

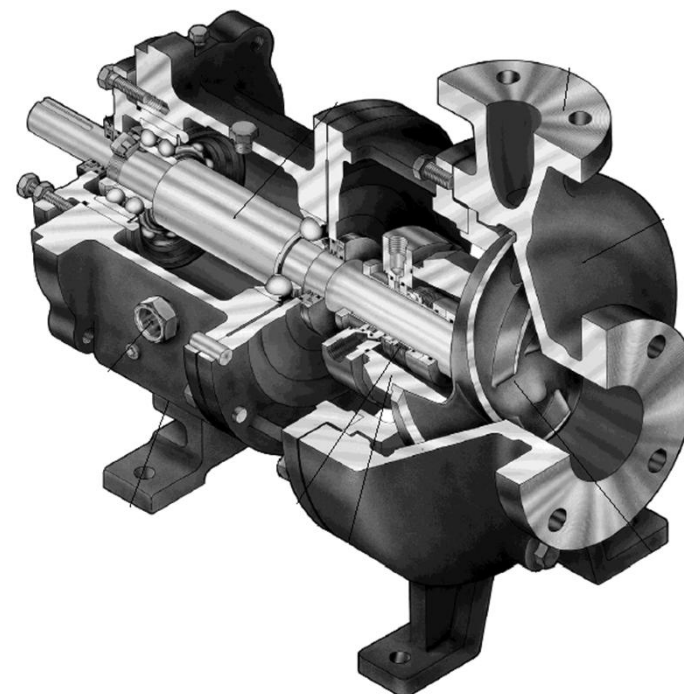
Agronomická  
fakulta

11.12.2013, Brno  
Připravil: Tomáš Vítěz

# Mechanika tekutin

Čerpadla

Mendelova  
univerzita  
v Brně



## Čerpadla - zařízení pro dopravu tekutin

Doprava tekutin může být uskutečňována pomocí

- čerpadel,
- ventilátorů,
- kompresorů.

Tato zařízení zvýší mechanickou energii tekutiny, která:

- změní rychlost (průtok),
- změní tlak,
- změní výšku.

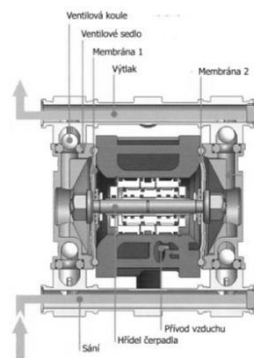
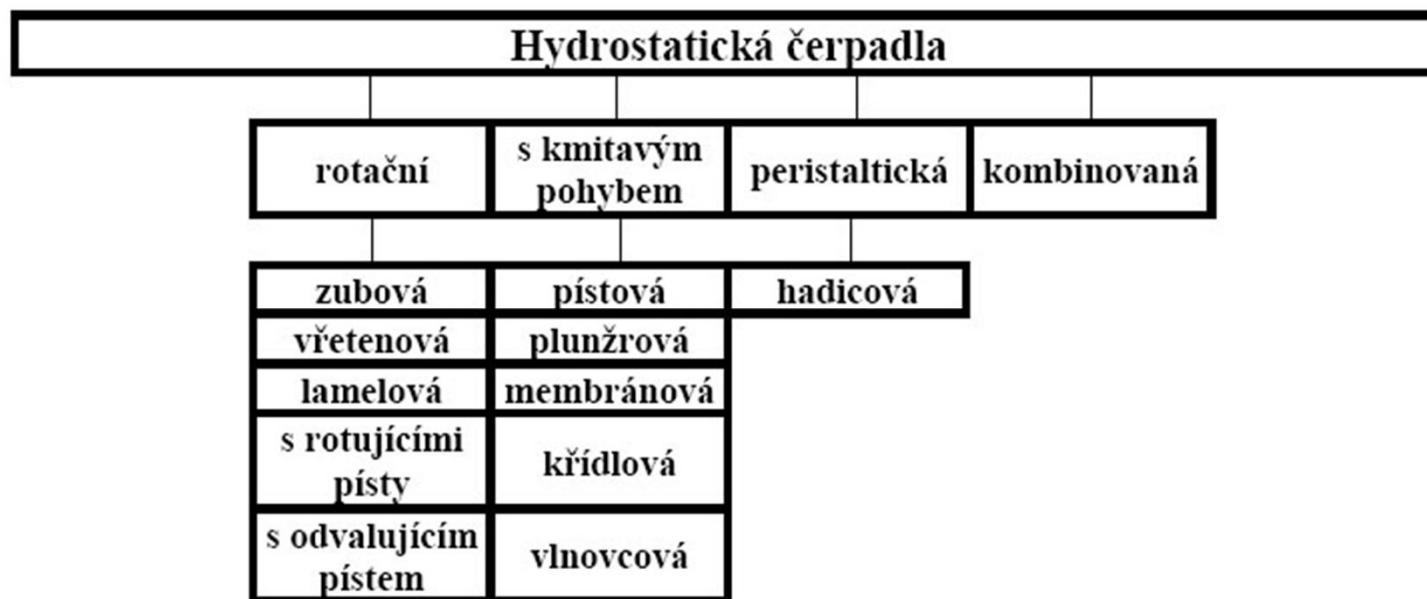
## **Principy funkce čerpadel**

Hydrostatická – přímá transformace mechanické energie na energii hydraulickou

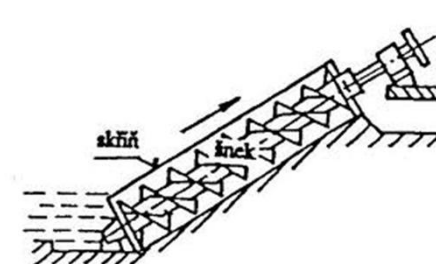
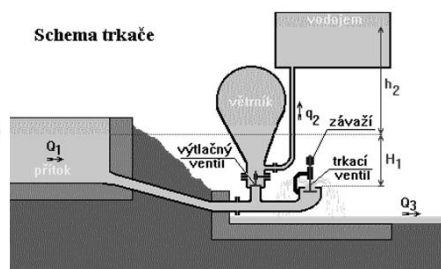
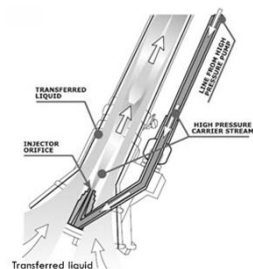
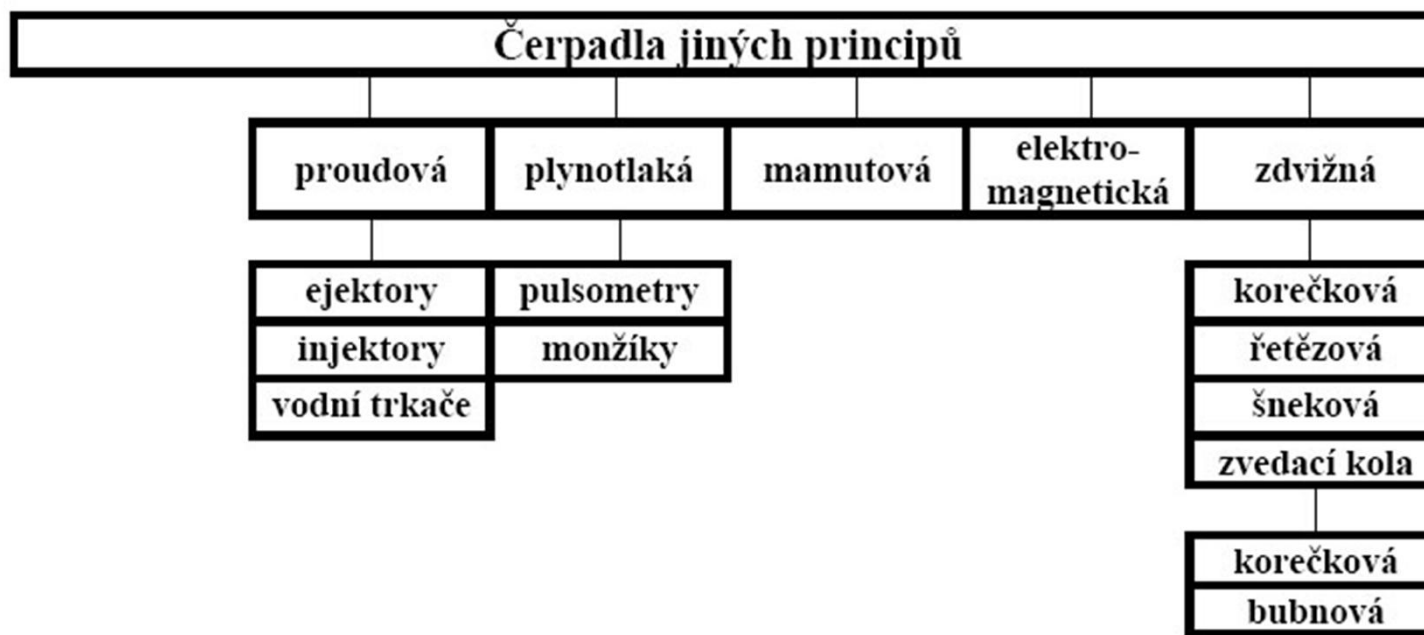
Hydrodynamická – nepřímá transformace mechanické energie na energii hydraulickou, prostřednictvím změny kinetické energie kapaliny (oběžné kolo)

