

Agronomická
fakulta

27.11.2013, Brno

Připravil: Tomáš Vítěz

Petr Trávníček

Mechanika tekutin

Proudění tekutin

Ztráty při proudění tekutin

Principy měření průtoku

**Mendelova
univerzita
v Brně**



Rovnice kontinuity

Při ustáleném proudění ideální kapaliny je součin obsahu průřezu S a rychlosti proudu v v každém místě trubice stejný.

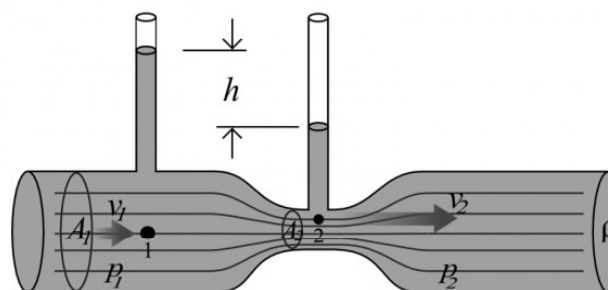
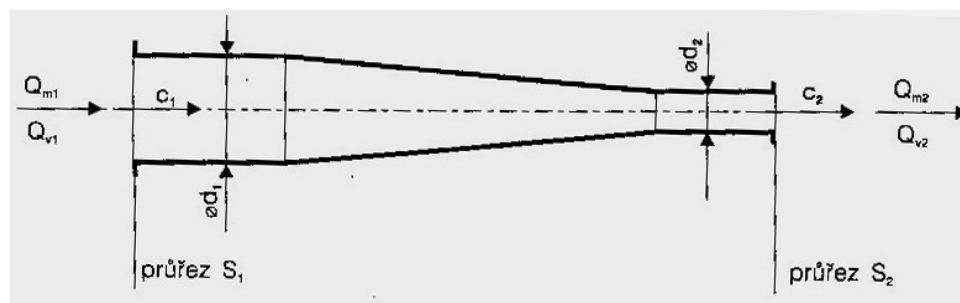
$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$S_1 \cdot v_1 \cdot \rho = S_2 \cdot v_2 \cdot \rho$$

$$Q_{v1} = Q_{v2} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

zákon zachování hmoty



Bernoulliho rovnice

Za ustáleného pohybu ideální kapaliny je součet polohové, tlakové i pohybové energie stálý pro všechny průřezy.

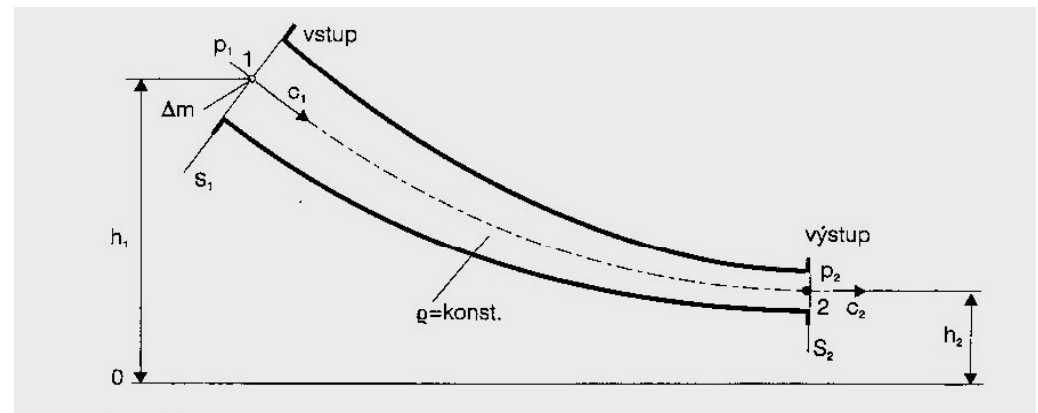


Daniel Bernoulli
(1700 – 1782)

$$E_{p1} = \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

$$E_{tl1} = \Delta V \cdot p_1 = \frac{\Delta m}{\rho} \cdot p_1$$

$$E_{k1} = \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_1^2$$



$$E_{p1} + E_{tl1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{tl2} + E_{k2} = \text{konst.}$$

zákon zachování energie

Ustálené tlakové proudění vody v potrubí

Potrubí – zařízení pro dopravu kapalin

Proudění v potrubí:

- beztlaké – s volnou hladinou (kanalizační stoky)
- tlakové

Hydraulický odpor (ztrátu) z Bernoulliho rovnice lze vyjádřit jako součet:

- ztrát třením
- místních ztrát

$$Z = \sum Z_t + \sum Z_m \quad [\text{m}]$$

Rozdělení potrubí z hlediska hydrauliky:

hydraulicky krátké – uvažují se místní ztráty (shybky, čerpací stanice,)

hydraulicky dlouhé – ztráty místní jsou vzhledem k ztrátám po délce zanedbatelné

Ztráty třením

Darcy – Weisbachova rovnice

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = [\text{m}]$$

λ .. součinitel tření

L .. délka potrubí

d .. průměr potrubí

v .. průřezová rychlost

Ztráty třením jsou obecně závislé na typu proudění (Re) a drsnosti stěn potrubí k .

Základní dělení proudění je na laminární a turbulentní oblast.

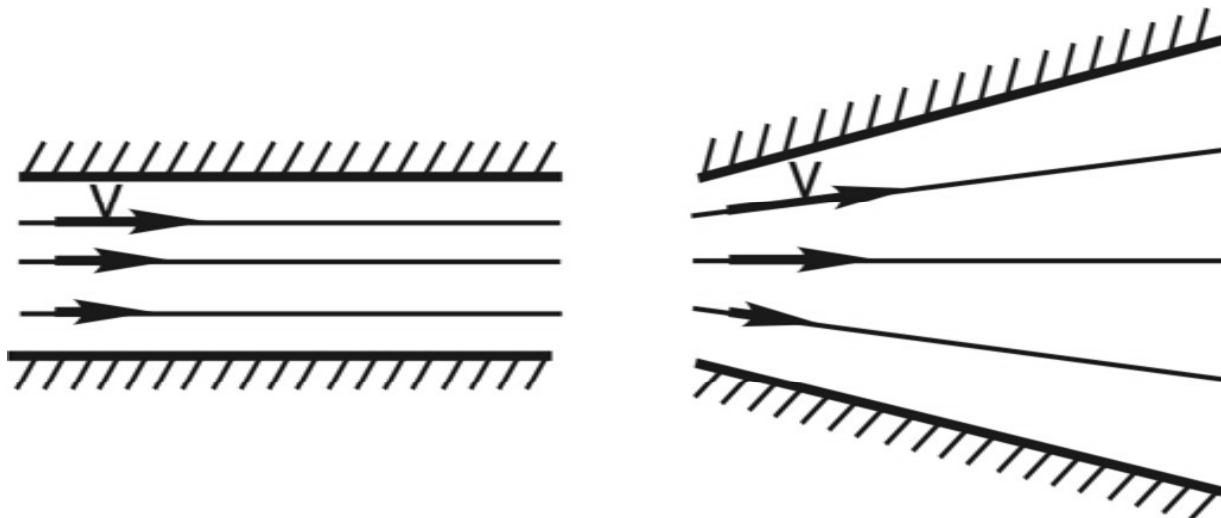
Ztráty třením

Laminární režim $\lambda = f(\text{Re})$ $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$

laminární pohyb - vodní částice se pohybují paralelně

Laminární proudění – pomalé

– proudové vlákna se po sobě posouvají



laminární pohyb - v kruhovém potrubí $\text{Re} < 2320$

- v otevřených korytech $\text{Re} < 580$

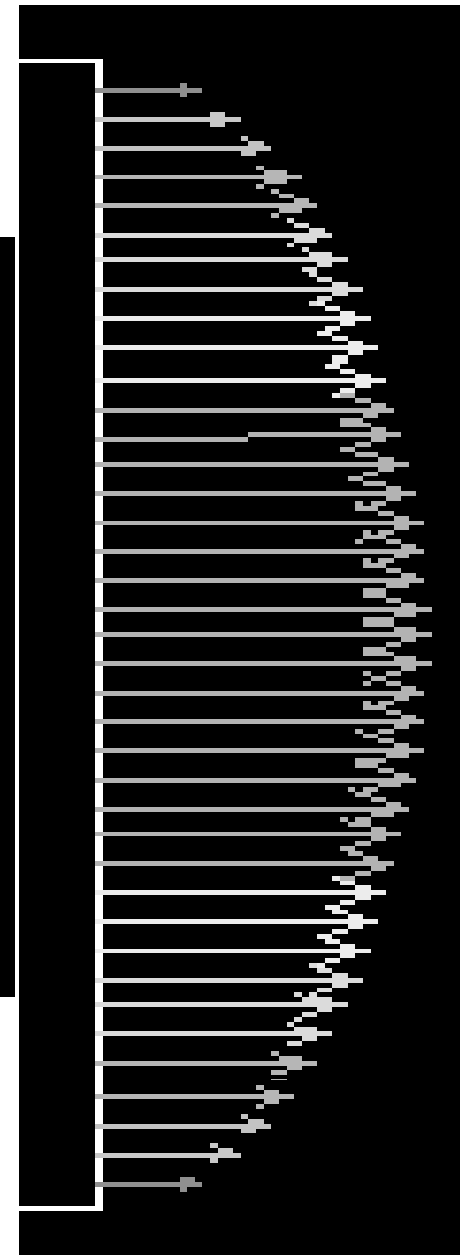
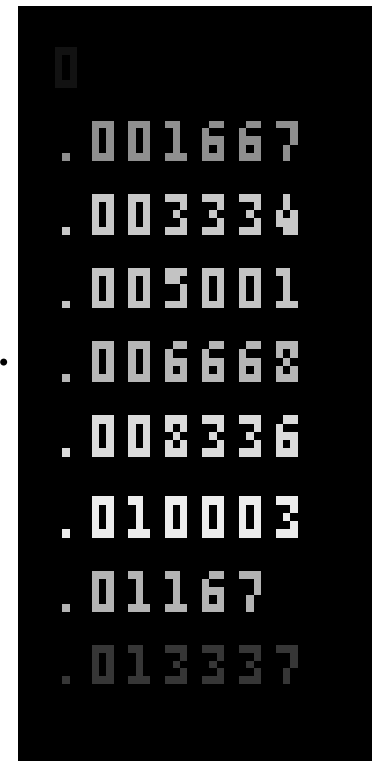
Laminární proudění

