

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

VODNÍ A VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Dispoziční řešení vodní elektrárny 2

Milan Bělík

Beztlakové přivaděče (odpady)

- **derivační kanály**

- **otevřené**

- ◆ kanály
- ◆ žlaby
- ◆ náhony

- **uzavřené**

- ◆ kryté kanály
- ◆ tunely



Konstrukce beztlakových přivaděčů

- **místní podmínky (pro MVE získání pozemků)**
- **výškové a směrové poměry trasy**
 - ◆ **co nejkratší a nejpřímější (ztráty, eroze, usazeniny)**
 - ◆ **vedení po vrstevnici**
- **geologické podmínky (únosnost podloží)**
- **hydrogeologické podmínky (propustnost)**
- **koeficient vnitřního tření zeminy, koheze zeminy, smyková plocha**
 - ◆ **statika svahu**
 - ◆ **dlouhodobé klimatické změny (vysychání, déšť, mráz...)**
 - ◆ **vrstevnaté podloží !!!**
 - ◆ **rýhy !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!**
- **objem násypu = vytěžený objem**
- **přivaděče – násyp**
- **odpady - výkop**

■ Minimální poloměr oblouku trasy

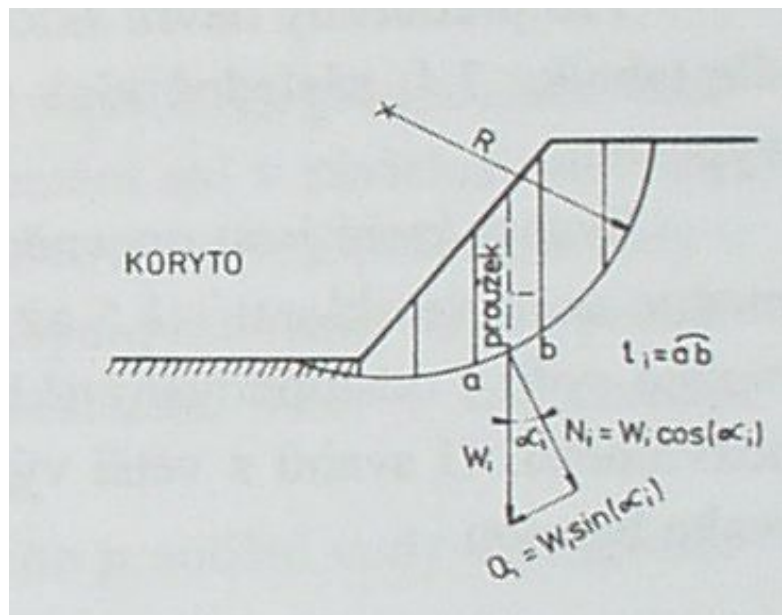
$$R_{\min} = 11 \cdot v^2 \cdot \sqrt{S} + 12 \cdot m$$

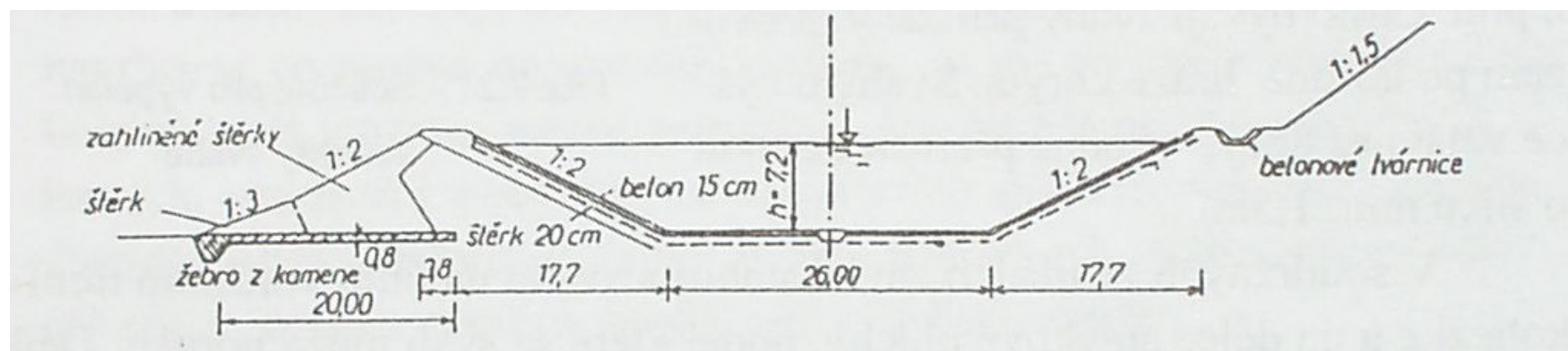
$R_{\min}$ [m] - poloměr oblouku vztažený k ose kanálu,
 v [m.s⁻¹] - střední profilová rychlost v oblouku,
 S [m²] - plocha průtočného průřezu v oblouku,
 m - sklon svahu kanálu (např. při sklonu 1:2 je $m = 2$).

Typ zeminy	Sklon svahu 1:m	m
nesoudržené zeminy hrubé frakce		2
středně hrubé frakce		2,5
jemnozrnné materiály		3,0
zhutněné štěrkopísky na 95%		1,5
měkké břidlice		1,5
tvrdé břidlice		1,5
skála		až svislé stěny

■ Komplexní součinitel bezpečnosti (statika)

$$FS = \frac{\sum c_i \cdot l_i + \sum N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i}{\sum Q_i}$$





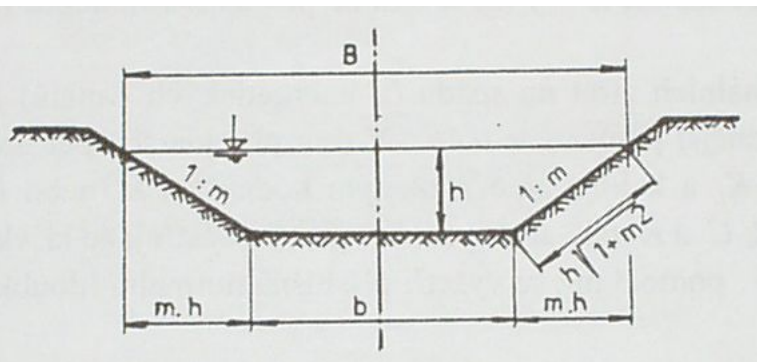
Hydraulické řešení kanálu

- **ustálené rovnoměrné proudění vody**
 - ◆ limitní případ
 - ◆ v praxi se nevyskytuje (náhodně)
- **ustálené nerovnoměrné proudění vody**
 - ◆ stálý průtok
 - ◆ proměnlivé rychlosti v průřezu
 - ◆ křivky vzduť nebo snížení
- **neustálené proudění vody**
 - ◆ translační rázové vlny (havárie, rychlá manipulace)
 - ◆ translační plynulé vlny (běžná manipulace)
 - ◆ oscilační vlny (vítr, plavba lodí)

Ustálené rovnoměrné proudění vody

$$Q = S \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot I} = K \cdot \sqrt{I}$$

Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] je průtok vody kanálem,
 S [m^2] - plocha průtočného profilu,
 C - rychlostní součinitel,
 R [m] - hydraulický poloměr ($R = S / O$),
 O [m] - omočený obvod,
 I - sklon hladiny, v tomto případě i dna,
 $K = S \cdot C \cdot \sqrt{R}$ - tzv. modul průtoku.



Typ kanálu	Součinitel drsnosti n
Ohoblovaná prkna, dobrá omítka z cementové malty	0,010
Nehoblovaná prkna	0,011
Prkna hůře spárovaná, nehoblovaná	0,013
Nehoblovaná prkna hrubě spárovaná	0,015
Kvádrové zdivo, cihelné zdivo	0,013
Obyčejné cihelné zdivo, zdivo z tesaného kamene	0,015
Hladké zdivo z lomového kamene, staré cihelné zdivo, beton, hladká skála	0,017
Torkret	0,019
Zdivo z lomového kamene, kamenná dlažba, hladké výruby ve skále, kanály ve šterkovité nebo soudržné zemině	0,020
Dlažba z valounů	0,020
Kanály v uhlělé zemině nebo ve šterkovité zemině dobře udržované	0,023
Dlažba z lomového kamene	0,023
Zdivo na sucho, velké kanály při dobré údržbě	0,025
Zemní kanály s podprůměrnou údržbou	0,030
Kanály ve špatném stavu, částečně zarostlé, zanesené kameny	0,035
Kanály zarostlé kořeny, kameny s výmoly a nánosy	0,040

Rychlost ustáleného rovnoměrného proudění vody

- **střední rychlost proudění**
- **maximální rychlost proudění**

$$v_{\max} = 9 \cdot \sqrt{d_{50\%}} \cdot \log \frac{R}{7 \cdot d}$$

$d_{50\%}$ [m] je střední průměr zrn (50% na křivce zrnitosti),
 R [m] - hydraulický poloměr,

