Ütemterv

az **Áramlás- és hőtechnika és gépei** c. tárgyhoz (GEAHT432-B)
logisztikai mérnöki és műszaki menedzser alapképzési szakos hallgatók részére
2019/2020. tanév I. félév; Tárgyfelelős: Dr. Baranyi László egyetemi tanár

(2 óra előadás+2 óra gyakorlat)

1. hét: Erő- és munkagépek osztályozása. A termodinamikai alapfogalmai. Termodinamikai rendszer, rendszerhatár, környezet. Extenzív és intenzív állapotjelzők. Belső energia, entalpia. A termodinamika 0. főtétele.

2. hét: Mechanikai munka, térfogatváltozási munka és súrlódási munka. Fajlagos mennyiségek. A termodinamika I. főtétele zárt nyugvó rendszerre a belső energia és az entalpia felhasználásával.

3. hét: Az I. főtétel nyitott rendszerre. Tömegáram, fajlagos technikai munka. Alkalmazás gőzturbinára, örvényszivattyúra és vízturbinára.

4. hét: A termodinamika I. főtételének alkalmazása áramlásos folyamatokra: energiaegyenlet, Bernoulli-egyenlet összenyomható és összenyomhatatlan közegek esetére. Hidrosztatika egyenlete, mint speciális eset.

5. hét: Tömegmegmaradás/kontinuitás egyenlete áramcsőre összenyomhatatlan és összenyomható közegek stacionárius áramlása esetén. Tőmegáram, térfogatáram. Áramlási veszteség csővezetékekben. Osborn Reynolds kísérletei. Lamináris és turbulens áramlás csövekben. Csősúrlódási tényező. Moody diagram. Hidraulikailag sima és érdes csövek.

6. hét: Nyomásesés és súrlódási teljesítményveszteség a térfogatáram függvényében összenyomhatatlan közeg csőáramlása esetén. A csőátmérő szerepe. A csősúrlódási tényező kísérleti meghatározása. Szerelvények vesztesége. A veszteségtényező kísérleti meghatározása.

7. hét: Összetett rendszerekben fellépő hidraulikai veszteség származtatása, veszteségparabola. Példa megoldása súrlódásos áramlásos folyamatra. A Bernoulli-egyenlet, mint súrlódásmentes energiaegyenlet alkalmazása térfogatárammérőkre: Venturi-cső, mérőperem, mérőtorok.

8. hét: A Bernoulli-egyenlet, mint súrlódásmentes energiaegyenlet alkalmazása pontbeli sebesség mérésére: Prandtl-cső. Kifolyás tartályból; nagyméretű nyitott és zárt tartályok; folyadéksugár kontrakciója. Kiáramlás tartályból lassan változó folyadékszint esetén. Energiadiagram áramcsőre súrlódásos és súrlódásmentes folyadékáramlás esetén.

9. hét: Hidrosztatika, mint speciális eset. Nyomáseloszlás. Folyadékba merített síklapra és görbült felületre ható erő. Egyenletek származtatása és azok alkalmazása konkrét feladatok megoldására.

10. hét: Kalorikus állapotjelzők. Átlagos fajhő származtatása. Egyszerű állapotváltozások. Körfolyamatok.

11. hét: A termodinamika II. főtétele. Entrópia, entrópia-diagramok. Tiszta közegek termodinamikai jellemzői. Gőzfejlesztés, gőzhányad. Technikai körfolyamatok: Rankine-Clausius és Joule körfolyamatok. A körfolyamatokból nyerhető fajlagos technikai munka, termikus hatásfok. A termikus hatásfok javítási lehetőségei a Rankine-Clausius körfolyamatnál.

12. hét: ZH

13. hét: A hővezetés és hőátadás alapjai. Hőátadás egy és többrétegű síkfalban és hengeres falban. Hőáram, hőáramsűrűség, hőátadási ellenállás, hőátbocsátási tényező. Hőcserélők

14. hét: Radiális átömlésű örvényszivattyú külső és belső energiadiagramjai, manometrikus szállítómagasság, hasznos teljesítmény, tengelyteljesítmény, terhelőmagasság, munkapont. Hatásfokok. PótZH (nem az előadás időpontjában).

Tantárgyi követelmények

1. A tárgy lezárásának módja: aláírás + vizsga.
2. Az aláírás megszerzésének feltételei: Részvétel az előadásokon és gyakorlatokon és az egy félévközi zárthelyi legalább elégséges (50%-os) szinten való teljesítése. A zárthelyi időtartama 80 perc, időpontja a szorgalmi időszak 12. hetére tervezett. A zárthelyi dolgozat értékelésének módja: 0-49%: elégtelen, 50%-tól megszerezte a hallgató az aláírást.
3. A sikertelen vagy meg nem írt zárthelyi pótlása a 14. héten történik.
4. Aki igazolatlanul távol marad mind a zárthelyiről, mind a pótzárthelyiről, végleges aláírás megtagadást kap.
5. A zárthelyi és pótzárthelyin aláírást nem szerzett hallgatók két alkalommal aláíráspótló zárthelyin vehetnek részr. Az aláírás megszerzéséhez az érintett hallgatónak az aláíráspótló zárthelyik valamelyikén szintén legalább a elérhető maximális pontszám 50%-át kell elérnie.
6. Az **írásbeli vizsgán** (elegendően nagy létszám esetén) a hallgatók 80 perces zárthelyit írnak, ahol az év közben elhangzott anyag elméleti kérdéseit, illetve azok gyakorlati alkalmazását (de számértékek nélkül) kérjük számon. Az elért pontszám alapján jegyet ajánlunk meg. Az értékelés módja: 0-49%: elégtelen, 50-59%: elégséges, 60-69%: közepes, 70-79%: jó, 80-100%: jeles. A jeles osztályzatot csak szóbeli megerősítéssel lehet szerezni.
7. A **szóbeli vizsgán** (kis létszám esetén) 2 tételt húz a hallgató; egyet a tételek első feléből és egy másikat a második feléből. Egy mellékfeltétel az, hogy a két húzott tétel sorszáma legalább 6-al különbözzék egymástól. Ilyenkor a hallgatók 20-30 perces felkészülési időt kapnak, majd szóban is elmondják a leírt anyag azon részét, amelyet a vizsgáztató kér. Ezen kívül a vizsgáztató még néhány olyan elemi kérdést is feltehet, amely nem kapcsolódik szorosan a két húzott tétel olyan témájához.