Rozložení rychlostí v ose řezu
obdélníkového potrubí s
poměrem stran větším jak 1:2

Vykresleny jsou vektory rychlostí.

Průřezová rychlost je 0,01 m/s
Šířka potrubí je 0,1 m

Legenda rychlostí je v [m/s]



Ztráty třením

Turbulentní režim

turbulentní pohyb - vodní částice se pohybují chaoticky

- oblast hydraulicky hladká – $Re < 105$

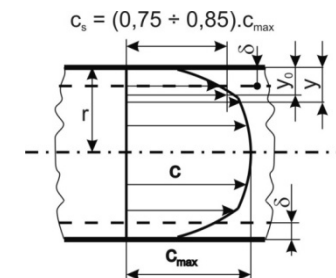
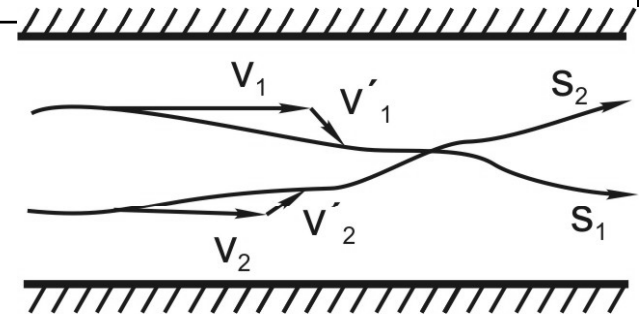
silná laminární vrstva kryje nerovnosti stěn a drsnost se neuplatní

- oblast přechodná

laminární vrstva se zmenšuje a na λ začíná mít vliv drsnost D

- oblast hydraulicky drsná (kvadratická)

součinitel λ závisí pouze na drsnosti D, Kvadratická proto, že ztráty třením jsou nyní závislé pouze na rychlosti c (absencí vlivu Re)



Turbulentní proudění

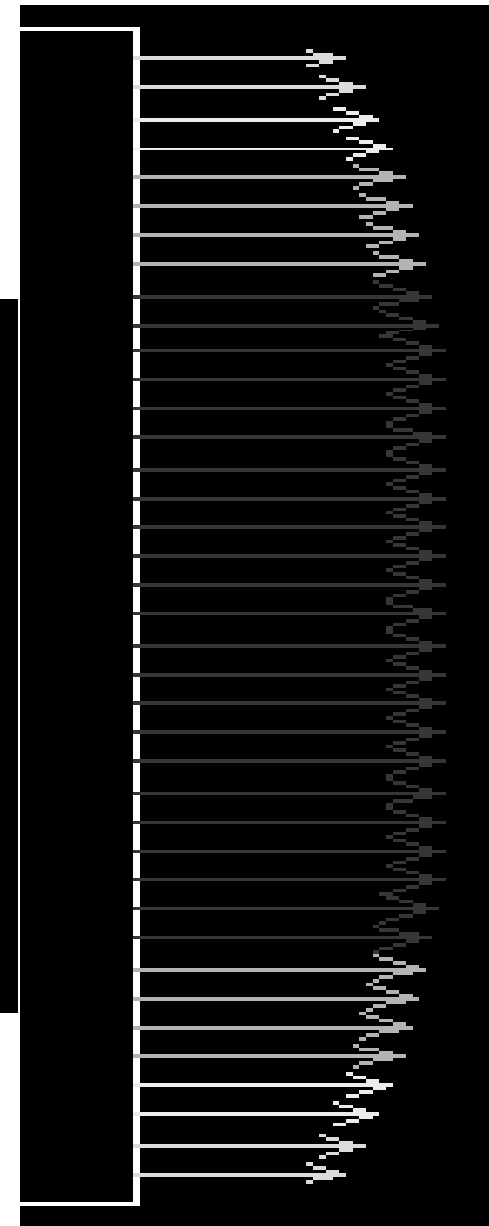
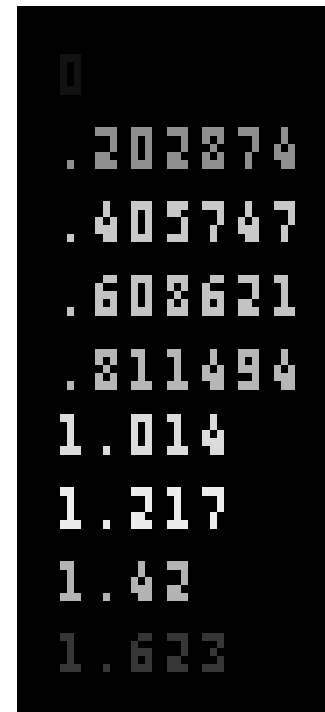
Rozložení rychlostí v ose řezu
obdélníkového potrubí s
poměrem stran větším jak 1:2

Vykresleny jsou vektory rychlostí.

Průřezová rychlost je 0,01 m/s

Šířka potrubí je 0,1 m

Legenda rychlostí je v [m/s]



oblast	hodnota Re	vztah pro λ
Laminární	$Re < 2\,340$	$\lambda = \frac{64}{Re}$
Turbulentní Hydraulicky hladká	$Re < 10^5$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log_{10} \frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51}$
Turbulentní Hydraulicky drsná	$Re \geq \frac{191 \cdot d}{\sqrt{\lambda} \cdot \Delta}$	$\lambda = 0,25 \cdot \left(\log_{10} \frac{3,71 \cdot d}{k} \right)^{-2}$

V celé oblasti Turbulentního proudění platí Colebrook – Whiteova rovnice:

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

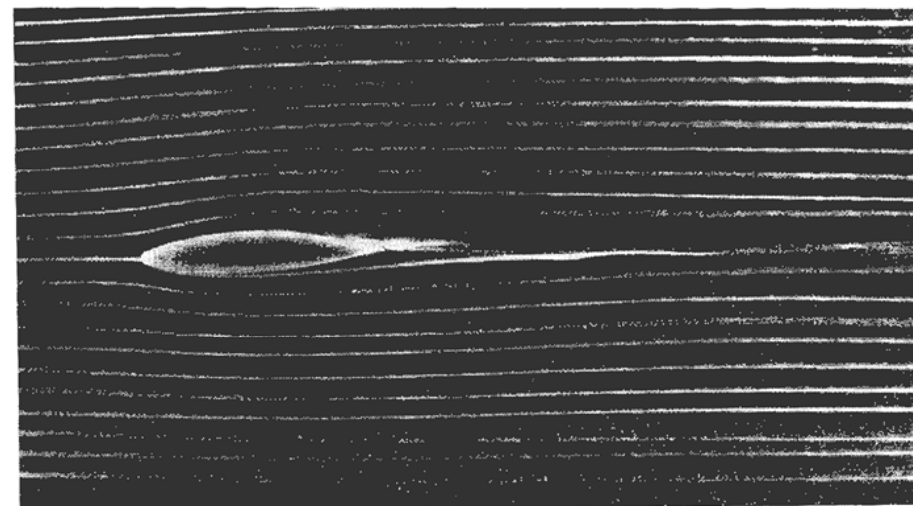
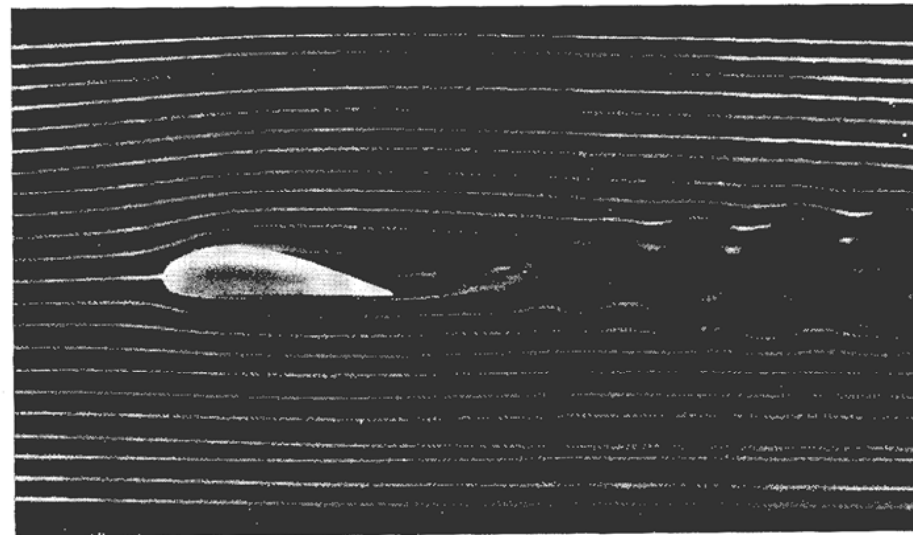
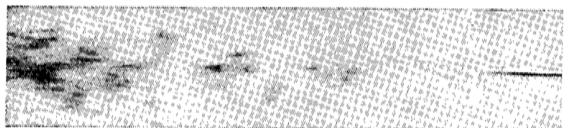
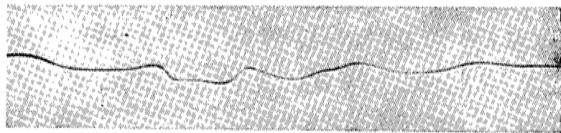
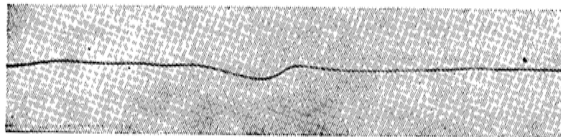
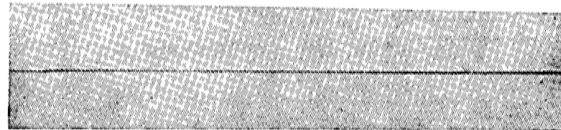
Δ .. absolutní drsnost stěn - lze najít v tabulkách – např:

ocel	0,02 – 0,1 mm
litina	0,25 – 1 mm
PVC	0,0015 – 0,01 mm

Všimněte si že při $Re \rightarrow \infty$ přechází na rovnici pro hydraulicky drsnou oblast, naopak při malých hodnotách Re přejde na rovnici pro oblast hydraulicky hladkou.

**Upozornění: drsnost potrubí se po n-letech provozu mění (zvětšuje se ?)
– nelze zobecnit, ale při návrhu je s tím nutné počítat.**

Přechod laminárního proudění v turbulentní



Příklad 5: Vypočítejte ztrátu třením na délce 1000 m běžného litinového potrubí DN 100, kterým protéká 13 l/s vody (teplota 20°C, drsnost stěn $D = 0,0012$ m , kinematická viskozita vody $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

$$1) \quad v = \frac{Q}{S} = \frac{0,013}{\pi \frac{0,1^2}{4}} = 1,655 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$2) \quad \text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,655 \cdot 0,1}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 163\,861 \text{ (Turbulentní proudění)}$$

3) Colebrook - White

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

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{163\,841 \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{0,0012}{3,7 \cdot 0,1} \right)$$

$$\lambda = 0,041$$

4) Ztráty třením

$$Z_t = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$Z_t = 0,041 \cdot \frac{1000}{0,1} \cdot \frac{1,655^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$Z_t = 55,84 \text{ m}$$

Místní ztráty

Vznikají všude, kde dochází k deformaci rychlostního pole:

- změnou směru proudění
- vytváření úplavu a vírových oblastí při nedokonalém obtékání překážek v proudu kapaliny
- rozšířením a zúžením proudu
- dělením a spojováním proudu
- ostatními rušivými vlivy

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g} [\text{m}]$$

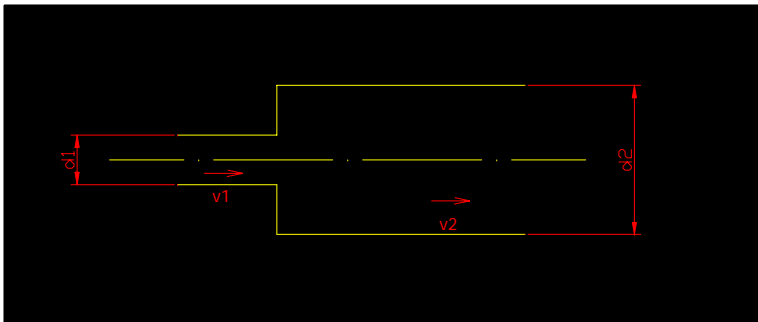
ξ ... součinitel místní ztráty závislý na tvaru odporu, drsnosti stěn, rychlostním poli, Re

A. Změna průřezu

Proud vytéká z průřezu 1 jako souvislý paprsek, mísí se s okolní kapalinou a uvádí ji do vířivého pohybu. Pozvolna se rozšiřuje až zaujme celý průřez 2. V koutech dochází k intenzivnímu víření.

$$Z_t = \xi_{r2} \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}]$$

ξ_{r2} ... součinitel místní ztráty náhlým rozšířením vztažený k rychlosti v_2

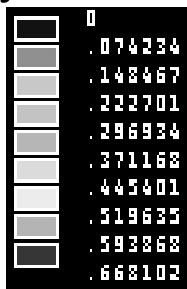


$$\xi_{r2} = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2 = \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} - 1 \right)^2$$

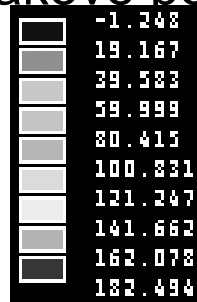
Pro zmenšení ztrát se někdy navrhuje postupná rozšíření (kónická, křivková, stupňovitá), výpočet místní ztráty je obdobný a výpočtové vztahy je možné najít v příslušné literatuře.

A. Změna průřezu

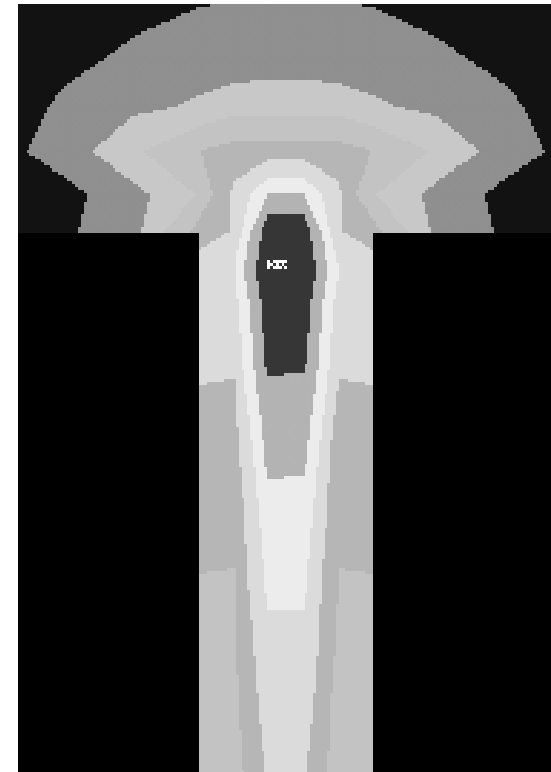
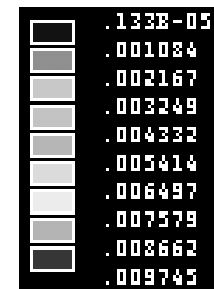
Rychlosti



tlakové pole



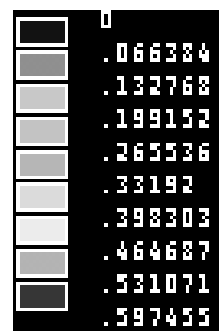
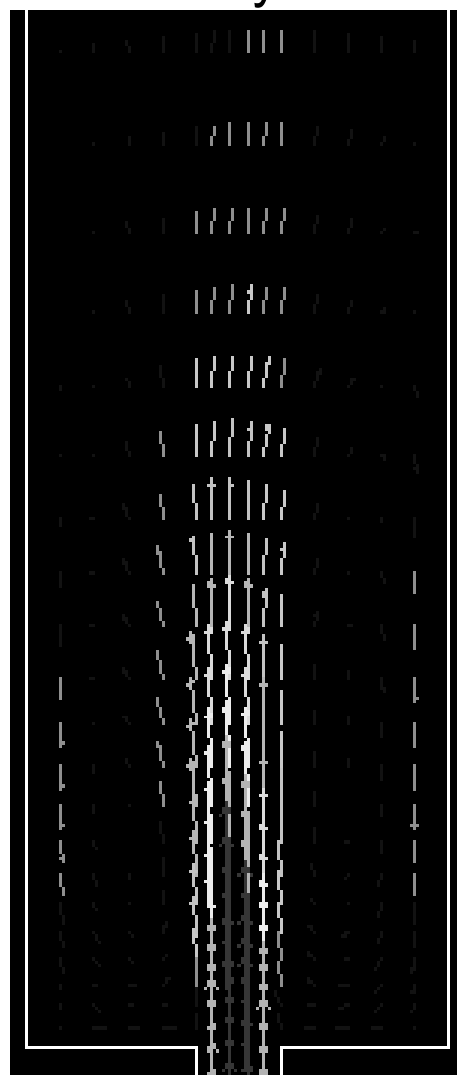
turb. kin. energie



