

1.GYAKORLAT (2. oktatási hét)

PÉLDA

Határozza meg a levegő ($R=287 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) sűrűségét az alábbi közegjellemzők esetén! (lásd tankönyv 1.2.2. lecke, 30. oldal összefüggés)

$$p v = \frac{p}{\rho} = RT, \quad (1.5)$$

ahol

$$R = R_u / M. \quad (1.6)$$

az adott gáz vagy gázkeverék **gázállandója**, ami az **univerzális gázállandó**
 $R_u = 8314,3 \text{ J/kmol/K}$ és a **moltömeg** $M \text{ kg/kmol}$ hányadosa. Levegőre
 $M = 29 \text{ kg/kmol}$, tehát $R = 287 \text{ J/kg/K}$.

nyomás	100000 Pa	1 bar	100hPa	10^5 Pa	1000 mbar	5 bar
hőmérséklet	15 °C	323 K	0 °C	273 K	373 K	60 °C
ρ_{lev}	?	?	?	?	?	?

PÉLDA

Határozza meg a levegő dinamikai ill. kinematikai viszkozitását az alábbi hőmérsékletek esetén! (lásd tankönyv 1.2.4. lecke, 34. oldal összefüggés)

T [K] hőmérsékletű **gáz dinamikai viszkozitását** a

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \frac{T_0 + T_s}{T + T_s} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}$$

összefüggéssel számolhatjuk [16], ahol 1 bar nyomású levegőre $T_0 = 273,16 \text{ K}$,
 $\mu_0 = 17,1 \times 10^{-6} \text{ kg/ms}$, $T_s = 122 \text{ K}$.

hőmérséklet	-20 °C	0 °C	20 °C	50 °C	100 °C	200 °C
μ_{lev}	?	?	?	?	?	?
ν_{lev}	?	?	?	?	?	?

Ábrázolja $\mu=f(t)$ vagy $\nu=f(t)$ diagramban is a fenti adatokat!

PÉLDA

Határozza meg a víz dinamikai ill. kinematikai viszkozitását az alábbi hőmérsékletek esetén! (lásd tankönyv 1.2.4. lecke, 35. oldal összefüggés)

T [K] hőmérsékletű **cseppfolyós közeg dinamikai viszkozitásának** meghatározására a

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \exp\left(\frac{T_A}{T + T_B} - \frac{T_A}{T_0 + T_B}\right)$$

összefüggés használható, ahol vízre $T_A = 506 \text{ K}$, $T_B = -150 \text{ K}$, 1 bar nyomás
 esetén $T_0 = 273,16 \text{ K}$, és $\mu_0 = 1,793 \times 10^{-3} \text{ kg/ms}$.

hőmérséklet	5 °C	10 °C	20 °C	30 °C	50 °C	80 °C
$\mu_{\text{víz}}$?	?	?	?	?	?
$\nu_{\text{víz}}$?	?	?	?	?	?

Ábrázolja $\mu=f(t)$ vagy $\nu=f(t)$ diagramban is a fenti adatokat!

PÉLDA

Egy $V=1\text{m}^3$ belső térfogatú ipari fagyasztóládát nyitva hagyunk addig, hogy a teljes levegőtér fogat kicserélődjön a szoba környezeti nyomású és hőmérsékletű ($p_0=101325\text{Pa}$, $t_0=25^\circ\text{C}$, $R=287\text{J}/(\text{kgK})$) meleg levegőre.

Majd a fagyasztóláda ($A=0,5\text{m}\times 1\text{m}=0,5\text{m}^2$) felületű tetejét becsukjuk. A hermetikusan zárt fagyasztóládaiban $t=-4\text{C}$ hőmérsékletre hűlt le a levegő.

Ha másnap megpróbáljuk kinyitni a fagyasztóláda tetejét, akkor mekkora erő szükséges a kinyitáshoz? (A levegőt tekintjük ideális gáznak. A láda teteje elhanyagolható tömegű.)