Čerpadla jiných principů

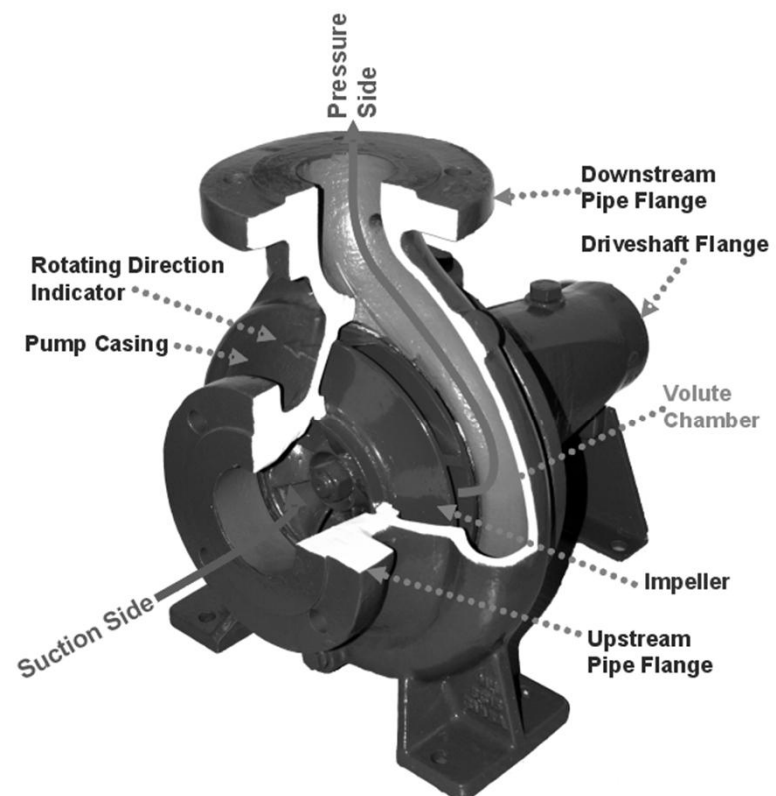
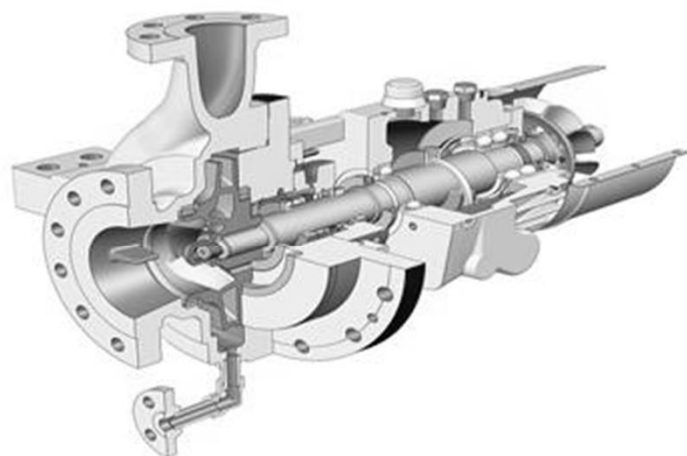
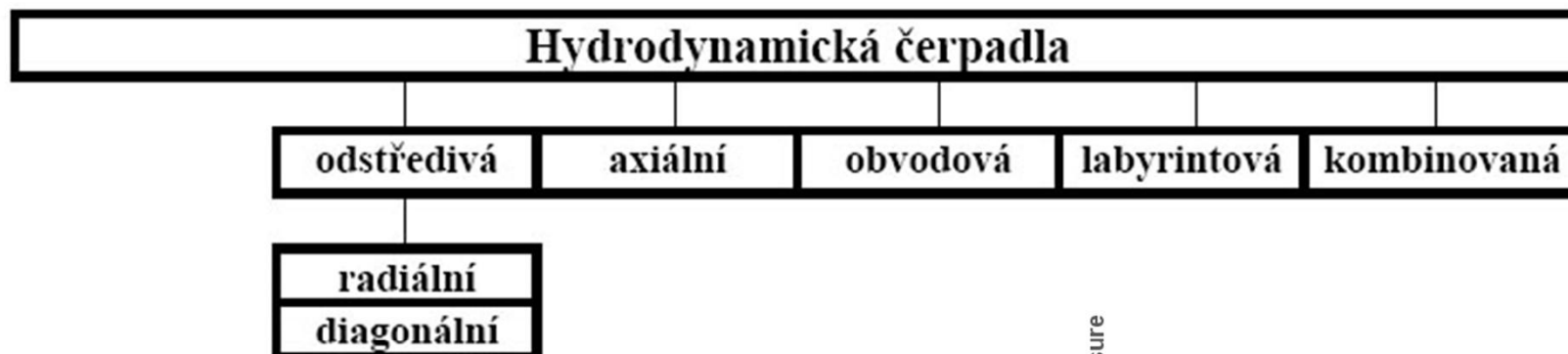
# Hydrostatická čerpadla



# Čerpadla jiných principů



# Hydrodynamická čerpadla



## Hlavní parametry čerpadel

Průtok  $Q$  – užitečný objem dopravované kapaliny [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Dopravní výška  $H$  – energie předaná každému kilogramu kapaliny, vyjadřuje se v [m] sloupce kapaliny

Otáčky  $n$  – charakterizují pohon čerpadla [ $\text{s}^{-1}$ ]

## Hydrodynamická čerpadla

Koncepce a tvar stroje vychází z:

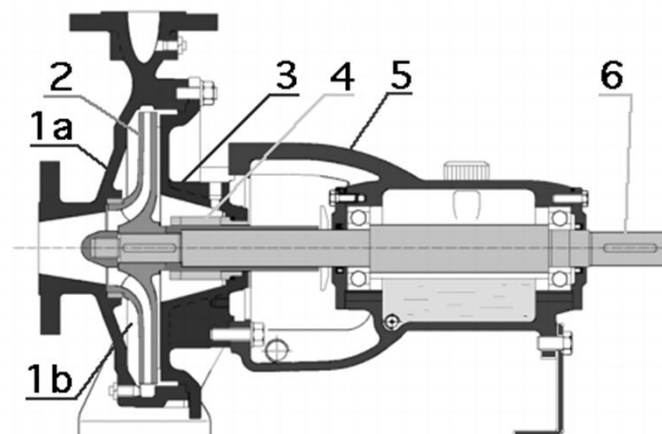
- požadovaných hlavních parametrů ( $Q$ ,  $H$ ,  $n$ ),
- sací schopnosti,
- vlastností dopravované tekutiny,
- požadavků na umístění čerpadla v trubním systému,
- platných zákonných předpisů,
- technických pravidel.



## Hydrodynamická čerpadla

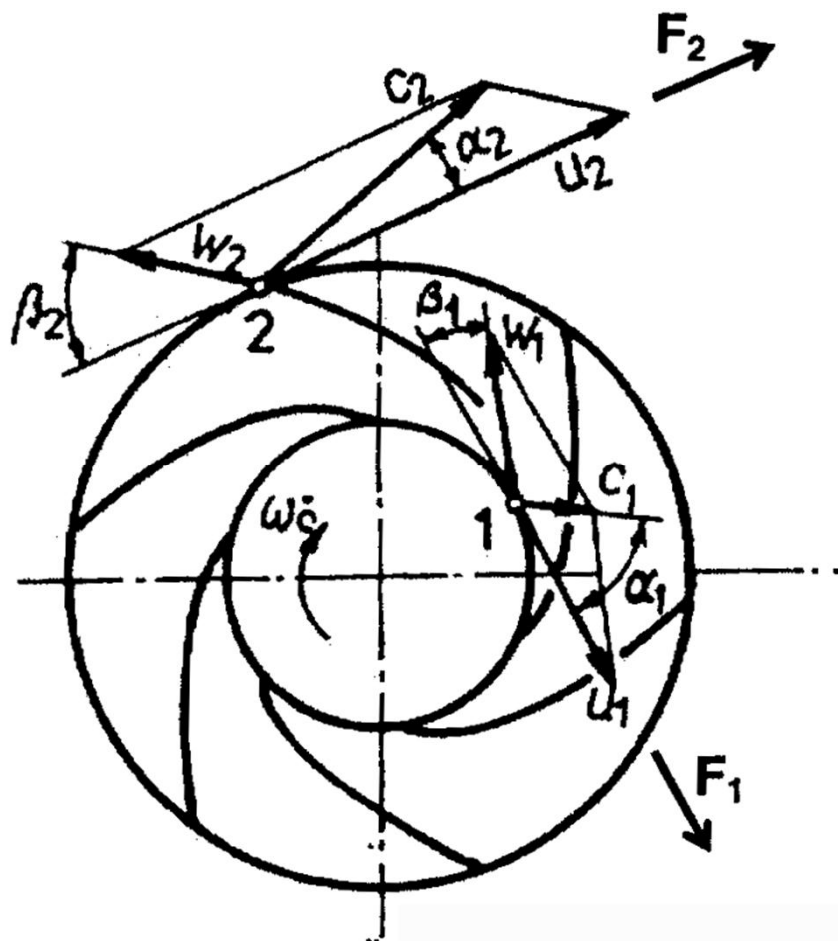
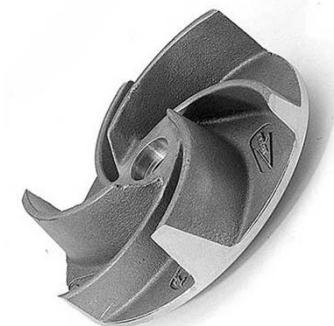
### Významné konstrukční znaky:

- počet stupňů (jednostupňové, vícestupňové),
- poloha hřídele (horizontální, vertikální),
- skříň (radiální - spirální, axiální - válcová),
- počet proudů v oběžném kole (jednoproudé, dvouproudé),
- typ elektromotoru.



# Hydrodynamická čerpadla

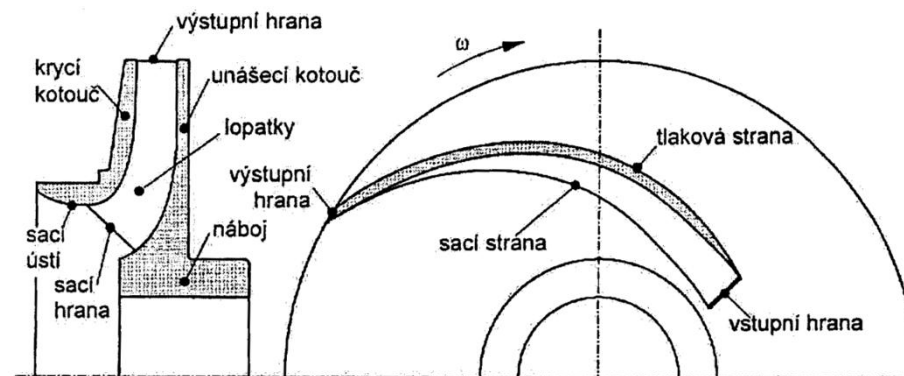
## Princip funkce – Eulerova rovnice



$c$  – absolutní rychlost (vůči pevnému prostoru)