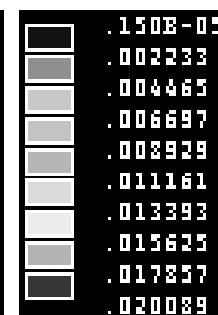
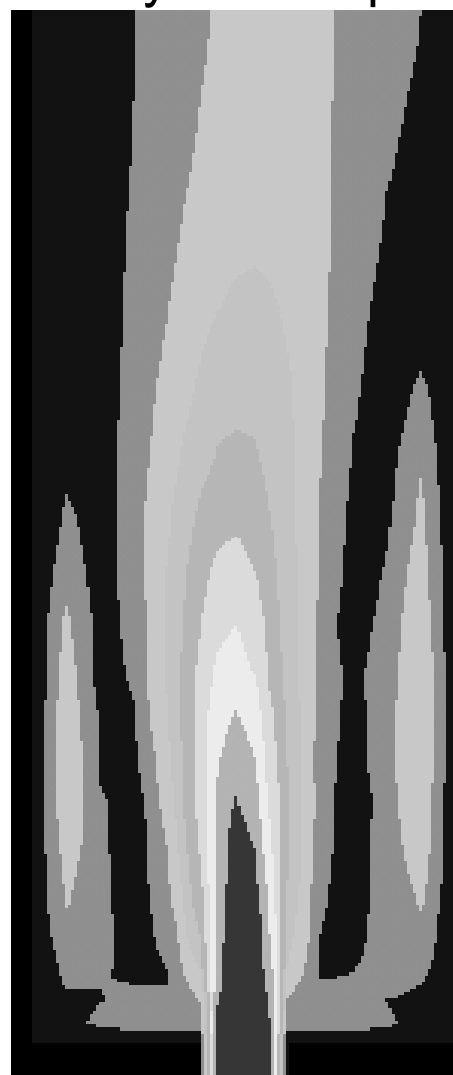
Proudění v rozšíření (matematický model)

A. Změna průřezu

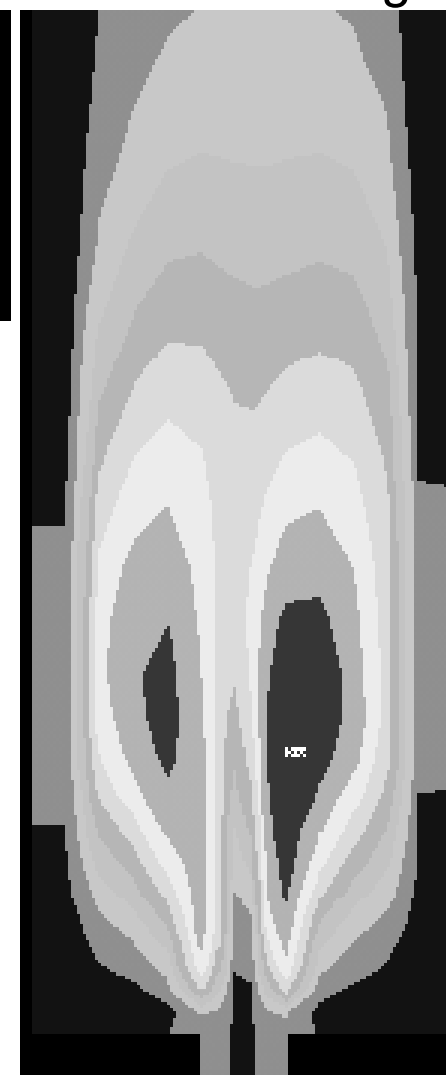
Vekt. rychlosti



rychlostní pole



turb. kin. energie



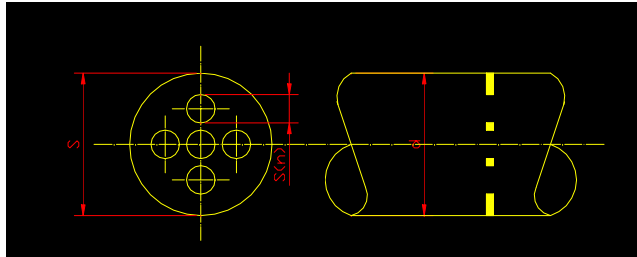
B. Clona, mříž

Součinitele ztráty clonou a mříží (perforovanou deskou) lze vypočítat:

a) clona a mříž v potrubí

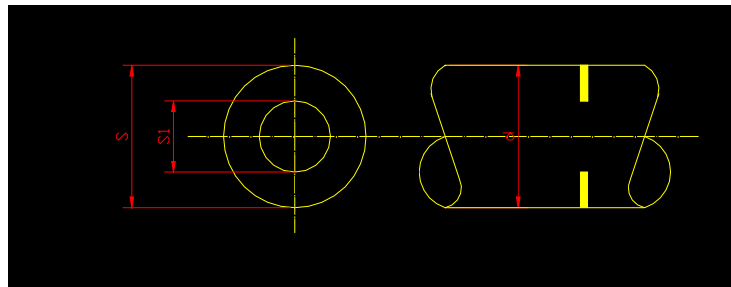
$$Z_t = \xi_c \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

$$\xi_c = \left(1 - \frac{S_1}{S} + 0,707 \sqrt{1 - \frac{S_1}{S}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\left(\frac{S_1}{S} \right)^2}$$



b) clona a mříž na vtoku do potrubí

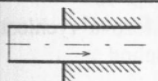
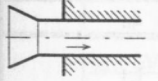
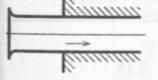
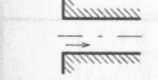


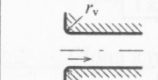



$$\xi_c = \left(1,707 - \frac{S_1}{S} \right)^2 \cdot \frac{1}{\left(\frac{S_1}{S} \right)^2}$$



c) clona a mříž na konci potrubí

$$\xi_c = \left(1 - 0,707 \sqrt{1 - \frac{S_1}{S}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\left(\frac{S_1}{S} \right)^2}$$

C. Ztráta na vtoku do potrubí

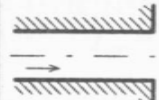


Typ vtoku	popis, platnost	ξ_{vi}
		0.8 - 1.0
	potrubí zasahuje do nádrže	0.25
		0.2
	ostrá vstupní hrana	0.5
	ostrá vstupní hrana a šikmé odbočení	$0.5 + 0.3 \cos \delta + 0.2 \cos^2 \delta$
	seříznutá vstupní hrana $l / d \cong 0.1$	0.25
	zaoblená vstupní hrana $r_v / d \cong 0.06$	0.20
	kónicky rozšířený vtok $\varphi \in \langle 40^\circ; 80^\circ \rangle$ $l \in \langle 0.2; 0.3 \rangle 3d$	0.13
	kruhově zaoblený vtok $r_v = 0.2 d$ $l = 1.25 d$	0.11
	vtok podle Liskovce (strofoida)	0.04

$$Z_t = \xi_{vi} \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

D. Ztráta na výtoku z potrubí

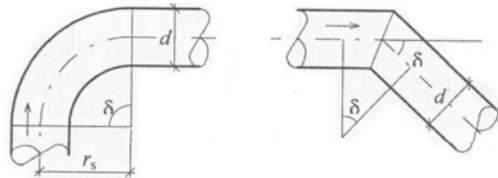
Výtok z potrubí do nádoby větších rozměrů znamená náhlé rozšíření průřezu vytékajícího proudu. Ztráta výtokem je:

$$Z_t = \xi_n \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Typ výtoku	popis, platnost	ξ_{vi}
	ostrohranný výtok	1.1
	$l > 2.2 d$	0.15
	$\alpha = 20^\circ$ $\alpha = 40^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	0.4 1.0 1.15

E. Ztráta v obloucích a kolenech

Změna směru v potrubí se provádí koleny, které mohou být



$$Z_t = \xi_S \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Oblouková a ostrá kolena:

Ztráta závisí na poloměru zakřivení r_s a středovém úhlu

$$\xi_S = \xi_{S90} \frac{\delta^\circ}{90^\circ}$$

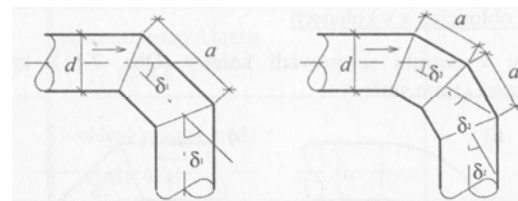
r_s/d	0.8	1.0	1.5	2.0	4.0	6.0	10	20	50
$\xi_{sh90} (\Delta/d < 0.001)$	0.37	0.21	0.17	0.15	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03
$\xi_{sd90} (\Delta/d > 0.001)$	0.74	0.42	0.34	0.30	0.22	0.18	0.14	0.10	0.06

b) ostrá	10°	15°	22.5°	30°	45°	60°	90°
$\xi_{sh} (\Delta/d < 0.001)$	0.034	0.042	0.066	0.13	0.23	0.47	1.12
$\xi_{sd} (\Delta/d > 0.001)$	0.044	0.062	0.15	0.16	0.32	0.68	1.26

