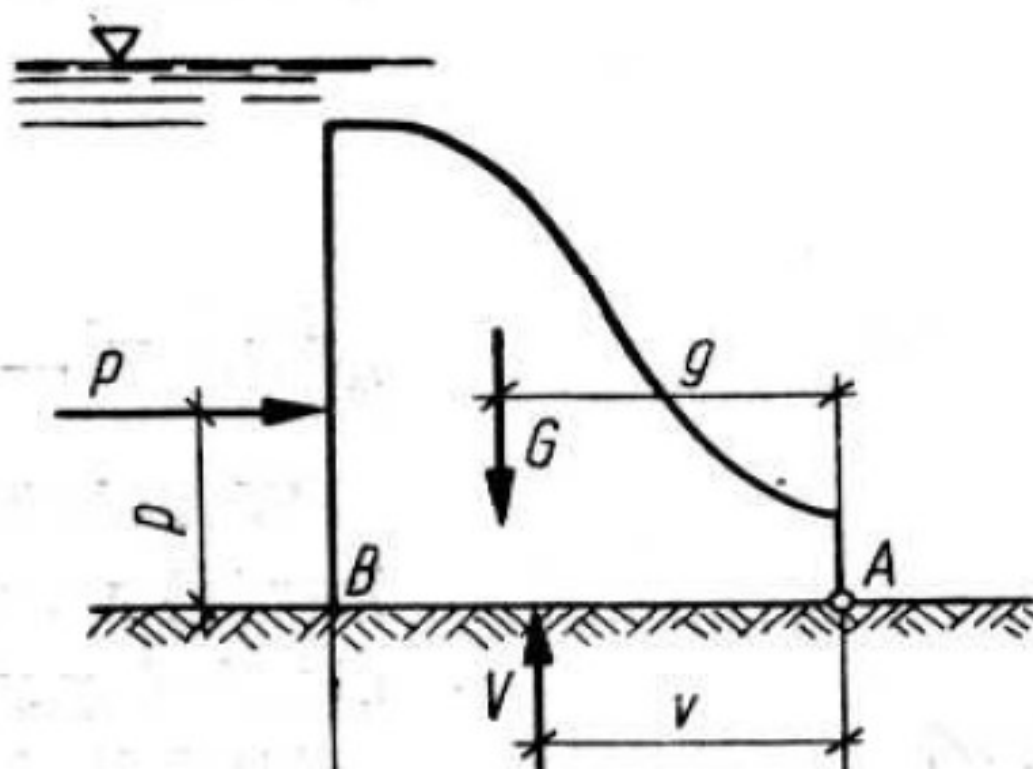
# Ocena stateczności budowli hydrotechnicznych

## Według:

**„Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”**

- § 29. Obliczanie stateczności i nośności budowli hydrotechnicznych wykonuje się według metod określonych w Polskich Normach dotyczących tych obliczeń.
- § 30. Budowle hydrotechniczne żelbetowe i kamienne oraz wykonane z betonu słabo zbrojonego posadowione na podłożu nieskalnym powinny spełniać warunki bezpieczeństwa w zakresie:
- 1) przekroczenia obliczeniowego oporu granicznego podłoża gruntowego;
  - 2) poślizgu po podłożu lub w podłożu;
  - 3) przekroczenia dopuszczalnych wartości osiadań i różnicy osiadań oraz przechylenia;
  - 4) przebicia hydraulicznego i sufozji gruntu podłoża i przyczółków;
  - 5) nośności konstrukcji;
  - 6) wystąpienia nadmiernych ciśnień w podstawie budowli hydrotechnicznej oraz w podłożu.

# Ocena stateczności jazu



Warunek stateczności dla stanu granicznego nośności:

„Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”

$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$



# Ocena stateczności jazu

**$E_{stab}$**  - obliczeniowe oddziaływania stabilizujące, którymi są:

- obliczeniowy opór graniczny podłoża gruntowego,
- suma rzutów na płaszczyznę poślizgu wszystkich sił od obciążeń obliczeniowych przeciwdziałających przesunięciu, wyznaczonych z uwzględnieniem obliczeniowych wartości parametrów geotechnicznych,
- moment wszystkich sił obliczeniowych przeciwdziałających obrotowi,
- składowa pionowa obciążeń obliczeniowych w poziomie posadowienia przy sprawdzaniu stateczności na wypłynięcie.

**$E_{dest}$**  - obliczeniowe oddziaływania destabilizujące, którymi są:

- obciążenia przekazywane przez fundamenty na podłoże gruntowe,
- składowa styczna wszystkich obciążeń obliczeniowych mogących spowodować przesunięcia budowli hydrotechnicznej w płaszczyźnie poślizgu,
- momenty wszystkich sił obliczeniowych mogących spowodować obrót,
- składowa pionowa wartości obliczeniowej wyporu w poziomie posadowienia przy sprawdzaniu stateczności na wypłynięcie.

$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$

# Ocena stateczności jazu

## Warunek stateczności dla stanu granicznego nośności:

„Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”

### WSPÓŁCZYNNIKI KONSEKWENCJI ZNISZCZENIA BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH (Z WYŁĄCZENIEM SKARP I ZBOCZY)

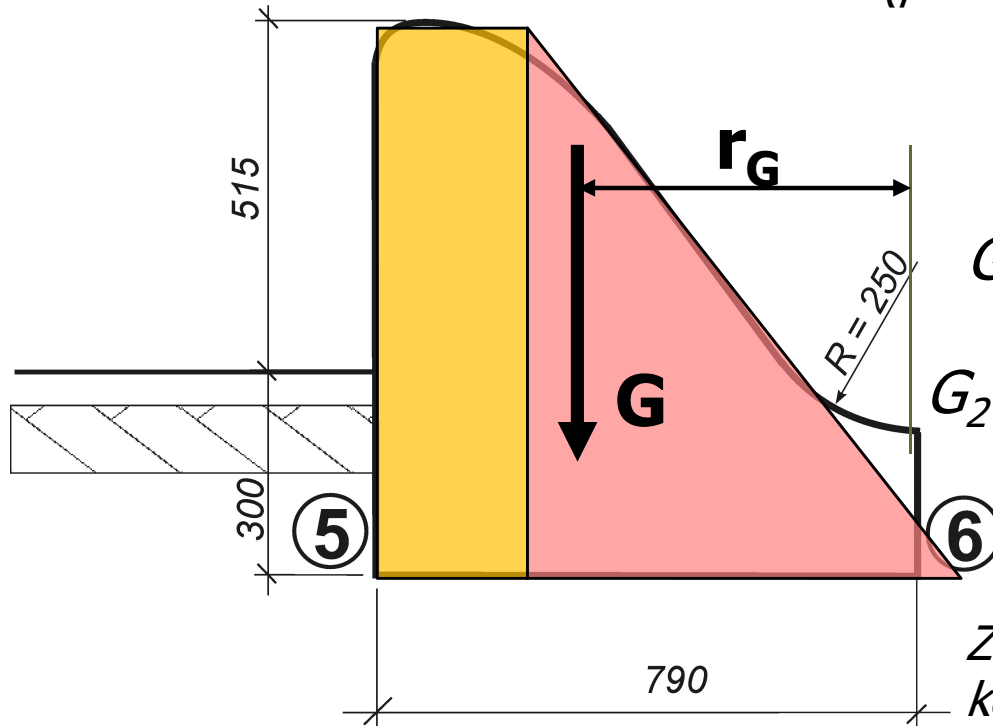
Dla klasy budowli	Współczynnik konsekwencji zniszczenia budowli hydrotechnicznej		
	I	II	III
Podstawowy układ obciążeń	1,20	1,15	1,10

# ***Siły działające na korpus***

## ***Ciężar własny korpusu - G***

$$NPP = W.G.$$

W celu określenia środka ciężkości i pola powierzchni korpusu jazu został on podzielony na dwie figury (prostokąt i trójkąt)



