PŘÍKLADY Z HYDRODYNAMIKY

Poznámka: Za gravitační zrychlení je ve všech příkladech dosazována přibližná hodnota 10 m.s^{-2}.

Řešené příklady z hydrodynamiky

1) Příklad užití rovnice kontinuity

Zadání: Vodorovným přímým potrubím o vnitřním průměru d_1 = 80 mm a délce 25 m proudí voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} rychlostí 1,5 m.s^{-1}. Vypočtěte objemový průtok vody potrubím a výtokovou rychlost vody z trysky o průměru d_2 = 15 mm.

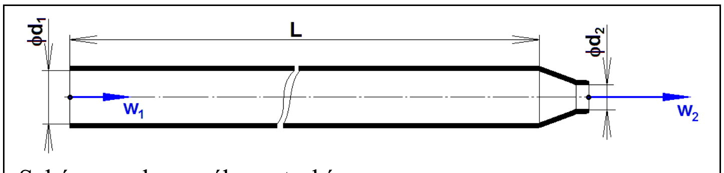


Schéma vodorovného potrubí

Řešení: Z rovnice kontinuity pro proudění kapalin vypočteme objemový průtok vody v potrubí s vnitřním prů měrem d_1 = 80 mm = 0,08 m, kde voda proudí rychlostí w_1 = 1,5 m.s^{-1}.

Pak $Q_{V1} = S_1 \cdot w_1 = \dfrac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot w_1$ = 0,00754 m^3.s^{-1} = Q_V.

Dle rovnice kontinuity je objemový průtok ve všech průřezech daného potrubí stejný $Q_{V1} = Q_{V2}$, neboli S_1 , w_1 = S_2 , w_2.

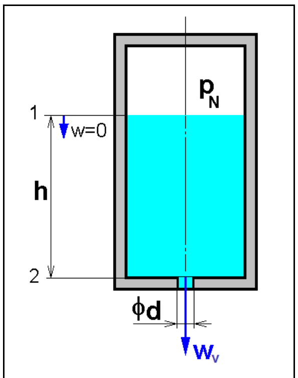
Po dosazení $\dfrac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot w_1 = \dfrac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot w_2$

Po úpravě dostaneme $d_1^2 \cdot w_1 = d_2^2 \cdot w_2$.

Pak $w_2 = \dfrac{d_1^2}{d_2^2} \cdot w_1 = \left(\dfrac{d_1}{d_2}\right)^2 \cdot w_1$ = 42,67 m.s^{-1}.

2) Příklad užití Bernoulliho rovnice

Zadání: Otvorem ve dně tlakové nádoby o průměru 40 mm vytéká voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} do atmosféry. Vypočtěte výtokovou rychlost vody z nádoby a objemový průtok vody vytékající otvorem, jestliže výška stálé hladiny nad otvorem je h = 1,85 m a na hladinu vody v nádobě působí tlak 0,17 PMa. Atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody zanedbejte.



Výtok vody z tlakové nádoby

Řešení: Výtokovou rychlost vody z otvoru ve dně nádoby budeme řešit z Bernoulliho rovnice a následně objemový průtok vody vytékající otvorem vypočteme z rovnice kontinuity pro proudění kapalin.

Rozbor úlohy: h_1 = h = 1,85 m; h_2 = 0 m;
$p_1 = p_N$ = 170 000 Pa; $p_2 = p_a$ = 100 000 Pa;
w_1 = 0 m.s^{-1}; $w_2 = w_V$ =? m.s^{-1}.

Bernoulliho rovnice ve tvaru měrných energií $\dfrac{w_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \dfrac{p_1}{\rho} = \dfrac{w_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \dfrac{p_2}{\rho}$.

Po dosazení $g \cdot h_1 + \dfrac{p_1}{\rho} = \dfrac{w_2^2}{2} + \dfrac{p_2}{\rho}$.

Pak $w_V = \sqrt{2 \cdot \left(g \cdot h + \dfrac{p_N - p_a}{\rho}\right)}$ = 42,67 m.s^{-1}.

Z rovnice kontinuity pro proudění kapalin $Q_V = S \cdot w_V = \dfrac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w_V$ = 13,3 m^3.s^{-1}.

3) <u>Příklad výpočtu ztráty třením kapaliny o stěnu potrubí</u>

Zadání: Vodorovným přímým potrubím o vnitřním průměru 90 mm a délce 250 m proudí objemový průtok 880 litrů za minutu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3} a kinematické viskozitě 10^{-6} m^2.s^{-1}. Vypočtěte měrnou ztrátovou energii třením o stěnu při proudění vody potrubím.

Řešení: Velikost ztráty třením proudící kapaliny o stěnu potrubí závisí na druhu proudění (laminární nebo turbulentní) a Reynoldsově čísle, které se vypočte ze vztahu $Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$, kde <u>w</u> [m.s^{-1}] je střední rychlost proudění tekutiny, <u>d</u> [m] je charakteristický rozměr průřezu a ν [m^2.s^{-1}] je kinematická viskozita kapaliny. Kritická hodnota Reynoldsova čísla Re_k = 2320 určuje druh proudění tekutiny. Je-li Re<2320, pak nastává v potrubí proudění laminární, při Re>2320 nastává proudění turbulentní a při hodnotách 3000>Re>2320 je přechodová oblast a může nastat turbulentní nebo laminární proudění (při výpočtu odporového součinitele použijeme vztah pro turbulentní proudění). Odporový součinitel při laminárním proudění se vypočte ze vztahu $k_o = \frac{64}{Re}$ a při turbulentním proudění použijeme výraz $k_o = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}}$.

