

Príklady z toku tekutín a dopravy tekutín (Steltenpohl, OCHBI)

1. Pivo prúdi potrubím s kruhovým prierezom o priemere 10 cm. Jeho hmotnostný prietok je 300 kg min^{-1} , Aká bude priemerná rýchlosť prúdenia piva v potrubí s kruhovým prierezom, ktorého priemer je 6,5 cm, ak sa prietok piva nezmení. Hustota piva je 1030 kg m^{-3} .
2. Aký charakter má prúdenie kukuričného oleja, ktorý tečie cez rúrky kruhového prierezu s priemerom 25 mm. Prietok oleja je 4000 kg h^{-1} . Pri teplote $40 \text{ }^\circ\text{C}$ je hustota oleja 906 kg m^{-3} a kinematická viskozita $\nu = 30,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.
3. Vypočítajte maximálny objemový prietok tekutiny prúdiacej v potrubí s kruhovým prierezom $d = 10 \text{ cm}$, aby bol charakter prúdenia laminárny. Pre vypočítaný objemový prietok zistíte maximálnu dĺžku strany štvorcového potrubia, v ktorom by daná tekutina mala vyvinutý turbulentný tok. Riešte pre prípad prúdenia dusíka a vody, ktorých teplota je v oboch prípadoch $30 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlak je atmosférický.
4. Porovnajme rýchlosť a charakter prúdenia vo valcovom potrubí s priemerom 2,5 cm a v potrubí so štvorcovým prierezom, ktoré má rovnakú plochu prierezu, ako spomínané valcové potrubie. Predpokladajte, že potrubím prúdi 9 L min^{-1} benzénu, ktorého teplota je $30 \text{ }^\circ\text{C}$.
5. Vypočítajte straty tlaku v potrubí s celkovou dĺžkou 15 m, priemerom 2,5 cm a relatívnou drsnosťou 0,0001, v ktorom prúdi voda so strednou teplotou $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Jej objemový prietok je $1,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (60 L h^{-1}).
6. Jablčná šťava má hustotu 1046 kg m^{-3} . Šťava odteká samospádom z otvorenej zásobnej nádrže do filtračného zariadenia, v ktorom je tlak $137,3 \text{ kPa}$. Ako vysoko, vzhľadom na ústie potrubia do filtračného zariadenia, musí byť hladina šťavy v zásobnej nádrži. Rýchlosť prúdenia šťavy je 2 m s^{-1} , disipácia mechanickej energie v potrubí zodpovedá $h_{\text{str}} = 2,5 \text{ m}$ a prúdenie je turbulentné.
7. Pri teplote $10 \text{ }^\circ\text{C}$ prúdi pivo novým hydraulicky hladkým potrubím s kruhovým prierezom s vnútorným priemerom 3 cm. Kinematická viskozita piva pri uvedenej teplote je $2,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ a jeho hustota je 1030 kg m^{-3} . Vypočítajte straty tlakovej energie v dôsledku trenia na dĺžke potrubia 1 m, ak je objemový prietok piva $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.
8. V potrubí s celkovou dĺžkou 50 m, priemerom rúrky 3 palce a drsnosťou (výškou výstupkov) 0,03 cm prúdi vodný roztok metanolu (40 hmot. %). Teplota roztoku je $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Potrubie ústi do otvorenej nádrže (p_{atm}) nad hladinou kvapaliny, ktorá je v nádrži. V potrubí sú zaradené 2 otvorené posúvače, dva priame ventily, otvorený uzatvárací ventil, 5 pravouhlých a dve 45° -ové kolená. Ústie potrubia leží vo výške 5 m nad jeho začiatkom. Zistíte, aký má byť tlak na začiatku potrubia, aby ním mohlo prúdiť 300 L min^{-1} roztoku.
9. Toluén sa prepravuje samospádom zo zásobnej nádrže do reaktora (obrázok). Jeho teplota je $10 \text{ }^\circ\text{C}$. V zásobnej nádrži je vtok do potrubia umiestnený 3 m pod hladinou. Pretože nádrž je dostatočne veľká, výška hladiny toluénu v nádrži sa prakticky nemení. V nádrži aj v reaktore je atmosférický tlak. Dĺžka potrubia a počet a druh armatúr zaradených v potrubí je jasný z obrázka. Vypočítajte: a) rýchlosť prúdenia a objemový prietok toluénu, ak má potrubie kruhový prierez s priemerom 5 cm a priemernou výškou výstupkov $\varepsilon = 0,5 \text{ mm}$, b) priemer potrubia s kruhovým prierezom a rýchlosť prúdenia toluénu, ak je výška výstupkov na vnútornej strane potrubia 0,5 mm a objemový prietok toluénu 500 L min^{-1} .
10. Pivo prúdi z tlakového zásobníka do otvorenej nádrže. Tlak v zásobníku je 115 kPa a výška hladiny v zásobníku je 5 m vzhľadom na podlahu vo výrobnjej hale. V otvorenej nádrži je výška hladiny piva 3 m nad úrovňou podlahy. Pivo prúdi v novom potrubí s priemerom 0,1 m, v ktorom sú zaradené 2 ventily na reguláciu prietoku, 3 pravouhlé kolená a krátka usadzovacia časť potrubia s priemerom 0,3 m (rozšírenie potrubia $\xi = 0,79$, zúženie potrubia $\xi = 0,47$). Disipácia mechanickej energie trením v hladkom potrubí je zanedbateľná vzhľadom na straty mechanickej energie spôsobené prítomnosťou miestnych odporov proti prúdeniu. Vypočítajte prietok piva, ak je jeho viskozita $\mu = 8,95 \times 10^{-4} \text{ Pa s}$ a hustota 1035 kg m^{-3} .