$$\mathbf{G = G_1 + G_2}$$

$$G_1 = (7.95 \times 1.8) \times 24 = 343.44 \text{ kN/mb}$$

$$G_2 = 0.5(7.95 \times 6.8) \times 24 = 648.72 \text{ kN/mb}$$

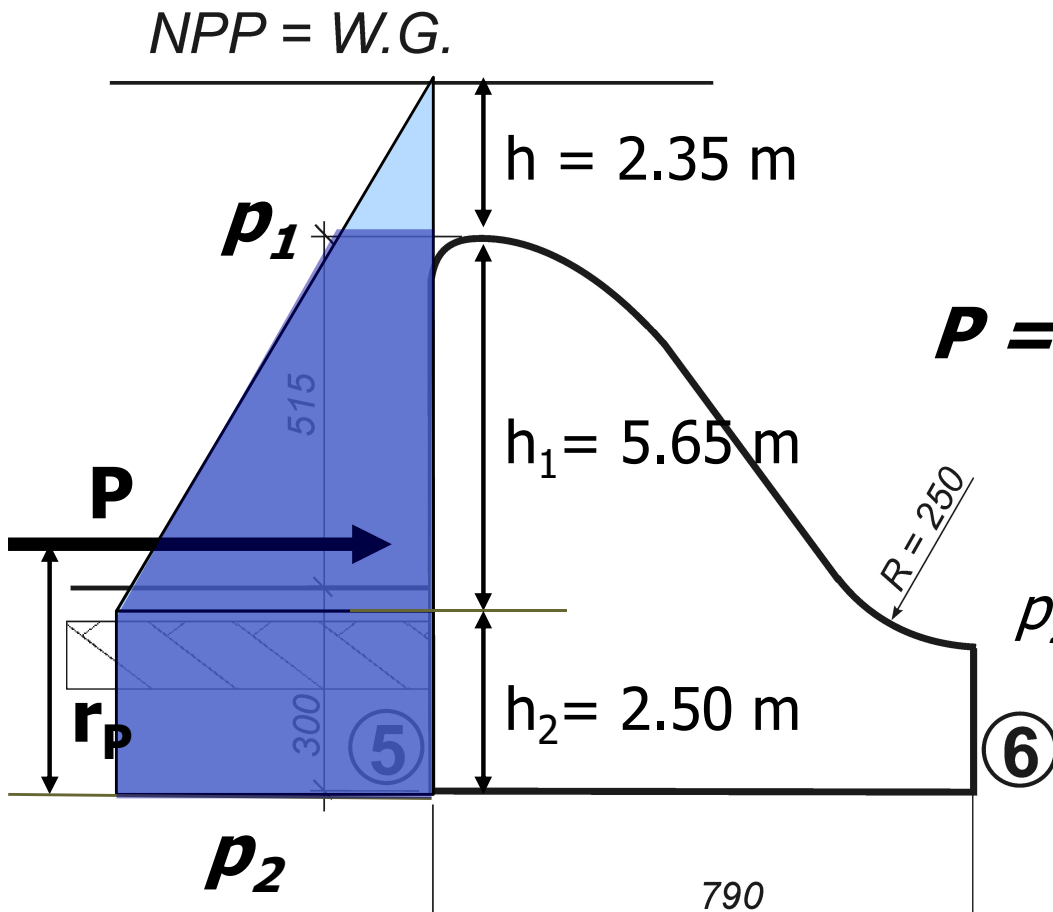
*Ze względu na pominięcie niektórych fragmentów korpusu należy zwiększyć przekrój o 10 %:*

$$\mathbf{G = 1.1(G_1 + G_2) = 1091.4 \text{ kN/mb}}$$

$$r_G = \frac{7.0 \cdot G_1 + 3.83 \cdot G_2}{G_1 + G_2} = \frac{4888.7}{992.16} = 4.93 \text{ m}$$

# Siły działające na korpus

## Parcie wody - P



$$P = 0.5(p_1 + p_2)h_1 + p_2h_2$$

$$p_1 = 9.81 \times 2.35 = 23.05 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 9.81 \times (2.35 + 5.65) = 78.48 \text{ kN/m}^2$$

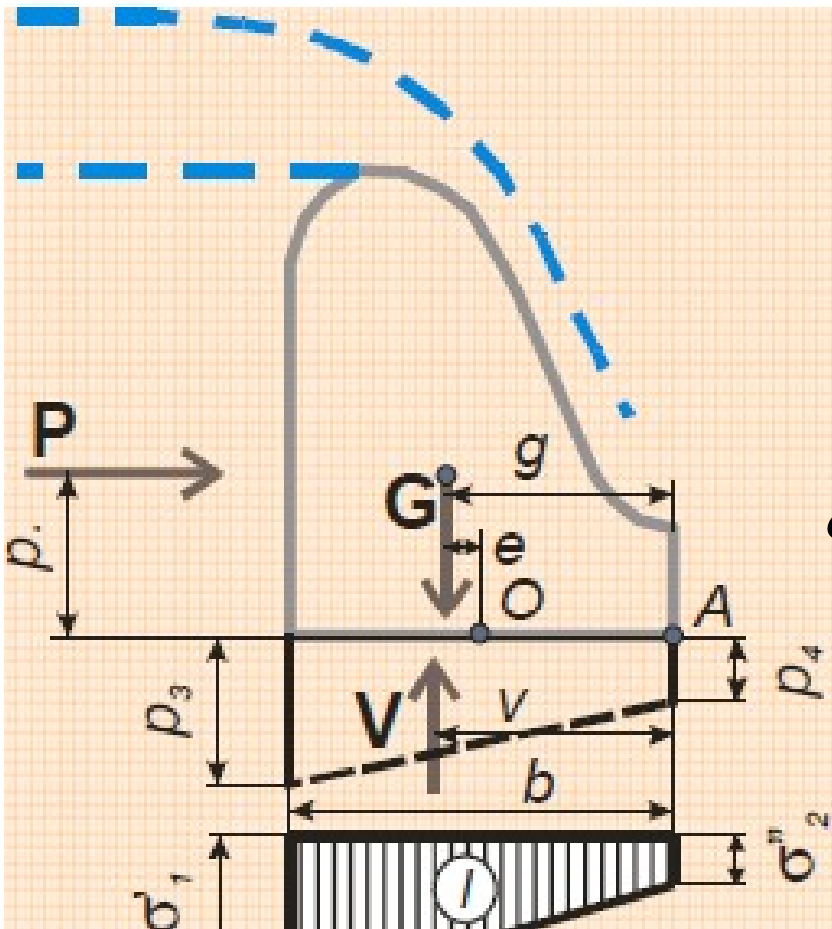
$$P = 0.5 \times (23.05 + 78.48) \times 5.65 + 78.48 \times 2.5$$

$$P = 286.82 + 196.20 = 483.02 \text{ kN/m}$$

$$r_P = \frac{0.5 \cdot 2.5 \cdot 196.20 + \left( 2.5 + 0.33 \cdot 5.65 \frac{2 \cdot 23.05 + 78.48}{23.05 + 78.48} \right) \cdot 286.82}{196.20 + 286.82} = \frac{1625.11}{483.02} = 3.36 \text{ m}$$

## Sprawdzenie naprężeń pod budowlą

Sprawdzenie naprężeń w podstawie fundamentu jazu wyl stanu budowlanego i eksploatacyjnego.



dla stanu budowlanego: 
$$\sigma'_{1,2} = \frac{G}{B} \left( 1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

gdzie: 
$$e = g - \frac{1}{2}B$$

dla stanu eksploatacyjnego: 
$$\sigma''_{1,2} = \sigma'_{1,2} \pm \frac{6P \cdot l}{B^2}$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{b} \pm \frac{6 \times M}{b^2}$$

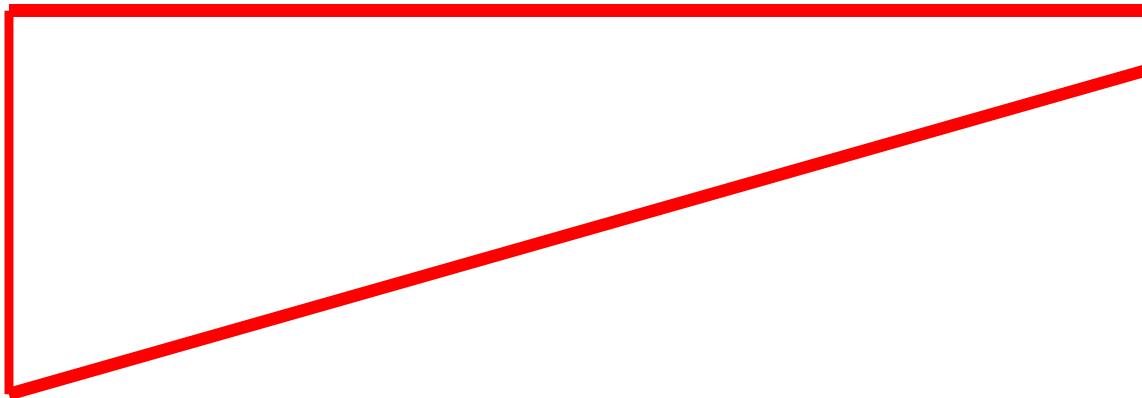
# *Sprawdzenie naprężeń pod budowlą*

## **Stan budowlany**

$$\sigma'_{1,2} = \frac{G}{b} \pm \frac{6 \times M}{b^2} = \frac{G}{b} \pm \frac{6 \times G \cdot (r_g - 0,5 \cdot b)}{b^2}$$

$$\sigma'_{1,2} = 1091.4 \left( \frac{1}{7.9} \pm \frac{6 \cdot (4.93 - 0.5 \cdot 7.9)}{7.9^2} \right) = 138.15 \pm 102.83$$

$$\sigma'_1 = 240.98 \text{ kPa} \quad \sigma'_2 = 35.32 \text{ kPa}$$



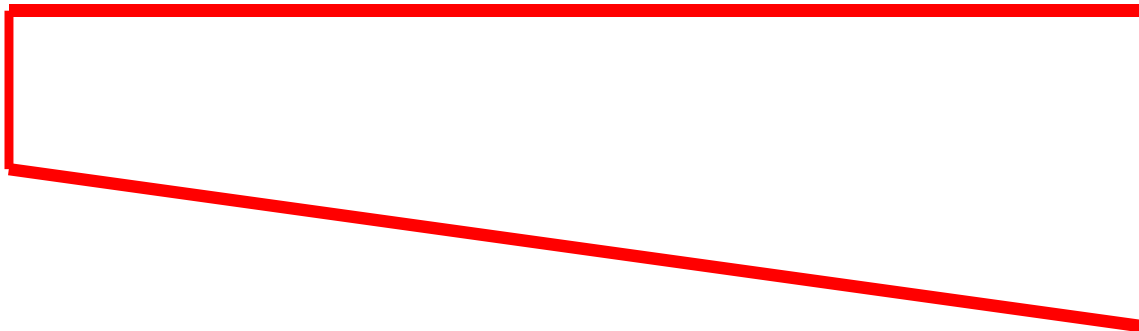
## *Sprawdzenie naprężeń pod budowlą*

### **Stan eksploatacyjny (bez wyporu)**

$$\sigma''_{1,2} = \sigma'_{1,2} \pm \frac{6 \times P \cdot r_p}{b^2} = \sigma'_{1,2} \pm \frac{6 \times 483.02 \cdot 3.36}{7.9^2} = \sigma'_{1,2} \pm 156.03$$