Objemový průtok vody potrubím je Q_V = 880 l.min^{-1} = 0,0147 m^3.s^{-1}.

Z rovnice kontinuity $Q_V = S \cdot w = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w \Rightarrow w = \frac{4 \cdot Q_V}{\pi \cdot d^2}$ =2,305 m.s^{-1}.

Reynoldsovo číslo pro proudící kapalinu je $Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$ = 207491 > 2320, pak v potrubí je proudění turbulentní.

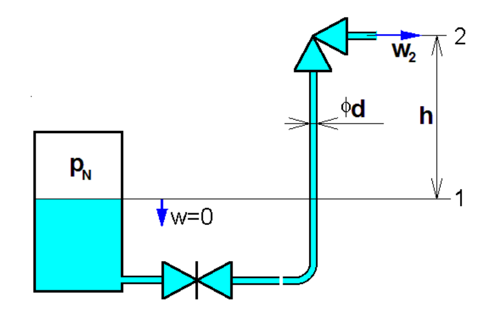
Odporový součinitel při turbulentním proudění se vypočte ze vztahu $k_o = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}}$ = 0,0148.

Měrná ztrátová energie třením o stěnu potrubím se vypočte z $e_{zt} = k_o \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2}$, kde <u>$k_o$</u> je odporový součinitel, <u>L</u> [m] je přímá délka potrubí, <u>d</u> [m] je vnitřní průměr potrubí a <u>w</u> [m.s^{-1}] je střední rychlost proudění tekutiny potrubím.

Pak $e_{zt} = k_o \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2}$ = 109,4 J.kg^{-1}.

4) <u>Příklad řešení proudění skutečné kapaliny</u>

Zadání: Vypočtěte tlak vzduchu v bojleru (dle obrázku) na stálou hladinu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3} a kinematické viskozitě 10^{-6} m^2.s^{-1}, jestliže potrubím o vnitřním průměru 50 mm a celkové přímé délce 50 m proudí průtok 5 dm^3.s^{-1} vody, která vytéká do atmosféry vodorovným ústím ve výšce 21 m nad hladinou vody v bojleru. Vstup do potrubí je zkosený, v potrubí je koleno s hladkým povrchem, poměrem R/d = 2 a úhlem ohnutí kolena 90°, šoupátko s otevřením z/D = 3/8 a rohovým ventilem s poměrem z/D = 5/8.



Výtok vody z tlakové nádoby

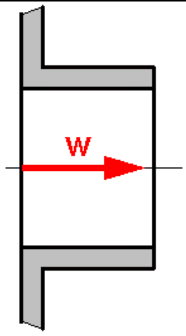
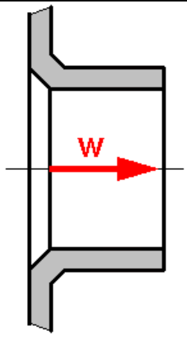
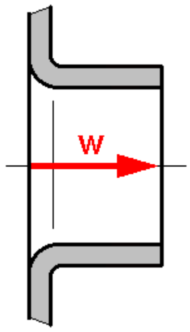
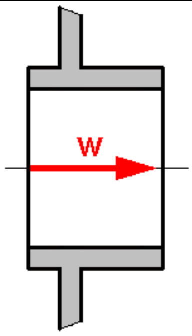
Řešení: Objemový průtok vody potrubím je Q_V = 5 dm^3.s^{-1} = 0,005 m^3.s^{-1}.

Z rovnice kontinuity $Q_V = S \cdot w = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w \Rightarrow w = \frac{4 \cdot Q_V}{\pi \cdot d^2}$ =2,546 m.s^{-1}.

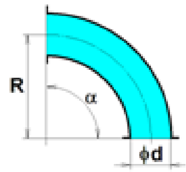
Reynoldsovo číslo pro proudící kapalinu je $Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = 127324 > 2320$, pak v potrubí je proudění turbulentní.

Odporový součinitel při turbulentním proudění je $k_o = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}} = 0{,}0167$.

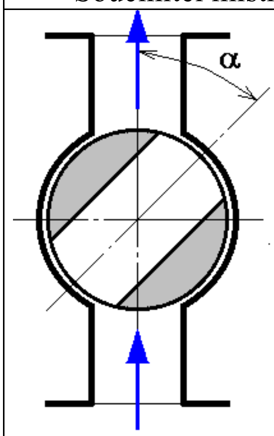
Měrná ztrátová energie třením o stěnu potrubím je $e_{zt} = k_o \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2}{2} = 54{,}3\ \ J.kg^{-1}$.

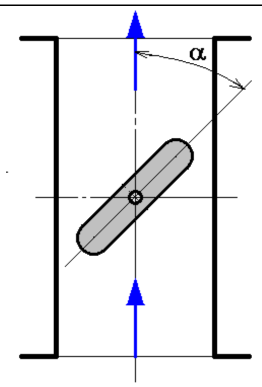
Součinitel ztráty místními vlivy na vstupu				
SCHÉMA				
k_M	0,5	0,1	0,01 až 0,05	0,6

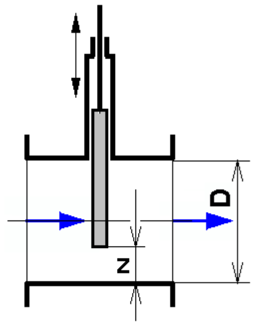
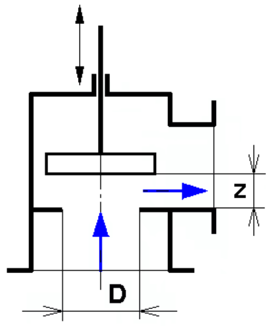
Pro zkosený vstup do potrubí je součinitel ztráty místními vlivy $k_{M1} = 0{,}1$.