Príklady z toku tekutín a dopravy tekutín (Steltenpohl, OCHBI)

11. Z veľkého uzavretého zásobníka, v ktorom je tlak nad hladinou kvapaliny 1,2 bar, sa cez hydraulicky hladké potrubie prečerpáva heptán do pripravenej cisterny. Celková dĺžka potrubia je 70 m, v potrubí sú zaradené 4 pravouhlé kolená, jeden priamy ventil a jeden posúvač (plne otvorené). Časť potrubia je ponorená do hĺbky 2,5 m pod hladinu kvapaliny v nádrži. Táto časť potrubia slúži ako nasávacie potrubie odstredivého čerpadla, ktoré heptán dopravuje do výšky 6 m nad hladinu kvapaliny v nádrži. Cisterna je otvorená voči atmosfére. Teplota prečerpávaného heptánu je 20 °C. Za týchto podmienok je dynamická viskozita heptánu 0,41 cP (1 cP = 1 mPa s).

Vypočítajte: a) priemer potrubia, aby sme za uvedených podmienok dokázali prepraviť $10,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ heptánu, pričom výkon čerpadla je 623 W a jeho účinnosť je $\eta = 70 \%$,
b) ako dlho sa bude cisterna plniť, ak je priemer potrubia 0,1 m a množstvo energie dodanej čerpadlom jednotkovej hmotnosti kvapaliny ako v prvom prípade. Cisterna má valcový tvar s eliptickým prierezom (hlavná poloos je dlhá 1,5 m a vedľajšia 1 m) a dĺžkou 6 m. Aké množstvo energie spotrebovávajú čerpadlo?

12. Na zavlažovanie sa používa studničná voda. Pretože jej teplota je 10 °C, najskôr sa prečerpáva do otvorenej zásobnej nádrže. Rozdiel výšok hladín vody v studni a v zásobnej nádrži je 4 metre. Na dopravu vody sa používa odstredivé čerpadlo s nasledujúcou charakteristikou (pri frekvencii otáčania 1000 min^{-1}).