Segmentová kolena:

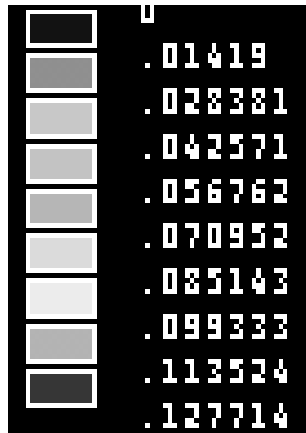
Vznikají rozložením úhlu ostrých kolen do dvou nebo více změn směru.

a/d	0.71	0.94	1.17	1.42	1.86	2.56	3.72	6.28		
ξ_{s1}	0.51	0.41	0.38	0.37	0.39	0.42	0.46	0.44		
a/d	1.23	1.44	1.67	1.70	1.91	2.37	2.96	4.11	4.70	6.10
ξ_{s2}	0.34	0.32	0.30	0.29	0.31	0.37	0.34	0.35	0.36	0.36

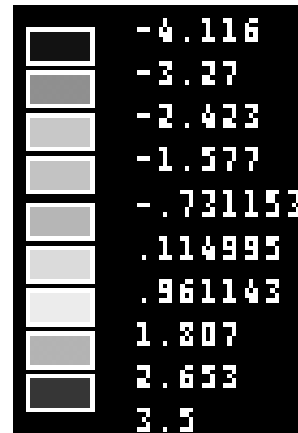


E. Ztráta v obloucích a kolenech

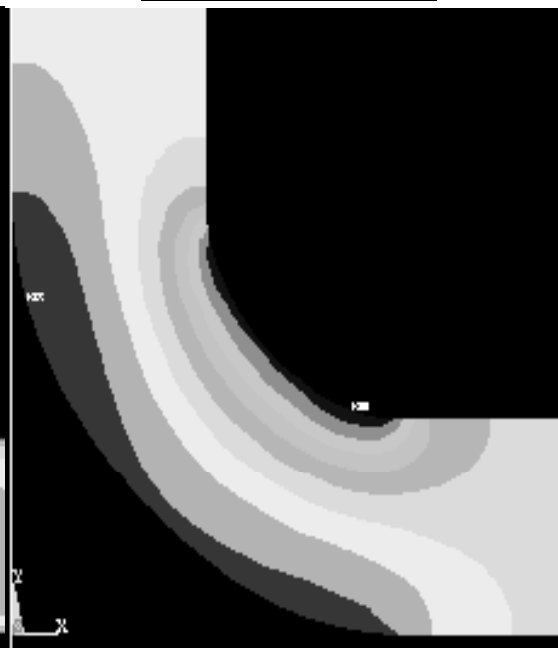
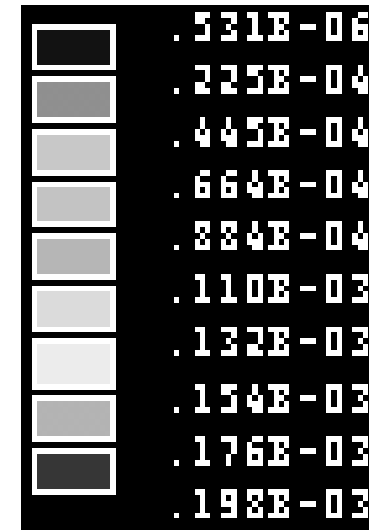
Rychlosti



tlakové pole

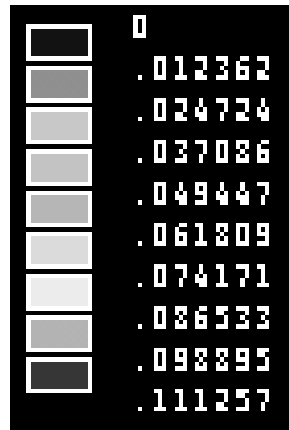


turb. kin. energie

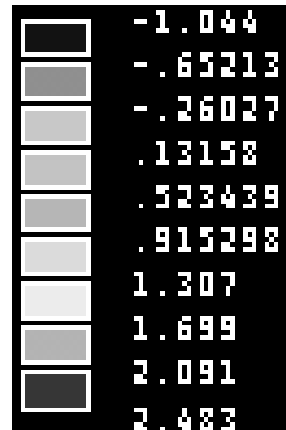


E. Ztráta v obloucích a kolenech

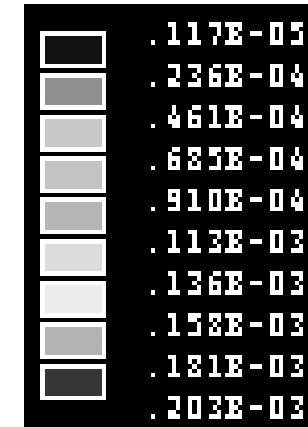
Rychlosti



tlakové pole



turb. kin. energie



E. Ztráta v tvarovkách

Tvarovky se nazývá část potrubí, v níž dochází k rozdělení, nebo spojení proudů.

Rozdělení proudů:

Přímý směr

$$Z_{r3} = \xi_{r31} \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Odbočení

$$Z_{r2} = \xi_{r21} \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

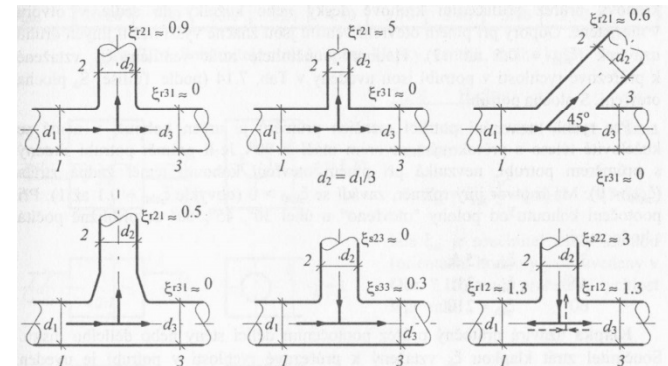
Spojení proudů:

Přímý směr

$$Z_{s3} = \xi_{s33} \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Připojení

$$Z_{s2} = \xi_{s23} \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$



E. Ztráta v armaturách

Šoupátko: používá se k regulaci průtoku

Ventil: uzavírací prvek

Kohout: pro rychlé uzavírání menších průměrů

Klapka: uzavírá průtočný průřez pootočením dělicí stěny

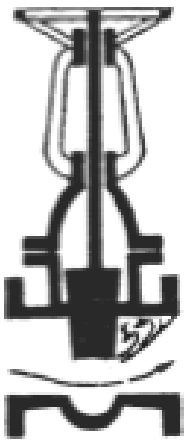
Zpětná klapka: dovoluje průtok pouze jedním směrem

Sací koš: brání vniknutí nečistot do sacího potrubí

šoupě do kruhového potrubí										
h/d	0.1	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
ξ_{sk}	190	30.00	10.50	4.30	2.06	0.98	0.44	0.15	0.06	0.05
šoupě do obdélníkového potrubí										
h/H	0.1	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$\xi_{šo}$	193	45.00	18.0	8.10	4.10	2.10	1.00	0.40	0.10	0.05
ventil										
S_o/S	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
ξ_{vt}	5101	624.0	122.4	50.0	24.0	13.79	9.40	7.16	5.57	4.95
klapka										
S_o/S	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
ξ_k	2499	203.08	50.02	21.67	10.11	5.06	3.52	2.56	1.44	0.56
sací koš se zpětnou klapkou o průměru d [mm]										
d [mm]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
$\xi_{koš}$	10.00	7.00	6.00	5.20	4.40	3.70	3.40	3.10	2.80	2.50

E. Ztráta v armaturách

šoupátko



$$\xi_v = 0,5$$



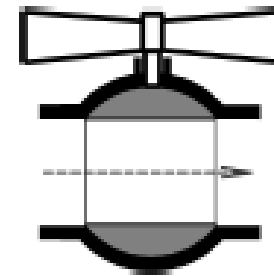
ventil



$$\xi_v = 0,05 \div 0,2$$



kulový kohout



$$\xi_v = 2 \div 20$$



Hydraulicky krátká potrubí

Jedná se o potrubí u něhož místní ztráty nejsou zanedbatelné vůči ztrátám třením.

Celková ztráta se vypočte:

$$Z = Z_t + Z_m = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

POZOR: Hranice mezi potrubím hydraulicky krátkým a dlouhým není otázkou geometrickou, nýbrž hydraulickou. Je nutné hydraulické posouzení, zda je místní ztráta vůči tření zanedbatelná.

Typickými příklady hydraulicky krátkých potrubí jsou shybky a výpočty čerpadel.

Měření průtoku kapalin

- určení průtoku vody v tocích,
- určení průtoku média v dopravních potrubích,
- odběry vody (průmysl, energetika, zásobování obyvatelstva),
- vypouštění odpadních vod,
- dávkování vody a jiných médií při technologických procesech (úpravny a čistírny vody, chemický a potravinářský průmysl ...).