Součinitel místních ztrát změnou směru proudění v potrubí (kolena)							
Poměr R/d	Úhel α	45°	60°	90°	120°	135°	180°
1	hladké	0,14	0,18	0,23	0,27	0,28	0,32
	drsné	0,32	0,4	0,51	0,59	0,62	0,72
2	hladké	0,09	0,11	0,14	0,16	0,17	0,2
	drsné	0,19	0,24	0,30	0,35	0,37	0,42
4	hladké	0,06	0,08	0,10	0,12	0,12	0,14
	drsné	0,14	0,18	0,23	0,27	0,28	0,32
6	hladké	0,06	0,07	0,09	011	0,11	0,13
	drsné	0,13	0,16	0,20	0,23	0,24	0,28
10	hladké	0,05	0,06	0,08	0,09	0,1	0,11
	drsné	0,11	0,141	0,18	0,21	0,22	0,25

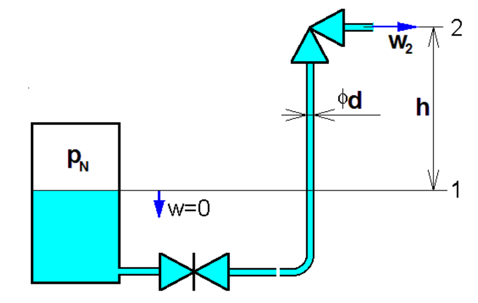
Součinitel místní ztráty změnou směru proudění u kolena s hladkým povrchem, poměrem R/d = 2 a úhlem ohnutí kolena 90° je $k_{M2} = 0{,}14$.

Součinitel místní ztráty pro kohout		
	Úhel natočení α [°]	k_M
	5	0,05
	10	0,29
	20	1,56
	30	5,17
	40	17,3
	45	31,2
	50	52,6
	60	206
	70	486

Součinitel místní ztráty pro klapku		
	Úhel natočení α [°]	k_M
	5	0,24
	10	0,52
	20	1,54
	30	3,91
	40	10,8
	45	18,7
	50	32,6
	60	118
	70	751

Součinitel místní ztráty pro šoupátko			Součinitel místní ztráty pro ventil		
	Poměr z/D	k_M		Poměr z/D	k_M
	7/8	0,07		7/8	3,7
	6/8 = ¾	0,26		6/8 = ¾	3,92
	5/8	0,81		5/8	4,24
	4/8=1/2	2,06		4/8=1/2	4,76
	3/8	5,52		3/8	5,73
	2/8=1/4	17		2/8=1/4	8,04
	1/8	98		1/8	17,96
	3/32	160		3/32	27,06
	1/16	426		1/16	51,24

Součinitel místní ztráty pro šoupátko s otevřením z/D = 3/8 je $k_{M3} = 5{,}52$.
Součinitel místní ztráty pro rohový ventil s poměrem z/D = 5/8 je $k_{M4} = 4{,}24$.
Pak celkový místní ztráty pro dané potrubí je $k_{MC} = k_{M1} + k_{M2} + k_{M3} + k_{M4} = 10$.
Měrná ztrátová energie místní vlivy pro dané potrubí je $e_{zm} = k_{MC} \cdot \frac{w^2}{2} = 32{,}4 \text{ J.kg}^{-1}$.



Výtok vody z tlakové nádoby

Celková měrná ztrátová energie pro dané potrubí je $e_z = e_{zt} + e_{zm} = 86{,}7 \text{ J.kg}^{-1}$.

Rozbor úlohy: $h_1 = 0$ m;
$h_2 = h = 21$ m;
$p_1 = p_N = ?$ Pa;
$p_2 = p_a = 100\,000$ Pa;
$w_1 = 0 \text{ m.s}^{-1}$;
$w_2 = 2{,}546 \text{ m.s}^{-1}$.

Bernoulliho rovnice ve tvaru měrných energií pro proudění skutečné kapaliny má tvar

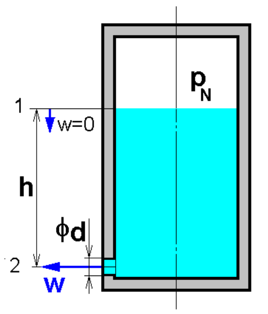
$$\frac{w_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{w_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{p_2}{\rho} + e_z .$$

Po dosazení $\frac{p_N}{\rho} = \frac{w_2^2}{2} + g \cdot h + \frac{p_a}{\rho} + e_z$

Pak $p_N = p_a + \rho \cdot \left(\frac{w_2^2}{2} + g \cdot h + e_z \right) = 399970$ Pa.

5) Příklad řešení výtoku skutečné kapaliny z nádoby

Zadání: Otvotem o vnitřním průměru 60 mm výtéká vytéká do atmosféry voda z bojleru stálou hladinou ve výšce h = 1,85 m nad ústím otvoru a s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody 0,065 MPa. Vypočtěte skutečný objemový průtok vytékající vody z bojleru, jestliže voda má hustotu 1000 kg.m^{-3} a atmosférický tlak je 0,1 MPa. Rychlostní součinitel je 0,96 a součinitel zúžení průtočného průřezu je 0,65.