$V/(\text{dm}^3 \text{ min}^{-1})$	0	30	60	90	120	150	180
$h_{wč}/\text{m}$	9	9,8	10	9,5	8,5	6,8	3,5

Okrem čerpadla je v potrubí s kruhovým prierezom (priemer 5 cm, priemerná výška výstupkov 0,2 mm) zaradený nasávací kôš s priemerom 10 cm, 6 pravouhlých kolien, jeden priamy a jeden uzatvárací ventil. Čerpadlo je ponorené 100 cm pod hladinou vody v studni. Miestne odpory proti prúdeniu spôsobené čerpadlom sú započítané v jeho charakteristike. Celková dĺžka potrubia (t. j. dĺžka od výtlačného hrdla čerpadla po jeho ústie do zásobnej nádrže) je 100 metrov. Zistíte, aký je objemový prietok vody v potrubí, aký je príkon a výkon čerpadla, ak je jeho účinnosť 55 %. Aký je tlak vo výtlačnom hrdle čerpadla? Ako by sa zmenil prietok vody v potrubí, keby ste na jej čerpanie použili dve rovnaké čerpadlá (s rovnakou charakteristikou) zapojené v sérii, alebo paralelne?

13. Čerpadlo s charakteristikou zmeranou pri frekvencii 1200 min^{-1} (vid' tabuľka) sa používa na prepravu benzénu zo zbernej nádoby destilátu do vzdialeného zásobníka. Čerpadlo je umiestnené 2 metre nad hladinou benzénu v zbernej nádobe. Teplota čerpaného benzénu je 45 °C. V oboch nádobách je atmosférický tlak. Najvyššie položené miesto výtlačného potrubia sa nachádza 8 metrov nad hladinou benzénu v zbernej nádobe destilátu.. Predpokladajte, že nasávacie aj výtlačné potrubie je hydraulicky hladké. Priemer nasávacieho potrubia je 3 palce, jeho celková dĺžka je 5 metrov a ekvivalentná dĺžka zodpovedajúca stratám mechanickej energie v dôsledku miestnych odporov je tiež 5 metrov. Priemer výtlačného potrubia je 4 palce a ekvivalentná dĺžka spôsobená miestnymi odpormi je 12 metrov. Celková dĺžka výtlačného potrubia je 35 metrov. Vypočítajte objemový prietok benzénu. Do akej maximálnej výšky možno umiestniť čerpadlo, aby v ňom nenastala kavitácia? Pre podmienky uvedené v zadaní vypočítajte frekvenciu otáčania, ak sa má čerpať o 30 % viac benzénu a špecifická energia dodaná kvapaline zahŕňa aj 5 %-nú rezervu. Pre novú frekvenciu otáčania prepočítajte charakteristiku čerpadla.

$V/(\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$	0	3×10^{-3}	6×10^{-3}	9×10^{-3}	12×10^{-3}	15×10^{-3}
$\varepsilon_{wč}/(\text{J kg}^{-1})$	98,1	107,9	106,6	93,2	75	54,0

14. Voda zo studne o teplote 10 °C sa do tlakového zásobníka prepravuje potrubím s priemerom 10 cm pomocou odstredivého čerpadla. Príkon čerpadla je 5 kW a účinnosť 65 %. Čerpadlo je umiestnené tak, aby nenastala kavitácia ani pri čerpaní vody o teplote 30 °C. Výška hladiny vody v studni sa nemení. Rozdiel medzi výškou hladiny v studni a najvyšším miestom potrubia je 20 m. Celková dĺžka potrubia je 40 m. V nasávacom potrubí je umiestnený nasávací kôš (priemer 20 cm) a jedno pravouhlé koleno. Vo výtlačnom potrubí je jedno pravouhlé koleno, jeden otvorený uzatvárací ventil a clonka s prierezom priemeru 4,5 cm. Ku clonke je pripojený ortuťový U manometer, ktorý ukazuje rozdiel výšok hladín ortuti 28 cm. Teplota ortute v manometri je tiež 10 °C.

Vypočítajte objemový prietok vody v systéme; polohu čerpadla vzhľadom na výšku hladiny vody v studni, ak je nasávací kôš umiestnený 1 meter pod hladinou; špecifickú energiu, ktorú čerpadlo dodáva čerpanej kvapaliny; tlak v uzavretom zásobníku; tlak vo výtlačnom hrdle čerpadla. Ako by sa zmenil rozdiel výšok

Príklady z toku tekutín a dopravy tekutín (Steltenpohl, OCHBI)

hladín ortuti v U manometri, keby ste na meranie prietoku miesto clonky použili dýzu alebo venturimeter s rovnakým priemerom prierezu?