Měření průtoku kapalin

- Objemový průtok $Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \bar{v}S \quad [m^3 s^{-1}]$
- Hmotnostní průtok $Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \bar{v}S \quad [kg \cdot s^{-1}]$
- Měření závisí na typu proudění
 - Laminární ($Re < 2000$) – rychlostní profil je parabolický
 - Turbulentní ($Re > 3000$) – rychlostní profil téměř rovnoměrný

Metody měření průtoku kapalin

Metody pro otevřená kanály

- přelivy (Parshalův žlab, trojúhelníkový, obdelníkový,...)
- hráze

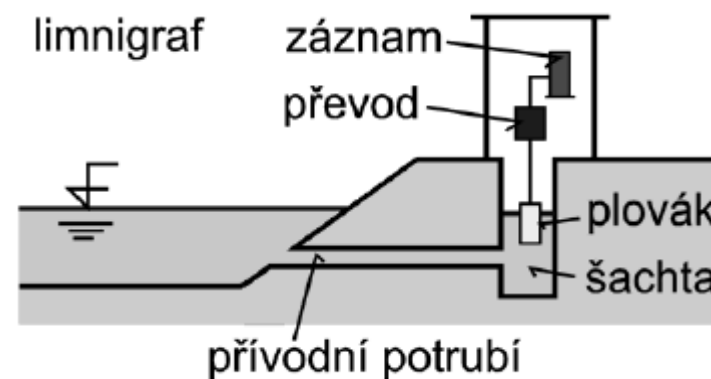
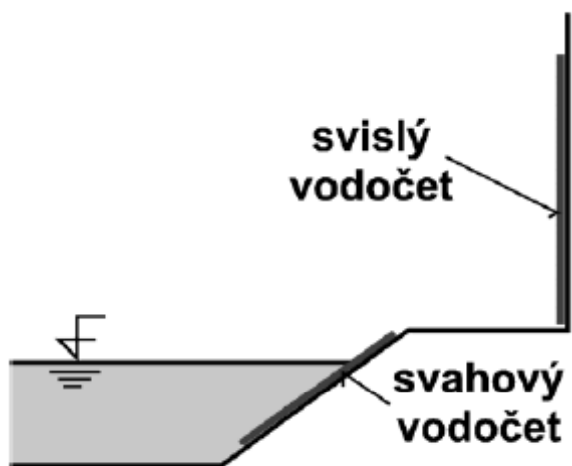
Metody pro uzavřené kanály (potrubí)

- Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru
- Měření rychlosti proudění tekutiny
- Měření objemového průtoku
- Měření hmotnostního průtoku

Vodočty a limnigrafy

Princip: $Q = f(H)$, tj. konzumpční křivka

- vodočet – svislá nebo svahová měrná lať, s výškovým dělením po 1 nebo 2 cm, odolná proti poškození, fixovaná a geodeticky zaměřená;
- limnigraf – přístroj s plovákovou nebo elektrickou indikací hladiny v toku, průběžný grafický nebo digitální záznam, dálkový přenos dat.



Měrné přelivy

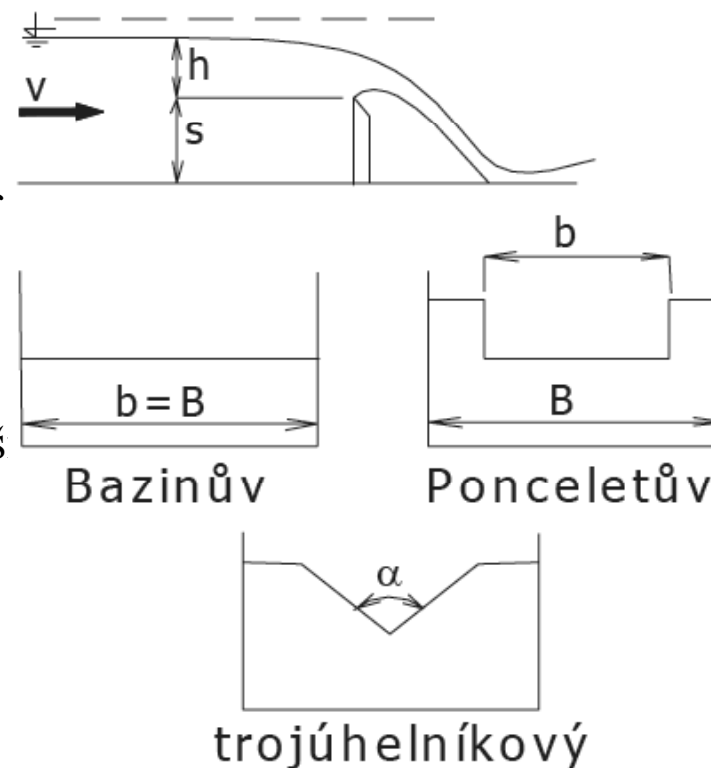
- nejužívanější měření objemového průtoku
- jednoduché, levné, relativně přesné
- měří se výška přepadového paprsku h při dokonalém přepadu, vyhodnocení průtoku z příslušné rovnice $Q = f(h)$

Užívají se různé tvary přelivných výřezů ve svislé stěně
 –obdélník bez boční kontrakce (Bazinův přeliv) pro větš průtoky

–obdélník s boční kontrakcí(Ponceletův přeliv)

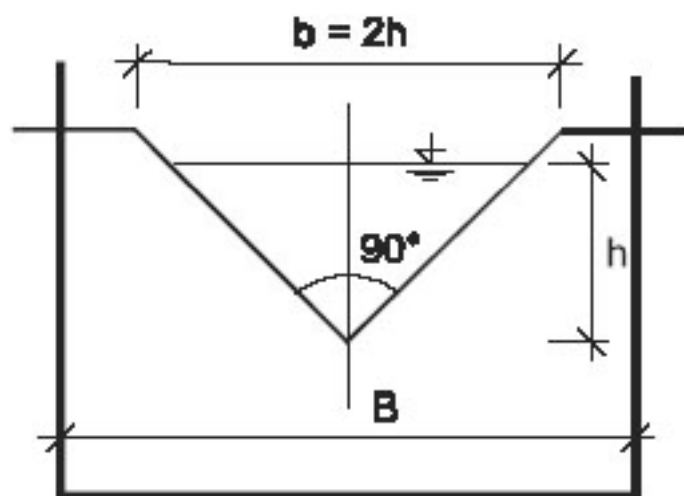
–trojúhelník s pravým úhlem ve vrcholu (Thomsonův přeliv), vhodný pro menší průtoky

–lichoběžník (při sklonu bočních hran 4:1 Cipolettiho přeliv).



Měrné přelivy

Thomsonův přeliv



$$Q = 1,4 \cdot h^{\frac{5}{2}}$$

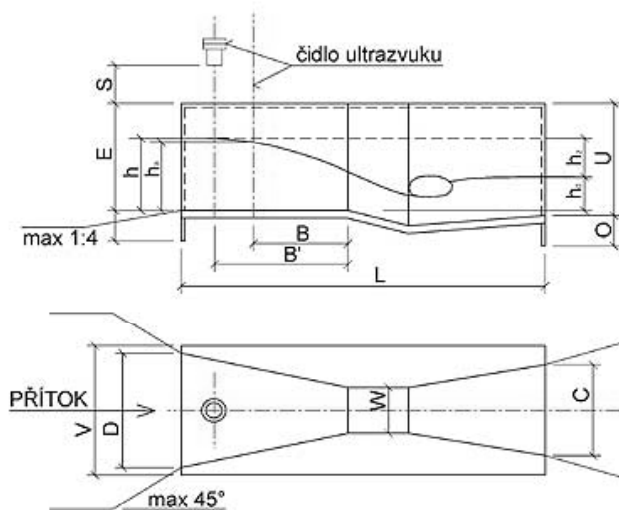
pro $0,05 < h < 0,18$

Měrné přelivy



Měrné žlaby

PARSHALŮV ŽLAB



Vložením plastového žlabu dojde k:

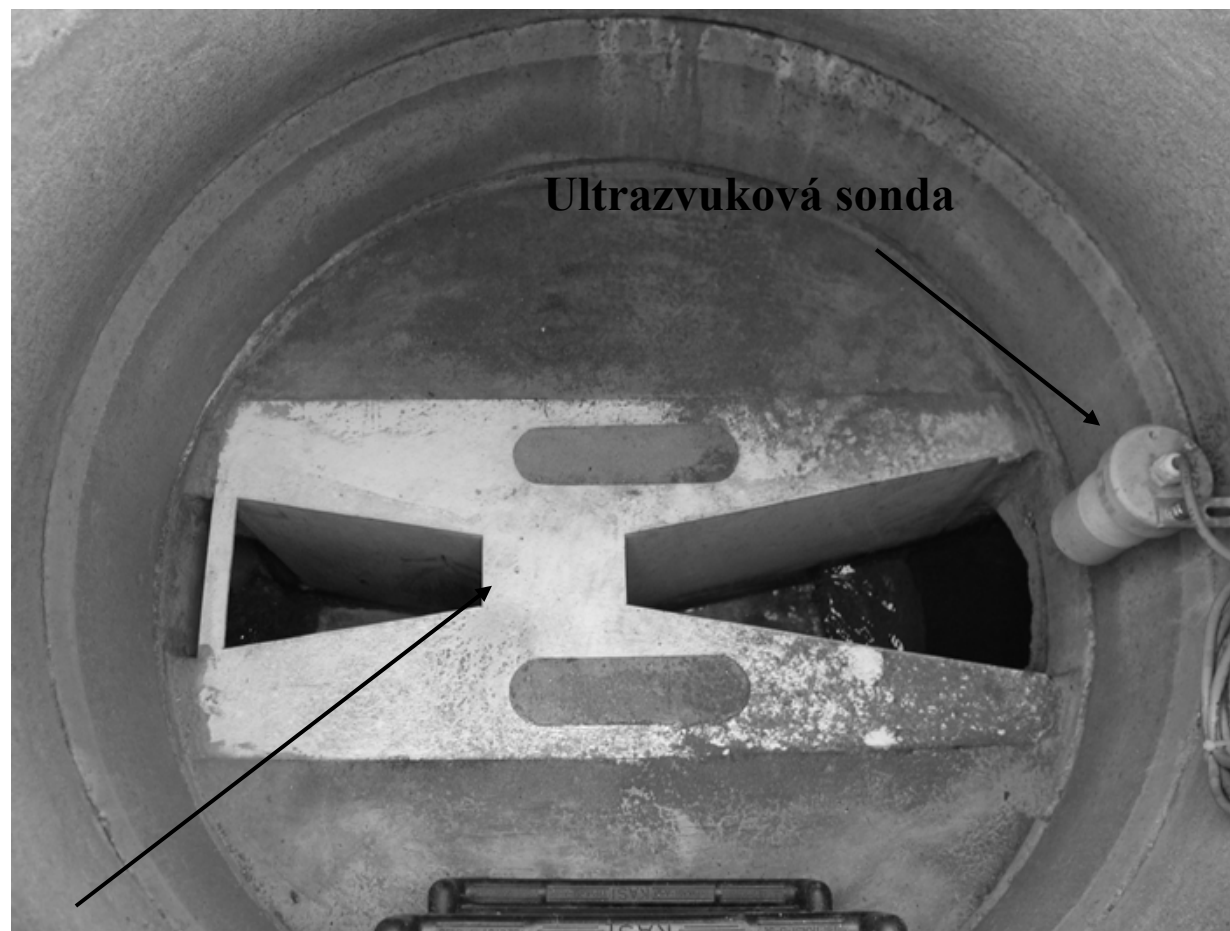
- zmenšení průtočného profilu
- zúžení boků

V důsledku toho dojde k:

- zvýší se rychlost proudění
- sníží se hladina (z h_1 na h_2)
- říční proudění se mění v bystrinné

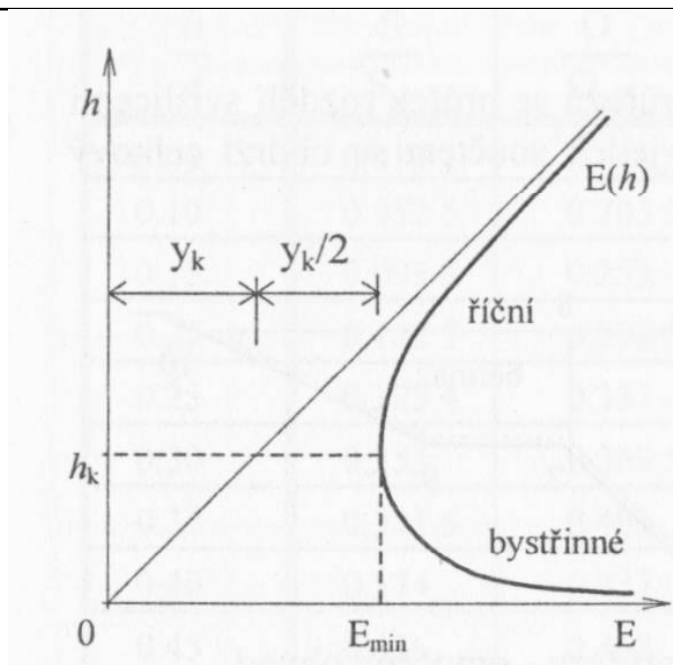
Voda přitékající do žlabu je nucena místním zúžením koryta a následným zvýšeným spádem ve dně přejít z říčního proudění přes kritickou hloubku do proudění bystrinného.

Parshalův žlab



Ultrazvuková sonda

Parshalův žlab



Výpočet kritických parametrů - obdelník

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot b^2}}$$

$$v_k = \sqrt[3]{\frac{gQ}{\alpha \cdot b}}$$

Výpočet vychází z Bernoulliho rovnice (uvažujeme měrnou energii průřezu E a $S=f(h)$, kritický pohyb se určí z minima $dE/dh = 0$)

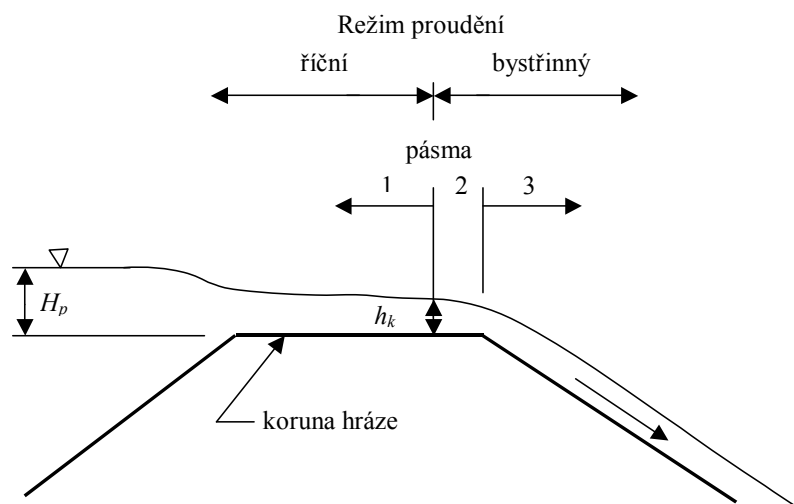
Kritická rychlost: je rovna šíření vln na povrchu kapaliny. Kritické rychlosti odpovídá kritická hloubka – je-li energie průřezu minimální

Řiční proudění: Rychlost vody je menší než kritická, je tedy menší než je rychlost šíření vln, které mohou postupovat po hladině směrem po proudu i proti němu. Povrch proudu je nerovný, zvlněný.

Bystřinné proudění: Rychlost proudění je větší než rychlost kritická a vlna nemůže postupovat proti proudu. Povrch je hladký, lesklý na hladině vznikají příčné vlny.

Parshalův žlab – přechod proudění

1. zóna - oblasti říčního proudění
2. zóna - kritický režim
3. zóna - bystřinné proudění



Měření objemového průtoku

- měří se objem V nebo tíha g vody nateklé do nádoby za čas t
- otáčení lopatkového kola ve skříní měřidla