Výtok kapaliny z bojlleru

Řešení: Z Bernoulliho rovnice vypočteme teoretickou výtokovou rychlost $\frac{w_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{w_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{p_2}{\rho}$.

Rozbor úlohy: $h_1 = h = 1{,}85$ m; $h_2 = 0$ m;
$p_1 = p_N = 165\,000$ Pa; $p_2 = p_a = 100\,000$ Pa;
$w_1 = 0 \text{ m.s}^{-1}$; $w_2 = w_t = ? \text{ m.s}^{-1}$.

Po dosazení $g \cdot h + \frac{p_N}{\rho} = \frac{w_t^2}{2} + \frac{p_a}{\rho}$.

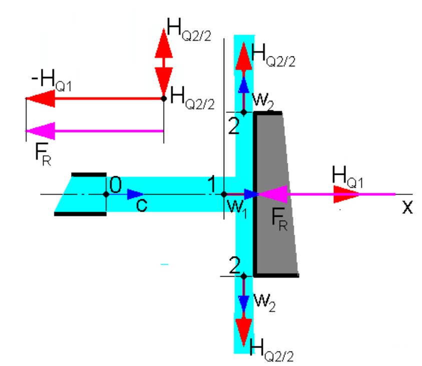
Pak $w_t = \sqrt{2 \cdot \left(g \cdot h + \frac{p_N - p_a}{\rho} \right)}$ = 12,92 m.s^{-1}.

Teoretický objemový průtok vody otvorem $Q_{Vt} = S \cdot w_t = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w_t$ = 0,0365 m^3.s^{-1}.

Výtokový součinitel je poměr skutečného objemového průtoku ku teoretickému a vypočte se ze vztahu $k_V = k_R \,.\, k_Z$, kde k_R.je rychlostní součinitel a k_Z je součinitel zúžení průtočného průřezu (součinitel kontrakce).
Pak výtokový součinitel je $k_V = k_R \,.\, k_Z$ = 0,624.
Skutečný objemový průtok vody otvorem $Q_{Vs} = k_V \,.\, Q_{Vt}$ = 0,0228 m^3.s^{-1}.

6) <u>Příklad řešení dynamických účinků proudící tekutiny</u>

Zadání: Tryskou o průměru 12 mm proudí voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} rychlostí 28 m.s^{-1}. Vypočtěte velikost výsledné síly, kterou působí proudící voda na pevnou kolmou desku. Ztráty třemím vody při proudění po desce zanedbejte.



Účinky proudu tekutiny na kolmou pevnou desku

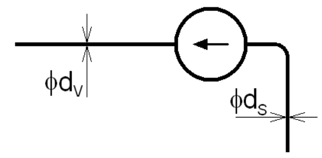
Řešení: Při řešení dynamických účinků proudící tekutiny na pevnou desku budeme vycházet z věty o změně průtokové hybnosti $\vec{F_R} = \Delta \vec{H_Q} = \vec{H_{Q2}} - \vec{H_{Q1}}$, kde H_Q je průtoková hybnost, která se vypočte ze vztahu $H_Q = Q_m \,.\, w$, kde Q_m je hmotnostní průtok tekutiny v daném místě na desce a w je rychlost kapaliny na desce v daném místě.
Protože průtoková hybnost je vektro (podobně jako síla) musíme větu o změně průtokové hybnosti řešit v osách x a y.

Hmotnostní průtok vody vytékající z trysky je $Q_m = S \cdot \rho \cdot c = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho \cdot c$ =3,167kg.s^{-1}.

Ryhlost proudící vody ve sledovaném průřezu 1 (místo dopadu vody na desku) je w_1 = c = 28 m.s^{-1}.
Ryhlost proudící vody ve sledovaném průřezu 2 (místo odvodu vody z desky, kdy předpokládame, že se prod rozdělí na dvě stejné části) je w_2 = c = 28 m.s^{-1}.
Pak průtoková hybnost $H_{Q1} = Q_m \,.\, w_1$ = 88,67 N (1 kg.m.s^{-2} = 1 N) a průtoková hybnost $H_{Q2/2} = Q_{m/2} \,.\, w_1$ = 44,33 N.
Složky průtokových hybností: H_{Q1x} = 88,67 N $\quad$ H_{Q1y} = 0 N;
$H_{Q2/2x}$ =0 N $\quad$ $H_{Q2/y}$ = 44,33 N.
Změna průtokové hybnosti ve směru osy x je $\Delta H_{Qx} = 0 - H_{Q1x}$ = -88,67 N.
Změna průtokové hybnosti ve směru osy y je $\Delta H_{Qy} = H_{Q2/2y} - H_{Q2/2y} - 0$ = 0 N.
Výsledná změna průtokové hybnosti je $\Delta H_Q = \sqrt{H_{Qx}^2 + H_{Qy}^2}$ = 88,67 N = F_R.
Sílou F_R působí deska na proudící vodu z trysky, aby změnila svůj směr proudění.
Pak dle zákona akce a reakce síly, síla kterou působí proudící voda na desku je stejné velká, ale opačné orientace.
Velikost výsledné síly, kterou působí proudící voda na pevnou kolmou desku, je F = 88,67 N.