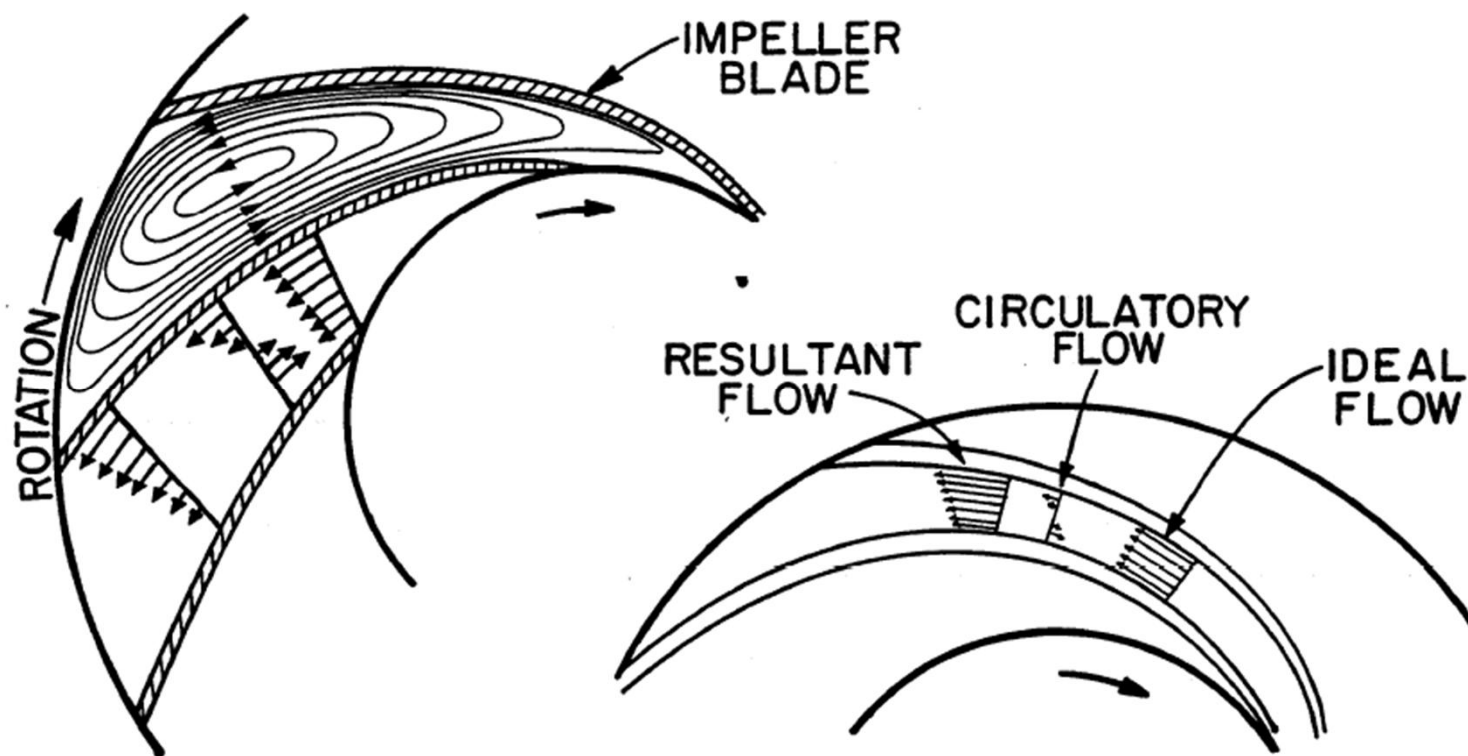
$w$  – relativní rychlost (vůči oběžnému kolu)

$u$  – unášivá rychlost (součin poloměru a úhlové rychlosti,  $u = r \cdot \omega$ )



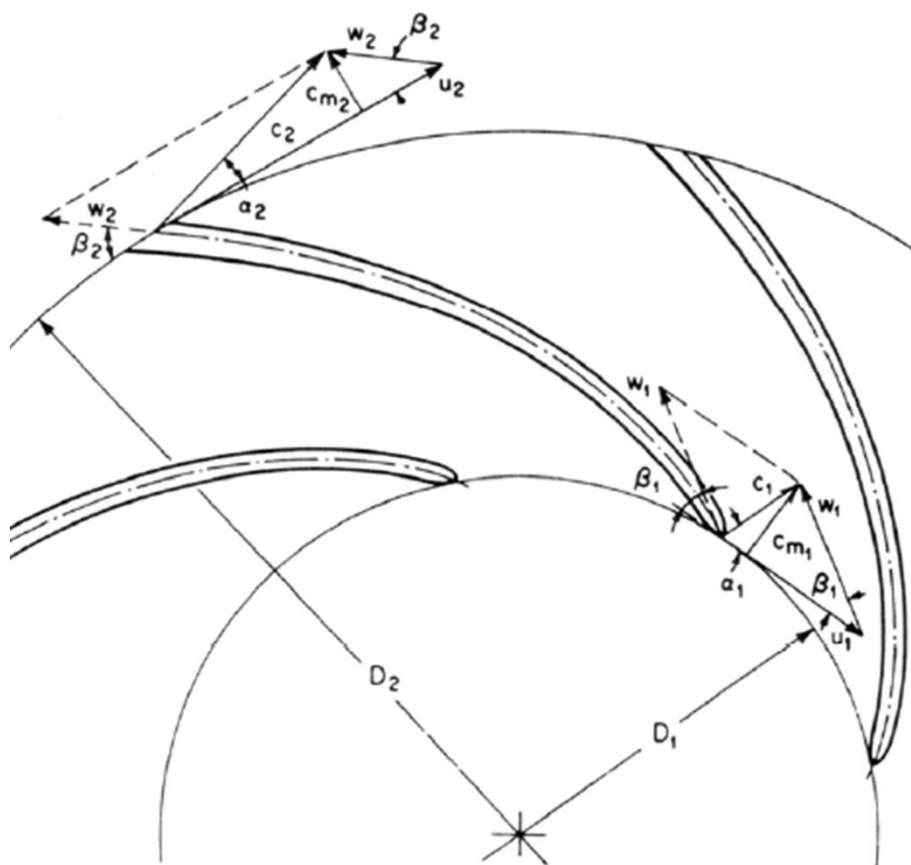
# Hydrodynamická čerpadla

## Rychlostní profil tekutiny uvnitř oběžného kola

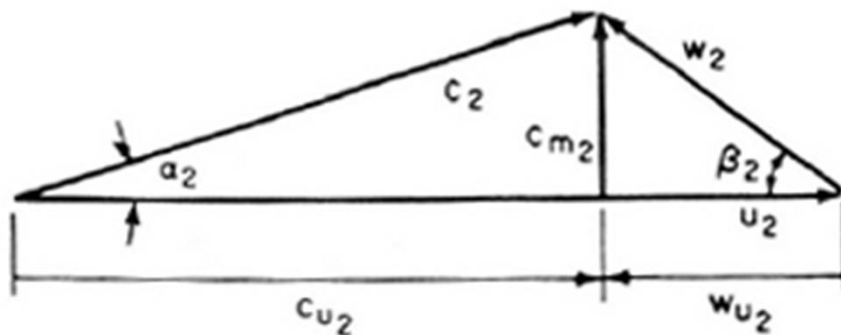


# Hydrodynamická čerpadla

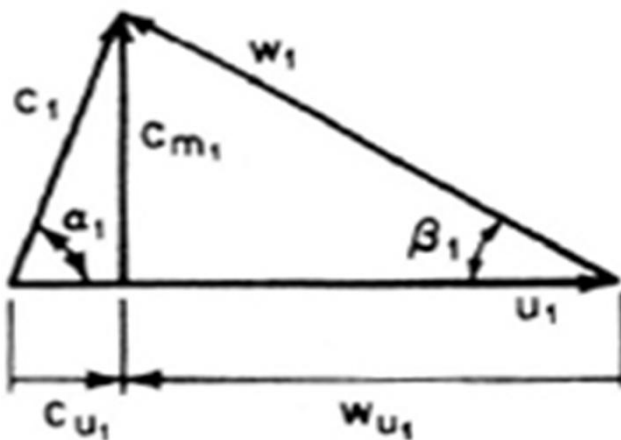
## Rychlosti na vstupu a výstupu z oběžného kola



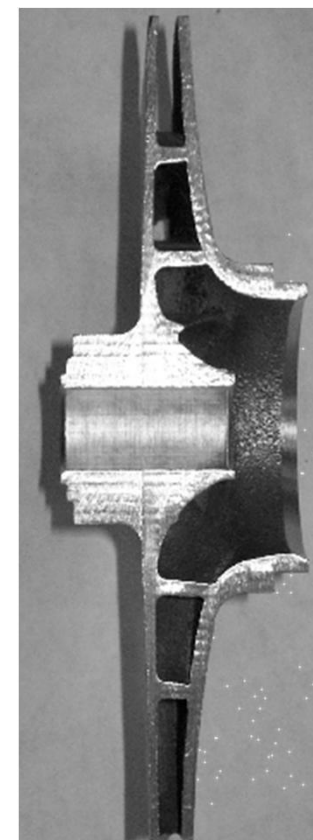
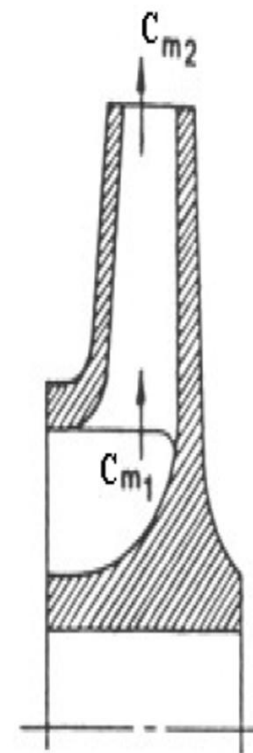
# Hydrodynamická čerpadla