Ajánlott irodalom

1. Czibere Tibor: Áramlástan. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest, 1985
2. Vida György: Műszaki hőtan. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991, J14-1518

3. Baranyi László, Kalmár László: Áramlástan példatár. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest, 1990, J14-1713
4. Karaffa Ferenc: Műszaki hőtan példatár. Miskolci Egyetemi Kiadó, 1994.
5. Lajos T.: Az áramlástan alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1997.
6. White, F.M.: Fluid Mechanics. 4th Edition, McGraw-Hill, Boston, 1999.
7. Bejan, A.: Heat Transfer. John Wiley and Sons, New York, 1993.

Miskolc, 2019.09.04. Baranyi László

Zárthelyi dolgozat az Áramlás- és hőtechnika és gépei (GEAHT432-B) c. tárgyból (MINTA!!!)

Áramlás- és hőtechnika és gépei Zárthelyi dolgozat

(NYOMTATOTT NAGY BETŰKKEL kérjük a nevet)

<table>
<tr><td rowspan="2">Neptun kód:</td><td rowspan="2"></td><td>Név:</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>1. feladat</td><td>2. feladat</td><td>3. feladat</td><td>4. feladat</td><td>Σ</td></tr>
<tr><td colspan="2">Elérhető pontszám</td><td>12</td><td>18</td><td>15</td><td>15</td><td>60</td></tr>
<tr><td colspan="2">Elért pontszám</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

A zárthelyi időtartama: 90 perc Az aláíráshoz szükséges pontszám: 24 pont.

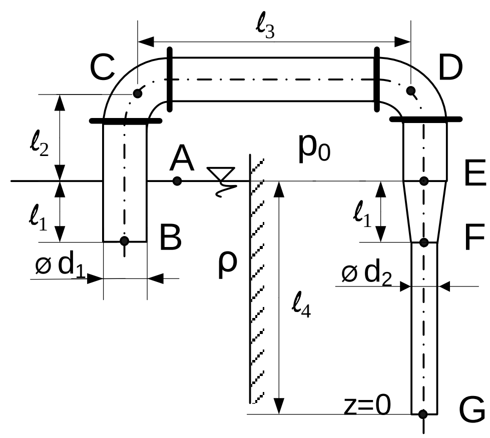
Jó munkát!

1. feladat: Egy $|P| = 2,8\,MW$ teljesítményű adiabatikus gázturbinában a levegő (ideális gáz) politrópikus expanziót végez. A kezdőállapot $p_1 = 8,3\,bar$ és $t_1 = 555\ ^\circ C$, a végállapot $p_2 = 1,15\,bar$ és $t_2 = 187\ ^\circ C$. A kinetikus és a potenciális energia változása elhanyagolható. $\left(c_{p_0} = 1,005\,kJ/(kg \cdot K)\right)$

Mennyi: a) a politrópikus kitevő,

b) a turbinán áthaladó tömegáram?

2. feladat: Egy nagyméretű nyitott tartályból a vázolt csővezetéken keresztül súrlódásmentesen ρ sűrűségű folyadék a szabadba ömlik. Mekkora a csővezetéken átáramló folyadék térfogatárama $\boldsymbol{liter/perc}$ mértékegységben? Rajzolja meg az energiadiagramot a számszerű értékek feltüntetésével!



Adatok: $p_0 = 0,1\,Mpa$; $g = 10\,m/s^2$; $\rho = 800\,kg/m^3$;

$d_1 = 60\,mm$; $d_2 = 40\,mm$; $\ell_1 = 1\,m$; $\ell_2 = 1,5\,m$; $\ell_3 = 3,5\,m$;

$\ell_4 = 3\,m$.

3. feladat: Egy $h = 8\ cm$ vastag deszkalap úgy úszik a vízen, hogy térfogatának 3/4 része merül a vízbe. **Mekkora** lesz a bemerülési mélység, ha ezt a deszkát $\rho = 800\ kg/m^3$ sűrűségű folyadékba tesszük?

Adatok: $\rho_{víz} = 1000\ kg/m^3$; $g = 9{,}81\ m/s^2$.

4. feladat: Egy kazán túlhevítőjében az $\dot{m} = 3500\ kg/h$ tömegáramú nedves vízgőz $\dot{Q}_{12} = 4 \cdot 10^6\ kJ/h$ hőmennyiséget vesz fel $p = 70\ bar$ állandó nyomáson. **Mennyi** a túlhevítőbe lépő gőz fajlagos nedvességtartalma, ha a túlhevítési hőmérséklet $t = 500\ ^\circ C$? A kinetikus és a potenciális energia változása elhanyagolható.

Állapotjelzők:

A fajlagos entalpia telítési értékei $p = 70\ bar$ nyomáson: $h' = 1264{,}4\ kJ/kg$, $h'' = 2772\ kJ/kg$;

A túlhevített gőz fajlagos entalpiája $p = 70\ bar$ nyomáson és $t = 500\ ^\circ C$-on: $h_2 = 3409\ kJ/kg$.

Zárthelyi dolgozat megoldása az Áramlás- és hőtechnika és gépei (GEAHT432-B) c. tárgyból (MINTA!!!)

1. feladat: Egy $|P| = 2,8\,MW$ teljesítményű adiabatikus gázturbinában a levegő (ideális gáz) politrópikus expanziót végez. A kezdőállapot $p_1 = 8,3\,bar$ és $t_1 = 555\ ^\circ C$, a végállapot $p_2 = 1,15\,bar$ és $t_2 = 187\ ^\circ C$. A kinetikus és a potenciális energia változása elhanyagolható. $\left(c_{p_0} = 1,005\,kJ/(kg \cdot K)\right)$

Mennyi: a) a politrópikus kitevő,

b) a turbinán áthaladó tömegáram?

$|P| = 2,8\,MW$;

levegő (ideális gáz);

politrópikus expanzió;

$p_1 = 8,3\,bar = 8,3 \cdot 10^5\ Pa$;

$t_1 = 555\ ^\circ C \Rightarrow T_1 = 828,15\,K$;

$p_2 = 1,15\,bar = 1,15 \cdot 10^5\ Pa$;

$t_2 = 187\ ^\circ C \Rightarrow T_2 = 460,15\,K$;

$\frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) = 0$;

$g \cdot \left(z_2 - z_1\right) = 0$;

$c_{p_0} = 1,005\,kJ/(kg \cdot K)$.