MEGOLDÁS

A gáztörvény ideális gázokra, így a levegőre:

$$\rho = p / (R \cdot T), \text{ ahol } \rho [\text{kg}/\text{m}^3] = m [\text{kg}] / V [\text{m}^3],$$

azaz adott V térfogatú levegő tömege adott p nyomáson és T hőmérsékleten:

$$m = \rho \cdot V = p \cdot V / (R \cdot T)$$

A ládában lévő meleg ill. hideg levegő tömege azonos, hiszen hermetikusan zárt.

$$m_{\text{MELEG}} = m_{\text{HIDEG}}$$

$$(p_{\text{meleg}} \cdot V) / (R \cdot T_{\text{meleg}}) = (p_{\text{hideg}} \cdot V) / (R \cdot T_{\text{hideg}})$$

A ládában a levegő V térfogata és a R gázállandó is állandó, tehát a belső nyomás változik, ha a meleg levegő lehűl.

$$p_{\text{meleg}} / T_{\text{meleg}} = p_{\text{hideg}} / T_{\text{hideg}}$$

$$p_{\text{hideg}} = p_{\text{meleg}} \cdot (T_{\text{hideg}} / T_{\text{meleg}}) = 101325 \cdot (269/298) = 91464,513423 \text{ Pa } (\approx 91465\text{Pa})$$

A fagyasztóládaiban belül tehát 91465Pa értékre csökken a nyomás. Így a külső nyomás nagyobb, mint a belső, tehát ezt a Δp nyomáskülönbséget kell legyőzni a nyitás pillanatában.

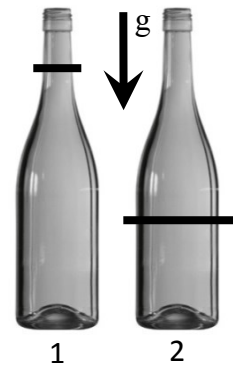
$$\Delta p = p_{\text{külső}} - p_{\text{belső}} = p_{\text{meleg}} - p_{\text{hideg}} = p_{\text{meleg}} \cdot [1 - (T_{\text{hideg}} / T_{\text{meleg}})] = 101325\text{Pa} - 91465\text{Pa} = 9860 \text{ Pa}$$

A hűtőláda tető belső és külső oldala közötti nyomáskülönbségből származó erő igen nagy:

$$F = \Delta p \cdot A = 9860\text{Pa} \cdot 0,5\text{m}^2 = 4930 \text{ N } (\approx 5\text{kN}) !!!$$

2.FELADAT (8pont)

Egyik csoporttársa tegnap este megunta az áramlástan zh-ra való készülést, és felbontott inkább egy üveg bort, ami a kollégiumi szobában tartva szobahőmérsékletű (22°C) volt. A 0,75 literes üvegben („1” ábra) lévő 0,7 liter bor felét megitta („2” ábra), majd miután a csavaros kupakjával tökéletesen hermetikusan lezárta, betette az üveget az 4°C hőmérsékletű hűtőszekrénybe.



ADATOK: levegőre $R=287\text{J}/(\text{kgK})$, $p_0=10^5\text{Pa}$, $\rho_{\text{bor}}=10^3\text{kg}/\text{m}^3$

FELTÉTELEK: Tételezze fel, hogy a bor összenyomhatatlan, nem párologó, levegővel nem keveredő folyadék, valamint hogy a borosüveg és a kupak tökéletesen merev / alaktartó, tehát egyáltalán nem deformálódik hőmérsékletváltozás hatására és hermetikusan zár. A szoba légköri nyomása (p_0) és a szoba hőmérséklete (22°C), valamint a hűtőbeli (4°C) hőmérséklet végig állandó. A folyadékszinteket az ábrákon vonallal jelöltük.

KÉRDÉS: Amikor ma este előveszi a hűtőből az üveget („2” ábra), a kupak lecsavarása előtt mekkora a nyomáskülönbség a kupak belső és külső oldala között? (Az üveg asztalra téve függőlegesen áll.)