$$\sigma''_1 = \sigma'_1 - 156.03 = 240.98 - 156.03 = 84.95 \text{ kPa}$$

$$\sigma''_2 = \sigma'_2 + 156.03 = 35.32 + 156.03 = 191.35 \text{ kPa}$$





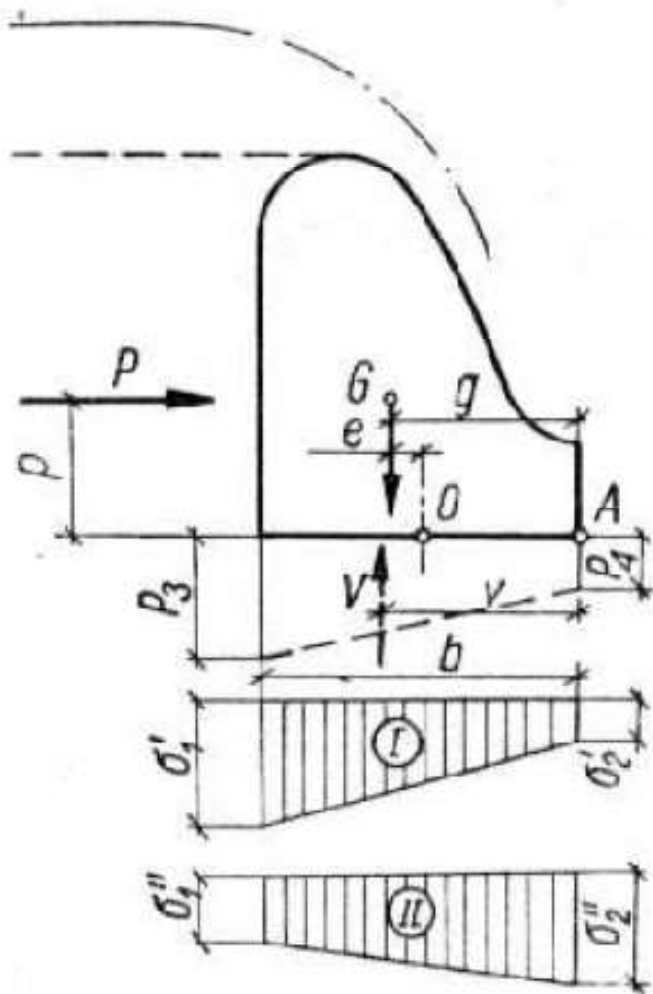
# Sprawdzenie naprężeń pod budowlą

Stan eksploatacyjny (z uwzględnieniem wyporu)

Siła normalna w płaszczyźnie fundamentu  $N''' = G - V$

Moment zginający  $M''' = Pp + Ve' - Ge$

gdzie:  $e = g - \frac{1}{2}b$ ;  $e' = v - \frac{1}{2}b$



$$\sigma_1''' = \frac{G - V}{b} - \frac{6(Pp + Ve' - Ge)}{b^2}$$

$$\sigma_2''' = \frac{G - V}{b} + \frac{6(Pp + Ve' - Ge)}{b^2}$$

# *Sprawdzenie naprężeń pod budowlą*

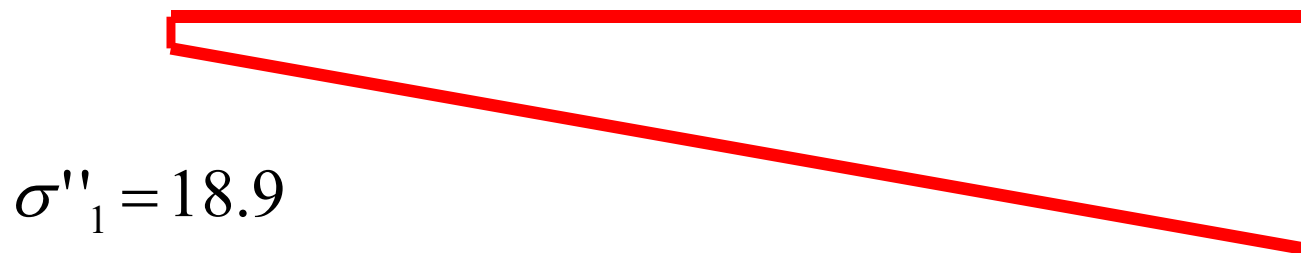
## **Stan eksploatacyjny (z wyporem)**

$$\sigma''_{1,2} = \frac{G - V}{b} \pm \frac{6 \times M}{b^2} = \frac{G - V}{b} \pm \frac{6 \times [P \cdot r_p + V \cdot (r_v - 0,5 \cdot b) - G \cdot (r_g - 0,5 \cdot b)]}{b^2}$$

$$\sigma''_{1,2} = \frac{1091.4 - 472}{7.9} \pm$$

$$\pm \frac{6 \times [483 \cdot 3.36 + 472 \cdot (4.09 - 0,5 \cdot 7.9) - 1091.4 \cdot (4.93 - 0,5 \cdot 7.9)]}{7.9^2}$$

$$\sigma''_{1,2} = 78.4 \pm \frac{6 \times [1622.9 + 66.1 - 1069.6]}{7.9^2} = 78.4 \pm 59.5$$



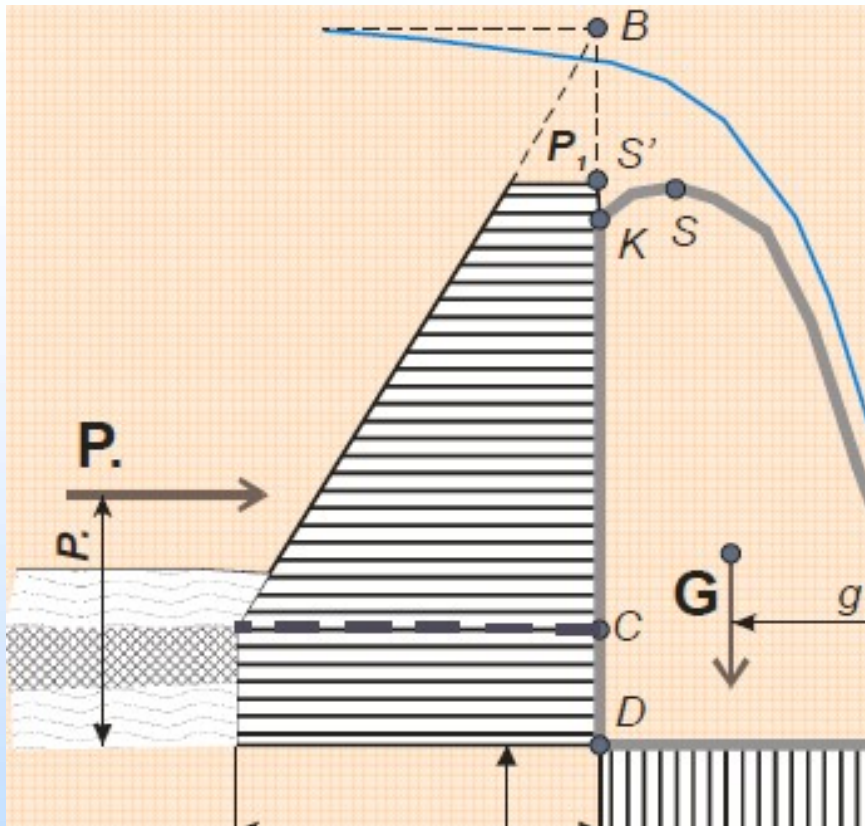
$$\sigma''_2 = 137.9$$

# *Sprawdzenie naprężeń pod budowlą*

Obliczone naprężenia w postawie fundamentu muszą spełniać 2 warunki:

- największe naprężenie normalne  $\sigma'_1$ , lub  $\sigma''_2$  powinno być mniejsze od dopuszczalnego obciążenia jednostkowego dla danego gruntu, na założonej głębokości fundamentowania.
- najmniejsze naprężenie pod fundamentem w stanie eksploatacyjnym  $\sigma''$  powinno być większe, a co najmniej równe wartości ciśnienia wyporu w tymże punkcie fundamentu. Warunek ten jest istotny ze względu na zapewnienie dobrego docisku między korpusem jazu a podłożem gruntowym. W przypadku gdyby okazało się, że spełnienie tego warunku jest niemożliwe, wówczas należy dążyć do zredukowania siły wyporu pod budowlą (wydłużenie drogi filtracji (dłuższy ponur, ścianka szczelna) lub/i drenaż).