Megoldás:

a.) A politrópikus állapotváltozásra érvényes Poisson-egyenletek a következők:

$p \cdot v^n = állandó$; $T \cdot v^{n-1} = állandó$; $T \cdot p^{\frac{1-n}{n}} = állandó$, ezek közül az utolsót felhasználva írható:

$$T_1 \cdot p_1^{\frac{1-n}{n}} = T_2 \cdot p_2^{\frac{1-n}{n}}.$$

Ebből kifejezve a politrópikus kitevőt a következőt kapjuk:

$$\underline{\underline{n}} = \frac{\lg\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\lg\frac{T_1}{T_2} + \lg\left(\frac{p_2}{p_1}\right)} = \frac{\lg\left(\frac{1,15 \cdot 10^5\ Pa}{8,3 \cdot 10^5\ Pa}\right)}{\lg\frac{828,15\,K}{460,15\,K} + \lg\left(\frac{1,15 \cdot 10^5\ Pa}{8,3 \cdot 10^5\ Pa}\right)} = \underline{\underline{1,423}}.$$

b.) A gázturbina által leadott teljesítmény: $P = \dot{m} \cdot w_{t_{12}}$, ebből a gázturbinán áthaladó tömegáram: $\dot{m} = \frac{P}{w_{t_{12}}}$.

A termodinamika I. főtétele nyílt rendszerre fajlagos mennyiségekkel:

$$q_{12} + w_{t_{12}} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) + g \cdot \left(z_2 - z_1\right);$$

Feltételek: 1. $q_{12} = 0$, adiabatikus a gázturbina;

2. $\frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2 \right) = 0$, a kinetikus energia változása elhanyagolható;

3. $g \cdot \left(z_2 - z_1 \right) = 0$, a potenciális energia változása elhanyagolható;

4. $h_2 - h_1 = c_{p_0} \cdot \left(T_2 - T_1 \right)$, ideális gáz esetén.

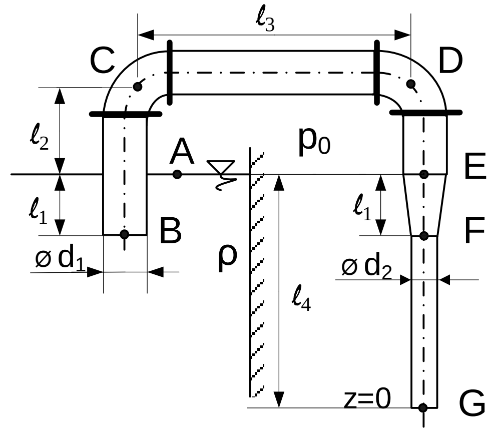
Ezeket behelyettesítve az I. főtételbe, kapjuk a fajlagos technikai munkát:

$$w_{t_{12}} = c_{p_0} \cdot \left(T_2 - T_1 \right) = 1,005\, kJ / \left(kg \cdot K \right) \cdot \left(460,15\, K - 828,15\, K \right) = -369,84\, kJ/kg \; .$$

A gázturbinán áthaladó tömegáram:

$$\underline{\underline{\dot{m}}} = \frac{P}{w_{t_{12}}} = \frac{|P|}{w_{t_{12}}} = \frac{\overbrace{-2,8\, MW}^{A\ gázturbina\ által\ leadott\ teljesítmény}}{-369,84\, kJ/kg} = \underline{\underline{7,591\, kJ/s}} \, .$$

2. feladat: Egy nagyméretű nyitott tartályból a vázolt csővezetéken keresztül súrlódásmentesen ρ sűrűségű folyadék a szabadba ömlik. Mekkora a csővezetéken átáramló folyadék térfogatárama ***liter/perc*** mértékegységben? Rajzolja meg az energiadiagramot a számszerű értékek feltüntetésével!



<u>**Adatok:**</u> $p_0 = 0,1\, Mpa$; $g = 10\, m/s^2$;

$\rho = 800\, kg/m^3$;

$d_1 = 60\, mm$; $d_2 = 40\, mm$; $\ell_1 = 1\, m$; $\ell_2 = 1,5\, m$; $\ell_3 = 3,5\, m$;

$\ell_4 = 3\, m$.

<u>**Megoldás:**</u>

Bernoulli egyenlet az A – G pontok közé:

$$\frac{p_A}{\rho} + g \cdot z_A + \frac{c_A^2}{2} = \frac{p_G}{\rho} + g \cdot z_G + \frac{c_G^2}{2} \, .$$

Peremfeltételek: $p_A = p_G = p_0$; $z_A = g \cdot \ell_4$; $c_A \cong 0$; $z_G = 0$. Ezeket behelyettesítve kapjuk:

$$\cancel{\frac{p_0}{\rho}} + g \cdot \ell_4 + \cancel{0} = \cancel{\frac{p_0}{\rho}} + \cancel{0} + \frac{c_G^2}{2} \quad \Rightarrow \quad g \cdot \ell_4 = \frac{c_G^2}{2} \, .$$

Ebből az egyenletből kifejezhető a G pont beli sebesség:

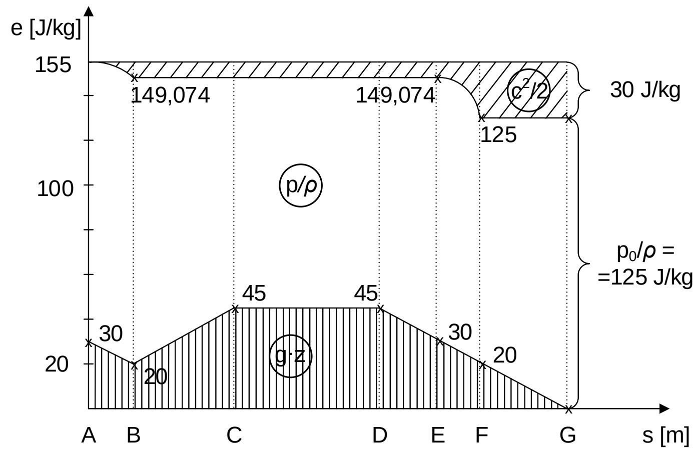
$$\underline{c_G} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \ell_4} = \sqrt{2 \cdot 10\, m/s^2 \cdot 3\, m} = \sqrt{60\, m^2/s^2} = \underline{7,746\, m/s} \, .$$

A térfogatáram a csővezetékben:

$$\underline{\underline{Q}} = c_G \cdot A_G = c_G \cdot \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4} = 7,746\, m/s \cdot \frac{\left(0,04\, m \right)^2 \cdot \pi}{4} = \underline{0,009733868\, m^3/s} = \underline{\underline{584,032\, liter/perc}} \, .$$

Az energia diagram:

A folyadék összes energiája az A pontban:



$$e_ö = e_A = \frac{p_A}{\rho} + g \cdot z_A + \frac{c_A^2}{2} = \frac{p_0}{\rho} + g \cdot \ell_4 + \cancel{0} \ ,$$

$$\underline{\underline{e_ö = e_A}} = \frac{0{,}1\,MPa}{800\,kg/m^3} + 10\,m/s^2 \cdot 3\,m = \underline{\underline{155\,J/kg}} \ .$$