- **minimální rychlost proudění**
- ◆ **sedimentace**

$$v_{\min} = A \cdot Q^{0,2}$$

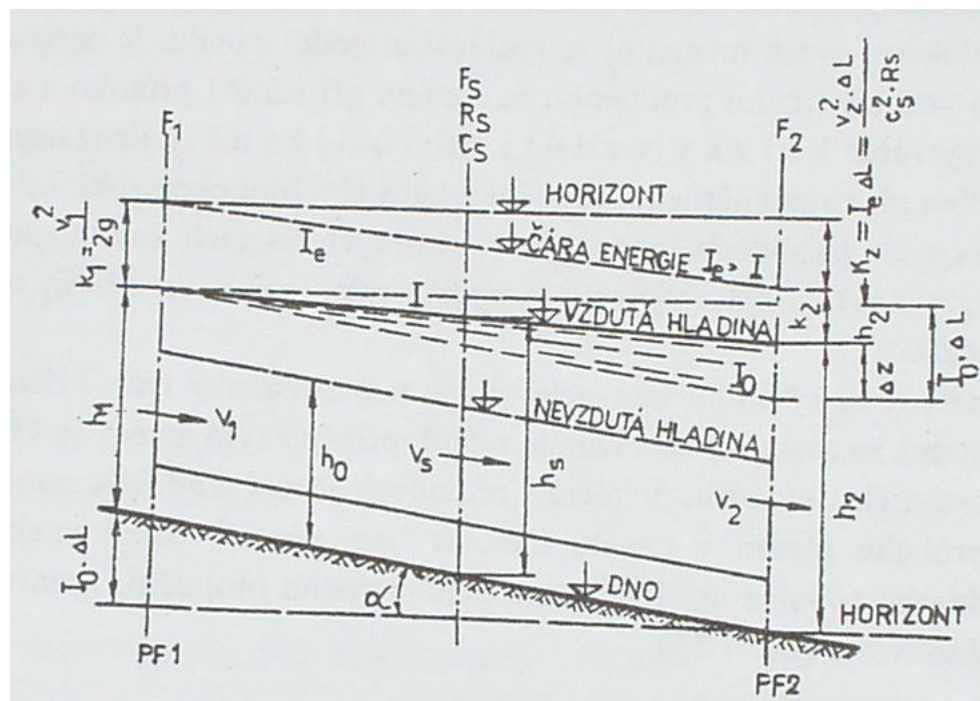
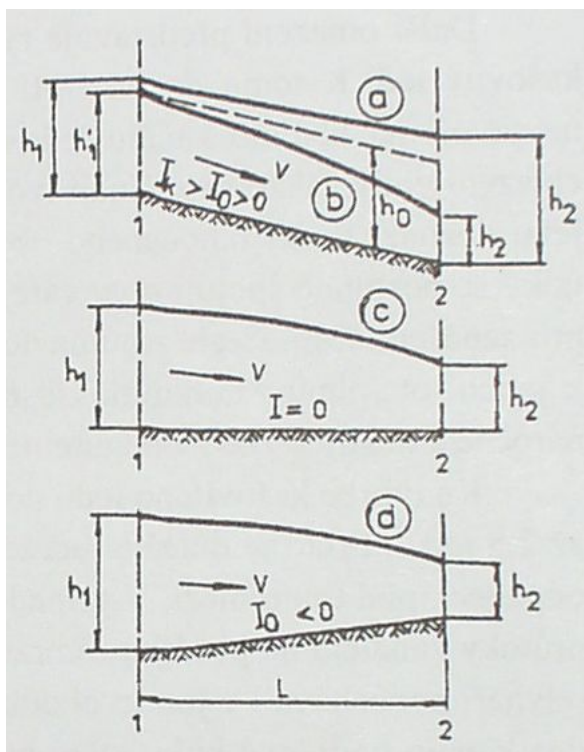
◆ **tvorba kašovitého ledu**

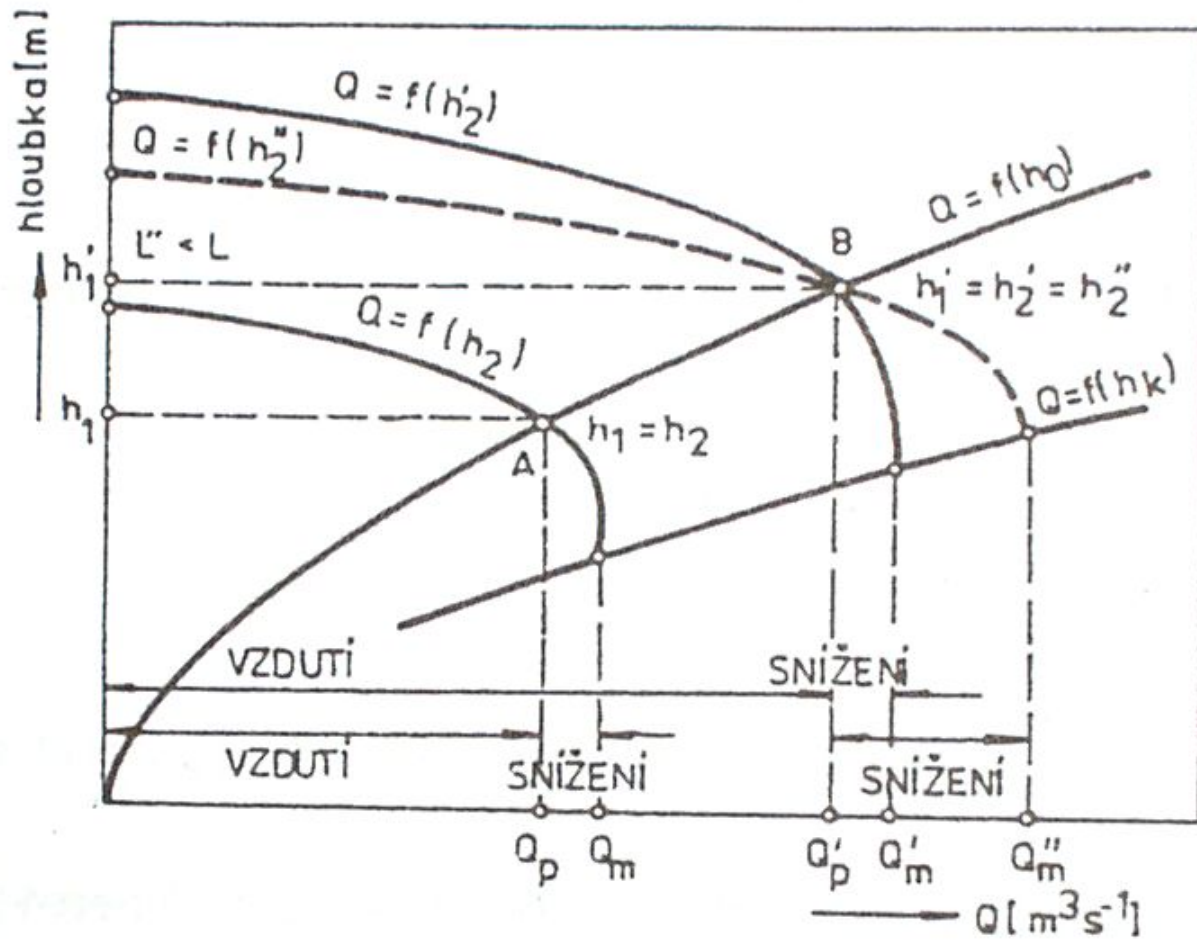
Q [m³.s⁻¹] je průtok vody kanálem,
 A - koeficient, který je závislý na sedimentační rychlosti.

Druh zeminy	Přípustná maximální rychlost $v_{\max}$ [m.s ⁻¹]
velmi jemný písek, rozbředlá jílovitá zemina	0,15-0,25
jemný písek	0,25-0,30
jemná písčitá zemina	0,35-0,45
hrubý písek	0,45-0,60
lehká hlinitá nebo hlinitopísčitá zemina	0,60-0,90
sprašová zemina střední hutnosti	0,60-0,85
nesoudržná štěrkovitá zemina	0,75-1,25
hlinité zeminy	0,90-1,20
tvrdá jílovitá zemina se štěrkovou příměsí	1,50-2,10
slepence a měkké břidlice	1,80-2,60
slabě vrstevnatá skála	1,80-2,40
vápence, pískovce, dolomity	2,50-5,0
tvrdé horniny, vyvřelé i přeměněné	nad 5,00

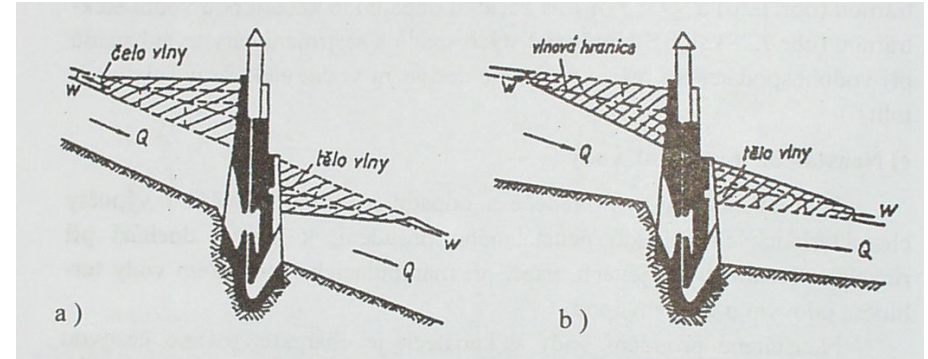
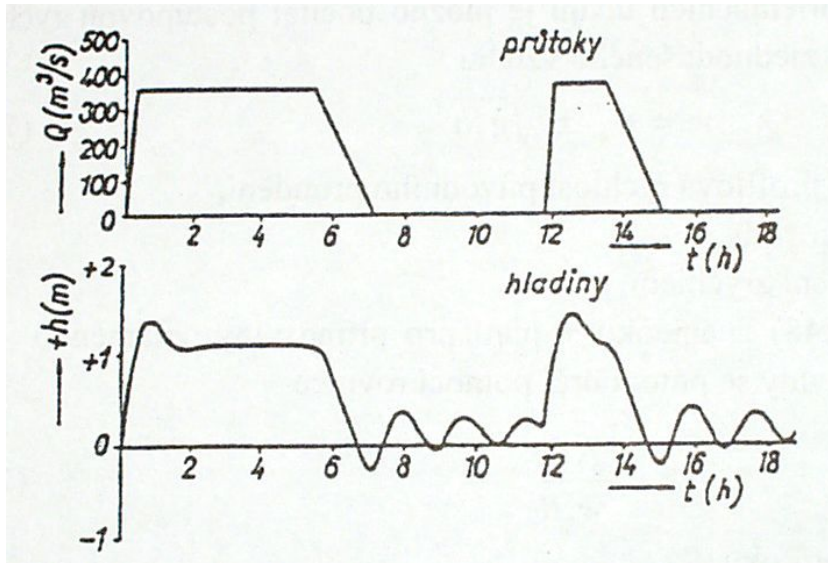
Ustálené nerovnoměrné proudění vody

$$h_z = \frac{v_s^2 \cdot \Delta L}{C_s^2 \cdot R_s} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$