## Výstupní rychlostní trojúhelník

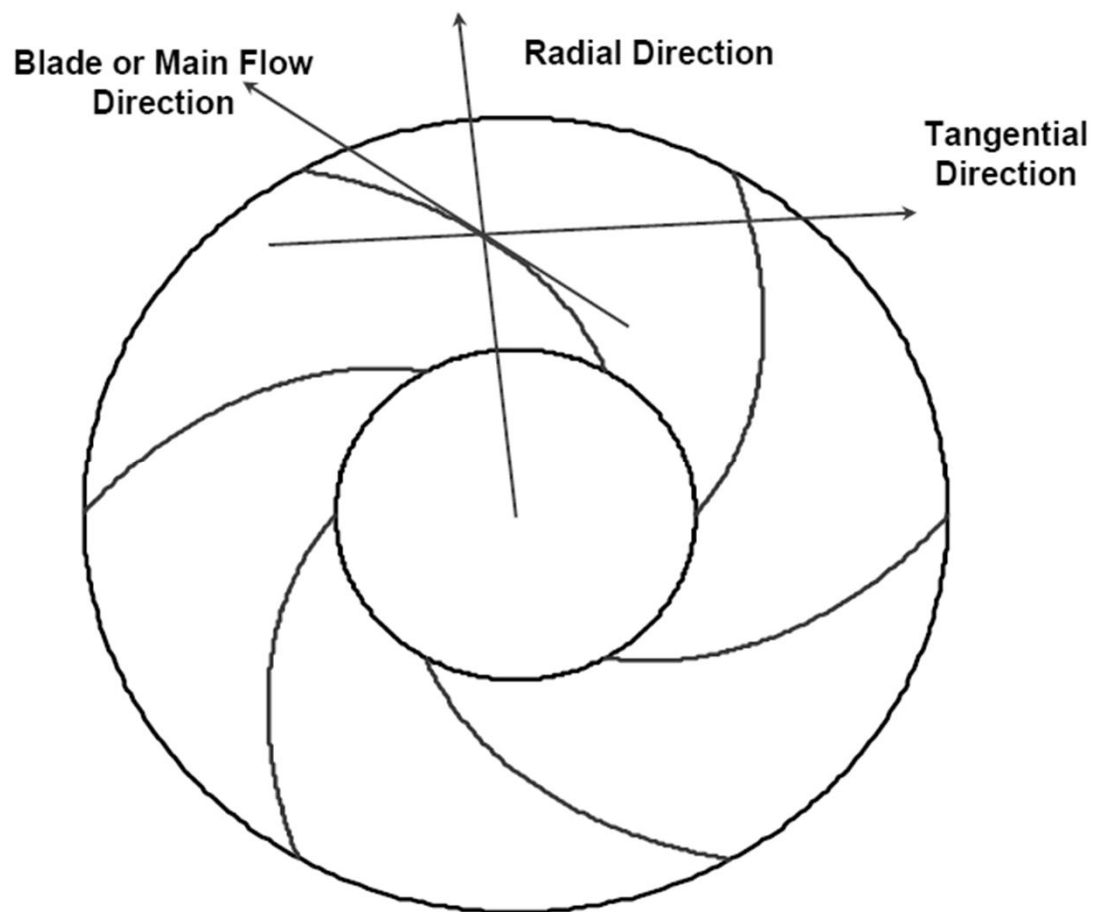


## Vstupní rychlostní trojúhelník



# Hydrodynamická čerpadla

## Bodová rychlost na lopatce oběžného kola

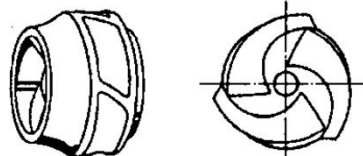


# Hydrodynamická čerpadla

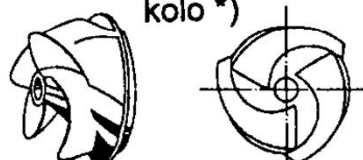
## Oběžná kola



radiální oběžné kolo \*)



uzavřené diagonální oběžné kolo \*)



otevřené diagonální oběžné kolo



axiální  
(vrtulové) oběžné kolo\*)



dvuproudové radiální oběžné kolo \*)

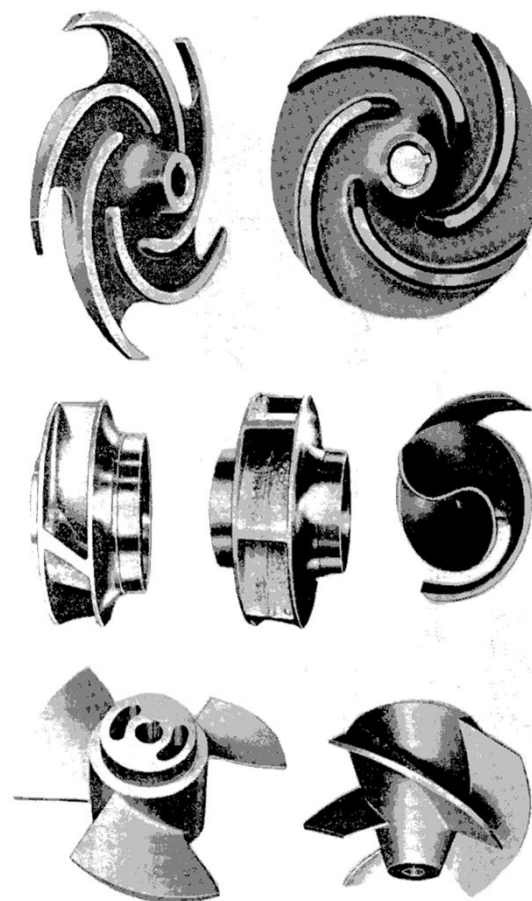


hvězdicové periferální oběžné kolo (samonasávací)

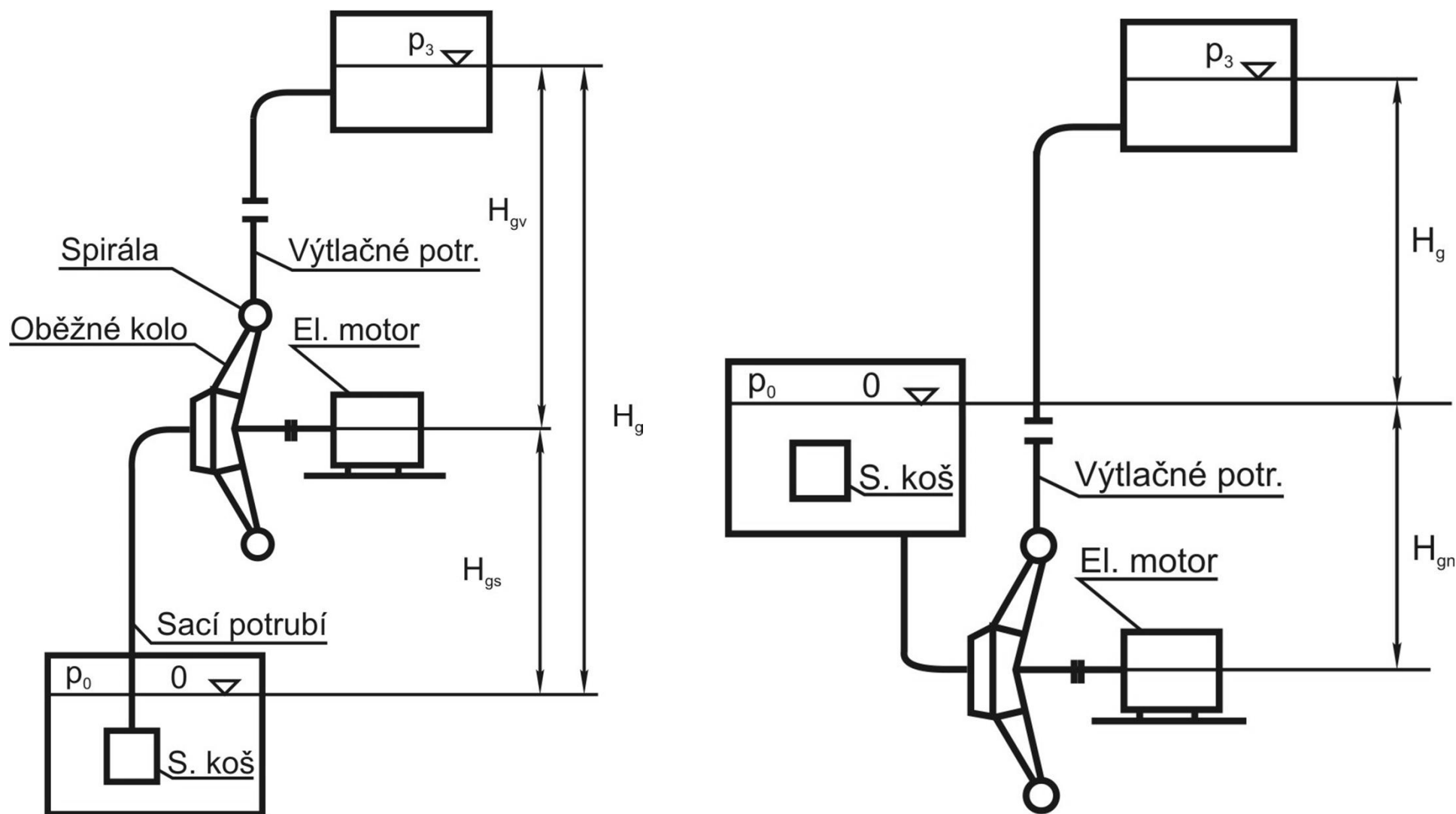


periferální oběžné kolo pro velmi malé měrné otáčky ( $n_q = 3$  až 10)

čelní pohled je zobrazen bez krycího disku



# Charakteristika čerpacího systému



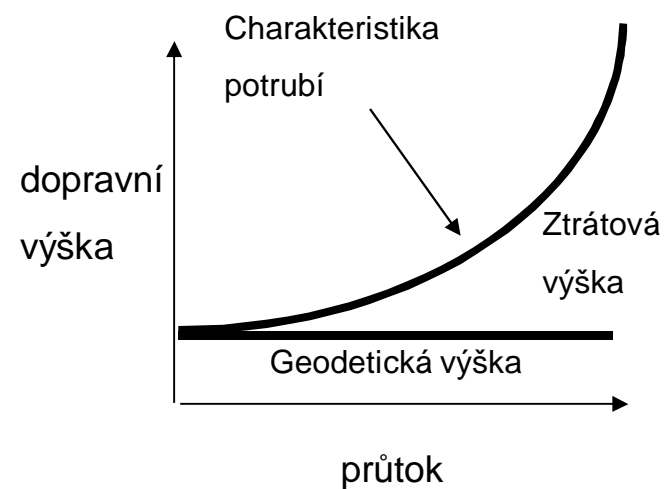
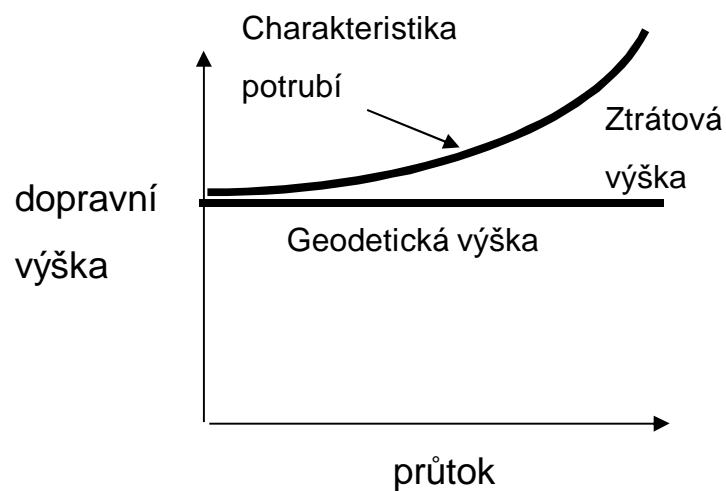