A nyomási energia az A pontban:

$$\underline{\underline{e_{nyA}}} = \frac{p_A}{\rho} = \frac{0{,}1\,MPa}{800\,kg/m^3} = \underline{\underline{125\,J/kg}} \ .$$

A potenciális energia az A pontban:

$$\underline{\underline{e_{potA}}} = g \cdot \ell_4 = 10\,m/s^2 \cdot 3\,m = \underline{\underline{30\,J/kg}} \ .$$

A kinetikus energia az A pontban:

$$\underline{\underline{e_{kinA}}} = \frac{c_A^2}{2} = \underline{\underline{0\,J/kg}} \ .$$

A potenciális energiák a többi pontokban:

$$\underline{\underline{e_{potB}}} = g \cdot z_B = g \cdot \left(\ell_4 - \ell_1\right) = 10\,m/s^2 \cdot \left(3\,m - 1\,m\right) = \underline{\underline{20\,J/kg}} \ ;$$

$$\underline{\underline{e_{potE}}} = g \cdot z_E = g \cdot \ell_4 = 10\,m/s^2 \cdot 3\,m = \underline{\underline{30\,J/kg}} \ ;$$

$$\underline{\underline{e_{potC}}} = g \cdot z_C = g \cdot \left(\ell_4 + \ell_2\right) = 10\,m/s^2 \cdot \left(3\,m + 1{,}5\,m\right) = \underline{\underline{45\,J/kg}} \ ; \quad \underline{\underline{e_{potD}}} = \underline{\underline{e_{potC}}} = \underline{\underline{45\,J/kg}} \ ;$$

$$\underline{\underline{e_{potF}}} = g \cdot z_F = g \cdot \left(\ell_4 - \ell_1\right) = 10\,m/s^2 \cdot \left(3\,m - 1\,m\right) = \underline{\underline{20\,J/kg}} \ ;$$

$$\underline{\underline{e_{potG}}} = g \cdot z_G = g \cdot 0 = 10\,m/s^2 \cdot 0\,m = \underline{\underline{0\,J/kg}} \ .$$

A kinetikus energiák a többi pontokban:

$$\underline{\underline{e_{kinG}}} = \frac{c_G^2}{2} = \frac{\left(\sqrt{60}\right)^2}{2} = \underline{\underline{30\,J/kg}} \ ; \qquad \underline{\underline{e_{kinF}}} = \underline{\underline{e_{kinG}}} = \underline{\underline{30\,J/kg}} \ ;$$

$$Q = áll. = c_E \cdot A_E = c_F \cdot A_F \quad \Rightarrow \quad c_E = c_D = c_C = c_B = c_F \cdot \frac{A_F}{A_E} = c_F \cdot \frac{\frac{d_2^2 \cdot \cancel{\pi}}{\cancel{4}}}{\frac{d_1^2 \cdot \cancel{\pi}}{\cancel{4}}} = c_F \cdot \frac{d_2^2}{d_1^2},$$

ebből a sebességi energiák:

$$\underline{\underline{e_{kinB}}} = \frac{c_B^2}{\underline{\underline{2}}} = \underline{\underline{e_{kinC}}} = \frac{c_C^2}{\underline{\underline{2}}} = \underline{\underline{e_{kinD}}} = \frac{c_D^2}{\underline{\underline{2}}} = \underline{\underline{e_{kinE}}} = \frac{c_E^2}{\underline{\underline{2}}} = \frac{c_F^2}{2} \cdot \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 = 30\ J/kg \cdot \left(\frac{0,04\ m}{0,06\ m}\right)^4 = \underline{\underline{5,926\ J/kg}}.$$

3. feladat: Egy $h = 8\ cm$ vastag deszkalap úgy úszik a vízen, hogy térfogatának 3/4 része merül a vízbe.

<u>Mekkora</u> lesz a bemerülési mélység, ha ezt a deszkát $\rho = 800\ kg/m^3$ sűrűségű folyadékba tesszük?

<u>Adatok:</u> $\rho_{víz} = 1000\ kg/m^3$; $g = 9{,}81\ m/s^2$.

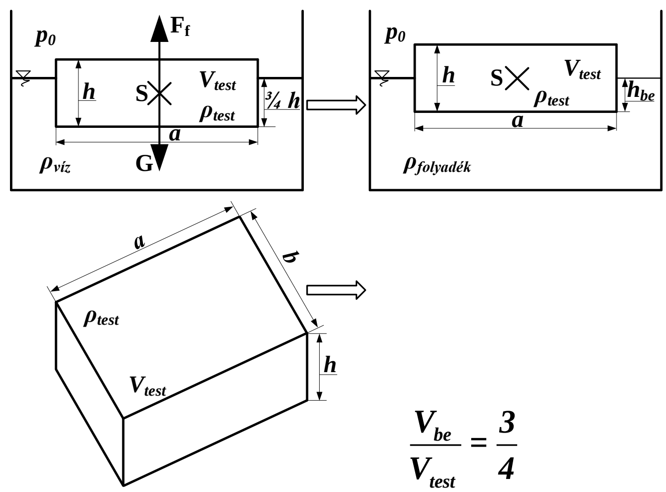
$h = 8\ cm = 0{,}08\ m$;

$\rho_{víz} = 1000\ kg/m^3$;

$\rho_{folyadék} = 800\ kg/m^3$;

$g = 9{,}81\ m/s^2$.

<u>Mekkora</u> a bemerülési mélység $h_{be} = ?$



$$\frac{V_{be}}{V_{test}} = \frac{3}{4}$$

<u>Megoldás:</u>

Archimedes törvénye szerint:

$$\vec{F}_f - \vec{G} = \vec{0} \quad \Rightarrow \quad |\vec{F}_f| = |\vec{G}| \quad \Rightarrow F_f = G. \qquad (*)$$

A vízbe merülő test súlya:

$$G = m \cdot g = \rho_{test} \cdot V_{test} \cdot g\,.$$

A testre ható felhajtóerő:

$$F_f = \rho_{víz} \cdot V_{be} \cdot g$$

Ezeket behelyettesítve $(*)$-ba kapjuk:

$$\rho_{test} \cdot V_{test} \cdot \cancel{g} = \rho_{víz} \cdot V_{be} \cdot \cancel{g}. \qquad (**)$$