15. Na dopravu acetónu zo zásobníka do reaktora sa používajú odstredivé čerpadlá. Charakteristika jedného takéhoto čerpadla pri frekvencii 1500 min^{-1} je uvedená v tabuľke.

$V \times 10^4 / (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$	0	2	4	6	8	10	12	14
$h_{wč}/\text{m}$	9.2	9.5	9.6	9.4	8.8	7.6	5.9	2

Rozdiel výšok hladín v zásobníku a v reaktore je 15 m. Celková dĺžka potrubia vyrobeného z ťahaných rúrok je 60 m, z čoho 1/3 pripadá na potrubie pred a medzi čerpadlami. Súčet hydraulických odporov v tejto časti potrubia zodpovedá ekvivalentnej dĺžke potrubia $L_{ekv,N} = 8 \text{ m}$. Disipácia mechanickej energie v čerpadle je zahrnutá v jeho charakteristike. Za čerpadlom je zaradený uzatvárací ventil, 18 kolien (45°), venturimeter a priamy ventil. Potrubie ústi do reaktora pod hladinou kvapaliny. Priemer potrubia s kruhovým prierezom je 2 palce a svetlosť venturimetra je 2 cm. K venturimetru je pripojený šikmý U manometer so sklonom 75° od vertikály.

Zistite objemový prietok acetónu, ktorého teplota je 20°C , rozdiel výšok hladín manometrickej kvapaliny (Hg) v šikmom ramene U manometra. Do akej maximálnej výšky, vzhľadom na hladinu acetónu v zásobnej nádrži, môžeme umiestniť čerpadlo?

16. Čerstvý vzduch sa do kotla nasáva pomocou ventilátora, na vstupe do ktorého je v potrubí podtlak 30 torr oproti tlaku na vstupe do potrubia (atmosférickému tlaku). Dĺžka vodorovného kruhového potrubia od jeho ústia po vstup do ventilátora je 3 metre. Prierez kruhového potrubia má plochu 20 cm^2 , priemerná výška výstupkov v potrubí je 0,2 mm. V tretine potrubia je v osi potrubia umiestnená Pitotova–Prandtlava rúrka s pripojeným U manometrom so sklonom 60° od zvislej osi. Hydraulický uzáver U manometra tvorí voda, ktorej teplota je rovnaká, ako teplota prúdiaceho vzduchu, t. j. 10°C . Okrem prietokomera je na začiatku potrubia zaradená spätná klapka a tesne pred ventilátorom uzatvárací regulačný ventil.

Vypočítajte, aký je prietok vzduchu v potrubí pri plnom otvorení uzatváracieho ventilu. Predpokladajte, že hodnota koeficienta miestnych strát, spôsobených prítomnosťou prietokomera, je 1. Zistite, aký je rozdiel výšok hladín vody v U manometri Pitotovej–Prandtlavej rúrky za uvedených podmienok. Vypočítajte dynamický tlak v mieste merania. Zostrojte kalibračný graf pre Pitotovu–Prandtlavu rúrku (t.j. $V = f(\Delta h)$).

17. Potrubím s kruhovým prierezom o priemere 10 cm prúdi benzén, ktorého teplota je 30°C . V osi potrubia je umiestnená Pitotova–Prandtlava rúrka, z ktorej sú vývody pripojené na šikmý U manometer so sklonom ramena 80° od vertikály. Manometrickou kvapalinou je ortuť, ktorej teplota je 20°C . Na šikmom ramene manometra bola odčítaná hodnota rozdielu výšok hladín 59,5 mm. Predpokladáme, že v mieste merania je rýchlostný profil prúdiacej kvapaliny vyvinutý. Vypočítajte hmotnostný prietok benzénu.