Příklady z hydrodynamiky k procvičení

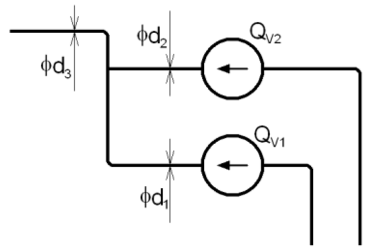
Příklad 4.31. Čerpadlo dle schématu (obr. 4.31) dodává objemový průtok 195 litrů za minutu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3}. Vypočtěte teoretickou rychlost proudění vody sacím a výtlačným potrubím, jestliže vnitřní průměr sacího potrubí je d_s = 80 mm a vnitřní průměr výtlačného potrubí je d_v = 50 mm.
Výsledek: w_s = 0,647 m.s^{-1}, w_v = 1,655 m.s^{-1}.



Obr. 4.31 - Schéma potrubí s čerpadlem

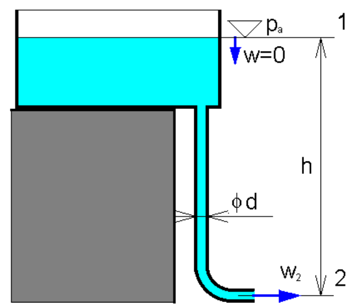
Příklad 4.32. Čerpadlo dle schématu (obr. 4.31) dodává objemový průtok 195 litrů za minutu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3}. Navrhněte vnitřní průměr sacího potrubí d_s a výtlačného potrubí d_v, jestliže maximální požadovaná teoretická rychlost proudění vody sacím potrubím je 0,65 m.s^{-1} a výtlačným potrubím je 1,65 m.s^{-1}. Skutečný vnitřní průměr sacího nebo výtlačného potrubí volte z řady Ra 20: 32 mm, 36 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 56 mm, 63 mm, 71 mm, 80, mm, 90 mm, 100 mm atd.
Výsledek: předběžný d_{sp} = 79,79 mm, zvolený d_s = 80 mm, skutečná rychlost proudění w_s = 0,647 m.s^{-1}, předběžný d_{vp} = 50,08 mm, zvolený d_v = 56 mm, skutečná rychlost proudění w_v = 1,32 m.s^{-1}.

Příklad 4.33. Čerpací stanice má dvě čerpadla zapojená dle schématu (obr. 4.33) a dodávají objemový průtok Q_{V1} = 210 litrů/min a Q_{V2} = 120 litrů/min vody o hustotě 1000 kg.m^{-3}. Vypočtěte teoretickou rychlost proudění vody potrubím o vnitřním průměru d_1 = 56 mm, d_2 = 40 mm a d_3 = 63 mm.
Výsledek: w_1 = 1,421 m.s^{-1}, w_2 = 1,592 m.s^{-1} a w_3 = 1,764 m.s^{-1}.



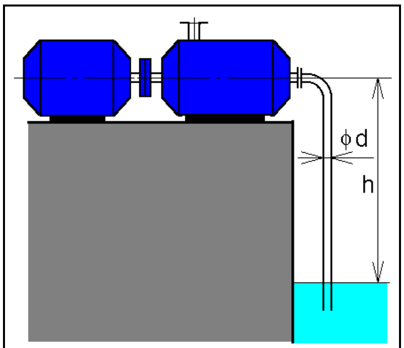
Obr. 4.33 - Čerpací stanice se dvěmi čerpadly

Příklad 4.34. Z otevřené nádoby (dle obr. 4.34) se stálou hladinou umístěné ve výšce h = 5,3 m nad vodorovným ústím potrubí o vnitřním průměru 50 mm, kterým vytéká voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} z nádoby do volného prostoru. Vypočtěte objemový průtok vody potrubím, jestliže atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty vody při proudění potrubím zanedbejte.
Výsledek: w_2 = 10,3 m.s^{-1} a Q_V = 0,0202 m^3.s^{-1}.



Obr. 4.34 - Výtok kapaliny z nádrže potrubím pod hladinou

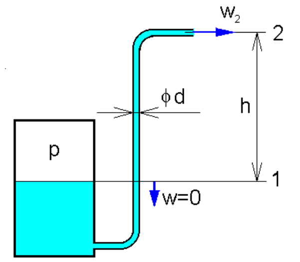
Příklad 4.35. Z otevřené nádoby (dle obr. 4.34) se stálou hladinou umístěné vytéká do volného prostoru vodorovným ústím potrubí pod hladinou o vnitřním průměru 17 mm objemový průtok 125 litrů za minutu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3}. Vypočtěte pořebnou výšku hladiny nad ústím potrubí, jestliže atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty vody při proudění potrubím zanedbejte.
Výsledek: w_2 = 9,18 m.s^{-1} a h = 4,21 m.



Obr. 4.36 - Sací tlak a sací výška čerpadla

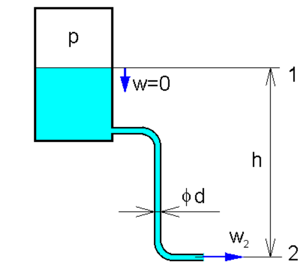
Příklad 4.36 Čerpadlo dle obrázku 4.36 nasává potrubím o vnitřním průměru 80 mm objemový průtok 250 litrů za minutu vody o hustotě 1000 kg.m^{-3}. Jaký musí mít čerpadlo sací tlak, jestliže vodu nasává ze studny o stálé geodetické sací výšce h_s = 5 m, kde na hladinu působí atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: w_s = 0,83 m.s^{-1} a p_s = 46660 Pa.