Neustálené proudění vody – rázová vlna



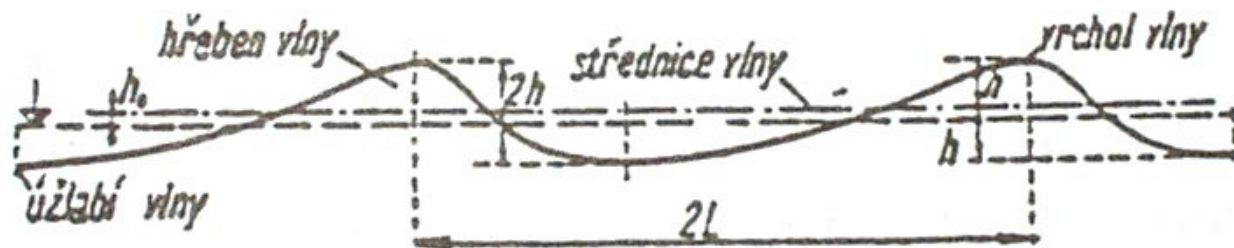
■ postupná rychlost rázové vlny

$$w = v_0 \pm \sqrt{g \cdot h}$$

v_0 je střední profilová rychlost původního proudění,
 h - hloubka vody,
 g - gravitační zrychlení;

rychlost, výška, tvar

Neustálené proudění vody – oscilační vlna

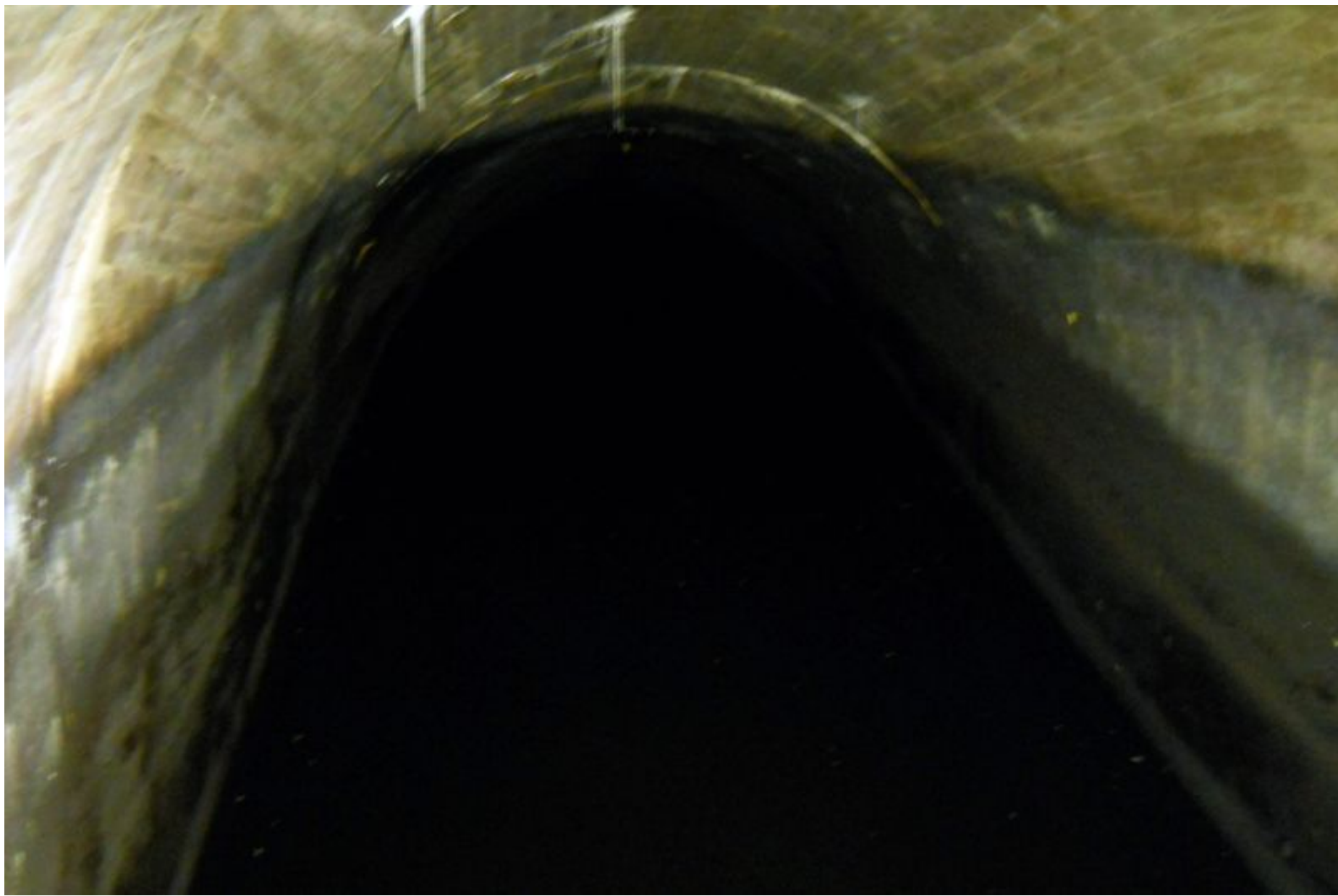


■ výška oscilační vlny v dlouhém kanálu

$$2h = 0,0208 \cdot w^{5/4} \cdot D^{1/3}$$

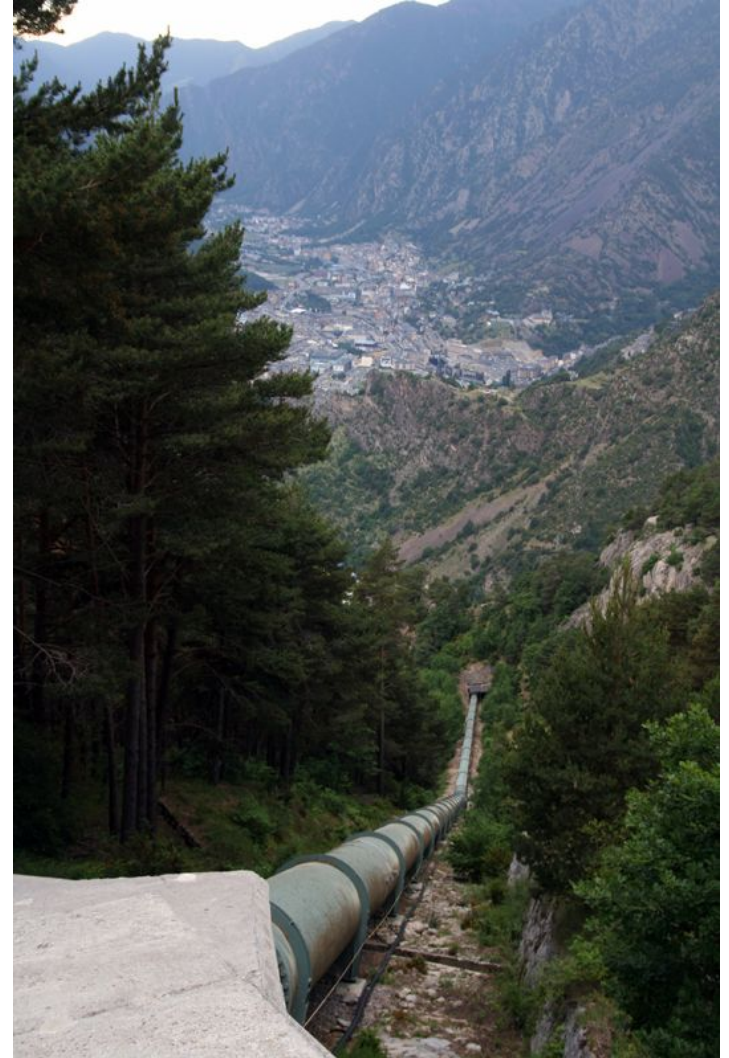
w - rychlost větru [m.s^{-1}]

D - délku rozběhu vlny [km].



Tlakové vtokové objekty

- ocelová potrubí
- litinová potrubí
- železobetonová potrubí
- plastová potrubí



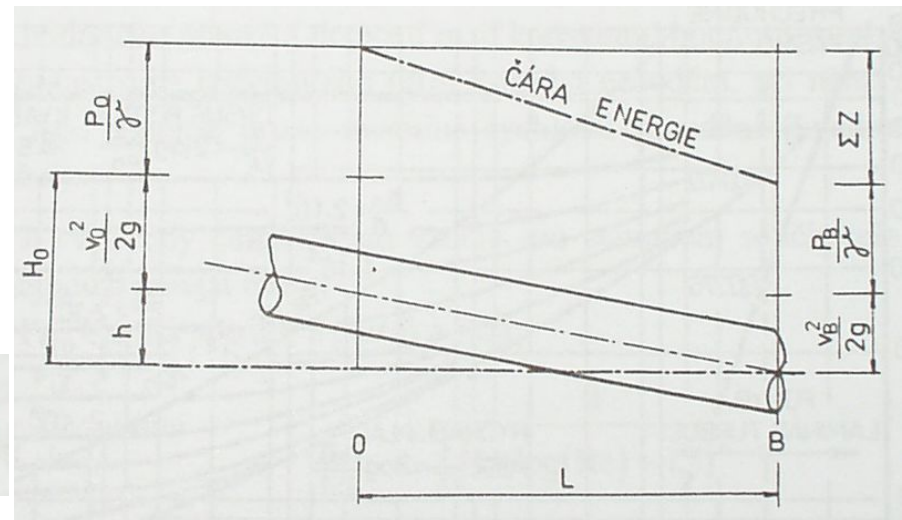
Hydraulické řešení přivaděče

- ustálené rovnoměrné proudění vody
- ustálené nerovnoměrné proudění vody
- neustálené proudění vody
- rovnice kontuity

$$Q = A \cdot v$$

Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] je průtok vody přivaděčem,
 A [m^2] - plocha průřezu přivaděče,
 v [ms^{-1}] - průměrná rychlost vody v přivaděči.

$$h + \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{\rho \cdot g} = H_0 + \frac{p_0}{\rho \cdot g} = \frac{v_B^2}{2g} + \frac{p_B}{\rho \cdot g} + \sum Z$$



Rychlost proudění v přivaděči

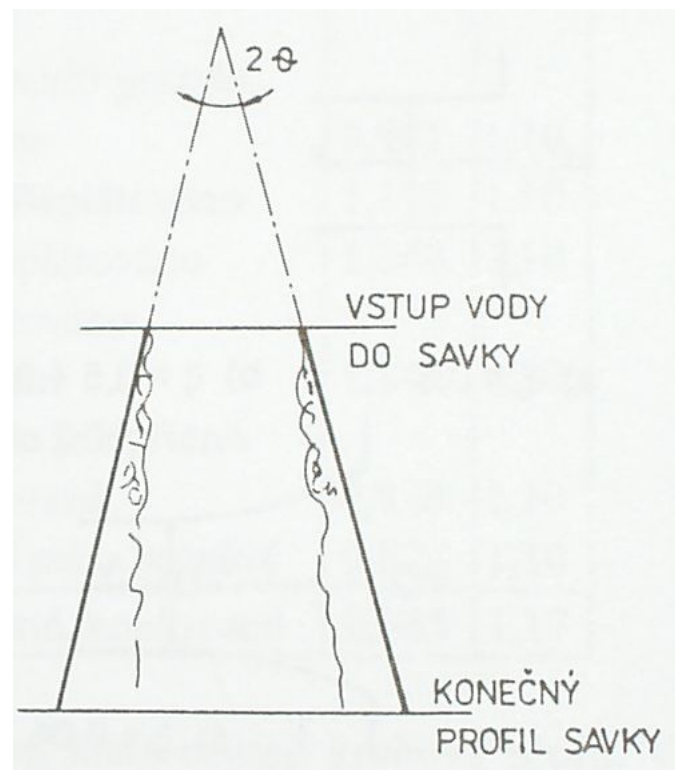
$$v_B = \sqrt{\frac{2gH_0}{1 + \sum \zeta + \lambda \frac{L}{d}}}$$

H_0 [m] - hrubý spád,

ζ - součinitel místních ztrát v potrubí,

λ - součinitel ztrát třením.