# Charakteristika čerpacího systému

Celková dopravní výška

=

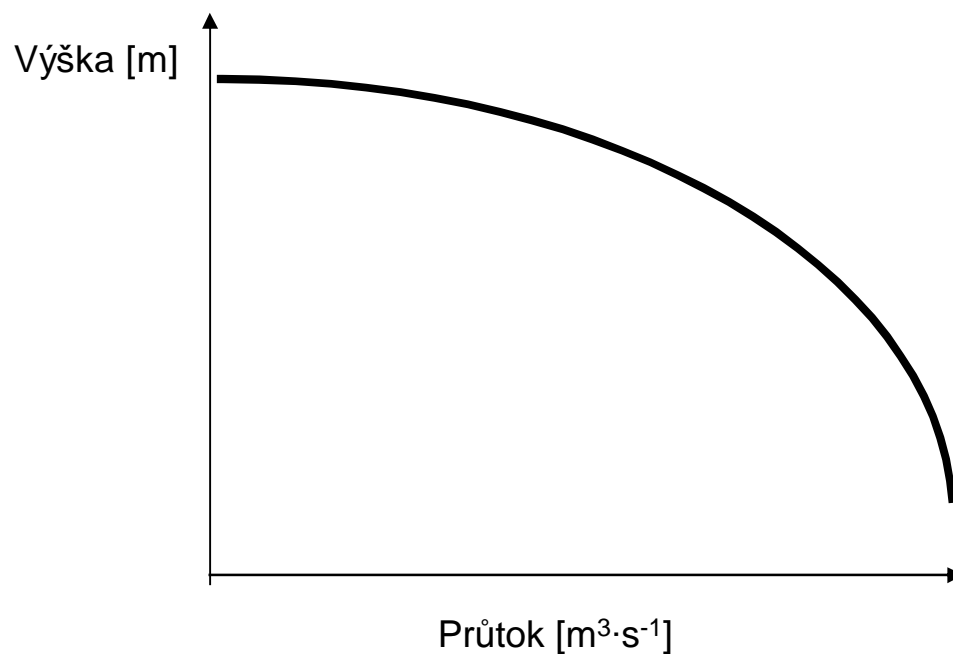
Geodetická dopravní výška + ztráty



# Charakteristika čerpacího systému

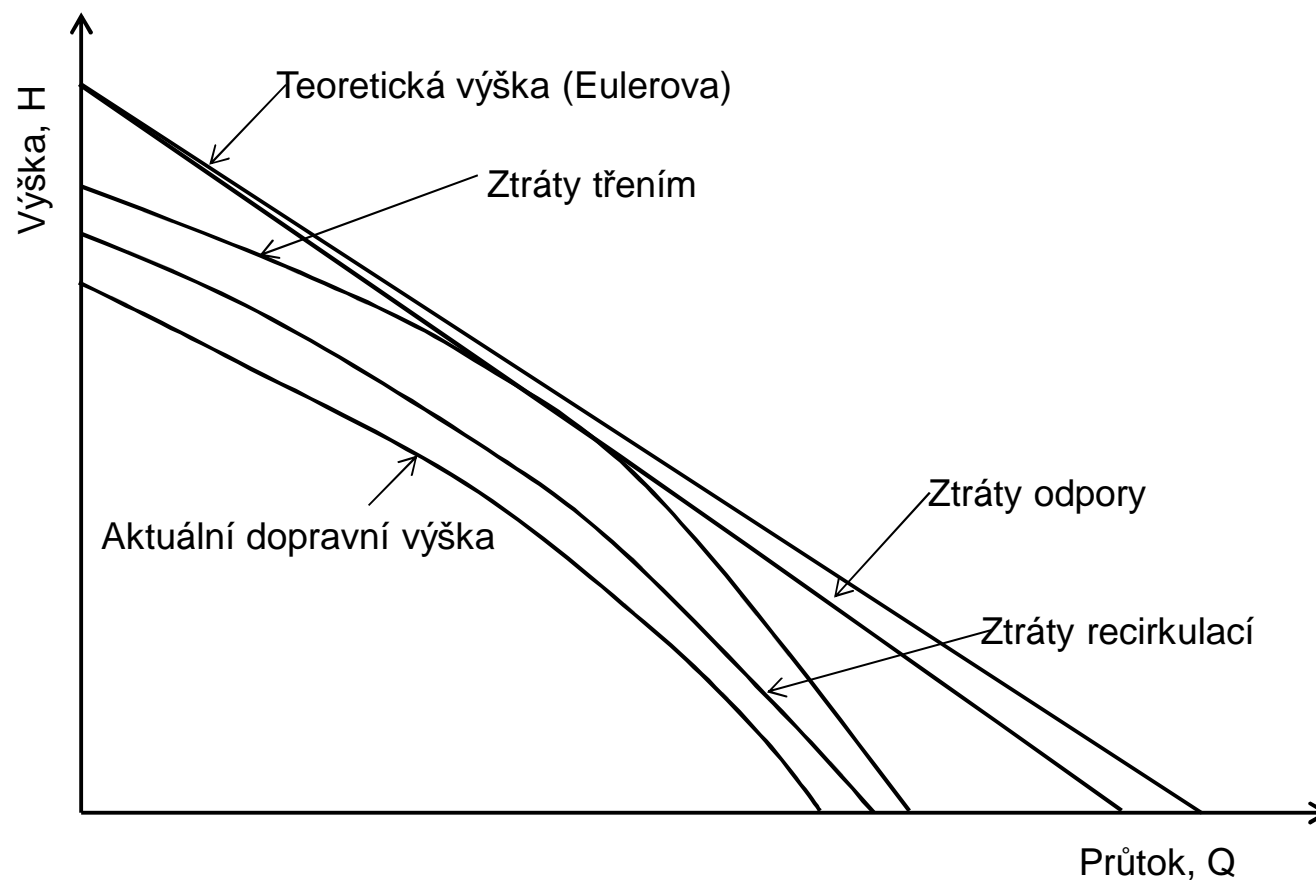
## Charakteristika čerpadla

- vztah mezi průtokem a výškou



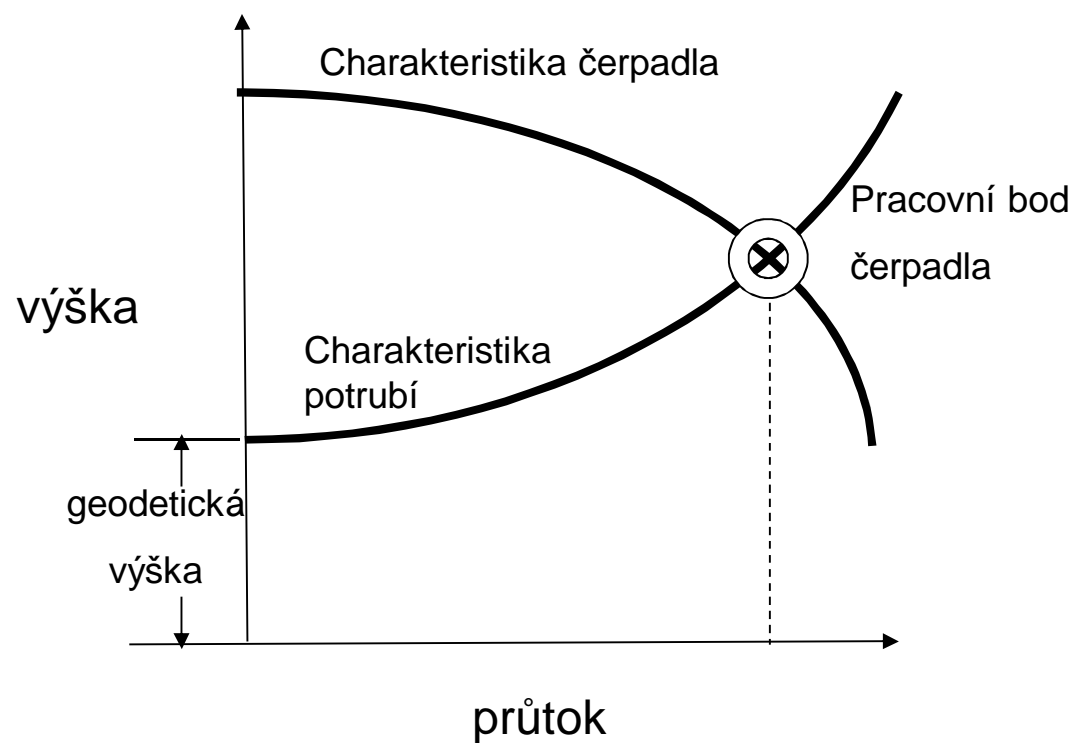
# Charakteristika čerpacího systému

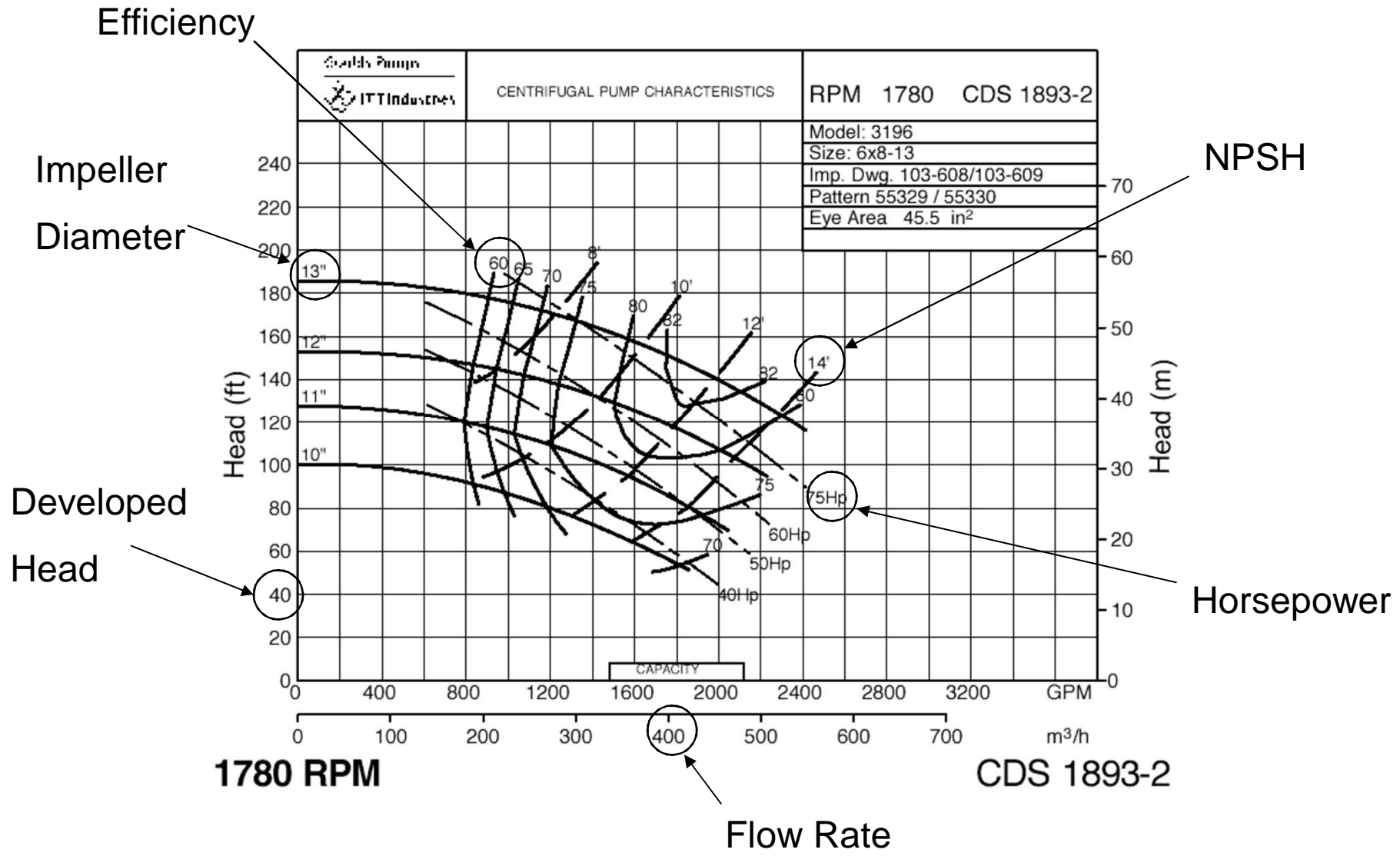
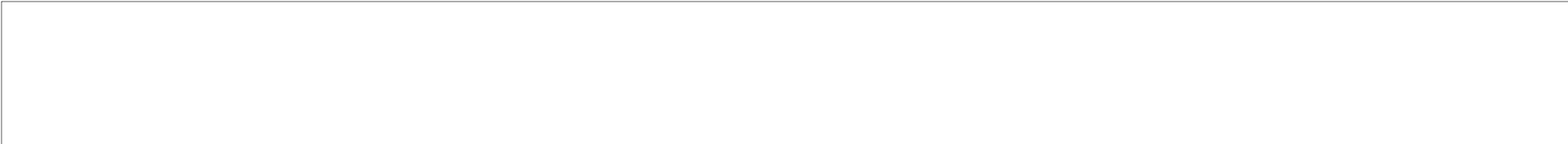
## Charakteristika čerpadla