MEGOLDÁS

A hűtőbe rakás előtti borosüvegben lévő szobahőmérsékletű („m”: „meleg”) levegő térfogata $V_m=4\text{dl} = 4 \cdot 10^{-4} \text{m}^3$

hőmérséklete $T_m=273+t_m=273+22=295\text{K}$

nyomása $p_m=p_0=100000\text{Pa}$

A lezárás előtti üvegben lévő „meleg” levegő m_m tömege lezárás (majd lehűlés) utáni üvegben lévő h: „hideg” levegőével) azonos, mivel hermetikusan zárt a rendszer:

$$m_m = m_h$$

$$\rho_m V_m = \rho_h V_h$$

Valamint nincs sem üveg, sem kupak, sem bor térfogat/alak deformáció, tehát a meleg és hideg levegő térfogata és tömege is azonos, így a sűrűsége is azonos: $\rho_m = \rho_h$, ami csak úgy lehet, hogy a ($T_h=277\text{K}$ -re) lehűlt levegő a nyomása lecsökken. A gáztörvény $p=p/(RT)$ felhasználásával a zárt palackbeli „hideg” levegő nyomására kapjuk:

$$p_h = p_m \cdot (T_h/T_m) = 100000 \cdot (277/295) = 93898 \text{ Pa}$$

A keresett nyomáskülönbség a kupak két oldala között:

$$\Delta p_a = p_{\text{külső}} - p_{\text{belső}} = p_m - p_h = 100000 - 93898 = \mathbf{6102 \text{ Pa}}$$

$$\text{(vagy)} \quad \Delta p_a = p_{\text{belső}} - p_{\text{külső}} = p_h - p_m = 93898 - 100000 = \mathbf{-6102 \text{ Pa}}$$

Az üvegen belül kisebb a nyomás, mint kívül

(azaz az üvegben depresszió uralkodik): $p_{\text{belső}} < p_{\text{külső}}$

PÉLDA

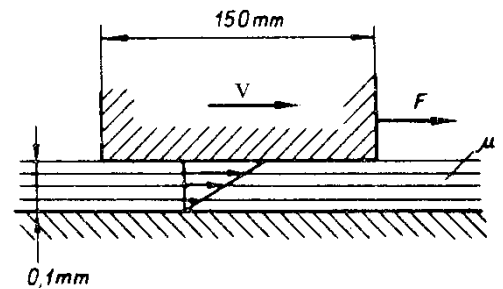
A mellékelt ábrán látható csúszótalp szélessége (a rajz síkjára merőlegesen) 100mm , hosszúsága 150mm . A csúszótalpat a vízszintes lapon levő μ viszkozitású folyadékfilmen csúsztatjuk $v=0.5\text{m/s}$ állandó sebességgel.

$$v = 0.5 \text{ m/s}$$

$$\mu = 0.1 \text{ kg/ms}$$

$$F = ? \text{ [N]}$$

Kérdés: Határozza meg a csúszótalp mozgatásához szükséges F [N] erőt!



MEGOLDÁS

Id. előadásjegyzet!

Sebesség: $v=0,5 \text{ m/s}$

Csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{\partial \gamma}{\partial t} \cong \mu \frac{\partial v}{\partial y}$,
ahol $\partial v = v - 0 = v = 0,5 \text{ m/s}$
 $\partial y = h = 10^{-4} \text{ m}$

Mivel a dinamikai viszkozitás adott: $\mu=0,1 \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, ezekkel a csúsztatófeszültség:

$$\tau=500 \text{ Pa}$$

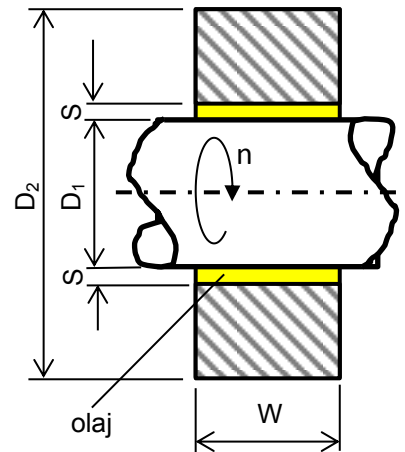
A mozgatáshoz szükséges erő: $F=\tau \cdot A=500 \cdot (0,10 \times 0,15) = 7,5 \text{ N}$
ahol a nyírt folyadékfelszín a résben egy, a csúszótalp felületével egyező nagyságú téglalap felület: $A=100\text{mm} \times 150\text{mm} = 0,10\text{m} \times 0,15\text{m} = 0,015 \text{ m}^2$