Typ materiálu přivaděče	Stav	Δn (mm)
Ocelové svařované potrubí	nově natřené	0,10
	s menšími inkrustacemi	
	nebo silně zkorodované	
	po vyčištění	0,17
	částečně zkorodované	0,37
Litinové potrubí	zkorodované	1,25
	silně zkorodované	3,30
Litinové potrubí	nové	0,70
	částečně zkorodované	1,30
	zkorodované	3,00
Betonové potrubí	vyhlazený povrch	0,80
	neopracované	1,50
Dřevěné potrubí	z drsných fošen	2,00
Zděné potrubí - štola	z okrouhlých kvádrů	2,30
	z opracovaného	
	lomového kamene	3,00
	z neopracovaného	
	lomového kamene	12,0



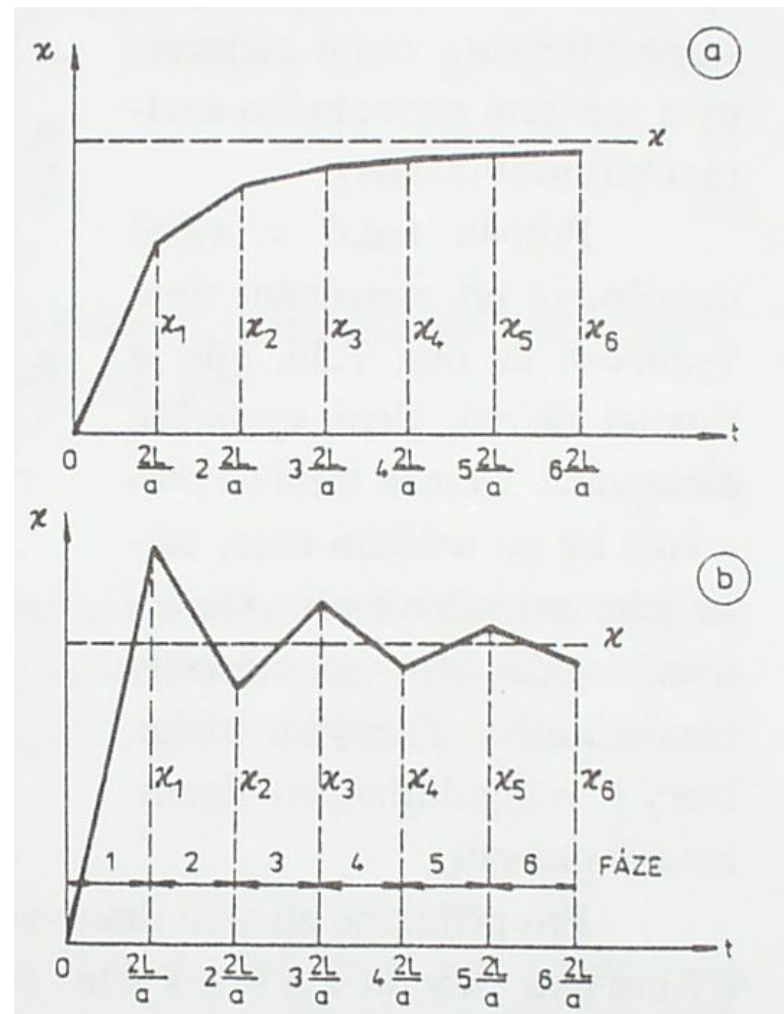
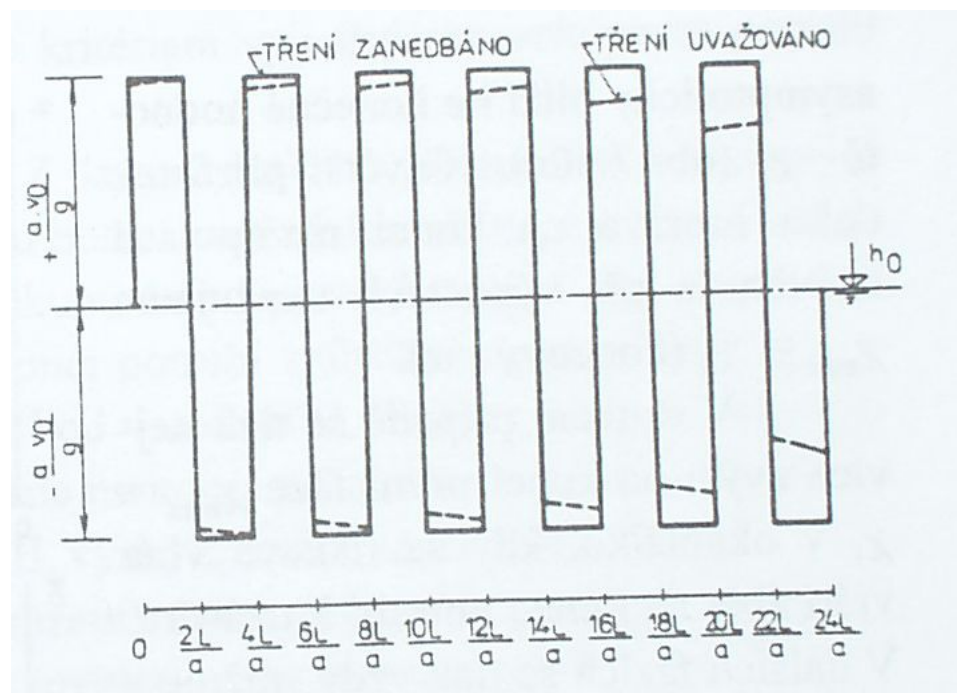
Rázová vlna v přívaděči