Příklad 4.37. Potrubím dle obrázku 4.37 o vnitřním průměru 60 mm je dodáván objemový průtok vody 245 $dm^3.min^{-1}$ a voda vytéká do atmosféry. Voda do potrubí je dodávána z bojleru s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody a se stálou hladinou umístěné ve výšce h = 25 m pod ústím potrubí do atmosféry. Vypočtěte přetlak vzduchu na hladinu vody v bojleru, jestliže voda má hustotu 1000 $kg.m^{-3}$ a atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: w_2 = 1,44 $m.s^{-1}$, a p = 351000 Pa a Δp = 251000 Pa.



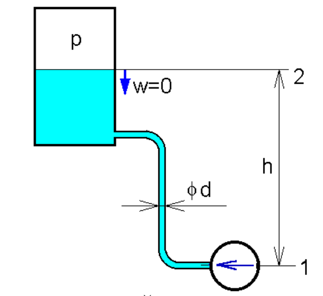
Obr. 4.37 - Výtok vody z bojleru

Příklad 4.38. Potrubím dle obrázku 4.38 o vnitřním průměru 17 mm vytéká voda o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ do atmosféry z bojleru s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody 0,011 MPa se stálou hladinou umístěné ve výšce h = 2,5 m nad ústím potrubí. Vypočtěte objemový průto vytékající vody z potrubí, jestliže atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: p = 111000 Pa, w_2 = 8,49 $m.s^{-1}$ a Q_V= 0,00193 $m^3.s^{-1}$.



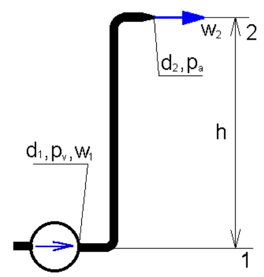
Obr. 4.38 - Výtok vody z bojleru

Příklad 4.39 Čerpadlo dle obrázku 4.39 s objemovým průtokem 50 $dm^3.min^{-1}$ dodává vodu do bojleru s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody 0,31 MPa a se stálou hladinou umístěné ve výšce h = 15,5 m nad osou čerpadla. Vypočtěte tlak vody dodávané čerpadlem do potrubí o vnitřním průměru 25 mm, jestliže voda má hustotu 1000 $kg.m^{-3}$ a atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: p_2 = 410000 Pa, w_1 = 1,698 $m.s^{-1}$ a p_V= 563600 Pa .



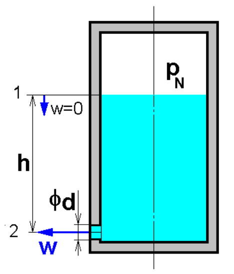
Obr. 4.39 - Čerpání kapaliny do bojleru

Příklad 4.40. Do potrubí dle schématu (obr. 4.40) o vnitřním průměru (jmenovité světlosti) 60 mm je dodáván čerpadlem objemový průtok 280 litrů za minutu vody o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$. Jakým tlakem musí čerpadlo tlačit vodu do potrubí dle obrázku, jestliže z něho voda vytéká do atmosféry vodorovnou tryskou o průměru 15 mm s osou ve výšce 21 m nad vstupní částí potrubí. Atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: w_1 = 1,65 $m.s^{-1}$, w_2 = 26,4 $m.s^{-1}$, p_2 = 100 000 Pa, p_1 = p_V = 657 300 Pa.



Obr. 4.40 - Výtok kapaliny tryskou

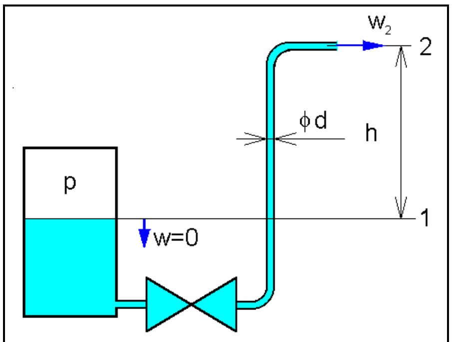
Příklad 4.41. Otvotem dle obrázku 4.41 o vnitřním průměru 60 mm výtéká vytéká do atmosféry voda z bojleru stálou hladinou ve výšce h = 2,5 m nad ústím otvoru a s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody 0,021 MPa. Vypočtěte objemový průtok vytékající vody z bojleru, jestliže voda má hustotu 1000 $kg.m^{-3}$ a atmosférický tlak je 0,1 MPa. Ztráty při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: p = 121000 Pa, w_2 = 9,59 $m.s^{-1}$ a Q_V = 0,0271 $m^3.s^{-1}$.



Obr. 4.41 - Výtok kapaliny z bojlleru

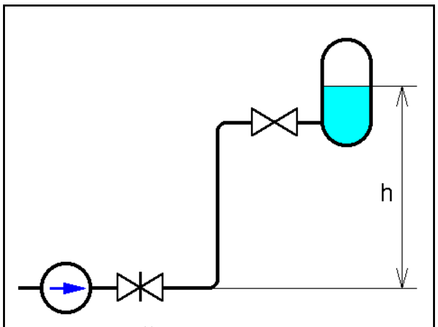
Příklad 4.42 Vodorovným přímým potrubím o vnitřním průměru 125 mm a délce 210 m proudí objemový průtok 13 $dm^3.min^{-1}$ vody o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ a kinematické viskozitě 10^{-6} $m^2.s^{-1}$. Vypočtěte měrnou ztrátovou energii při proudění vody potrubím.
Výsledek: $w = 0{,}0177\ m.s^{-1}$, $Re = 2213 < 2320$ v potrubí je proudění laminární, $k_o = 0{,}0259$, $e_{zt} = 0{,}00761\ J.kg^{-1}$.