Benzén tečie potrubím z bežnej ocele o celkovej dĺžke 32 m do nádrže, v ktorej je tlak 97 kPa. Potrubie ústi nad hladinou kvapaliny v nádrži. Najvyššie miesto potrubia sa nachádza 10 m nad jeho začiatkom. V potrubí sú zaradené 4 kolená (90°), dva otvorené paralelné posúvače, jeden otvorený priamy ventil a odstredivé čerpadlo, ktoré koná v systéme prácu 180 J kg^{-1} . Hodnota koeficienta miestneho odporu pre Pitotovu–Prandtlavu rúrku je 0,3. Vypočítajte tlak na začiatku potrubia.

18. Vypočítajte, akú prácu vykoná 600 g ideálneho plynu, ak mu dodáme 500 kJ tepelnej energie. Za uvedených podmienok sa teplota plynu vo valci s pohyblivým piestom zvýši z 10°C na 50°C . Špecifická tepelná kapacita plynu pri konštantnom objeme má hodnotu $\bar{c}_V = 0,72 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

19. 1 kg vzduchu uzavretého vo valci s pohyblivým piestom expanduje z tlaku 0,8 MPa a teploty 80°C na tlak 0,1 MPa nasledovne: izochoricky, izotermicky, adiabaticky vratne a polytropicky, ak polytropický exponent $n = 1,3$. Pre každý z uvedených dejov vypočítajte: konečnú teplotu plynu, vykonanú jednorazovú prácu a množstvo vymeneného tepla, ak $\bar{c}_V = 0,72 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

20. 1 kg dusíka izobaricky expanduje zo začiatočného stavu, keď má teplotu 500°C , tak, že sa jeho špecifický objem zvýši na $0,26 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. V ďalšom kroku dusík expanduje adiabaticky vratne na tlak 0,1 MPa, pričom sa jeho špecifický objem zvýši na hodnotu $1,8 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Vypočítajte chýbajúce hodnoty teploty, špecifického objemu a tlaku, ako aj zmenu vnútornej energie a jednorazovú prácu pri oboch dejoch. Hodnota špecifickej tepelnej kapacity dusíka pri konštantnom objeme $\bar{c}_V = 0,783 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ a Poissonova konštanta je $\kappa = 1,4$.

Príklady z toku tekutín a dopravy tekutín (Steltenpohl, OCHBI)

21. Vypočítajte príkon a hlavné rozmery (D , L) jednovalcového jednočinného kompresora, ktorý komprimuje vzduch o teplote $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tlaku $0,1\text{ MPa}$ na konečný tlak $0,8\text{ MPa}$. Objemový výkon kompresora pri tlaku $0,101325\text{ MPa}$ a teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ je $500\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$. Škodlivý priestor valca kompresora je $\delta = 0,045$. Kompresor pracuje pri frekvencii otáčania 1440 min^{-1} a pomer dĺžky a priemeru valca $L/D = \psi = 1,5$. Kompresia prebieha polytropicky pričom polytropický exponent má hodnotu $n = 1,3$. Celková účinnosť kompresora je 85% a dopravná účinnosť valca kompresora má hodnotu 90% . Zistite tiež teplotu vzduchu po kompresii a množstvo tepla, ktoré treba z priestoru valca odvieť chladením.

22. Kompresor polytropicky komprimuje suchý vzduch z tlaku $0,1\text{ MPa}$ na 28 MPa . Teplota vzduchu na vstupe do kompresora je $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Polytropický exponent má hodnotu $1,24$. Kompresor je dvojčinný, pracuje pri frekvencii otáčanie 1200 min^{-1} . Jeho celková účinnosť je 88% , dopravná účinnosť 92% a pomer dĺžky a priemeru valca je $\psi = 1,6$. Škodlivý priestor vo valci je $5,5\%$. Vypočítajte príkon, rozmery kompresora (L , D) a spotrebu chladiacej vody na chladenie valcov kompresora a medzichladičov, ak sa chladiaca voda zohreje o $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. V medzichladičoch sa komprimovaný vzduch ochladí na pôvodnú teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Máme za úlohu skomprimovať 18720 kg h^{-1} vzduchu.