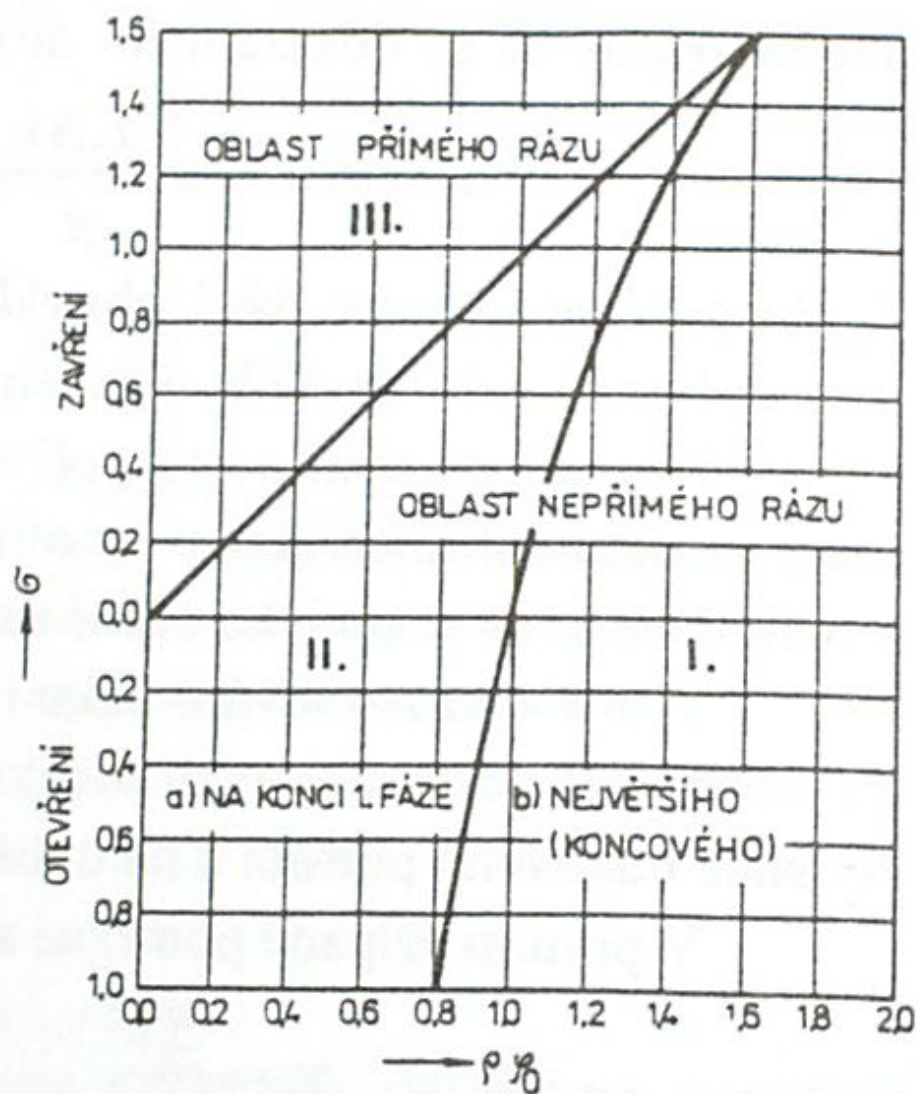
$$t = \frac{L}{a}$$

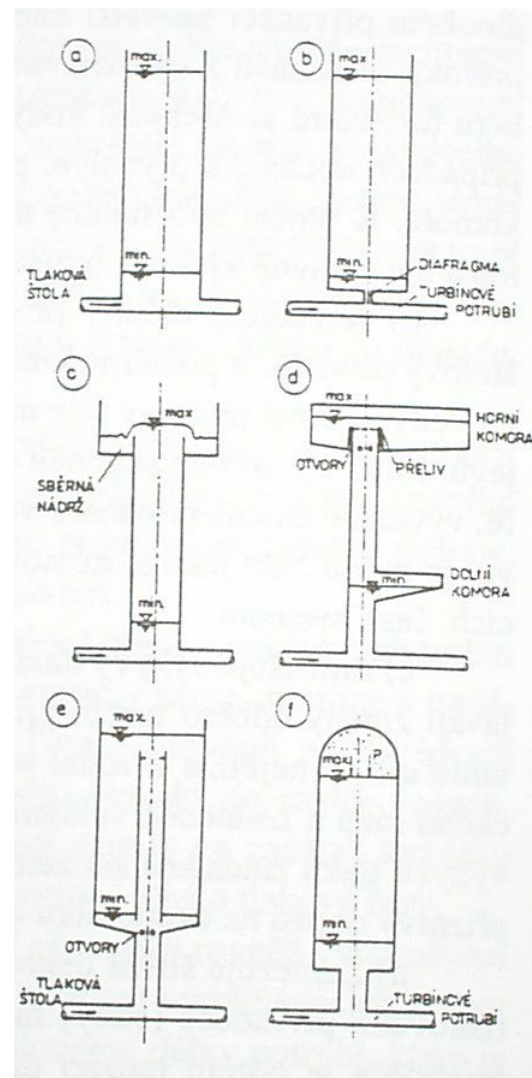
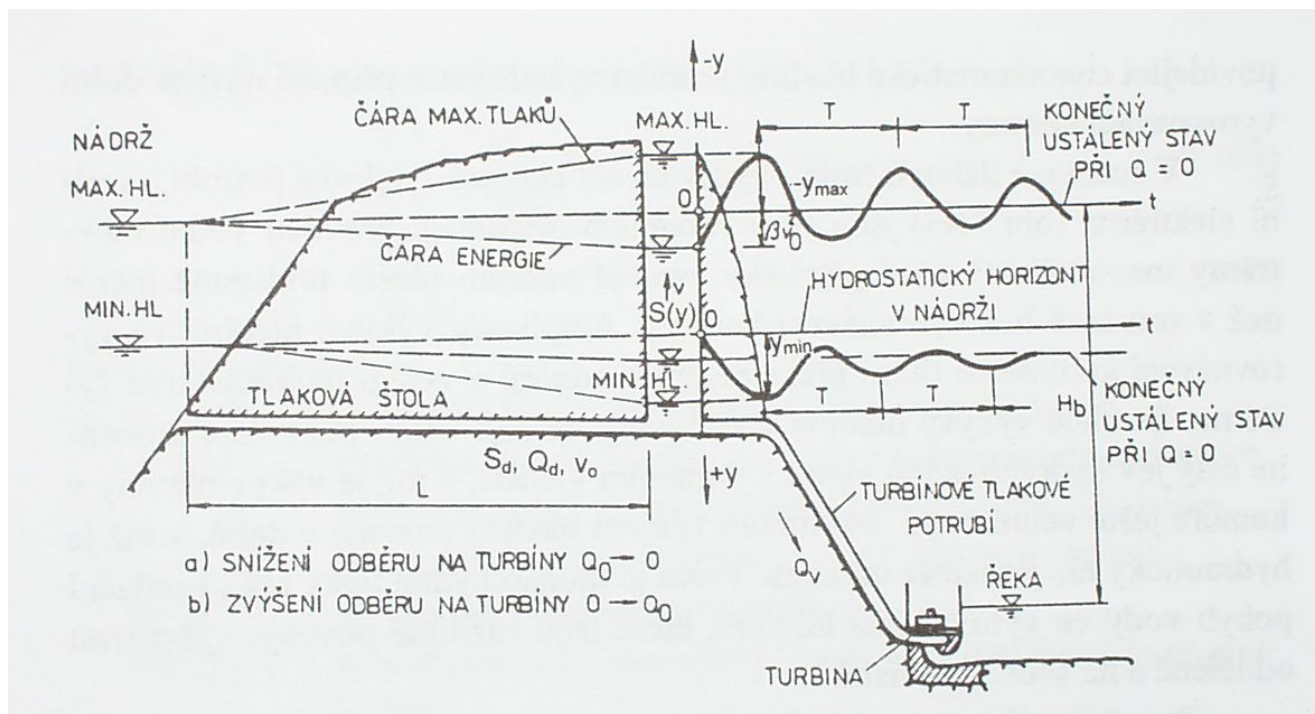
$$\mu = 2 \cdot t = \frac{2 \cdot L}{a}$$

$$T_z \leq \frac{2 \cdot L}{a} = \mu \quad T_z > \frac{2 \cdot L}{a} = \mu$$

Materiál stěn	$\frac{E_v}{E_p}$	$\frac{D}{s}$	$a \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
Ocel	0,00984	83,3 - 12,5	1060 - 1350
Litina	0,02250	33,3 - 6,7	1080 - 1330
Azbestocement	0,10700	13,3 - 5,5	920 - 1130