Příklad 4.43 Vodorovným přímým potrubím o vnitřním průměru 80 mm a délce 210 m proudí průtok 880 $dm^3.min^{-1}$ vody o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ a kinematické viskozitě 10^{-6} $m^2.s^{-1}$. Vypočtěte měrnou ztrátovou energii při proudění vody potrubím.
Výsledek: $w = 2{,}92\ m.s^{-1}$, $Re = 233400 > 2320$ v potrubí je proudění turbulentní, $k_o = 0{,}0144$, $e_{zt} = 160{,}8\ J.kg^{-1}$.



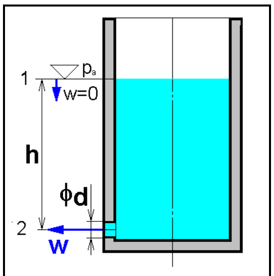
Obr. 4.44 – Výtok skutečné tekutiny z bojleru

Příklad 4.44 Vypočtěte tlak vzduchu v bojleru dle obrázku 4.44 na stálou hladinu vody o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$, jestliže potrubím o vnitřním průměru 50 mm a celkové délce přímých částí 50 m proudí průtok 5 litrů za sekundu, která vytéká do atmosféry vodorovným ústím ve výšce 21 m nad hladinou vody v bojleru. Odporový součinitel při proudění vody v potrubí je 0,0167, součinitel ztráty místními vlivy vstupu do potrubí je 0,05, součinitel ztráty místními pro kolena je 0,23 a součinitel ztráty místními pro šoupátko je 2,06.
Výsledek: $w_2 = 2{,}55\ m.s^{-1}$, $e_{zt} = 54{,}2\ J.kg^{-1}$. $e_{zm} = 8{,}3\ J.kg^{-1}$, $e_z = 62{,}5\ J.kg^{-1}$ $p = 375700$ Pa.



Obr. 45 – Čerpání skutečné tekutiny do tlakové nádoby

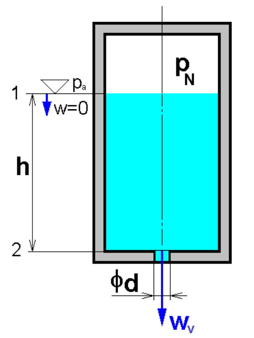
Příklad 4.45. Čerpadlo dle obrázku 4.45 dopravuje vodu o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ a kinematické viskozitě 10^{-6} $m^2.s^{-1}$ potrubím o vnitřním průměru 50 mm do tlakové nádoby s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody 0,35 MPa a stálou hladinou ve výšce 14 m nad osou čerpadla. Vypočtěte objemový průtok a výtlačný tlak čerpadla, jestliže voda proudí potrubím rychlostí 2,1 $m.s^{-1}$, celková délka přímé části potrubí je 40 m. Odporový součinitel při proudění vody v potrubí je 0,0176, součinitel ztráty místními pro kolena je 0,23, součinitel ztráty místními pro šoupátko je 2,06 a součinitel ztráty místními pro ventul je 4,24. Vstupní a výstupní ztrátu při proudění vody potrubím zanedbejte.
Výsledek: $e_{zt} = 31{,}05\ J.kg^{-1}$. $e_{zm} = 18{,}94\ J.kg^{-1}$, $e_z = 49{,}99\ J.kg^{-1}$ $p_V = 637800$ Pa, $Q_V = 0{,}00412\ m^3.s^{-1}$.



Obr. 4.46 – Výtok kapaliny z nádoby

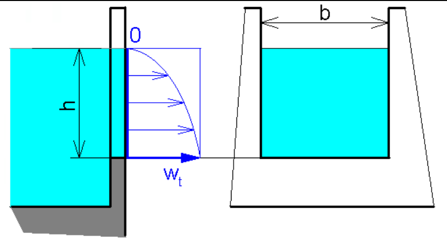
Příklad 4.46. Z otevřené nádoby dle obrázku 4.46 se stálou hladinou ve výšce 1200 mm nad dnem nádoby vytéká voda o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ otvorem ve dně nádoby do atmosféry. Vypočtěte skutečný objemový průtok vody kruhovým otvorem o průměru 80 mm, jestliže rychlostní součinitel je 0,97 a součinitel kontrakce je 0,65.
Výsledek: $w_t = 4{,}899\ m.s^{-1}$, $Q_{Vt} = 0{,}00412\ m^3.s^{-1}$ a $Q_{Vs} = 0{,}00412\ m^3.s^{-1}$.

Příklad 4.47. Z uzavřené nádoby dle obrázku 4.47 s vnitřním přetlakem vzduchu na hladinu vody je 0,018 MPa a se stálou hladinou ve výšce 1200 mm nad dnem nádoby vytéká voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} otvorem ve dně nádoby do atmosféry. Vypočtěte skutečný objemový průtok vody kruhovým otvorem o průměru 80 mm, jestliže rychlostní součinitel je 0,97 a součinitel kontrakce je 0,65.
Výsledek: w_t = 4,899 m.s^{-1}, Q_{Vt} = 0,167 m^3.s^{-1} a Q_{Vs} = 0,106 m^3.s^{-1}.