1.FELADAT (8pont)

A $\varnothing D_1=40\text{mm}$ átmérőjű tengelyt állandó $n=9550$ ford/perc fordulatszámmal forgatjuk. A tengelyt egy $W=40\text{mm}$ hosszúságú és $\varnothing D_2=100\text{mm}$ külső átmérőjű álló csapágyház veszi körül (koncentrikus tengelyek). A tengely és a csapágyház között lévő $S=0,01\text{mm}$ méretű rést állandó 800kg/m^3 sűrűségű és állandó $0,001\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ viszkozitású kenőolaj tölti ki. **FELTÉTELEK:** stacioner állapot, vékony réshen a sebességprofil lineáris, newtoni folyadék.

KÉRDÉS:

Határozza meg a réshen ébredő csúsztatófeszültséget, az ebből adódó átlagos kerületi erőt, a veszteség-nyomatékot és -teljesítményt!

**MEGOLDÁS****a)**

Fordulatszám:

$$n=9550 \text{ ford/perc} = 159,17 \text{ ford/s}$$

Szögsebesség:

$$\omega=2\pi n=1000 \text{ 1/s (kerekítve)}$$

Kerületi sebesség:

$$v_{\text{ker}}=R_1 \cdot \omega=20\text{m/s (kerekítve),}$$

ahol

$$R_1=D_1/2=40\text{mm}/2=20\text{mm}=0,02 \text{ m}$$

Csúsztatófeszültség:

$$\tau = \mu \frac{\partial \gamma}{\partial t} \cong \mu \frac{\partial v_{\text{ker}}}{\partial r},$$

ahol

$$\frac{\partial v_{\text{ker}}}{\partial r} = v_{\text{ker}} - 0 = v_{\text{ker}} = 20 \text{ m/s,}$$

és

$$\partial r = S = 0,01\text{mm}=10^{-5}\text{m}$$

mivel a dinamikai viszkozitás:

$$\mu=0,001\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}),$$

Ezekkel a csúsztatófeszültség:

$$\tau=2000\text{Pa}$$

A nyírt folyadék (rés) középmérete

$$D_{\text{közép}}=D_1+S=40\text{mm}+0,01\text{mm}=0,04001\text{m,}$$

azaz a középsugár

$$R_{\text{közép}}=D_{\text{közép}}/2=0,020005\text{m}$$

A nyírt folyadékfelszín a réshen egy hengerpalást felülete:

$$A_{\text{palást}}=D_{\text{közép}} \cdot \pi \cdot W=0,005028 \text{ m}^2$$

Kerületi erő:

$$F_{\text{ker}}=\tau \cdot A_{\text{palást}}=10,0564 \text{ N } (\approx 10 \text{ N})$$

Veszteségnyomaték:

$$M_{\text{veszt}}=F_{\text{ker}} \cdot R_{\text{közép}}= 0,2011 \text{ Nm}$$

A csapágy veszteségteljesítménye:

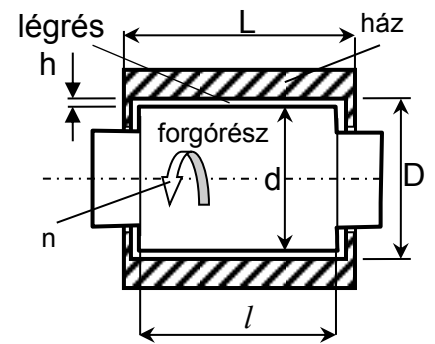
$$P_{\text{veszt}}=M_{\text{veszt}} \cdot \omega= 201,14 \text{ W } (\approx 201 \text{ W})$$

PÉLDA

Egy fogászati fúró léghűtéses motorja 2000÷40000 percenkénti fordulatszám-tartományban működik. A motor forgórésze leegyszerűsítve (ld. felső ábra) egy hengernek ($\varnothing d=11,9\text{mm}$; $l=15\text{mm}$) tekinthető, amely a szintén hengeres ($\varnothing D=12\text{mm}$; $L=17\text{mm}$) álló házban koncentrikusan helyezkedik el. A h résméret sugár- és tengelyirányban is állandó. Üzemi állapotban a légrést meleg, $1,1\text{kg/m}^3$ sűrűségű és $2 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ viszkozitású, $R=287\text{J}/(\text{kgK})$ gázállandójú levegő tölti ki. **KÉRDÉSEK:**

- a) $n=36000$ ford/perc esetén – csak a forgórész hengerpalástja és ház közötti légrést figyelembe véve – határozza meg a légrésben ébredő csúsztatófeszültséget és veszteségnyomatékot!
- b) Mekkora veszteségteljesítmény értéke? Hány %-a fordítódik a 120W motorteljesítménynek a légrésvesztés legyőzésére?