Ebből megkapjuk a test sűrűségét:

$$\rho_{test} = \rho_{víz} \cdot \frac{V_{be}}{V_{test}} = 1000\ kg/m^3 \cdot \frac{3}{4} = 750\ kg/m^3 .$$

A $\rho_{folyadék} = 800\ kg/m^3$ sűrűségű folyadék esetén a test bemerülése $(**)$ alapján:

$$V_{be} = \frac{\rho_{test}}{\rho_{folyadék}} \cdot V_{test} = \frac{750\ kg/m^3}{800\ kg/m^3} \cdot V_{test} = 0,9375 \cdot V_{test} . \qquad (***)$$

A test térfogata:

$$V_{test} = a \cdot b \cdot h .$$

A test által kiszorított folyadék térfogata:

$$V_{be} = a \cdot b \cdot h_{be} .$$

Ezeket behelyettesítve $(***)$-ba kapjuk:

$$\cancel{a} \cdot \cancel{b} \cdot h_{be} = 0,9375 \cdot \cancel{a} \cdot \cancel{b} \cdot h .$$

Ide behelyettesítve a test magasságát megkapjuk a $\rho_{folyadék} = 800\ kg/m^3$ sűrűségű folyadék esetén a test bemerülését:

$$\underline{\underline{h_{be}}} = 0,9375 \cdot h = 0,9375 \cdot 0,08\ m = \underline{\underline{0,075\ m = 7,5\ cm}} .$$

4. feladat: Egy kazán túlhevítőjében az $\dot{m} = 3500\ kg/h$ tömegáramú nedves vízgőz $\dot{Q}_{12} = 4 \cdot 10^6\ kJ/h$ hőmennyiséget vesz fel $p = 70\ bar$ állandó nyomáson. **<u>Mennyi</u>** a túlhevítőbe lépő gőz fajlagos nedvességtartalma, ha a túlhevítési hőmérséklet $t = 500\ °C$? A kinetikus és a potenciális energia változása elhanyagolható.

<u>Állapotjelzők:</u>

A fajlagos entalpia telítési értékei $p = 70\ bar$ nyomáson: $h' = 1264,4\ kJ/kg$, $h'' = 2772\ kJ/kg$;

A túlhevített gőz fajlagos entalpiája $p = 70\ bar$ nyomáson és $t = 500\ °C$-on: $h_2 = 3409\ kJ/kg$.

$\dot{m} = 33500\ kg/h = \dfrac{3500}{3600}\ kg/s$;

$\dot{Q}_{12} = 4 \cdot 10^6\ kJ/h = \dfrac{4 \cdot 10^6}{3600}\ kJ/s$;

$p = 70\ bar = 70 \cdot 10^5\ Pa$;

$t = 500\ °C \quad \rightarrow \quad T = 773,15\ K$;

$\dfrac{1}{2}\left(c_2^2 - c_1^2\right) \cong 0$;

$g\left(z_2 - z_1\right) \cong 0.$

<u>Mennyi</u> a túlhevítőbe lépő gőz fajlagos nedvességtartalma $(1 - x) = ?$

Megoldás:

A nedves vízgőz fajlagos entalpiája: $h_1 = h' + x \cdot \left(h'' - h'\right)$, ebből a vízgőz fajlagos nedvességtartalma

$$\left(1-x\right) = 1 - \frac{h_1 - h'}{h'' - h'}.$$

A fajlagos entalpia telítési értékei $p = 70\ bar$ nyomáson: $h' = 1264{,}4\ kJ/kg$,

$h'' = 2772\ kJ/kg$.

A hőáram a túlhevítőben: $\dot{Q}_{12} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1\right)$, ebből a nedves vízgőz entalpiája a túlhevítőbe történő belépéskor:

$$h_1 = h_2 - \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}}.$$

A túlhevített gőz fajlagos entalpiája $p = 70\ bar$ nyomáson és $t = 500\ °C$-on: $h_2 = 3409\ kJ/kg$.

A nedves vízgőz entalpiája a túlhevítőbe történő belépéskor:

$$\underline{h_1} = h_2 - \frac{\dot{Q}_{12}}{\dot{m}} = 3409\ kJ/kg - \frac{\frac{4 \cdot 10^6}{3600}\ kJ/s}{\frac{3500}{3600}\ kg/s} = \underline{2266{,}143\ kJ/kg}.$$

Mivel $h_1 = 2266{,}143\ kJ/kg < h'' = 2772\ kJ/kg$, ezért a túlhevítőbe valóban nedves gőz lép be.

A vízgőz fajlagos nedvességtartama a túlhevítőbe történő belépés előtt:

$$\underline{\underline{\left(1-x\right)}} = 1 - \frac{h_1 - h'}{h'' - h'} = 1 - \frac{2266{,}143\ kJ/kg - 1264{,}4\ kJ/kg}{2772\ kJ/kg - 1264{,}4\ kJ/kg} = \underline{\underline{0{,}336\ \frac{kg\ \text{nedvesség}}{kg\ \text{nedves gőz}}}}.$$

Vizsgazárthelyi dolgozat az Áramlás- és hőtechnika és gépei (GEAHT432-B) c. tárgyból (MINTA!!!)

Olvasható név, NEPTUN kód:

1. Ismertesse Osborne REYNOLDS csőáramlásra vonatkozó kísérleteit és annak eredményeit! (**8 pont**)
2. Egy-dimenziós stacionárius hővezetés esetén egy egyrétegű síkfalban, hőátadással a két felületén, **származtassa** a kialakuló hőáramsűrűség és a hőátbocsátási tényező számítására alkalmas összefüggéseket! **Származtassa** továbbá a hőáramot, valamint a síkfal két oldalának a hőmérsékletét! Adott: $t_1, t_2, \lambda, \delta, \alpha_1, \alpha_2, A$. Írja fel az összefüggésekben szereplő mennyiségek nevét és SI mértékegységét! (**11 pont**)
3. **Rajzolja fel** a Joule körfolyamat sémáját és ábrázolja a körfolyamatot mind a $T-s$, mind a $p-v$ síkon, feltüntetve a jellemző pontokat! Részletesen származtassa a Joule körfolyamat termikus hatásfokát! (**8 pont**)
4. **Származtassa** a kontinuitási egyenletet áramcsőre! **Vezesse le**, hogyan határozható meg az átlagsebesség az áramcsőben összenyomhatatlan közeg esetén! (**8 pont**)
5. Egy véges számú állapotváltozásból származó körfolyamat egyenletek és ábra felhasználásával **származtassa** a körfolyamatból nyerhető fajlagos technikai munkára vonatkozó összefüggést! **Mutassa meg** a $p-v$ síkon egy reverzibilis hőerőgépből nyerhető fajlagos technikai munkát! (**8 pont**)
6. **Rajzolja fel** a Venturi mérőt, és **származtassa** a mérővel történő térfogatáram meghatározására alkalmas összefüggést! (**9 pont**)
7. **Rajzolja fel** egy radiális átömlésű szivattyú teljesítményszalagját! Írja fel a szivattyú hatásfokait (összhatásfok, mechanikai hatásfok, belső hatásfok, volumetrikus hatásfok, hidraulikai hatásfok, tárcsasúrlódási veszteségtényező)! (**8 pont**)