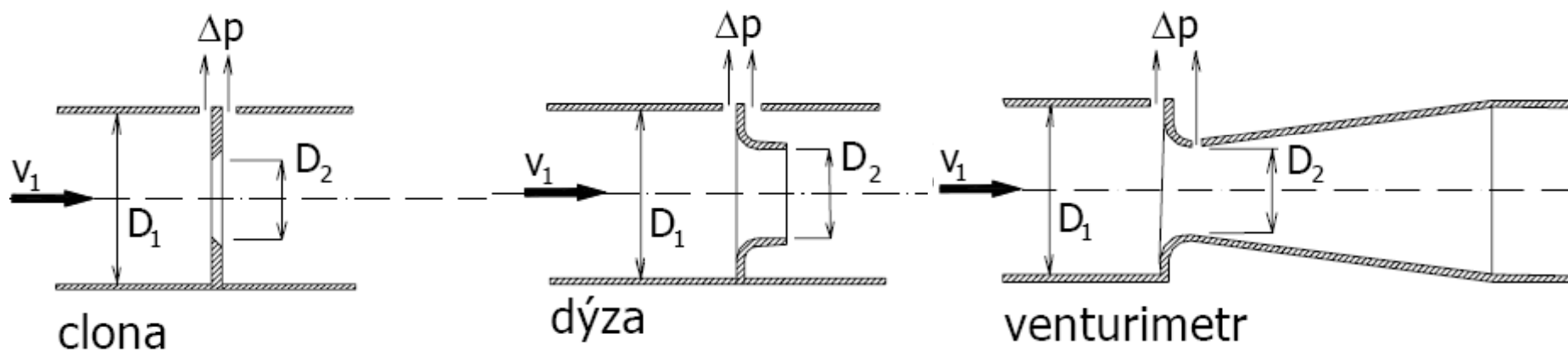
$$Q = \frac{V}{t}$$



Měření rozdílu tlaku

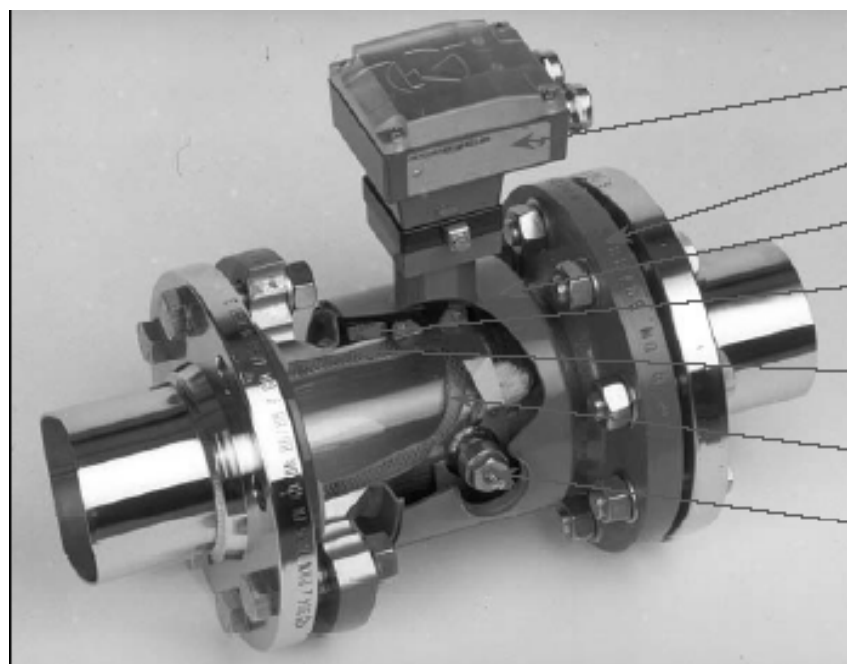
Clona, Dýza, Venturimetr

$$Q = \mu_v \cdot S_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{\Delta p}{\rho \cdot g}} \quad \text{kde} \quad \mu_v = f\left(\frac{S_2}{S_1}, \text{Re}\right)$$



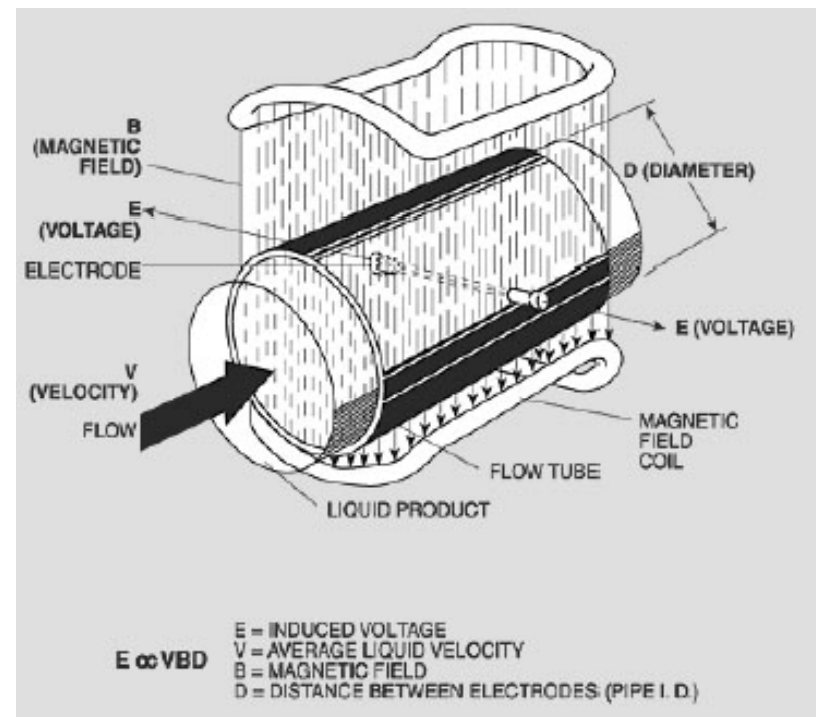
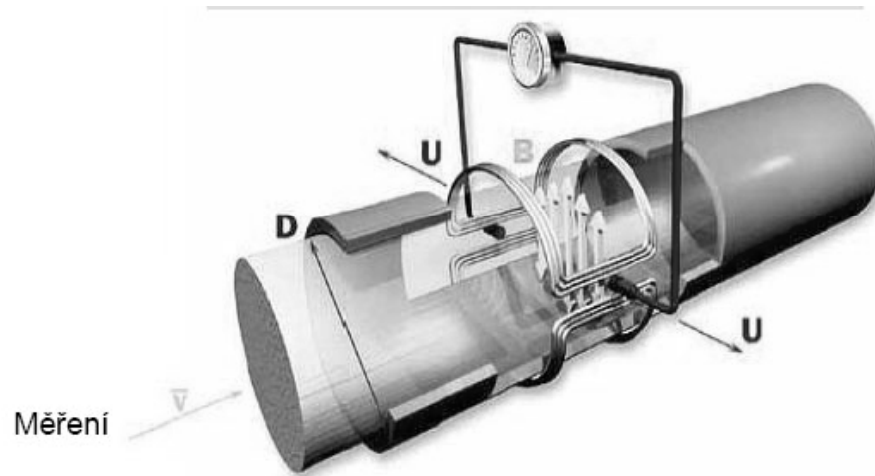
Měření rychlosti – indukční průtokoměry

- využívají fyzikálního jevu popsaného Faradayovým zákonem o elektromagnetické indukci,
- vodičem je pohybující se vodivá kapalina, elektromagnetické pole vytváří cívka umístěná okolo potrubí,
- velikost indukovaného napětí odpovídá střední rychlosti v potrubí,
- měření neinvazivní, nezasahují do proudu.



- svorkovnice
- příruba
- kryt
- budicí vinutí
- měřicí trubice
- výstelka
- elektroda

Indukční průtokoměry – princip měření



$$U = B \cdot D \cdot v \quad [V]$$

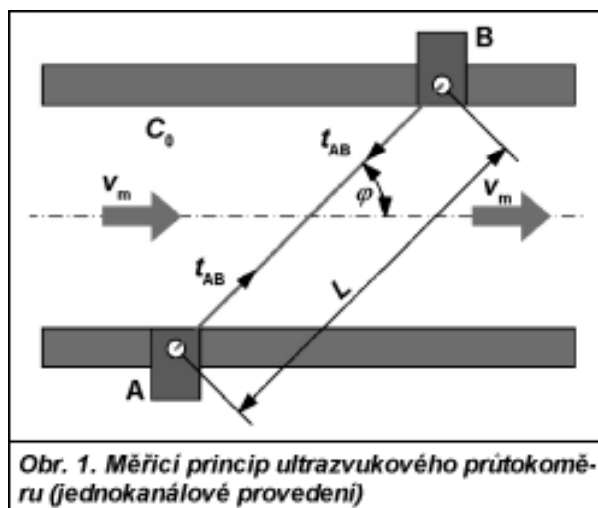
- U – indukované napětí
- B – indukce mag. pole
- D – vzdálenost mezi elektrodami, (průměr potrubí)
- v – průřezová rychlost proudu vody

Indukční průtokoměry – použití



Ultrazvukové průtokoměry

- měření je založeno na měření času potřebného k průchodu měřícího paprsku měřeným médiem,
- ultrazvukové signály jsou pomocí měřících převodníků střídavě vysílány ve směru a v protisměru průtoku,
- rychlost průtoku měřeného média je přesně definována rozdílem v časech průchodu obou měřících paprsků,
- difference v časech průchodu obou měřících paprsků ($\Delta t = t_{A/B} - t_{B/A}$) stanovuje průměrnou rychlost toku,
- měření neinvazivní, nezasahují do proudu, rychlost proudění čistých tekutin.

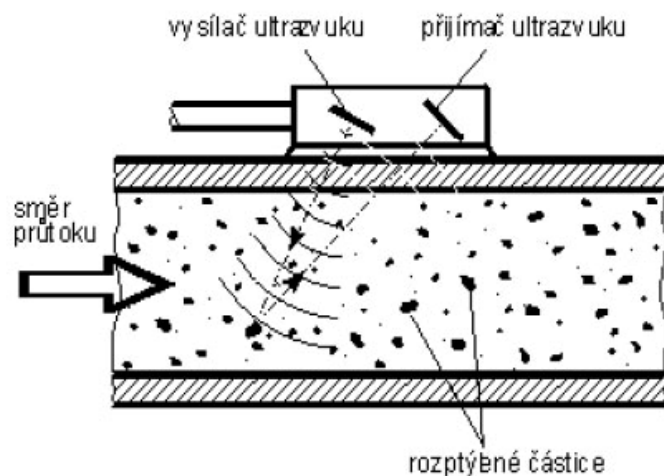


Ultrazvukové průtokoměry

Dopplerův efekt

vysílají do tekutiny ultrazvukové vlny s konstantní frekvencí a přijímají vlnění odražené od pevných částic nebo od bublin rozptýlených v tekutině. Vzhledem k pohybu částic nebo bublin s tekutinou, je frekvence přijatého ultrazvukového vlnění odlišná od frekvence vyslané vlny.

Rozdíl frekvencí je pak úměrný rychlosti proudění tekutiny.



vysílač a přijímač v jednom čidle,
vyhodnocování odraženého signálu



Děkuji za pozornost