# Sprawdzenie stateczności na przesunięcie



$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$

$$E_{dest} = P \times \gamma_f = 483.0 \times 1.1 = 531.3 \text{ kN/mb}$$

$$E_{stab} = (G \times \gamma_f - V \times \gamma_f) \times \mu - F \times c$$

$\mu$  - współczynnik tarcia między podstawą korpusu a gruntem podłoża

$$E_{stab} = (1091.4 \times 0.9 - 472.0 \times 1.1) \times 0.55$$

$$E_{stab} = 254.7 \text{ kN/mb}$$

Rodzaj gruntu		Stan gruntu	Obliczeniowy kąt tarcia wewnętrznego $\phi^{(r)}$ w stopniach	Współczy
				Fundament ściany oporowej z cegły lub kamienia
Niespoiste	żwiry i pospółki	zagęszczony i średnio	37 ÷ 45	0,50 ÷ 0,55
	piaski grube i średnie		32 ÷ 37	0,45 ÷ 0,50

# Sprawdzenie stateczności na przesunięcie

$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$

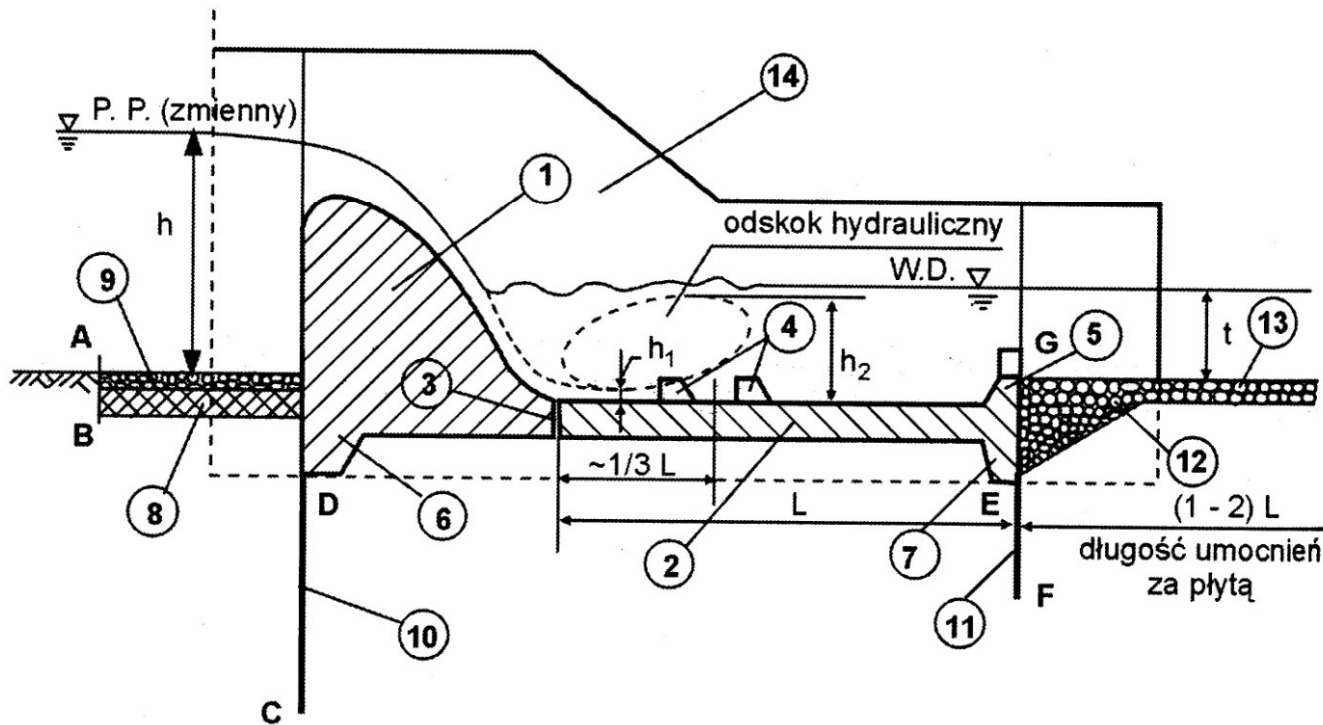
$$E_{dest} = 531.3 \text{ kN/mb}$$

$$E_{stab} = 254.7 \text{ kN/mb}$$

$$1.15 \cdot 531.3 \leq 0.8 \cdot 254.7$$

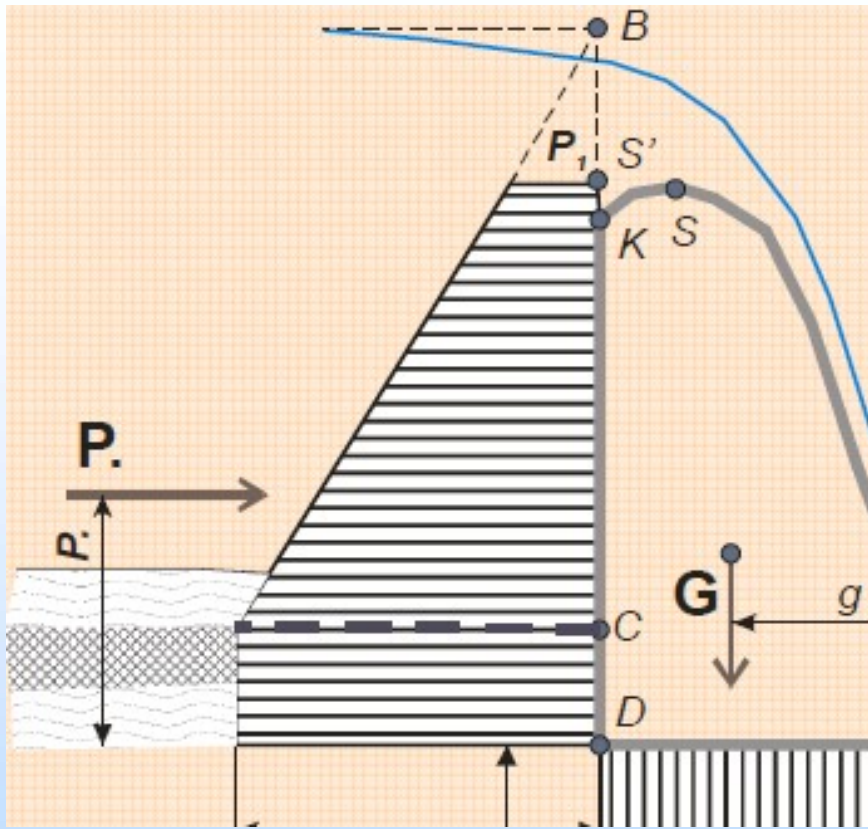
$$610.0 \leq 203.8$$

**Z uwagi na niespełniony warunek zastosowano żąb w korpusie jazu**





# Sprawdzenie stateczności na obrót



$$\gamma_n \cdot E_{dest} \leq m \cdot E_{stab}$$

$$E_{dest} = P \times r_P \times \gamma_f$$

$$E_{stab} = (G \times r_G \times \gamma_f - V \times r_V \times \gamma_f)$$

$$E_{dest} = 483 \times 3,36 \times 1,1 = 1785,1 \text{ kNm/m}$$

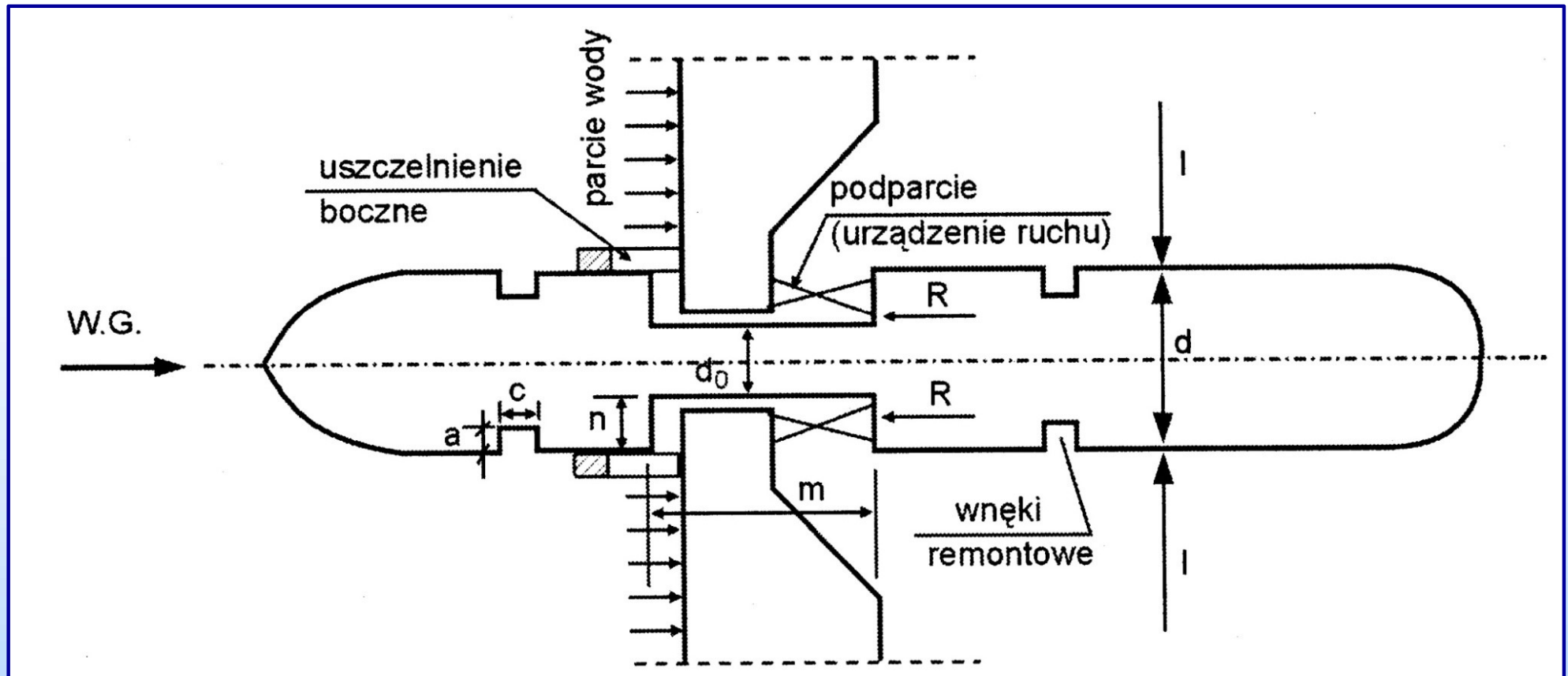
$$E_{stab} = (1091,4 \times 4,93 \times 0,9 - 472 \times 4,09 \times 1,1) = 2719,01 \text{ kNm/m}$$

$$1,15 \cdot 1785,1 \leq 0,9 \cdot 2719,0$$

$$2052,9 \leq 2447,1$$

**warunek spełniony**

# Elementy składowe jazu ruchomego - filar



- filary stanowią oparcie dla zamknięć i przenoszą duże siły wywołane parciem wody na zamknięcia;
- w filarach umieszcza się mechanizmy wyciągowe zamknięć oraz inne urządzenia pomocnicze;
- wymiary filarów uzależnia się od rodzaju zamknięcia oraz od rozpiętości przęsła  $l$ :

$$a = c = 0,4 - 0,5 [m]; \quad m = (1/7 - 1/10) l; \quad n = m/2 (0,7 - 2,0 [m])$$

$$d_0 = 1,0 - 1,5 [m]; \quad d = d_0 + 2n$$



# Określenie poziomu piętrzenia dla przepływu kontrolnego

Wydatek przelewu jazowego:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot b \cdot \sqrt{2g \cdot h_0} = M \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot b \cdot \left( h + \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}}$$