A zárthelyi időtartama: 110 perc

Az elérhető pontszám: 60 pont

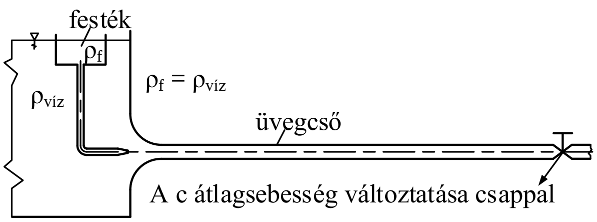
Az elégségeshez szükséges pontszám: 24 pont

Értékelés:		
	0 – 23 pont	elégtelen (1);
	24 – 33 pont	elégséges (2);
	34 – 41 pont	közepes (3);
	42 – 50 pont	jó (4);
	51 – 60 pont	jeles (5).

Vizsgazárthelyi dolgozat megoldása az Áramlás- és hőtechnika és gépei (GEAHT432-B) c. tárgyból (MINTA!!!)

1. Ismertesse Osborne REYNOLDS csőáramlásra vonatkozó kísérleteit és annak eredményeit! (**8 pont**)

Osborne REYNOLDS kísérletei (1883)



Tapasztalat:
- kis sebesség: a festék egy rétegben marad – LAMINÁRIS áramlás.
- nagy sebesség: a festék a teljes keresztmetszetben elkeveredik – TURBULENS áramlás.

A c átlagsebességet fokozatosan növelve instabillá válik az áramlás és a festék elkeveredik a csőben. A Reynolds-szám dimenziótlan mennyiség, definíció szerint a következő:

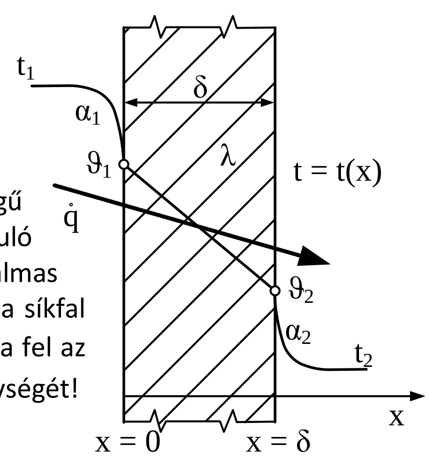
$$\mathrm{Re} = \frac{c \cdot d}{\nu}\,[-].$$

Az összefüggésben szereplő mennyiségek jelentése:
- az átlagsebesség a csőben $c\,[m/s]$;
- a cső belső átmérője $d\,[m]$;
- kinematikai viszkozitási tényező $\nu\,[m^2/s]$.

Azt a Reynolds-szám értéket, amely elválasztja egymástól a lamináris és turbulens áramlást kritikus Reynolds-számnak nevezzük. Értéke csőáramlás esetén $\mathrm{Re}_{krit} \cong 2300$. „Óvatos” kísérletekkel a lamináris áramlást $\mathrm{Re} > 40000$ esetén is fenn tudnak tartani, viszont kis megzavarás hatására turbulensre vált az instabil lamináris áramlás.
Összefoglalva:

$$\begin{aligned} &\text{- Ha } \mathrm{Re} < 2300 \rightarrow \text{stabil lamináris áramlás;}\\ &\text{- Ha } \mathrm{Re} > 2300 \rightarrow \text{instabil lamináris áramlás, vagy;}\\ &\qquad\qquad\qquad\quad \rightarrow \text{stabil turbulens áramlás.} \end{aligned}$$

2. Egy-dimenziós stacionárius hővezetés esetén egy egyrétegű síkfalban, hőátadással a két felületén, **származtassa** a kialakuló hőáramsűrűség és a hőátbocsátási tényező számítására alkalmas összefüggéseket! **Származtassa** továbbá a hőáramot, valamint a síkfal két oldalának a hőmérsékletét! Adott: $t_1, t_2, \lambda, \delta, \alpha_1, \alpha_2, A$. Írja fel az összefüggésekben szereplő mennyiségek nevét és SI mértékegységét! (**11 pont**)



Egy-dimenziós (1D) stacionárius hővezetés egy rétegű síkfalban, hőátadással a felületein

Adott: $t_1, t_2, \lambda, \delta, \alpha_1, \alpha_2, A$.
Határozzuk meg:

$\dot{q} = ?$ hőáramsűrűséget $\left[\frac{W}{m^2}\right]$,

$\dot{Q} = ?$ hőáramot (hőteljesítményt) $[W]$,

$R = ?$ hőátadási ellenállást $\left[\frac{K}{W}\right]$,

$k = ?$ hőátbocsátási tényezőt $\left[\frac{W}{(m^2 \cdot K)}\right]$,

$\vartheta_1 = ?$ fal hőmérsékletet $[^\circ C]$,

$\vartheta_2 = ?$ fal hőmérsékletet $[^\circ C]$,

$t(x) = ?$ hőmérséklet eloszlást, lineáris eloszlást feltételezve!

Erre az egy-dimenziós hőforrás mentes esetre érvényes Fourier törvény:

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{\dot{Q}}{A} = \text{állandó} .$$

Mivel a $t = t(x)$ hőmérséklet eloszlás függvény lineáris függvénynek feltételezzük, ezért

$$\frac{dt}{dx} = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{x_2 - x_1} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{\delta} ,$$

így

$$\dot{q} = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2) \quad \Rightarrow \quad \vartheta_1 - \vartheta_2 = \frac{\delta}{\lambda} \cdot \dot{q} \qquad (1),$$

Newtoni hőátadási törvény erre az esetre:

$$\dot{q} = \alpha_1 \cdot (t_1 - \vartheta_1) = \alpha_2 \cdot (\vartheta_2 - t_2) \qquad (2).$$