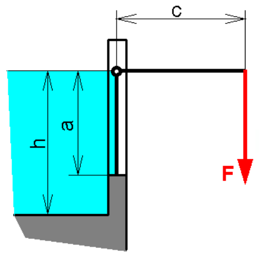
Obr. 4.47 – Výtok kapaliny z nádoby

Příklad 4.48. Vypočtěte objemový průtok vody o hustotě 1000 kg.m^{-3} obdélníkovým přepadem o šířce 1600 mm a výšce vody 900 mm, jestliže výtokový součinitel u přepadu je 0,65.
Výsledek: w_t = 4,24 m.s^{-1}, Q_{Vt} = 12,22 m^3.s^{-1} a Q_{Vs} = 7,94 m^3.s^{-1}.



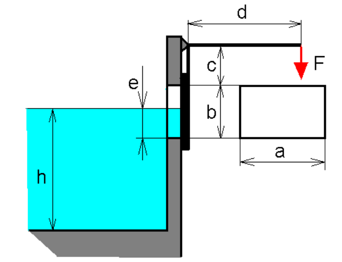
Obr. 4.48 – Výtok vody přepadem

Příklad 4.49. V nádrži se stálou hladinou dle obrázku 4.49 je voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} do výšky h = 2 m. Ve svislé stěně nádrže je obdélníkový otvor o šířce b = 1800 mm, který je uzavřen deskou o stelné šířce a výšce a = 950 mm ovládanou pákou s ramenem c = 2500 mm. Vypočtěte velikost síly F potřebné k uzavření nádrže a skutečný objemový průtok vody po úplném otevření otvoru, jestliže výtokový součinitel u přepadu je 0,64.
Výsledek: w_t = 4,36 m.s^{-1}, Q_{Vt} = 4,99 m^3.s^{-1} a Q_{Vs} = 3,18 m^3.s^{-1}, F_p = 8123 N, F = 3430 N.



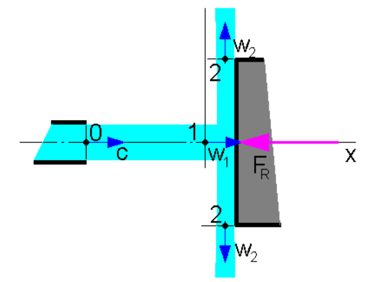
Obr. 4.49 – Výtok vody z nádrže se stavidlem

Příklad 4.50. V nádrži se stálou hladinou dle obrázku 4.50 je voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} do výšky h = 2 m. Ve svislé stěně nádrže je obdélníkový otvor o šířce a = 1500 mm a výšce b = 800 mm, ve kterém voda dosahuje do výšky e = 580 mm. Otvor je uzavřen deskou ovládanou pákou s ramenem d = 2500 mm a rozměrem c = 150 mm. Vypočtěte velikost síly F potřebné k uzavření nádrže a skutečný objemový průtok vody po úplném otevření otvoru, jestliže výtokový součinitel u přepadu je 0,63.
Výsledek: w_t = 3,41 m.s^{-1}, Q_{Vt} = 1,975 m^3.s^{-1} a Q_{Vs} = 1,244 m^3.s^{-1}, F_p = 2523 N, F = 763,7 N.



Obr. 4.50 – Výtok vody z nádrže se stavidlem

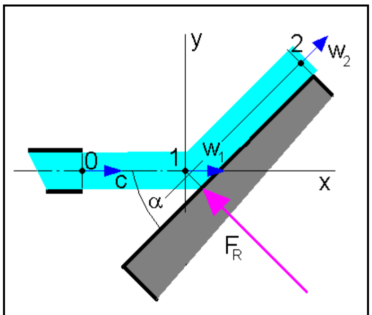
Příklad 4.51. Tryskou o průměru 18 mm proudí voda o hustotě 1000 kg.m^{-3} rychlostí 28 m.s^{-1}. Vypočtěte velikost výsledné síly, kterou působí proudící voda na pevnou kolmou desku.
Výsledek: c = w_1 = w_2 = 28 m.s^{-1}, Q_m = 7,125 kg.s^{-1}, F = 199,5 N.



Obr.4.51 – Účinky proudu na kolmou pevnou desku

Příklad 4.52. Tryskou o průměru 12 mm proudí voda o hustotě 1000 $kg.m^{-3}$ rychlostí 35 $m.s^{-1}$. Vypočtěte velikost výsledné síly, kterou působí proudící voda na pevnou šikmou desku skloněnou vzhledem k ose proudu o úhel 40°.

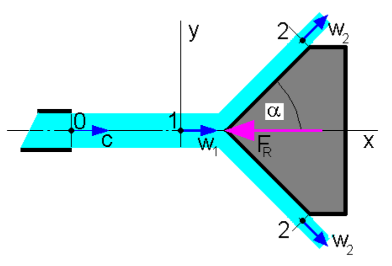
Výsledek: $c = w_1 = w_2 = 35\ m.s^{-1}$, $Q_m =$ $kg.s^{-1}$, $H_{Q1} = H_{Q2} =$ 138,5 N, F = 94,7 N.



Obr.4.44 – Účinky proudu na šikmou pevnou desku

Příklad 4.53. Tryskou o průměru 15 mm proudí voda o hustotě 1000$kg.m^{-3}$ rychlostí 45 $m.s^{-1}$ a prou vody dopadá na dvojitě klínovitou pevnou desku s vrcholovým úhlem 150°. Vypočtěte velikost výsledné síly způsobené dynamickými účinky proudící vody na danou desku..

Výsledek: $c = w_1 = w_2 = 35\ m.s^{-1}$, $Q_m = 7{,}95\ kg.s^{-1}$, $H_Q =$ 357,8 N, $H_{Q2x} =$ 92,6 N, F = 265,2 N.



Obr.4.53 – Účinky proudu na klínovitou pevnou desku