# Charakteristika čerpacího systému

## Pracovní bod čerpadla





## Hydrodynamická čerpadla - výpočty

Vycházíme z Bernoulliho rovnice, která vyjadřuje pro ustálený stav proudění podíl jednotlivých druhů energie.

$$H_g = \frac{p_3 - p_0}{\rho \cdot g} + \frac{v_3^2 - v_0^2}{2 \cdot g} + h_{sv} \quad [m]$$

tlaková energie
kinetická energie
svislá odlehlost sacího a výtlačného hrdla

Tlakovou diferencí mezi vstupem a výstupem vypočteme z předchozího vztahu.

$$\Delta p = p_3 - p_0 = \rho \cdot g \cdot \left[ H_g - h_{sv} - \frac{(v_3^2 - v_0^2)}{2 \cdot g} \right] \quad [Pa]$$

# Dopravní výška čerpacího systému

Vycházíme z Bernoulliho rovnice, která vyjadřuje pro ustálený stav proudění podíl jednotlivých druhů energie



Daniel Bernoulli  
(1700 – 1782)

$$H = H_g + \frac{p'' - p'}{\rho \cdot g} + \left( \frac{v''^2 - v'^2}{2 \cdot g} \right) + \Sigma H_z [m]$$

statická část
dynamická část

polohové
tlakové
kinetické
ztrátové

geodetická výška – rozdíl hladin v sací a výtlačné nádrži

tlaková výška – rozdíl tlaků nad hladinami v sací a výtlačné nádrži

rychlostní výška – rozdíl rychlostních výšek v nádržích

ztrátová výška – hydraulické ztráty

!!! Všechny tlaky v Bernoulliho rovnici dosazovat v absolutní hodnotě !!!

# Dopravní výška čerpacího systému

V praxi možno vycházet z určitých zjednodušení

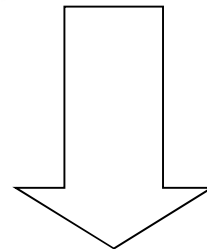
- zanedbat člen rychlostních výšek
- pokud jsou otevřené nádrže → další zjednodušení



Daniel Bernoulli  
(1700 – 1782)

$$H = H_g + \frac{p'' - p'}{\rho \cdot g} + \left( \frac{v''^2 - v'^2}{2 \cdot g} \right) + \Sigma H_z \text{ [m]}$$

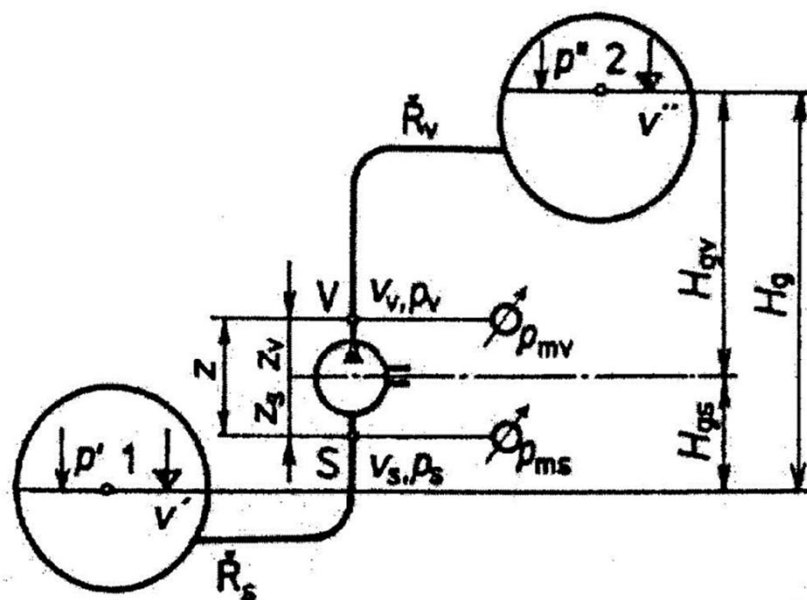
statická část
dynamická část



$$H = H_g + \Sigma H_z \text{ [m]}$$



# Hydrodynamická čerpadla - výpočty



- S – sací hrdlo čerpadla
- V – výtlačné hrdlo čerpadla
- $v_s, v_v$  – rychlosti kapaliny v sacím a výtlačném hrdle čerpadla
- $v', v''$  – rychlosti změny polohy hladin v nádržích (nejčastěji zanedbatelné)
- $p_s, p_v$  – tlaky (absolutní) v sacím a výtlačném hrdle čerpadla
- $p_{ms}, p_{mv}$  – manometrické (relativní) tlaky v sacím a výtlačném hrdle čerpadla
- $z = z_s + z_v$  – svislá odlehlost hrdel čerpadla
- $H_g$  – geodetická výška
- $H_{gs}$  – geodetická výška sací
- $H_{gv}$  – geodetická výška výtlačná

Obr.1.4 Schéma jednoduchého hydraulického systému k čerpání kapaliny

$$H = H_{\text{geo}} + \frac{v_s^2}{2g} \left( \alpha + \lambda_s \frac{L_s}{d_s} + \sum \xi_s \right) + \frac{v_v^2}{2g} \left( \alpha + \lambda_v \frac{L_v}{d_v} + \sum \xi_v \right) [\text{m}]$$

↑
↑
↑

Geodetická výška      Sací (vakuometrická) výška      Výtlačná (manometrická) výška

## Hydrodynamická čerpadla - výpočty

Příkon čerpadla

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad [\text{W}]$$

Účinnost čerpadla

$$\eta = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{M \cdot \omega} \quad [-]$$

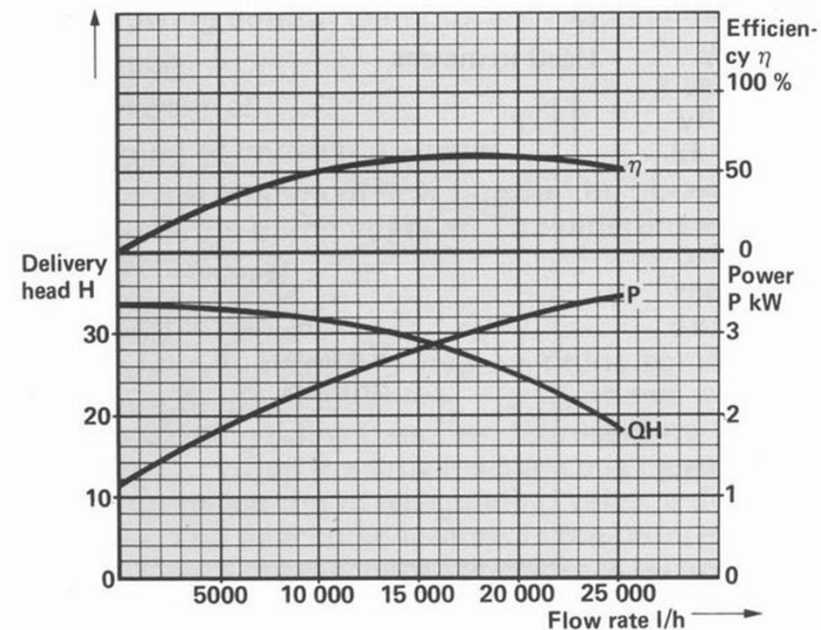


Fig. 38 Pump diagram (centrifugal)

## Hydrodynamická čerpadla - výpočty

Zákony podobnosti

$$q_2 = q_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)$$

$$q_2 = q_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$H_2 = H_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