**Przepływ kontrolny („ $Q_k$ ”) — dla klasy II  $\rightarrow p = 0,05\%$   $\rightarrow Q_k = 250 \text{ m}^3/\text{s}$**

Dla przelewu o kształcie opływowym (praktycznym):  **$M = 2.36$**

$$\underline{\underline{h_{max} = h (P.kontr.) = 2.75 \text{ m}}}$$

$$\varepsilon = 1 - 0.2 \cdot n \cdot \frac{h}{b} \cdot \xi = 1 - 0.2 \cdot 2 \cdot \frac{2.75}{24} \cdot 0.7 = 0.968$$

**Wydatek przelewu jazu:**  $Q = M \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \varepsilon \cdot \sigma$

$$Q = 2.36 \cdot 24 \cdot 2.75^{\frac{3}{2}} \cdot 0.968 \cdot 1.0 = 250.01 \text{ m}^3 / \text{s} > Q_k$$

## ***Ustalenie maksymalnych rzędnych***

***Rzędna MaxPP = 194.85 + 2.75 = 197.6 m npm (dla  $Q_k$ )***

***Rzędna NPP: 197,2 m npm (dla  $Q_m$ )***

***Minimalna rzędna korony zapory ziemnej:***

***max(MaxPP + 0,3; NPP + 1,0) = max(197,9; 198,2) = 198,2 m npm***

### BEZPIECZNE WZNIESIENIE KORONY STAŁYCH BUDOWLI HYDROTECHN

Rodzaje budowli	Warunki eksploatacji	Bezpieczne wzniesienie korony budowli dla klas I—IV [m]					
		nad statycznym poziomem wody				na wywołanie	
		I	II	III	IV	I	II
Zapory ziemne i obwałowania	maksymalne poziomy wód	2,0	1,5	1,0	0,7	0,7	
	miarodajne przepływy wezbraniowe	1,3	1,0	0,7	0,5	0,5	
	wyjatkowe warunki pracy budowli	0,3	0,3	0,3	0,3	nie u	
Budowle betonowe	maksymalne poziomy wód	1,5	1,0	0,7	0,5	0,5	
	miarodajne przepływy						

# ***Nachylenie skarp zapory ziemnej w przekroju poprzecznym***

***według wytycznych przedstawionych w „Vademecum ochrony przeciwpowodziowej”, rozdział 9.3.1 – tabela 9.6:***

Minimalne współczynniki nachylenia skarpy

L.p.	Rodzaj gruntu	Skarpa odwodna (n)	S odpo
1	piasek drobny	3,0	
2	piasek średni	2,75	
3	piasek gruby	2,50	
4	piasek gliniasty	2,25	

**Według:**

***„Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”***

**§ 29. Obliczanie stateczności i nośności budowli hydrotechnicznych wykonuje się według metod określonych w Polskich Normach dotyczących tych obliczeń.**

**§ 32. Ziemne budowle piętrzące sprawdza się w zakresie:**

- 1) stateczności skarp wraz z podłożem;**
- 2) gradientów ciśnień filtracyjnych i możliwości przebicia lub sufozji;**
- 3) chłonności, wydajności drenaży;**
- 4) wartości osiadań korpusu i odkształceń podłoża budowli hydrotechnicznej;**
- 5) niebezpieczeństwa wystąpienia poślizgu po podłożu i w podłożu;**
- 6) niebezpieczeństwa wyparcia słabego gruntu spod budowli hydrotechnicznej.**

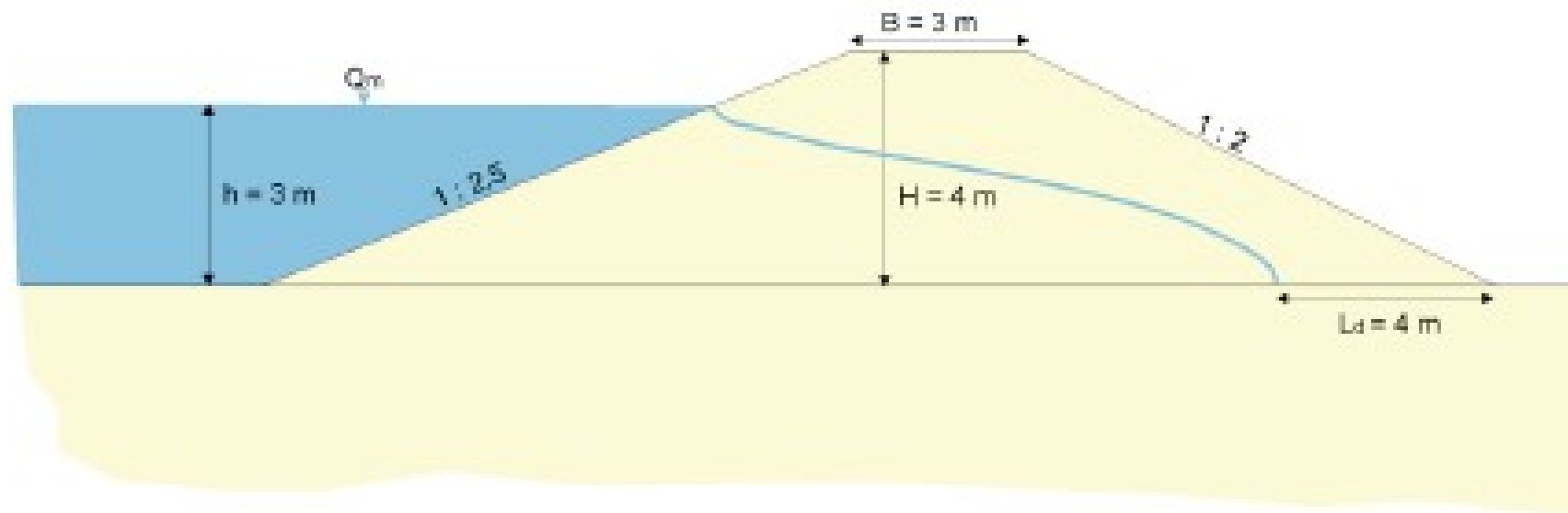
# ***Ocena stateczności korpusu budowli ziemnej***

- **Stateczność korpusu należy sprawdzać w następujących schematach obliczeniowych:**
  - **budowlanym, gdy obwałowanie nie jest obciążone spiętrzoną wodą**
  - **eksploatacyjnym, przy wysokości piętrzenia dla miarodajnego przepływu wezbraniowego, przyjmując położenie krzywej depresji z obliczeń filtracji.**
- **W przypadku występowania w korpusie lub bezpośrednio pod nim gruntów spoistych warunki stateczności budowli hydrotechnicznej należy sprawdzać zarówno w efektywnych jak i w całkowitych parametrach geotechnicznych.**

## 5.2 Ocena stateczności ogólnej wału

Najważniejszym parametrem konstrukcji wału jest jego stateczność. Musi być ona zachowana piętrzenia wody wezbraniowej. Warto zatem wiedzieć jak zmienia się współczynnik stateczności działania wody. Poniżej zostanie przedstawione porównanie zachowania stateczności w BENTOMATEm oraz wału o konstrukcji przepuszczalnej, posadowionym na podłożu przepuszczalnym.

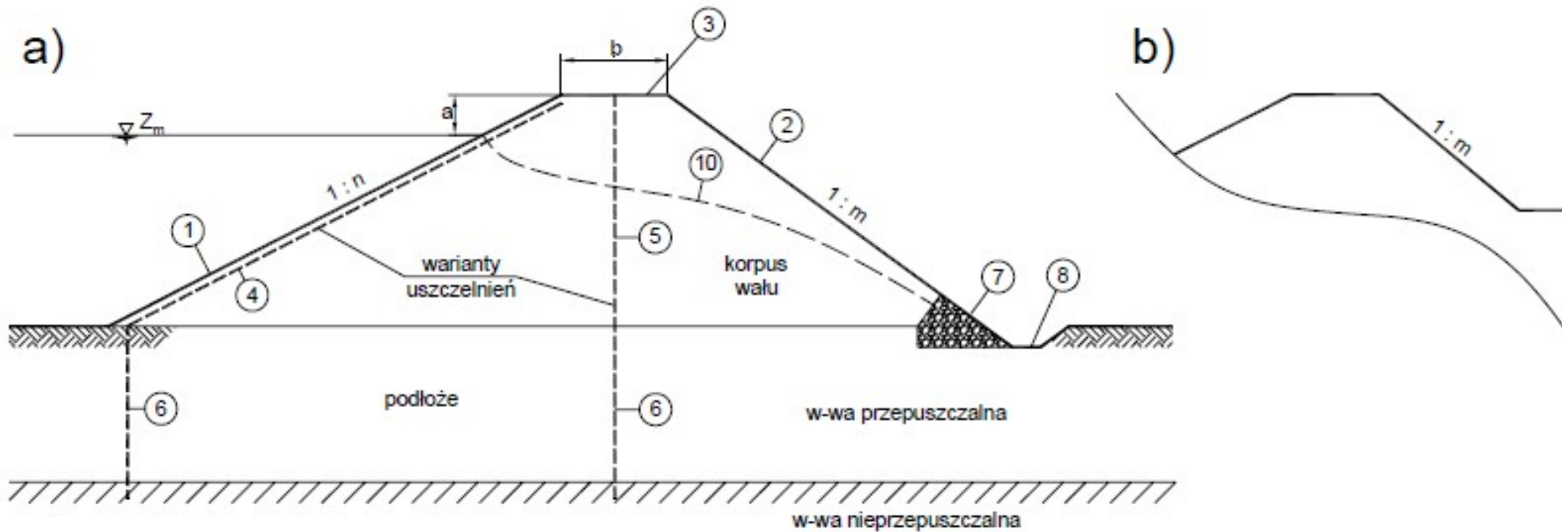
Wał nieuszczelniony:



Do obliczeń położenia krzywej depresji przyjęto długość drenażu  $L_d = 4\text{ m}$ . Wynikiem tych zwiędziadła wrysowana w korpus wału na powyższym schemacie.