Feltételek: stacioner állapot, $\rho=\text{áll.}$, lineáris sebességprofil a résben, a Newton-féle viszkozitási törvény használható.



MEGOLDÁS

Fordulatszám: $n=36000$ ford/perc = 600 ford/sec

Szögsebesség: $\omega=2\pi n=3769,91$ 1/s

Kerületi sebesség: $v_{ker}=r \cdot \omega=22,431$ m/s, ahol $r=d/2=11,9\text{mm}/2=0,00595$ m

Csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{dv}{dr} \cong \mu \frac{dv_{ker}}{dr}$,
ahol $dv_{ker}=v_{ker}-0=v_{ker}=22,431$ m/s, és $dr=D/2-d/2=R-r=h=0,05\text{mm}=5 \cdot 10^{-5}\text{m}$
mivel a kinematikai viszkozitás adott, a dinamikai viszkozitás $\mu=v \cdot \rho=2 \cdot 10^{-5} \cdot 1,1$
 $\mu=2,2 \cdot 10^{-5}$ kg/(m·s), ezekkel:
 $\tau=9,86964$ Pa ($\approx 9,9\text{Pa}$)

Kerületi erő: $F_{ker}=\tau \cdot A_{palást}=5,55789 \cdot 10^{-3}$ N ($\approx 5,56$ mN)
ahol a nyírt folyadékfelszín a résben egy közép hengerpalást felület:
 $A_{palást}=D_{közép} \cdot \pi \cdot l=0,01195\text{m} \cdot \pi \cdot 0,015\text{m}=5,6313 \cdot 10^{-4}$ m²
A nyírt folyadék (rés) középtátmérője $D_{közép}=(d+D)/2=11,95\text{mm}$, azaz
 $R_{közép}=5,975\text{mm}$

Veszteségnyomaték: $M_{veszt}=F_{ker} \cdot R_{közép}=3,3208 \cdot 10^{-5}$ Nm ($\approx 33,2$ mNmm)

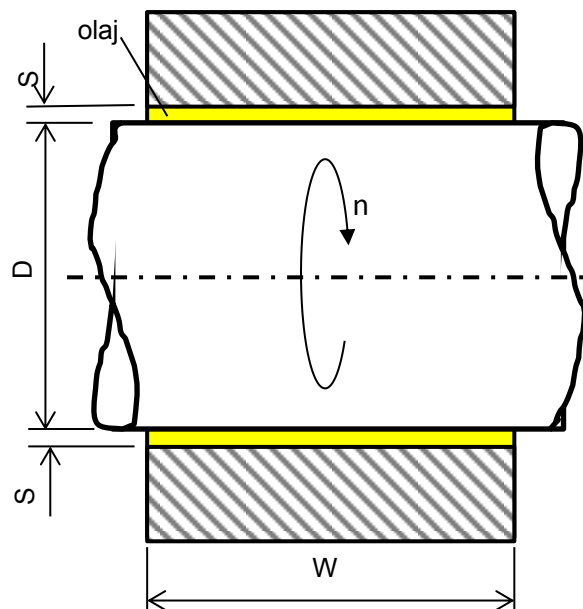
Veszteségteljesítmény: $P_{veszt}=M_{veszt} \cdot \omega=0,125192699$ W ($\approx 125,2$ mW)

Relatív veszteség-teljesítmény: $\eta = \frac{P_{veszt}}{P_{motor}} = \frac{0,125192699}{120} = 0,001043272 \cong 0,1\%$

MEGJEGYZÉS: A megoldókulcsban az eredmények számértékének fenti, sok tizedesre való kijelzését csak a megoldásuk ellenőrzése miatt használom, ez nekem segítség a ZH javítás során. A megoldásukat természetesen „értelmesen” kerekített részeredményekkel kapott kerekített végeredménnyel is elfogadom.