A (2)-es egyenletet átrendezve kapjuk a következőket:

$$t_1 - \vartheta_1 = \frac{\dot{q}}{\alpha_1} \qquad (3),$$

$$\vartheta_2 - t_2 = \frac{\dot{q}}{\alpha_2} \qquad (4).$$

A $t_1 - t_2$ hőfokkülönbség felbontható a következő módon (lásd az ábrát!):

$$t_1 - t_2 = \underbrace{(t_1 - \vartheta_1)}_{=\frac{\dot{q}}{\alpha_1}} + \underbrace{(\vartheta_1 - \vartheta_2)}_{=\frac{\delta}{\lambda}\cdot\dot{q}} + \underbrace{(\vartheta_2 - t_2)}_{\frac{\dot{q}}{\alpha_2}} .$$

Így

$$t_1 - t_2 = \underbrace{(t_1 - \vartheta_1)}_{=\frac{\dot{q}}{\alpha_1}} + \underbrace{(\vartheta_1 - \vartheta_2)}_{=\frac{\delta}{\lambda}\cdot\dot{q}} + \underbrace{(\vartheta_2 - t_2)}_{\frac{\dot{q}}{\alpha_2}} = \frac{\dot{q}}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} \cdot \dot{q} + \frac{\dot{q}}{\alpha_2} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}\right) \cdot \dot{q} \qquad (5).$$

Az (5)-ös egyenletből a hőáramsűrűség

$$\boxed{\dot{q}=\frac{\dot{Q}}{A}=\frac{t_1-t_2}{\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{\delta}{\lambda}+\dfrac{1}{\alpha_2}}}\left[\frac{W}{m^2}\right] \quad (6).$$

A (6)-os egyenletet átrendezve a hőáram

$$\boxed{\dot{Q}=A\cdot\dot{q}=\frac{A\cdot(t_1-t_2)}{\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{\delta}{\lambda}+\dfrac{1}{\alpha_2}}}[W] \quad (7).$$

Ezt újra átrendezve a hőfokkülönbség:

$$t_1-t_2=\underbrace{\frac{1}{A}\cdot\left(\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}\right)}_{=R}\cdot\dot{Q}.$$

Villamos analógia:

$$U=I\cdot R.$$

Azaz a hőátadási ellenállás:

$$R=\frac{1}{A}\cdot\left(\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}\right)\left[\frac{K}{W}\right] \quad (8).$$

A $\dot{Q}$ hőáramot más módon felírva

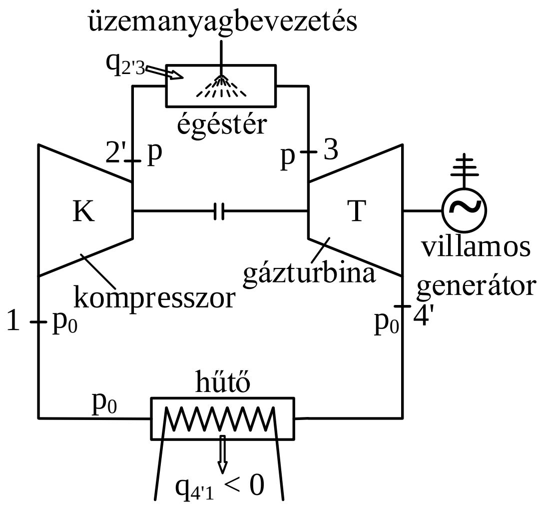
$$\dot{Q}=k\cdot A\cdot(t_1-t_2) \quad (9).$$

A (7)-es és (9)-es egyenletetek összevetéséből a hőátbocsátási tényezőt kapjuk:

$$\boxed{k=\frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{\delta}{\lambda}+\dfrac{1}{\alpha_2}}}\left[\frac{W}{(m^2\cdot K)}\right] \quad (10).$$

3. **Rajzolja fel** a Joule körfolyamat sémáját és ábrázolja a körfolyamatot mind a $T-s$, mind a $p-v$ síkon, feltüntetve a jellemző pontokat! Részletesen származtassa a Joule körfolyamat termikus hatásfokát! (8 **pont**)

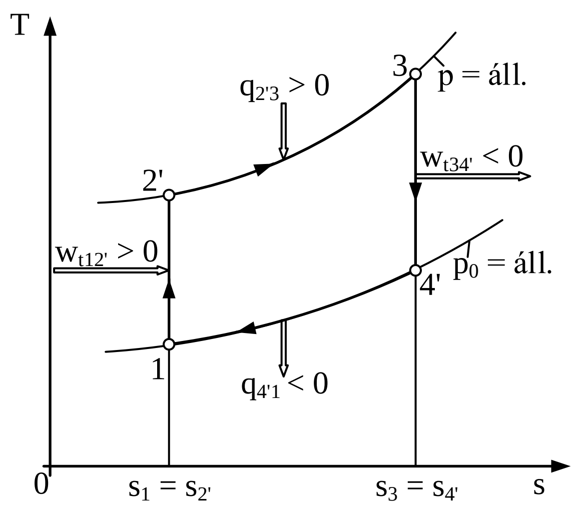
<u>Gázturbinás rendszer körfolyamata</u> (Joule körfolyamat)

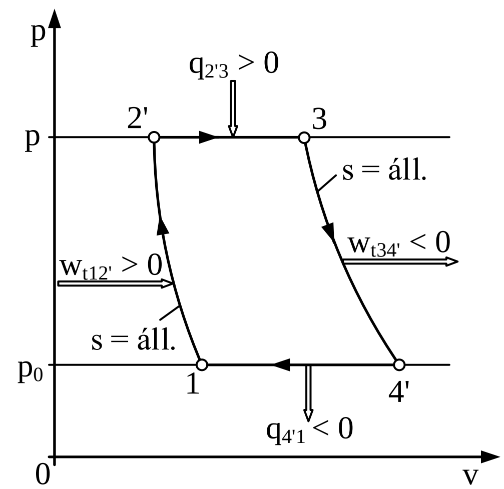


A 2' – 3 pontok között a közeggel hőt közölnek $p = \text{állandó}$ nyomáson.

A 4' – 1 pontok között hőt vonnak el $p_0 = \text{állandó}$ nyomáson.

A körfolyamatot ábrázoljuk a T, s és a p, v síkokon.