Wał uszczelniony BENTOMATEm:

# Obliczanie filtracji przez korpus zapory ziemnej

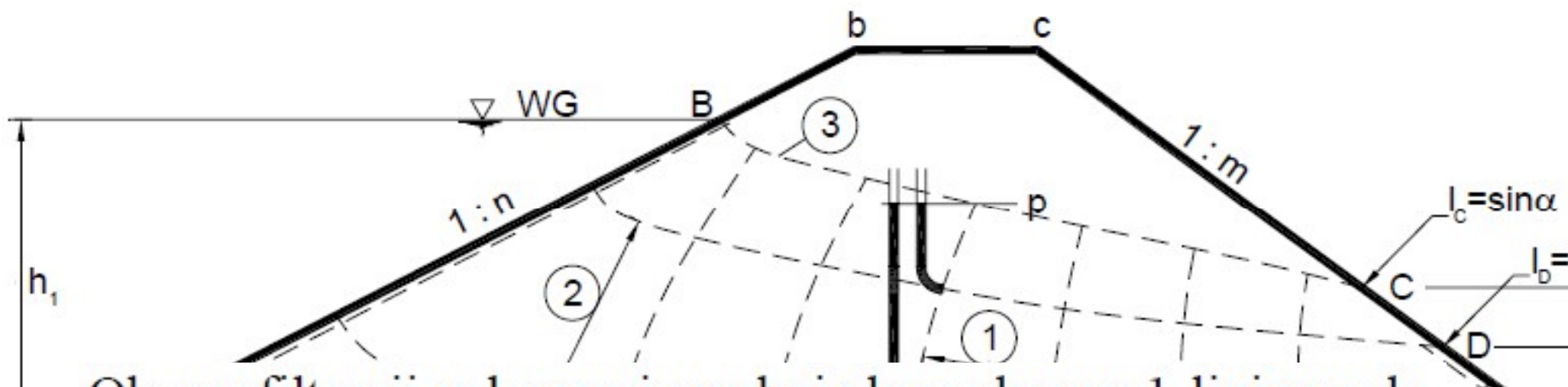


a) przekrój poprzeczny z głównymi elementami; b) wariant skarpy odpowietrznej z ławą; c) plan;

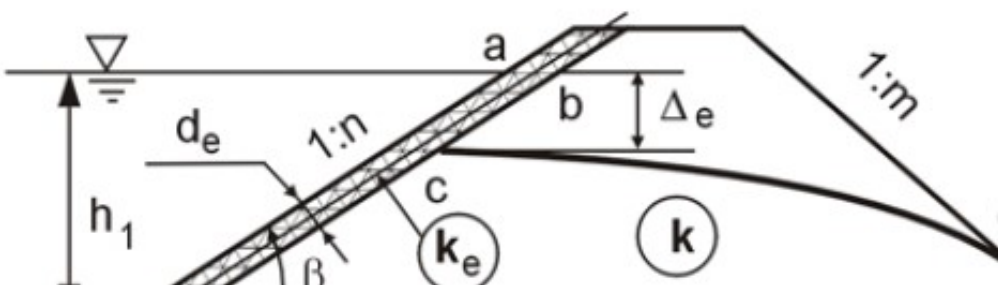
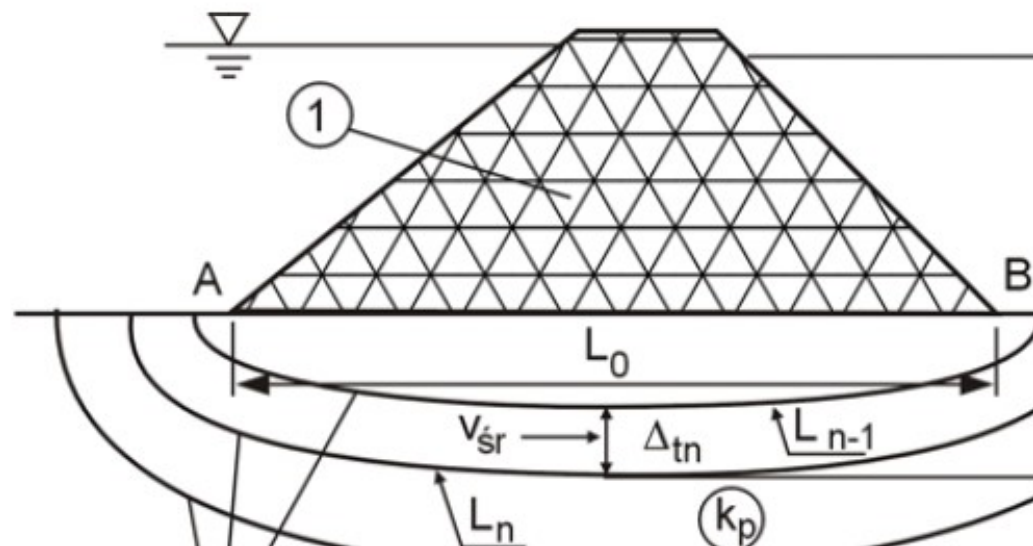
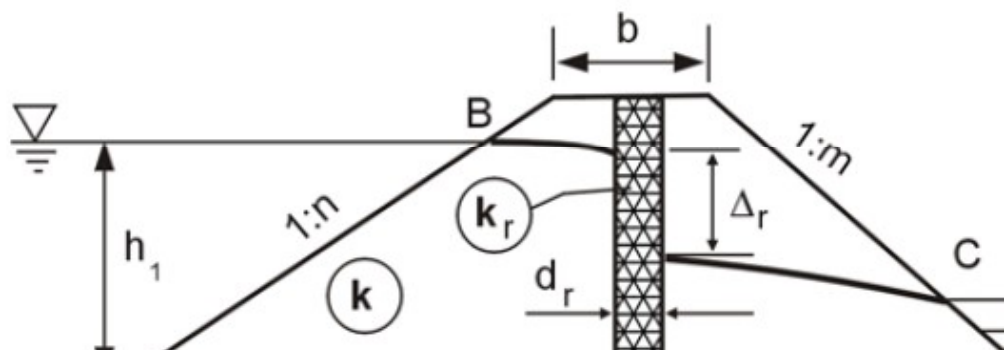
1-skarpa odwodna, 2-skarpa odpowietrzna, 3-korona wału, 4-ekran szczelny, 5-rdzeń szczelny, 6-uszczelnienie podłoża, 7-drenaż, 8-rów odwadniający, 9-ława, 10-krzywa depresji w przypadku korpusu jednorodnego (bez uszczelnień).



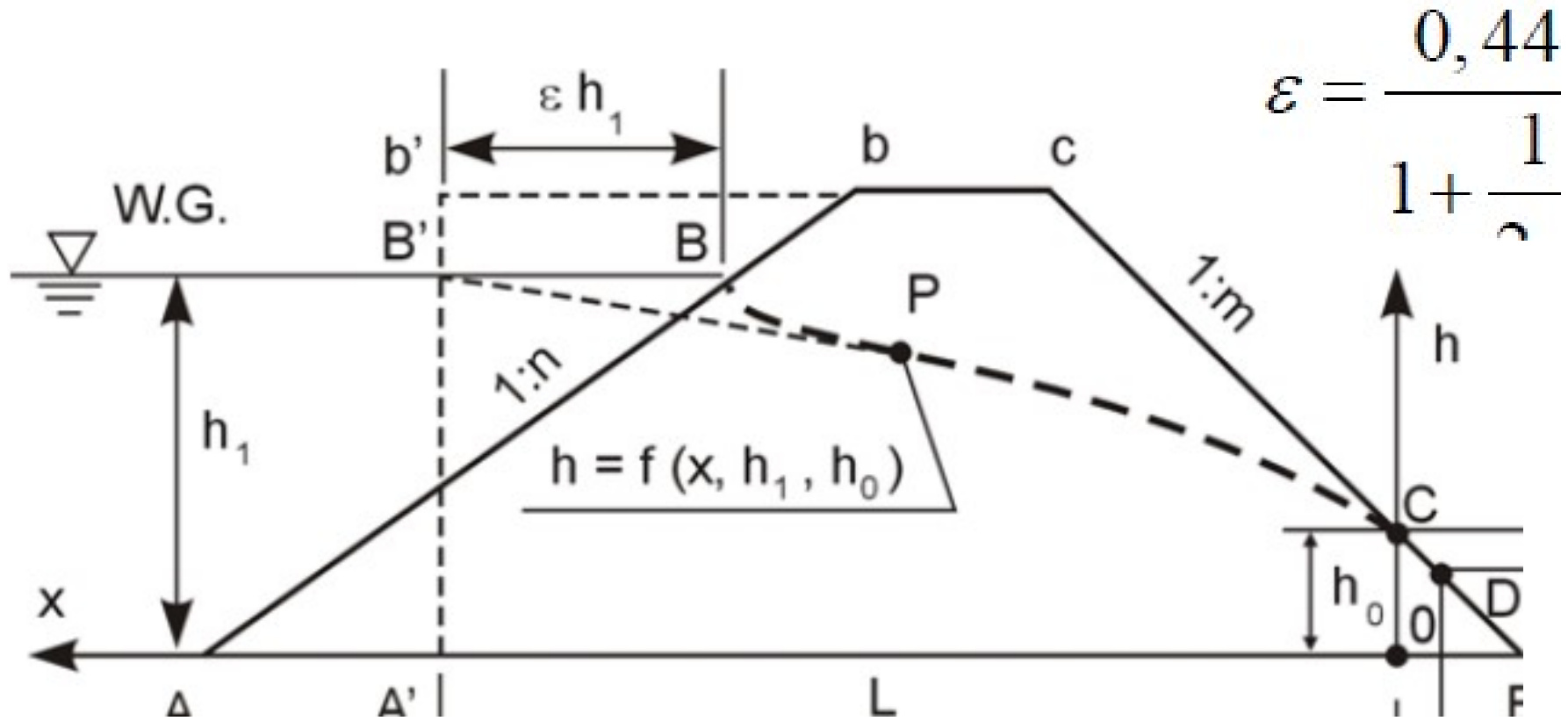
# Sprawdzenie gradientów ciśnień filtracyjnych – siatka hydrodynamiczna