Přivaděč

- **Přivádí vodu k turbíně**

- ❖ Tlakové potrubí
- ❖ Nízkotlaký tunel

- Kulový ventil

- Vnější vrata

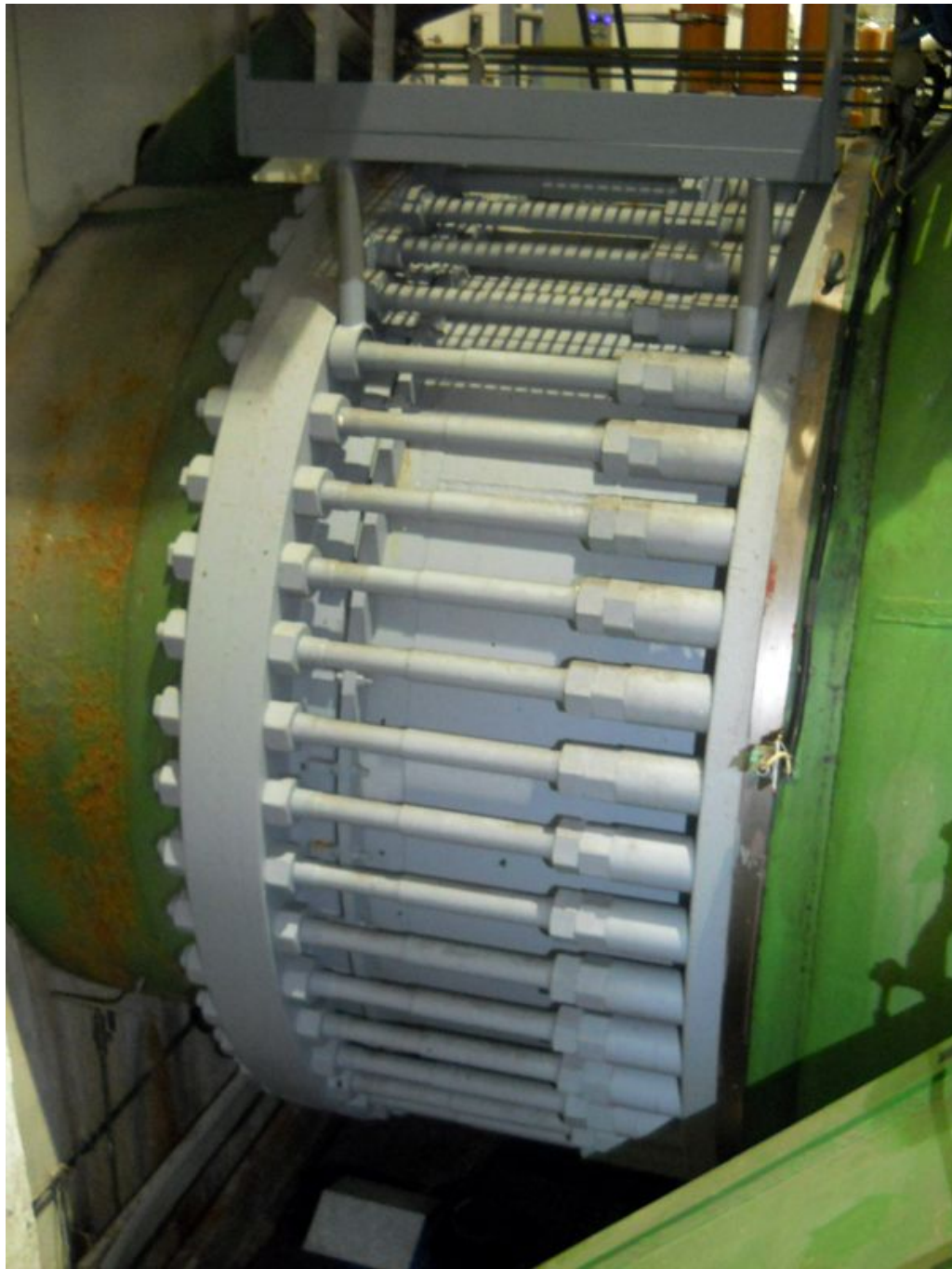
- Vyrovnávač tlaku











Výtokový objekt

- **Obtok**

- ◆ **přepad**

- **Výtokový objekt**

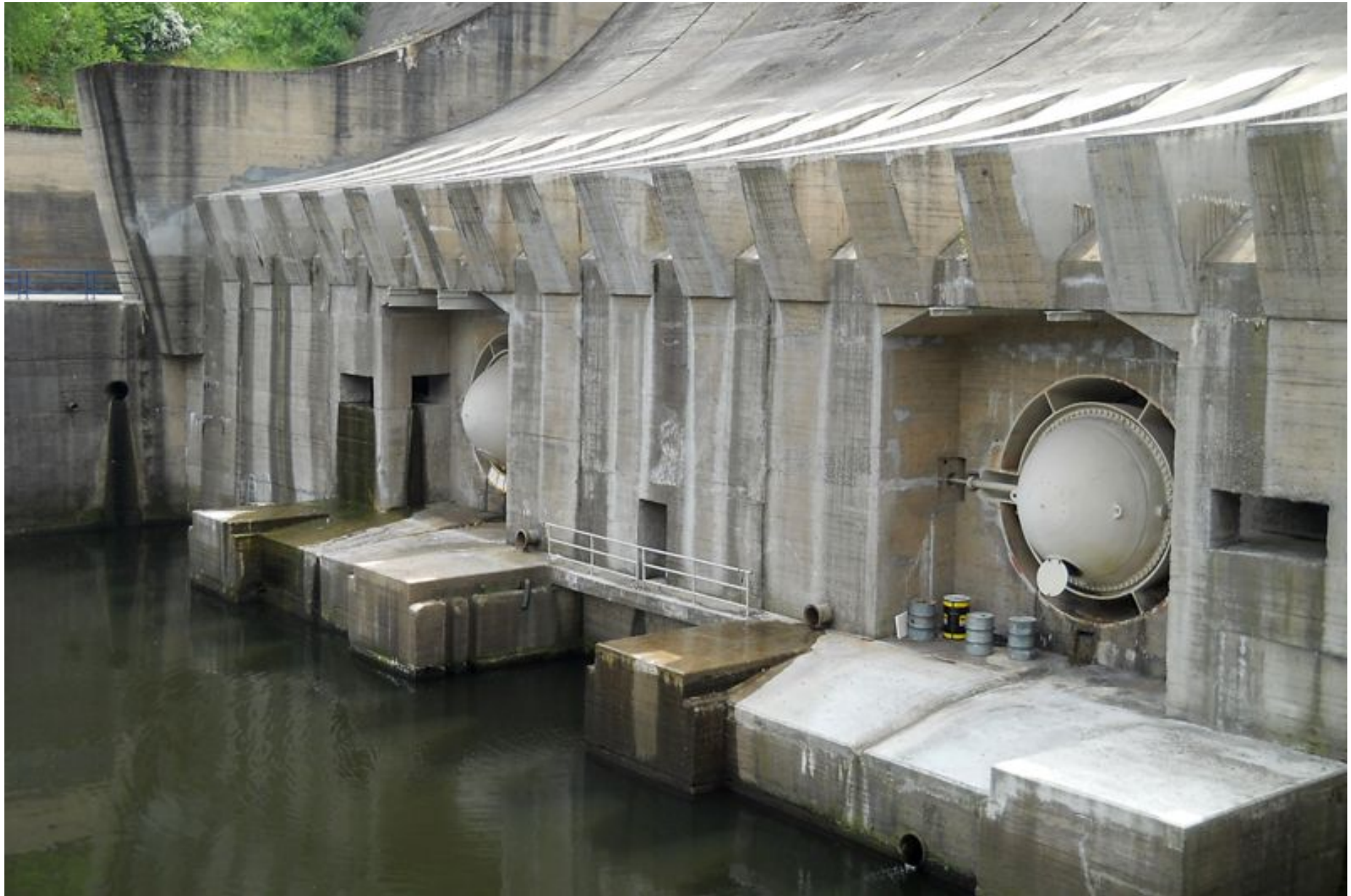
- ◆ **Výstup vody**

- ◆ **Protierozní opatření**

- ◆ **zabezpečení**















Strojovna

- **Hydraulický motor**
 - **Elektrický generátor**
 - **Olejové hospodářství**
 - **vodní hospodářství**
 - **Velín**
-
- **Elektrická část**