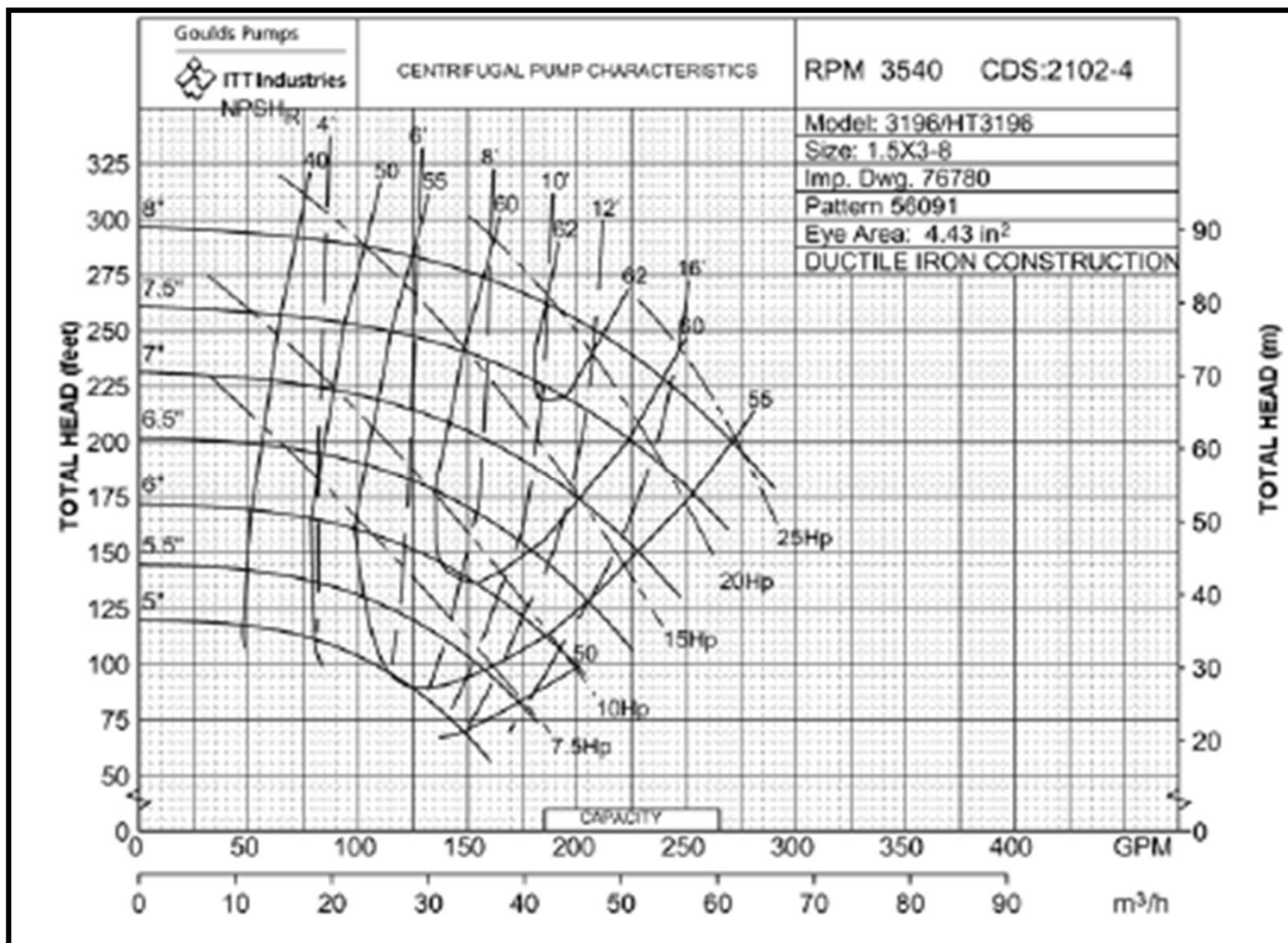
$$H_2 = H_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

$$\frac{1 - \eta_2}{1 - \eta_1} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{1/5}$$

# Charakteristika čerpadla



## Příklad - návrh čerpací stanice

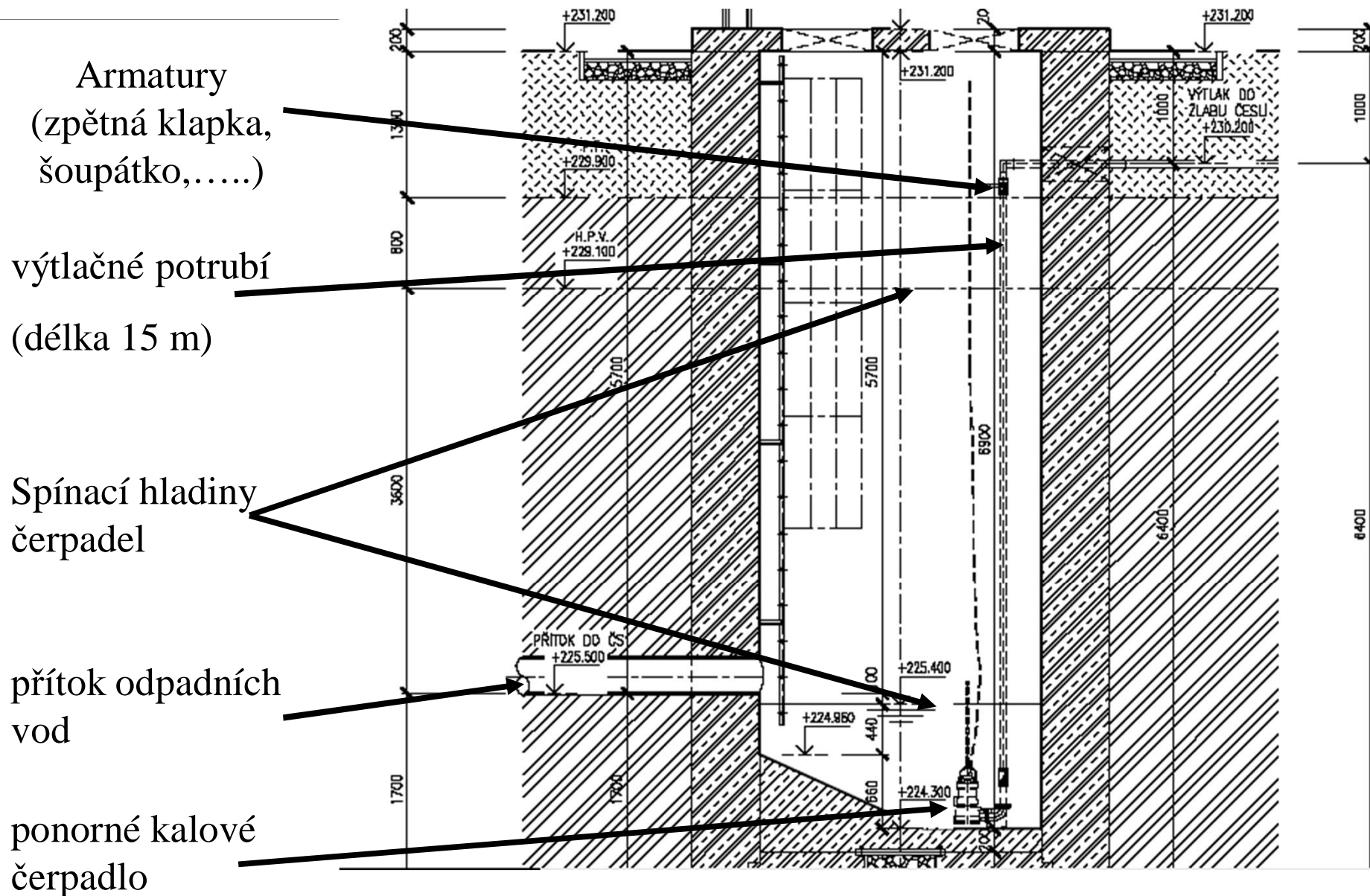
Navrhněte čerpací stanici, kde se ponorným kalovým čerpadlem čerpá  $Q = 17 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  odpadní vody do objektu mechanického předčištění.

- a) navrhněte čerpadlo,
- b) výtlačné potrubí (litinové),
- c) vypočítejte celkovou dopravní výšku.

Předpokládejte, že čerpadlo má průměr výtlačného hrdla 125 mm. Rychlost ve výtlačném řadu uvažujte  $v < 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

# Čerpací stanice

strana 30



## Postup výpočtu

1. Návrh výtlačného potrubí (na základě požadované rychlosti)
2. Výpočet  $Re$
3. Stanovení geodetické výšky
4. Výpočet součinitele tření  $\lambda$  – Colebrook – White
5. Stanovení součinitele místních ztrát  $\xi$
6. Výpočet dopravní výšky
7. Návrh čerpadla

# 1. Návrh výtlačného potrubí

$$v_{v,\max} = \frac{Q}{S} \Rightarrow d_{n,v} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_{v,\max}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,017}{\pi \cdot 2}} = 0,104 \text{ m}$$

Závěr: minimální průměr výtlačného potrubí je 105 mm.

V zadání máme průměr výtlačného hrdla 125 mm, tedy:

$$d_v = 0,125 \text{ m} \Rightarrow v_v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_v^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{\pi \cdot 0,125^2} = 1,385 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Závěr:

Potrubí vyhovuje, rychlost ve výtlačném potrubí bude  $1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < 2,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



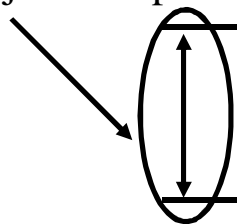
## 2. Výpočet Re

$$\text{Re} = \frac{v_v \cdot d_v}{\nu} = \frac{1,385 \cdot 0,125}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 171\,411$$

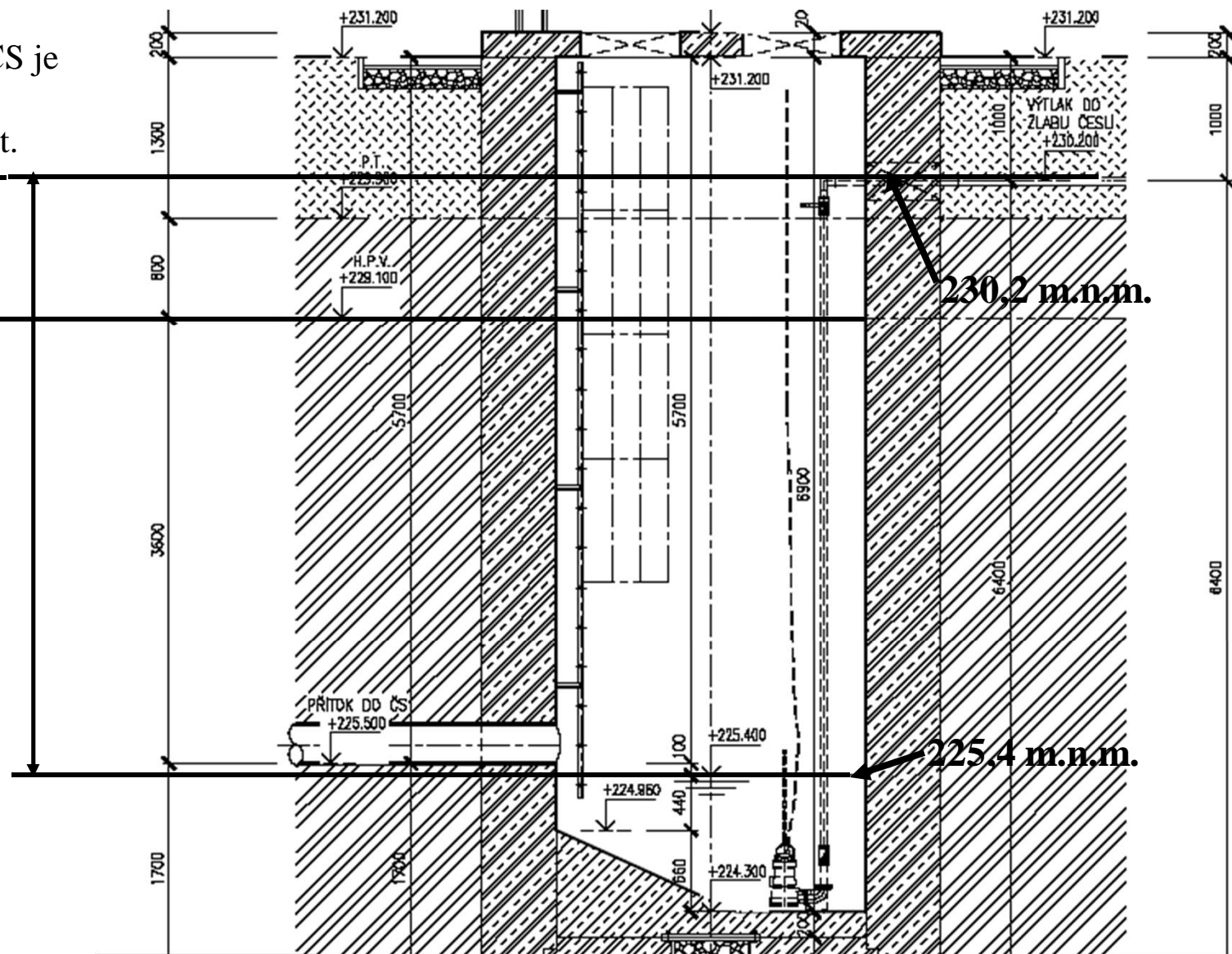
Závěr: Rozvinuté turbulentní proudění

# 3. Stanovení geodetické dopravní výšky

POZOR:  
při max. hladině v ČS je  
 $H_{geo}$  jen 1,1 m !!!!  
S tím je nutné počítat.