Obszar filtracji w korpusie wału jednorodnego; 1-linie prądu, 3-krzywa depresji  $I_c$   $I_b$ -gradienty ciśnienia w punktach C i T



# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału (bez uszczelnień)



$$\varepsilon = \frac{0,44}{1 + \frac{1}{2}}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{h_1^2 - (h_2 + \Delta)^2}{2(L_0 - m\Delta)}$$

Jeśli  $h_2 = 0$

$$\Delta = \frac{L_0}{m} - \sqrt{\left(\frac{L_0}{m}\right)^2 - \dots}$$

$$q = \frac{\Delta}{m} k$$

$$\frac{q}{k} = \frac{\Delta}{m} \left( 1 + 2 \cdot 3 \lg \frac{h_2 + \dots}{\dots} \right)$$

# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału (bez uszczelnień)

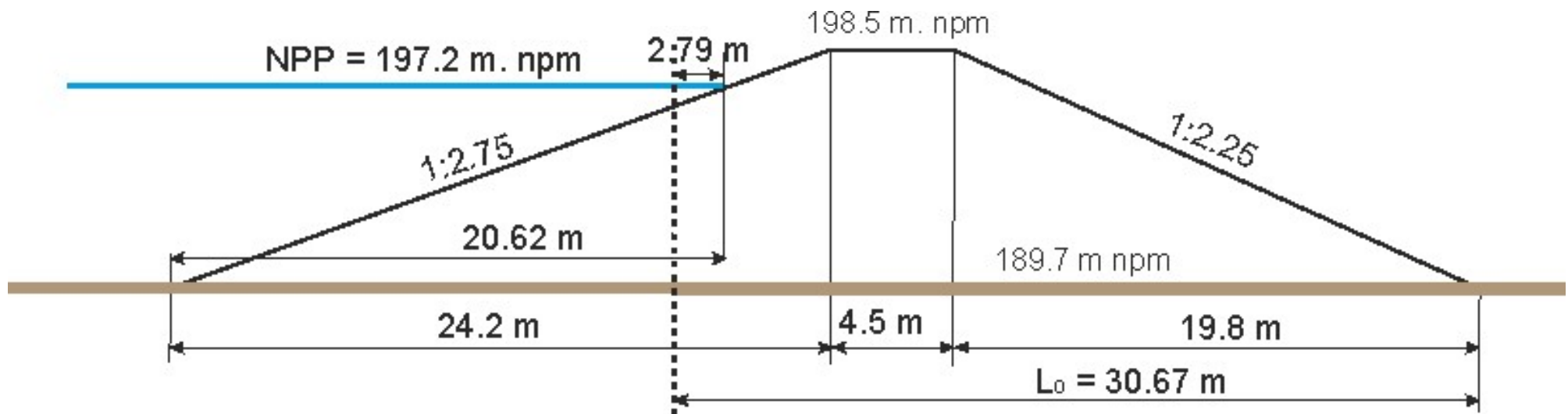
## Współczynniki filtracji (k)

L.p.	Rodzaj gruntu	Wsp filtrac (m
1	otoczaki, grunt narzutowy	$10^{-1}$ -
2	żwir	$10^{-2}$ -
3	piasek gruboziarnisty	$10^{-3}$ -
4	piasek drobnoziarnisty	$10^{-4}$ -
5	piasek gliniasty	$10^{-5}$ -

# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału (bez uszczelnień)

$$\varepsilon = \frac{0.44}{1 + \frac{1}{2 \cdot 2.75}} = 0.3723$$

$$\varepsilon \cdot h_1 = 2.79 \text{ m}$$

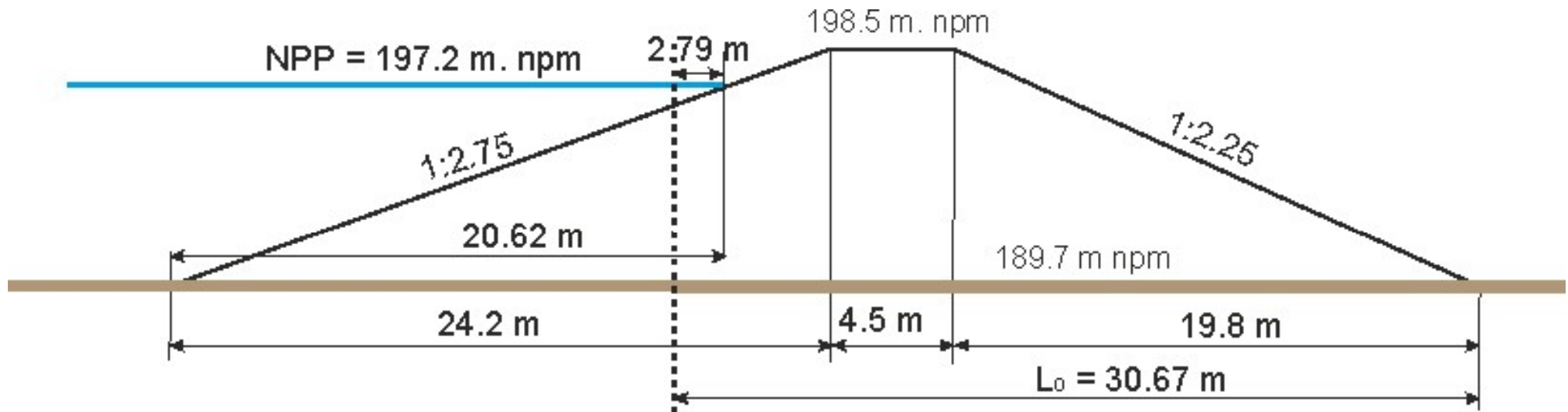


$$h_2 = 0 \quad \Delta = \frac{30.67}{2.25} - \sqrt{\left(\frac{30.67}{2.25}\right)^2 - 7.5^2} = 13.63 - 11.38 = 2.25 \text{ m}$$

$$q = \frac{\Delta}{m} k$$

$$q = \frac{2.25}{2.25} \cdot 10^{-4} = 10^{-4} \text{ m/s/m}$$

# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału (bez uszczelnień)



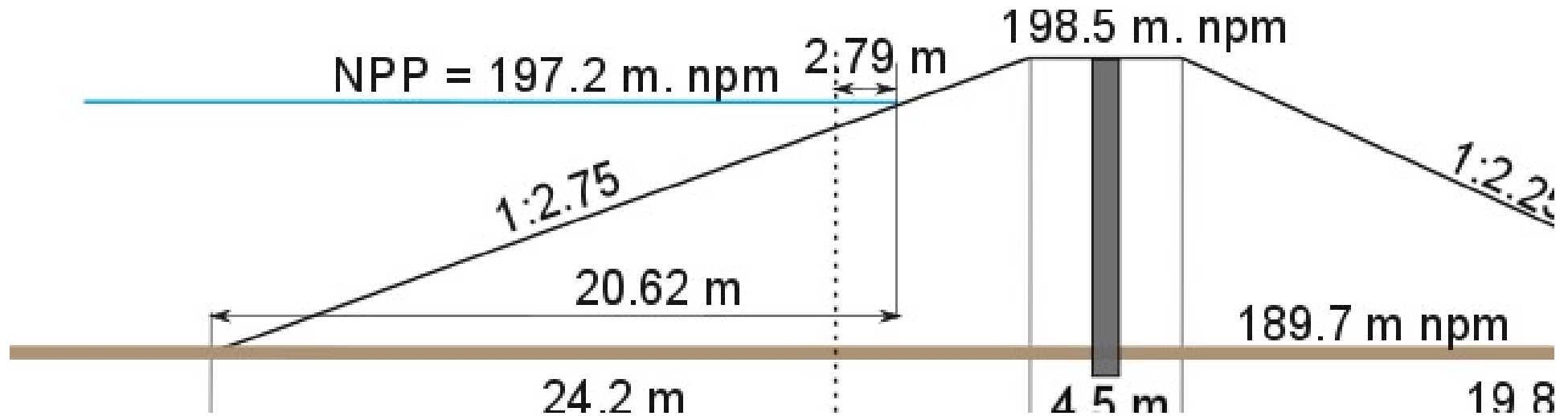
$$\Delta = \frac{30.67}{2.25} - \sqrt{\left(\frac{30.67}{2.25}\right)^2 - 7.5^2} = 13.63 - 11.38 = 2.25 \text{ m}$$

$$h_2 = 0 \quad q = \frac{2.25}{2.25} \cdot 10^{-4} = 10^{-4} \text{ m/s/m}$$

$$h = \sqrt{h_o^2 + (h_1^2 - h_o^2)} \text{ w którym } h_1 = h_o$$



# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału z rdzeniem szczelnym



Przesłona przeciwnfiltracyjna DSM,  $d_r = 0.6 \text{ m}$ ;  $k_r = 10^{-8} \text{ m/s}$