PÉLDA

Egy óceánjáró hajó $P=80000\text{kW}$ összteljesítményű motorjának ábrán látható $\varnothing D=900\text{mm}$ átmérőjű fő tengelyét $N=28$ db azonos $W=400\text{mm}$ hosszúságú álló (ábrán sraffozott) csapágyház veszi körül koncentrikusan. A tengely és a csapágyház között lévő, sugárirányban $S=0,4\text{mm}$ vastagságú rést ismert paraméterű (800kg/m^3 sűrűségű és $1,25 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ viszkozitású) kenőolaj tölti ki. A tengely $n=100$ ford/perc értékű állandó fordulatszámmal forog.



KÉRDÉSEK:

- A)** Határozza meg először 1db csapágyat figyelembe véve a csúsztatófeszültséget, a kerületi erőt, a veszteségnomatékat, majd adja meg az összes csapágy motorteljesítményre vonatkoztatott relatív veszteségteljesítményét is!
- B)** Indokolja számítással, hogy melyik okoz nagyobb veszteségteljesítmény-változást: ha a résméretet csökkentjük 25%-kal $S'=0,3\text{mm}$ -re vagy ha a fordulatszámot növeljük 25%-kal $n'=125$ ford/perc-re!

MEGOLDÁS

A)

fordulatszám: $n=100$ ford/perc $=1,66^\circ$ ford/sec

szögsebesség: $\omega=2\pi n=10,47197\dots$ 1/s

kerületi sebesség: $v_{ker}=R \cdot \omega=4,71238898\dots$ m/s, ahol $R=D/2=900\text{mm}/2=450\text{mm}=0,450\text{m}$

csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{d\gamma}{dt} \cong \mu \frac{\partial v_{ker}}{\partial r} = \nu \rho \frac{v_{ker}}{S}$, ahol $\partial v_{ker} = v_{ker} - 0 = v_{ker}$ és $\partial r = S = 0,4\text{mm} = 4 \cdot 10^{-4}\text{m}$; illetve a dinamikai viszkozitás $\mu = \nu \cdot \rho = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 800 = 0,01 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$.

Ezekkel: $\tau=117,8097\dots$ Pa

($\approx 117,8\text{Pa}$)

A nyírt folyadékfelszín a résben egy közép hengerpalást felülete $N=1$ db csapágyra egy $W=400\text{mm}$ széles és D_k középpátmérőjű hengerpalást. A nyírt folyadék (rés)

középpátmérője: $D_k = D + S = 900,4\text{mm} = 0,9004\text{m}$

középsugara: $R_k = D_k/2 = 450,2\text{mm} = 0,4502\text{m}$

palástfelülete: $A_p = D_k \cdot \pi \cdot L = 0,9004\text{m} \cdot \pi \cdot 0,4\text{m} = 1,13147601 \text{ m}^2$

($\approx 1,13\text{m}^2$)

kerületi erő: $F_{ker} = \tau \cdot A_p = 133,298877\dots$ N

($\approx 133,3\text{N}$)

vesztéségnomaték: $M_{veszt} = F_{ker} \cdot R_k = 60,01115444\dots$ Nm

($\approx 60\text{Nm}$)

vesztégteljesítmény: $P_{veszt} = M_{veszt} \cdot \omega = 628,4353\dots$ W

($\approx 628,4\text{W}$)

$N=28$ db csapágyra: $P_{veszt} = 28 \cdot P_{veszt} = 17596,18951\dots$ W

($\approx 17,6 \text{ kW}$)

rel. veszt-teljesítmény: $\eta = \frac{P_{veszt}}{P_{motor}} = \frac{17,6 \text{ kW}}{80000 \text{ kW}} = 0,000219952$

($\approx 0,022\%$)