$H_{geo}$   
4,8 m



## 4. Stanovení součinitele tření

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7 \cdot d} \right)$$

Litina:  $\Delta = 0,001$  m - z tabulek

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{171411 \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{0,001}{3,7 \cdot 0,125} \right) = 0,036$$

Součinitel tření je 0,036 můžeme dosadit, Coriolisovo číslo uvažujeme 1,1.

$$H = H_{\text{geo}} + \frac{v_v^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \alpha + \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \xi \right) = 4,8 + \frac{1,385}{2 \cdot 9,81} \cdot \left( 1,1 + 0,036 \cdot \frac{15}{0,125} + \sum \xi \right)$$

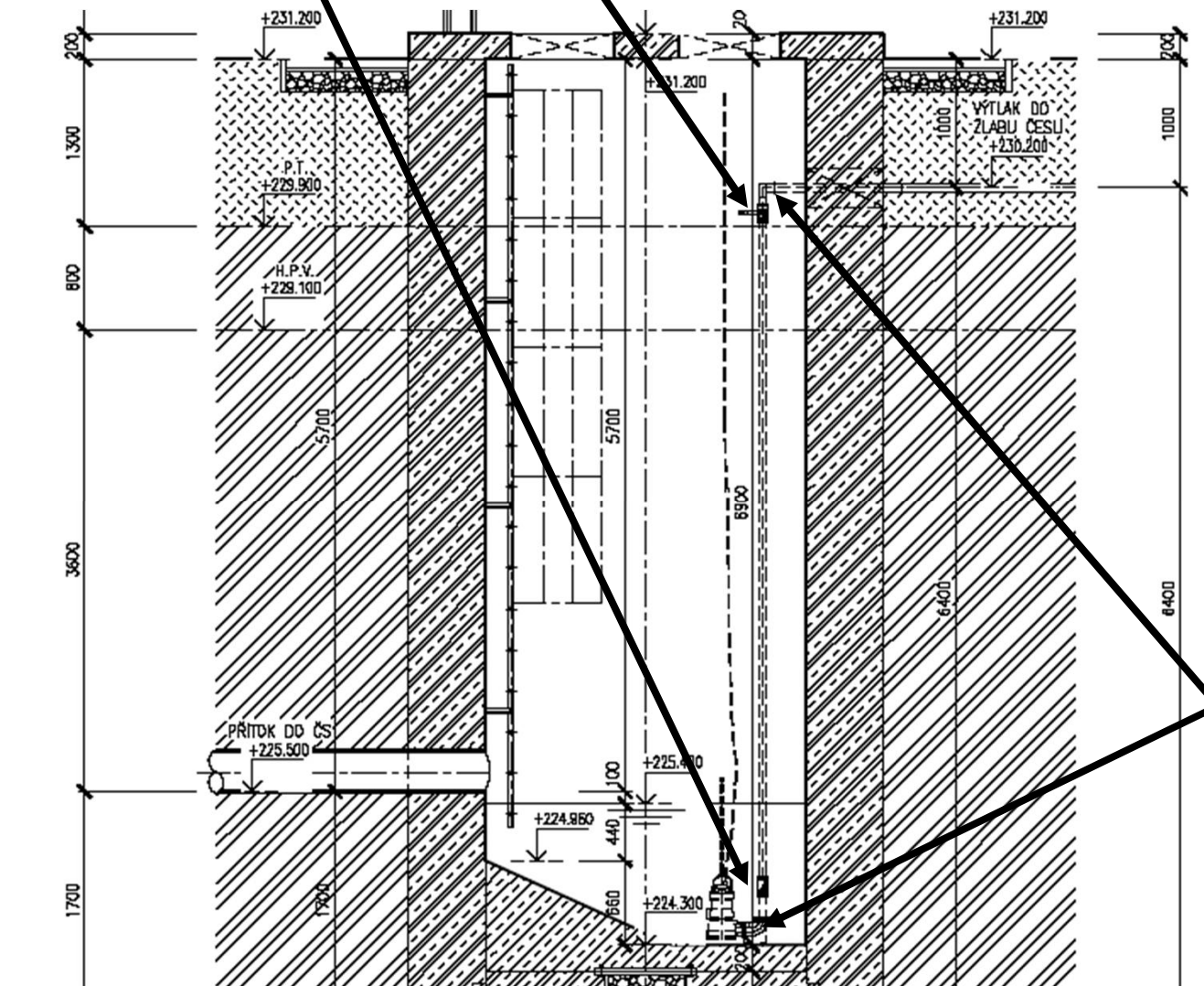
Zbývá vypočítat místní tlakové ztráty.

# 5. Stanovení součinitele místních ztrát

Zpětná klapka  
=  $\xi 2,2$

Uzavírací šoupátko  $\xi = 0,5$

Koleno 90° -  $\xi = 2 \times 0,3$



## 6. Výpočet dopravní výšky

$$H = H_{\text{geo}} + \frac{v_v^2}{2 \cdot g} \left( \alpha + \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \xi \right) = 4,8 + \frac{1,385^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left( 1,1 + 0,036 \cdot \frac{15}{0,125} + 2 \cdot 0,3 + 2,2 + 0,5 \right)$$

$$H = 5,65 \text{ m}$$

Závěr:

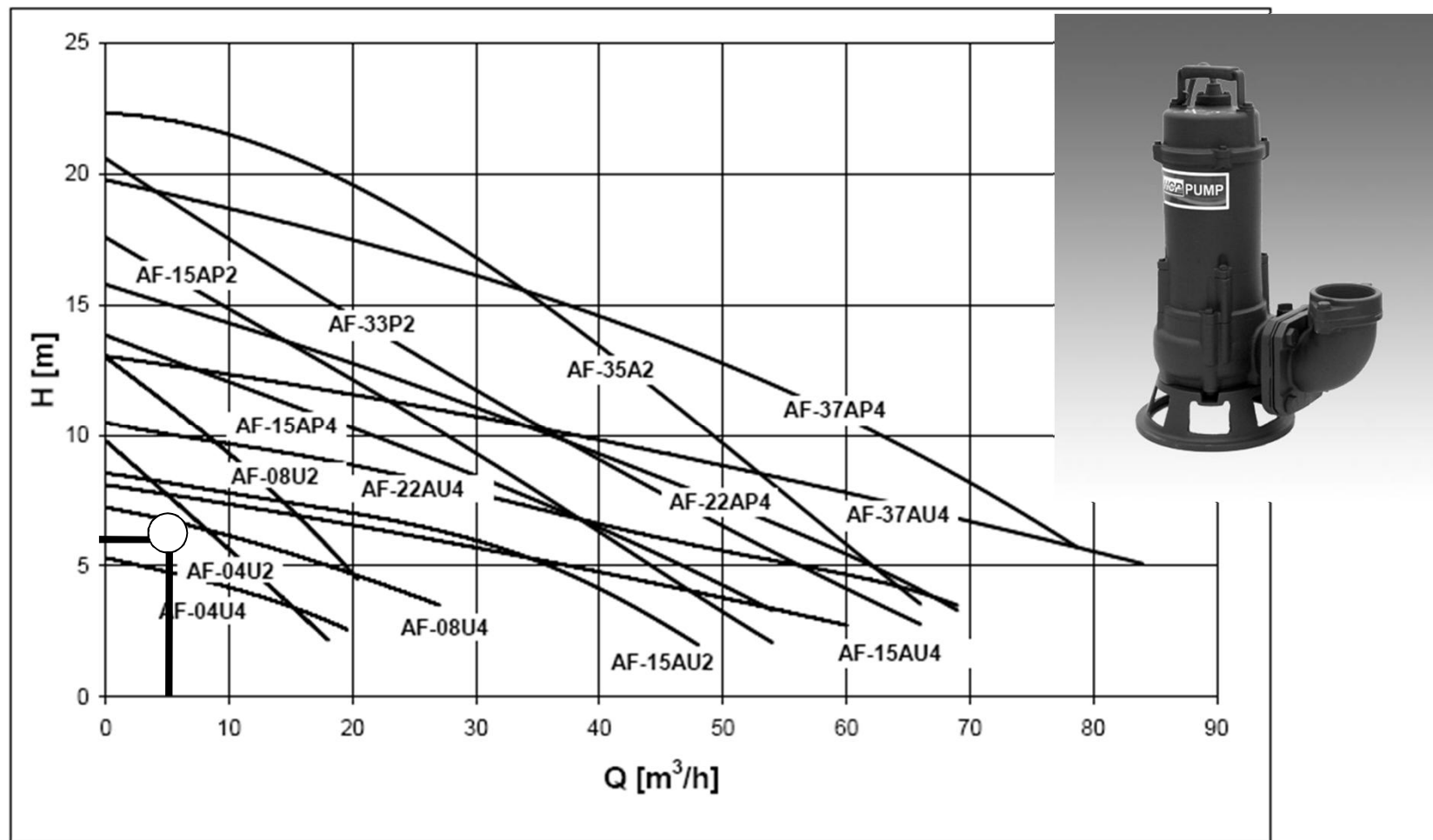
Návrhová dopravní výška je **5,65 m**. Známe Q i H, můžeme navrhnout čerpadlo (nesmíme zapomenout ho posoudit i při max. hladině v čerpací stanici – bude větší Q – je zásadní chybou na tuto skutečnost zapomenout).

## 7. Návrh čerpadla

Pro návrh čerpadla je nutné znát:

- charakteristiku čerpadla (od výrobce),
- charakteristiku potrubí.

## 7. Návrh čerpadla



$$17 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} = 4,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

**Děkuji za pozornost**