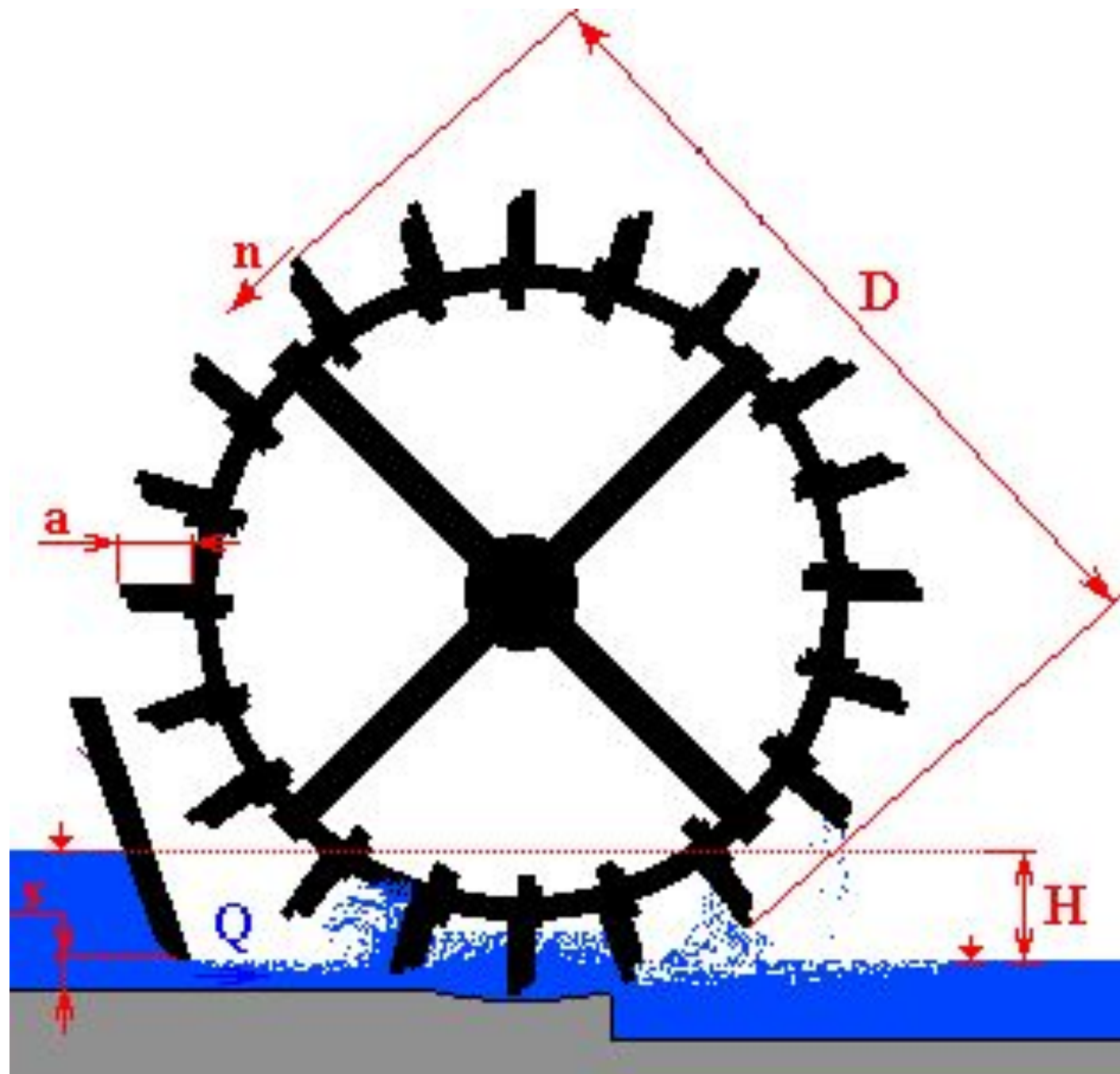
Hydraulický motor

■ Vodní kolo

- ❖ Na spodní vodu
- ❖ Na vrchní vodu

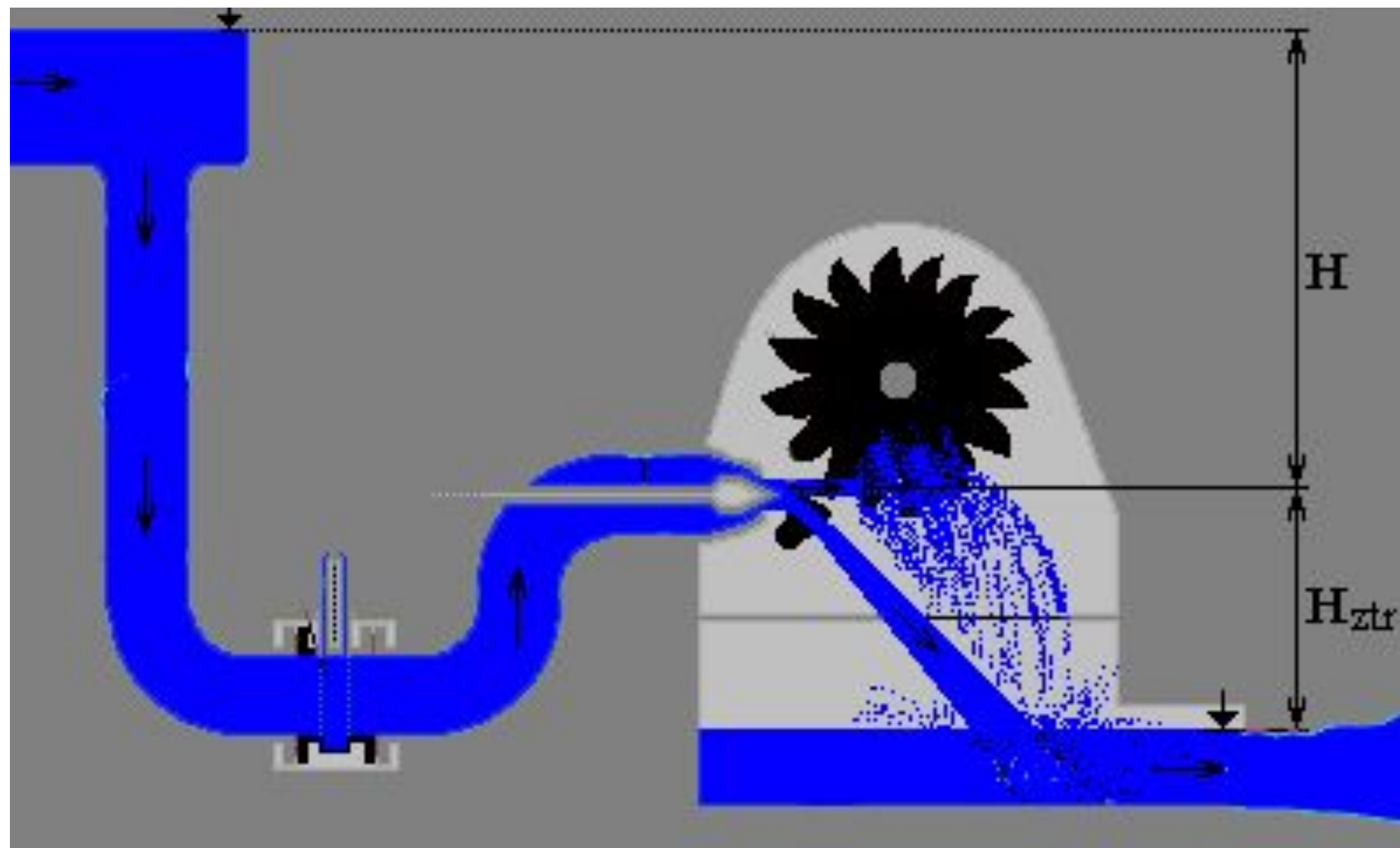
■ Turbína

- ❖ Peltonova
- ❖ Francisova
- ❖ Kaplanova













HISTORICKÉ SOUDILY
S PELTONOVOU TURBINOU

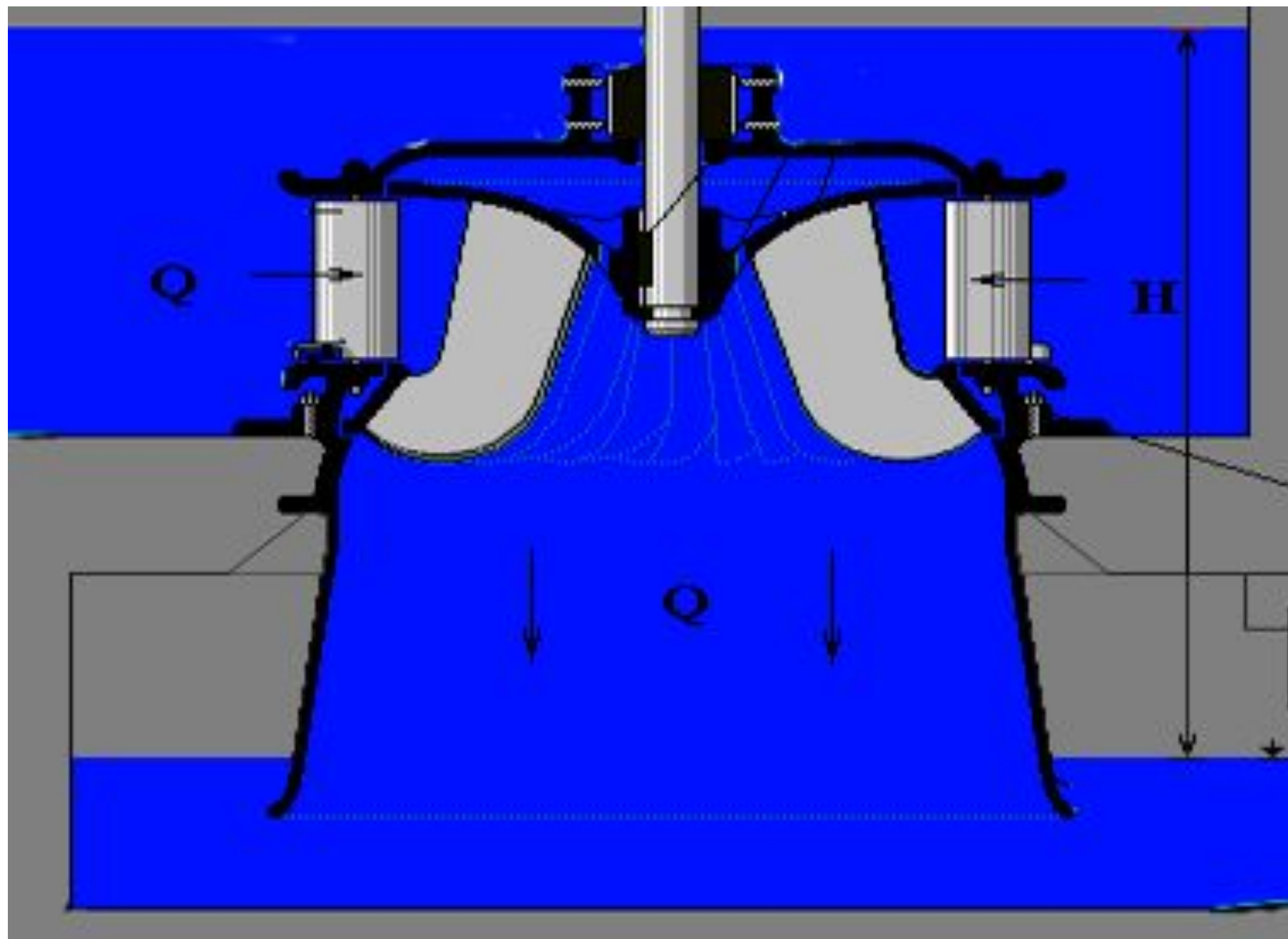
Historická vodní turbína s peltonovými lopatkami, která byla postavena v roce 1900. Turbína má průměr 1,5 m a výkon 10 kW. Je to jedna z nejstarších vodních turbín v České republice.

Parametry Peltonovy turbíny:

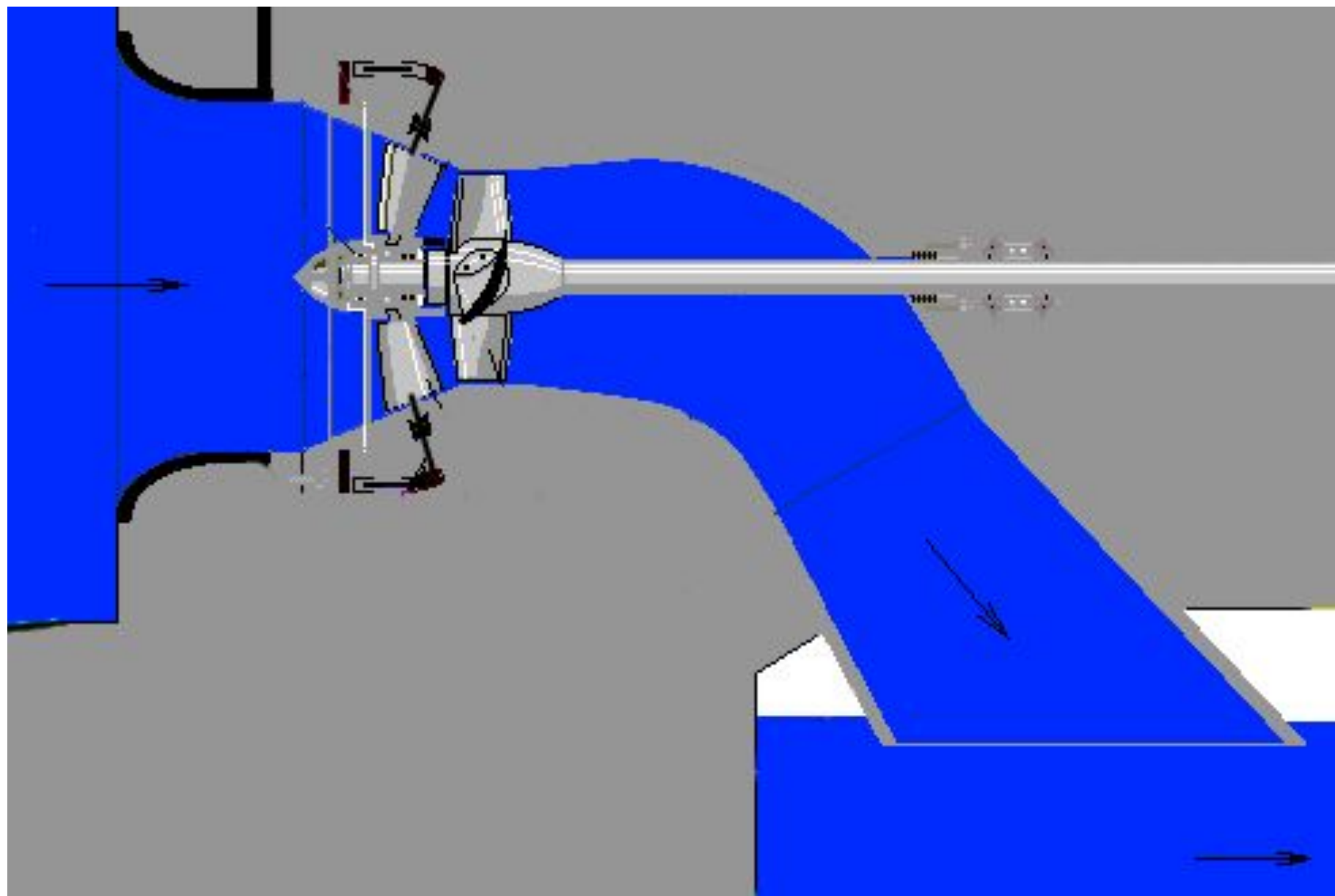
Průměr kola	1,5 m
Průměr lopatky	0,1 m
Průměr osy	0,1 m
Průměr vstupu	0,1 m
Průměr výstupu	0,1 m