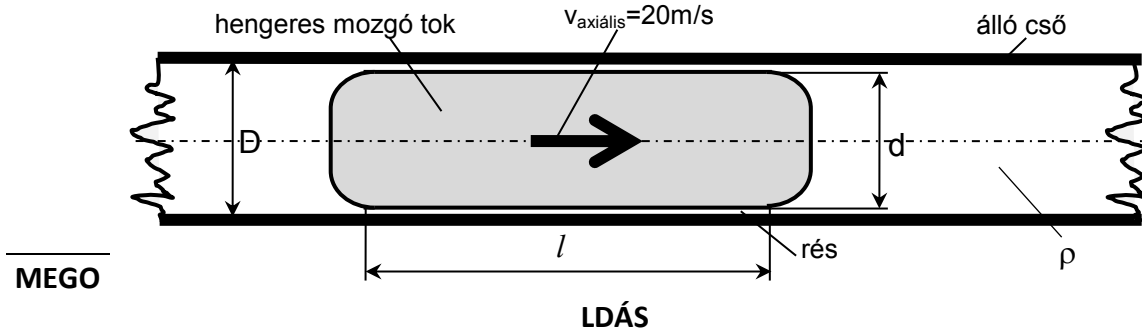
B) A fordulatszám növelése okoz nagyobb teljesítmény-változást a kérdéses esetben.

Indoklás: A P veszteségteljesítmény az S résméret reciprokával közel arányos ($P \sim S^{-1}$). (Azért csak kb., mivel nem csak a τ -ban, hanem a palástfelület és a kerületi erő számításánál szükséges D_k középpátmérőben is szerepel az S értéke, de minimális változást okoz P értékében.) Ezzel szemben a P veszteségteljesítmény az n fordulatszám négyzetével arányos ($P \sim n^2$). Tehát megállapítható, hogy ha az $S'=0,75 \cdot S$, akkor a $P' \approx P \cdot 1,33$, viszont ha az $n'=1,25 \cdot n$, akkor a $P' = P \cdot (1,25)^2 = P \cdot 1,5625$. Mivel $1,56 > 1,33$, tehát a fordulatszám 25%-os növelése nagyobb (kb. +56%-os) teljesítmény-növekedést eredményez, mint amekkora (kb. +33%-os) teljesítmény-növekedést az S résméret 25%-os csökkentése okozna.

PÉLDA

Egy áruházi pneumatikus csőpostájának vizsgált szakasza egy vízszintes, $\varnothing D=100\text{mm}$ belső átmérőjű egyenes, $L=100\text{m}$ hosszú cső, melyben $v_{\text{axiális}}=20\text{m/s}$ állandó sebességgel mozog a ($\varnothing d=99,5\text{mm}$, $l=200\text{mm}$) henger alakú tok. A csőben lévő levegő sűrűsége $1,25\text{kg/m}^3$, viszkozitása $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $R=287\text{J/kg/K}$. **Feltételek:** stacioner állapot, $\rho=\text{áll.}$, lineáris sebességprofil az l hosszú résben, ahol a Newton-féle viszkozitási törvény használható.

KÉRDÉS: Mekkora $P[\text{W}]$ teljesítmény szükséges a légrésvesztés legyőzéséhez?



Sebesség: $v_{\text{axiális}} = 20 \text{ m/s}$

Csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial r} \cong \mu \frac{\partial v_{\text{axiális}}}{\partial r}$,
ahol $\partial v_{\text{axiális}} = v_{\text{axiális}} - 0 = v_{\text{axiális}} = 20 \text{ m/s}$, és $\partial r = h = (D-d)/2 = 0,25\text{mm} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
mivel a kinematikai viszkozitás adott, a dinamikai viszkozitás $\mu = \nu \cdot \rho = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, azaz $\mu = 2 \cdot 10^{-5} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$, ezekkel:
 $\tau = 1,6 \text{ Pa}$