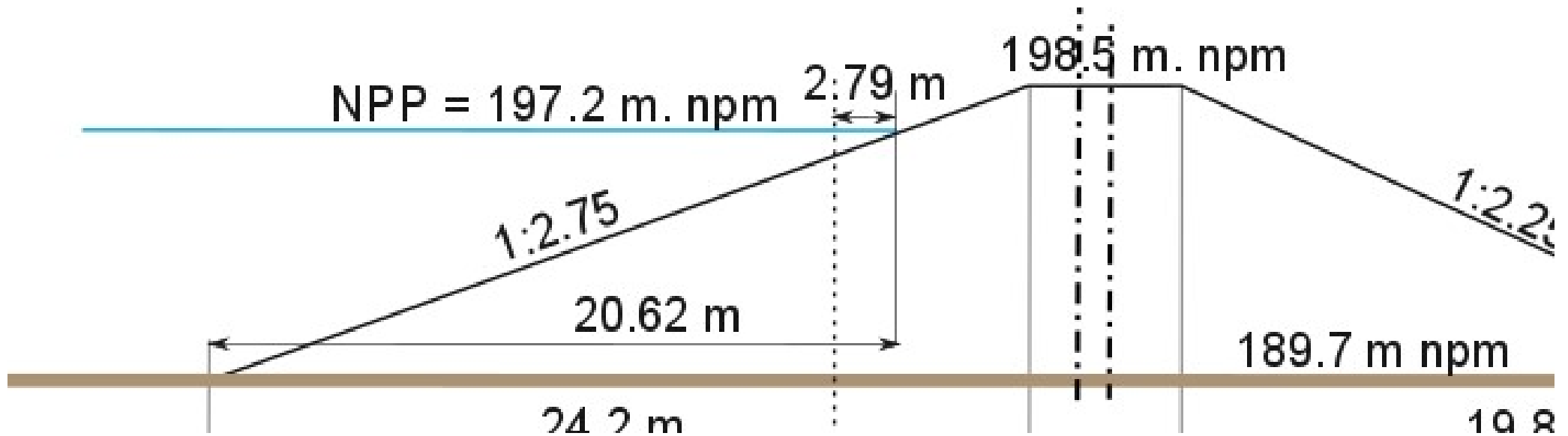
$$d_{rw} = d_r \frac{k}{k_r} = 0.6 \frac{10^{-4}}{10^{-8}} = 6 \times 10^3 \text{ m}$$

$$b_w = b - d_r + d_{rw} = 4.5 - 0.6 + 6 \times 10^3 = 6004 \text{ m}$$





# Filtracja przez korpus zapory z jednorodnego materiału z rdzeniem szczelnym

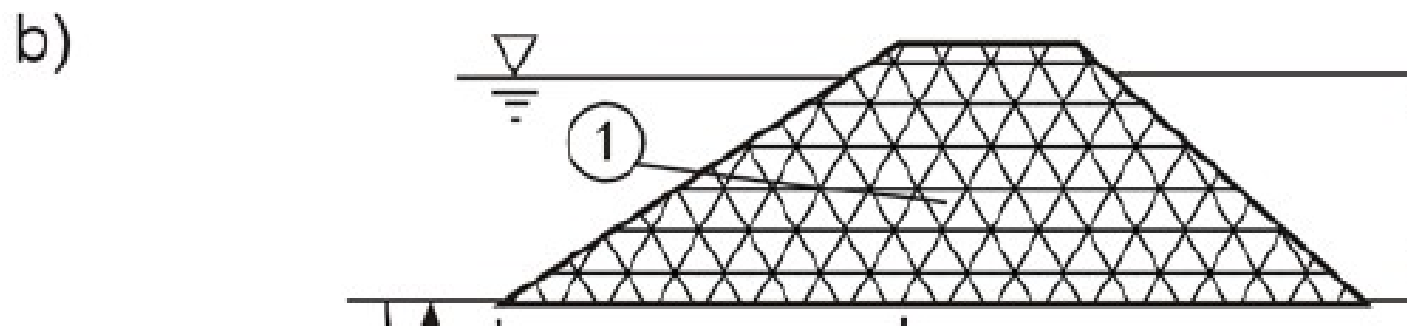
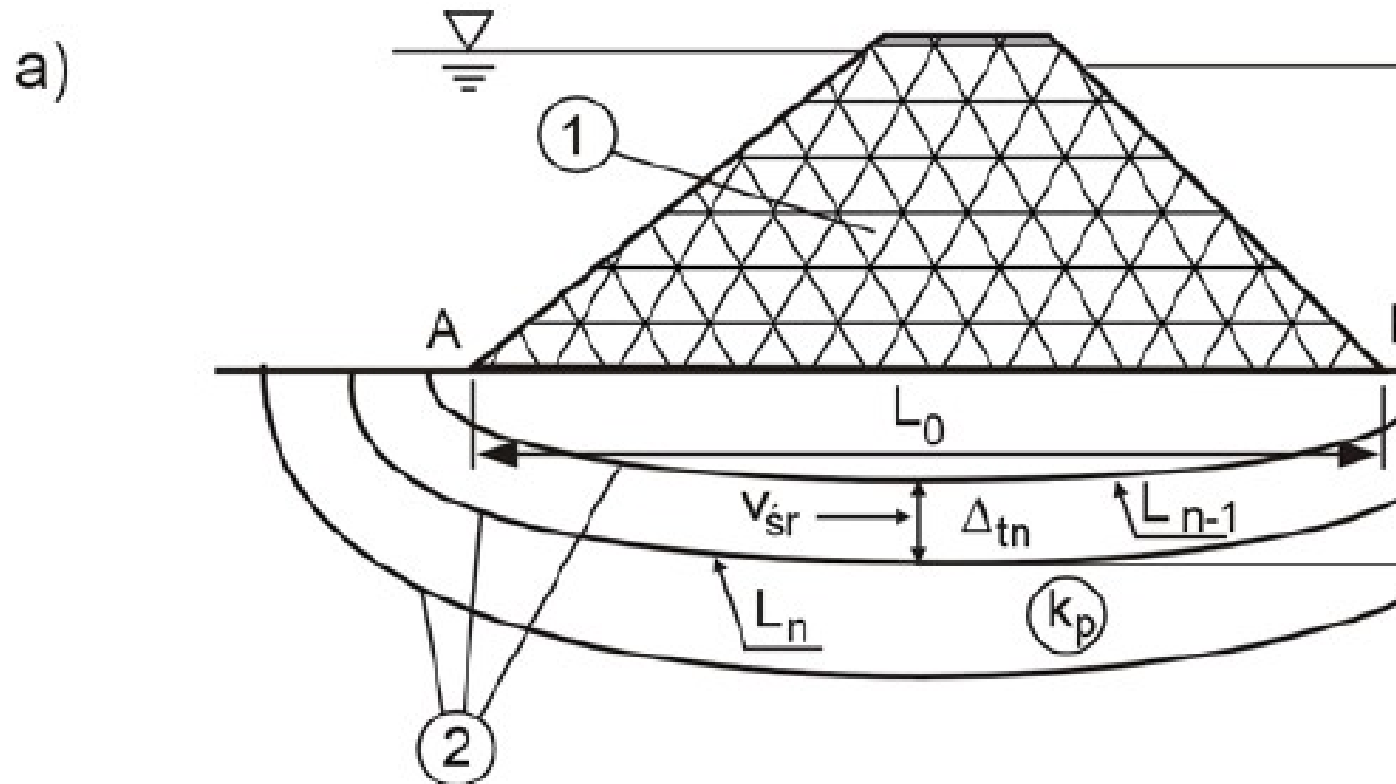


Przesłona przeciwfiltracyjna DSM,  $d_r = 0.6 \text{ m}$ ;  $k_r = 10^{-8} \text{ m/s}$

$$h_2 = 0 \quad \Delta = \frac{6030.1}{2.25} - \sqrt{\left(\frac{6030.1}{2.25}\right)^2 - 7.5^2} = 2680.044 - 2680.03 = 0.014 \text{ m}$$

$$q = \frac{\Delta}{m} k \quad q = \frac{0.014}{2.25} \cdot 10^{-4} = 0.006 \cdot 10^{-4} \text{ m/s/m}$$

# Filtracja pod korpusem zapory



# Sprawdzenie gradientów ciśnień filtracyjnych wewnątrz grobli budowli ziemnej

według:

*„Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”*

§ 37. 1. Gradienty ciśnień filtracyjnych w ce w podłożu wszystkich budowli hydrotechnicznych oraz w korpusie zapór ziemnych powinny spełniać:

$$\gamma_i \cdot i \leq i_{kr}$$

gdzie:

$i$  — oznacza gradient ciśnień filtracyjnych,  
 $i_{kr}$  — oznacza wartości krytyczne gradientu  
gruntu,

$\gamma_i$  — oznacza współczynnik pewności, który  
nie od klasy budowli wynosi:

$\gamma_i = 1,5$  dla podstawowego układu obciążeń b)

$\gamma_i = 1,3$  dla wyjątkowego układu obciążeń

a)