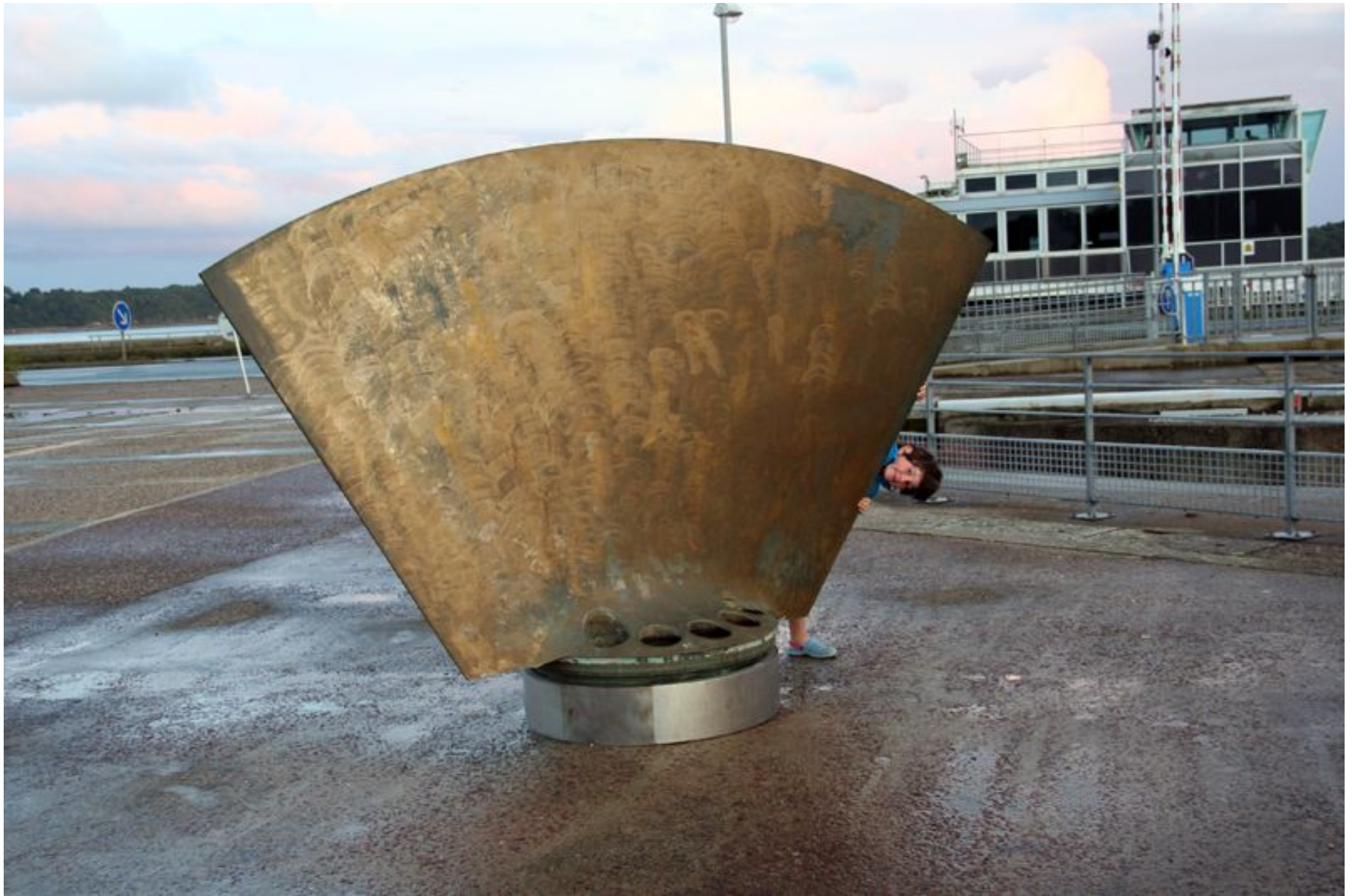




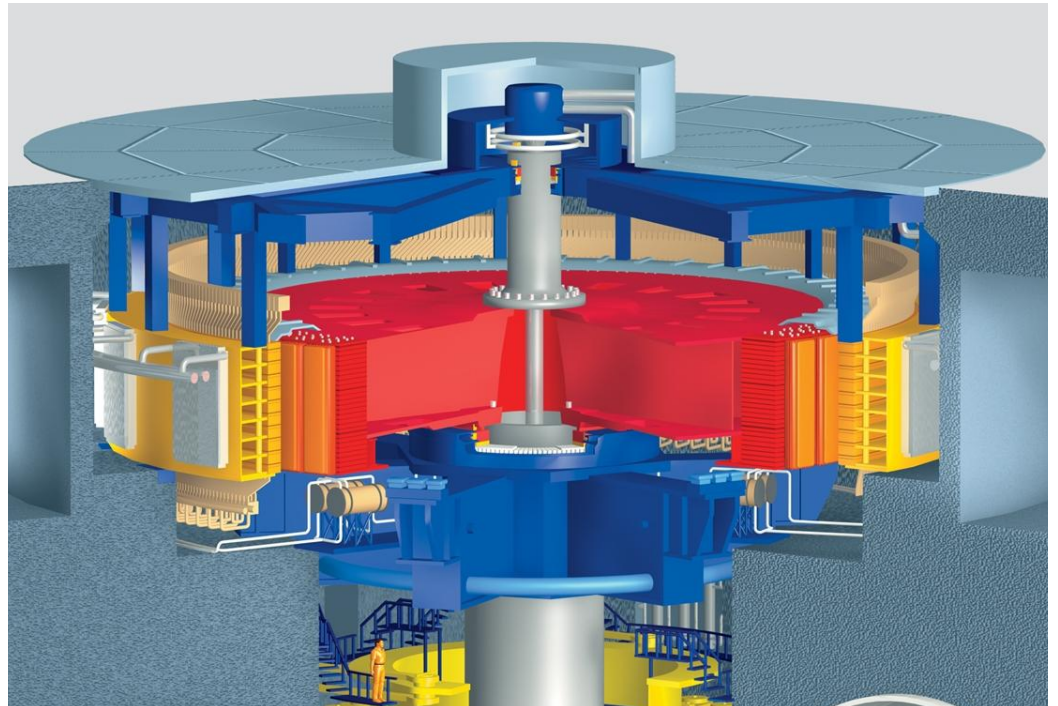








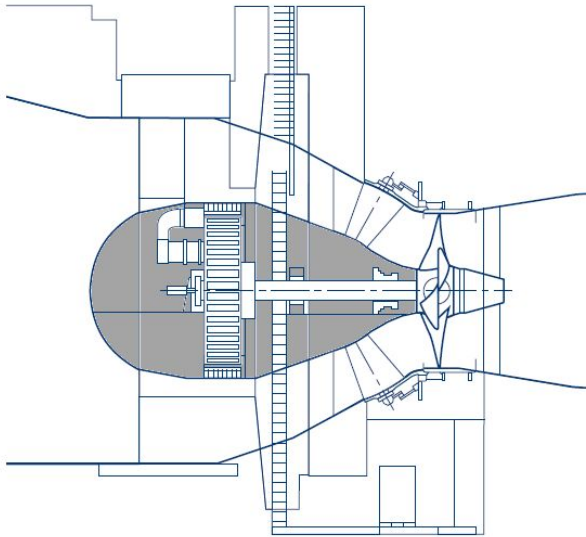
Vertikální generátor



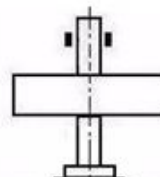
Horizontální generator



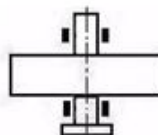
Proudnicový generátor



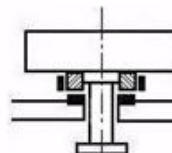
Uspořádání vertikálních generátorů



W 1
IM 8015



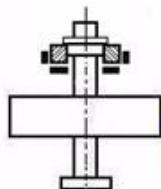
W 3
IM 8025



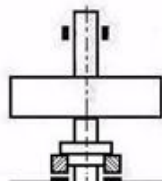
W 8
IM 8005



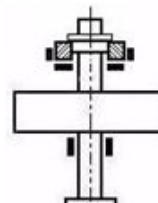
W 6
IM 8140



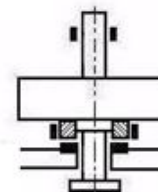
W 21
IM 8415



W 22
IM 8215



W 41
IM 8425

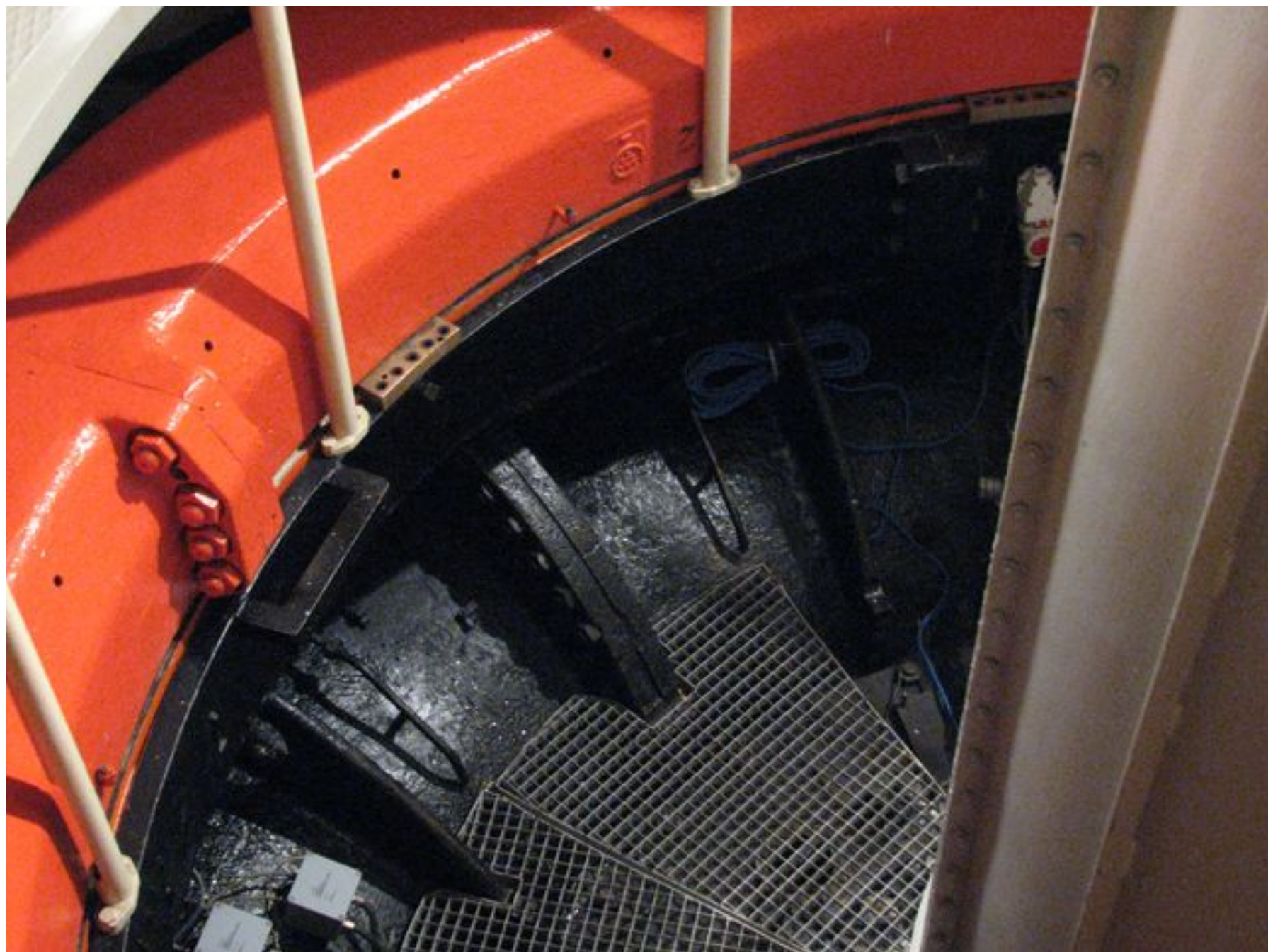


W 42
IM 8225









Regulační zařízení

Obtok

Rybí přechod

Lodní výtah