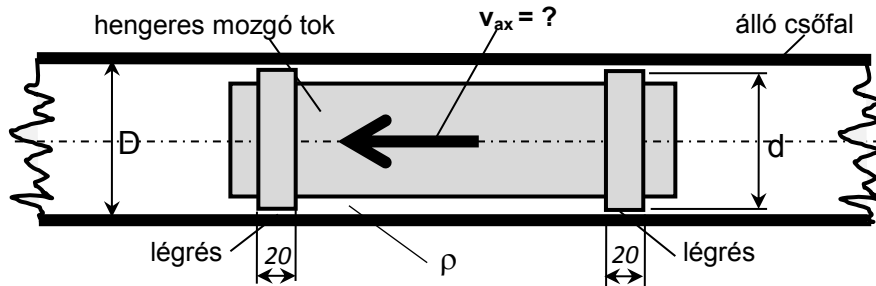
Axiális erő: $F_{\text{axiális}} = \tau \cdot A_{\text{palást}} = 0,100279637 \text{ N} (\approx 0,1003 \text{ N})$
ahol a nyírt folyadékfelszín a résben egy közép hengerpalást felület:
 $A_{\text{palást}} = d_{\text{közép}} \cdot \pi \cdot l = 0,09975 \text{ m} \cdot \pi \cdot 0,2 \text{ m} = 6,2674773 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
A nyírt folyadék (rész) középtátmérője $d_{\text{közép}} = d + h = 99,5\text{mm} + 0,25\text{mm} = 99,75\text{mm}$

A résben nyírt folyadékra a veszteségteljesítmény: $P_{\text{veszt}} = F_{\text{axiális}} \cdot v_{\text{axiális}} = 2,00559275 \text{ W} (\approx 2 \text{ W})$

MEGJEGYZÉS: A megoldókulcsban lévő eredmények számértékének fenti, sok tizedesre való kijelzését csak a megoldásuk ellenőrzése miatt használom, ezt így kijelzeni nem helyes, csak nekem segítség a ZH javítás során. A megoldásukat természetesen, mérnöki szempontból „értelmesen”, a kerekítési szabályok szerint helyesen kerekített részeredményekkel kapott végeredménnyel is elfogadom.

PÉLDA

Egy régi pneumatikus csőposta vizsgált szakasza egy vízszintes, $\varnothing D=65\text{mm}$ belső átmérőjű egyenesnek tekinthető, $L=100\text{m}$ hosszú cső, melyben ismeretlen v_{ax} állandó tengelyirányú sebességgel mozog a tok. A tok két végén van egy-egy 20 mm szélességű és $d=64\text{mm}$ átmérőjű szakasz. A többi szakaszon a sokkal nagyobb résméreték miatt elhanyagolható a súrlódás hatása. A csövet kitöltő levegő sűrűsége $1,2\text{kg/m}^3$, viszkozitása $18 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$. **FELTÉTELEK:** stacioner állapot, $\rho=\text{áll.}$, sugárirányban lineáris sebességprofil a két 20mm-es szélességű résben: itt a Newton-féle viszkozitási törvényt használhatjuk.



KÉRDÉS: Mekkora v_{ax} axiális sebességgel mozog a tok a csőben, ha $P=66\text{mW}$ teljesítmény szükséges a légrésvesztés legyőzéséhez? Adja meg a résben ébredő csúsztatófeszültség értékét is!

MEGOLDÁS

Csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{\partial \gamma}{\partial t} \cong \mu \frac{\partial v_{ax}}{\partial r} = \mu \frac{v_{ax}}{s}$
dinamikai viszkozitás adott: $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$
résméret adott: $\partial r = s = (D-d)/2 = 0,5\text{mm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$

A nyírt folyadék (rés) középtátmérője és középsugara:
 $d_k = d + s = 64\text{mm} + 0,5\text{mm} = 0,0645\text{m}$

A nyírt folyadék palástfelülete ismert: összesen 2db, egyenként $L=20\text{mm}$ széles és d_k középtátmérőjű hengerpalást:

$$A = 2 \cdot (d_k \cdot \pi \cdot L)$$

A veszteségteljesítmény: $P = F_{ax} \cdot v_{ax} = \tau \cdot A \cdot v_{ax} = \frac{\mu \cdot A}{s} \cdot v_{ax}^2$

A keresett sebesség: $v_{ax} = \sqrt{\frac{P \cdot s}{\mu \cdot 2 \cdot d_k \cdot \pi \cdot L}} = 15,03958\text{m/s} \quad (\approx 15\text{m/s})$

A csúsztatófeszültség: $\tau = \mu \frac{v_{ax}}{s} = 0,541425\text{Pa} \quad (\approx 0,54\text{Pa})$