Felírjuk a körfolyamatra a termodinamika I. főtételét:

$$q_{12} + w_{t12} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) + g \cdot \left(z_2 - z_1\right).$$

Gázturbina esetében a kinetikus és potenciális energiák elhanyagolhatók

$$\frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) \cong 0 \text{, és } g \cdot \left(z_2 - z_1\right) \cong 0,$$

így az I. főtétel a következő alakban használható:

$$q_{12} + w_{t12} = h_2 - h_1 + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right)}_{\cong 0} + \underbrace{g \cdot \left(z_2 - z_1\right)}_{\cong 0} = h_2 - h_1.$$

Az egyes részfolyamatokra a következő összefüggések írhatók fel (levezetés nélkül):

Kompresszor:	1 – 2'	$w_{t12'} \cong h_{2'} - h_1 > 0$,
Égéstér:	2' – 3	$q_{2'3} \cong h_3 - h_{2'} > 0$,
Gázturbina:	3 – 4'	$w_{t34'} \cong h_{4'} - h_3 < 0$,
Hűtő:	4' – 1	$q_{4'1} = h_1 - h_{4'} < 0$.

A körfolyamatból nyert hasznos munka:

$$-w_t = \sum q = q_{be} - \left|q_{elv}\right|.$$

A bevezetett és elvont hő:

$$q_{be} = q_{2'3} = h_3 - h_{2'} = c_{p0} \cdot \left(T_3 - T_{2'}\right) > 0 \text{, és } q_{elv} = q_{4'1} = h_1 - h_{4'} = c_{p0} \cdot \left(T_1 - T_{4'}\right) < 0$$

Ezeket behelyettesítve a (Δ) egyenletbe kapjuk a körfolyamatból nyerhető hasznos munkára:

$$-w_t = \sum q = q_{2'3} + q_{4'1} = c_{p0} \cdot \left(T_3 - T_{2'}\right) + c_{p0} \cdot \left(T_1 - T_{4'}\right) = c_{p0} \cdot \left[\left(T_3 - T_{2'}\right) + \left(T_1 - T_{4'}\right)\right].$$

A termikus hatásfok:

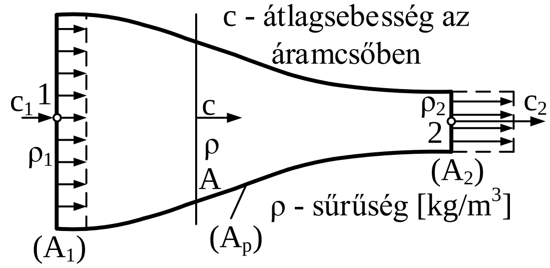
$$\eta_t = \frac{-w_t}{q_{be}} = \frac{q_{be} - \left|q_{elv}\right|}{q_{be}} = \frac{q_{2'3} + q_{4'1}}{q_{2'3}} = 1 + \frac{h_1 - h_{4'}}{h_3 - h_{2'}} = 1 - \frac{c_{p0} \cdot \left(T_{4'} - T_1\right)}{c_{p0} \cdot \left(T_3 - T_{2'}\right)} =$$

$$\boxed{\eta_t = 1 - \frac{T_{4'}}{T_3}\ [\text{-}]}.$$

4. **Származtassa** a kontinuitási egyenletet áramcsőre! **Vezesse le**, hogyan határozható meg az átlagsebesség az áramcsőben összenyomhatatlan közeg esetén! (8 **pont**)

<u>Kontinuitás / tömegmegmaradás áramcsőre</u>

Stacionárius áramlásnál egy áramcsövön időegység alatt átáramló közeg $\dot{m}$ <u>tömegárama állandó</u>.
<u>Áramcső:</u> olyan zárt felület, amelyen átáramlás csak az $\left(A_1\right)$ be- és $\left(A_2\right)$ kilépő felületen van, az $\left(A_p\right)$ paláston nincs. $\left(A\right) = \left(A_1\right) + \left(A_2\right) + \left(A_p\right)$.



$\Delta\tau$ idő alatt az (A_1) keresztmetszeten beáramlott folyadéktömeg: $\Delta m_1 = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 \cdot \Delta\tau\,[kg]$.

$\Delta\tau$ idő alatt az (A_2) keresztmetszeten beáramlott folyadéktömeg: $\Delta m_2 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2 \cdot \Delta\tau\,[kg]$.

Stacionárius áramlás esetén $\Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m$, így

$$\Delta m = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 \cdot \Delta\tau = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2 \cdot \Delta\tau \quad / : \Delta\tau$$

$$\lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta\tau} = \underline{\underline{\left\| \dot{m} = \rho_1 \cdot c_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot c_2 \cdot A_2 = \rho \cdot c \cdot A \right\|}} \left[kg/s\right]$$ tömegáram állandó.

Speciális eset: összenyomhatatlan a folyadék $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, akkor adódik:

$$\underline{\underline{\left\| c_1 \cdot A_1 = c_2 \cdot A_2 = c \cdot A = \dot{V} \right\|}} \left[m^3/s\right] \quad (*)$$ térfogatáram állandó.

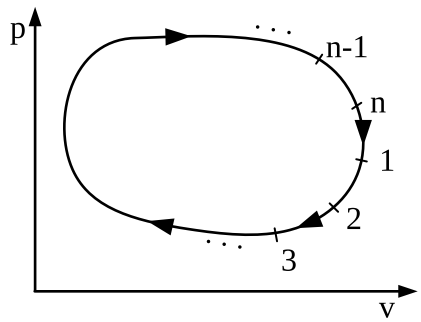
A tömegáram és a térfogatáram közti kapcsolat:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}\ .$$

Az átlagsebesség az áramcsőben $(*)$-ból:

$$\underline{\underline{\left\| c = \frac{\dot{V}}{A} \right\|}} \left[m/s\right].$$

5. Egy véges számú állapotváltozásból származó körfolyamat egyenletek és ábra felhasználásával **származtassa** a körfolyamatból nyerhető fajlagos technikai munkára vonatkozó összefüggést! **Mutassa meg** a $p-v$ síkon egy reverzibilis hőerőgépből nyerhető fajlagos technikai munkát! (**8 pont**)



Körfolyamat minden folyamat, amely egy rendszert a kezdeti állapotba visz vissza. A rendszer ekkor ugyanazokkal az állapotjelzőkkel rendelkezik, mint a folyamat elején, függetlenül attól, hogy a részfolyamatok reverzibilisek vagy irreverzibilisek. A körfolyamat egymás után kapcsolt nyitott rendszereken halad át. Kvázistatikus állapotváltozások esetén a körfolyamatot p, v síkon zárt görbeként ábrázolható. A körfolyamat egyes részfolyamataira alkalmazzuk az I. főtételt. Eszerint

1 – 2: $q_{12} + w_{t12} = h_2 - h_1 + \frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) + g \cdot \left(z_2 - z_1\right)$

2 – 3: $$q_{23} + w_{t23} = h_3 - h_2 + \frac{1}{2} \cdot \left(c_3^2 - c_2^2\right) + g \cdot \left(z_3 - z_2\right)$$

$\vdots$

n – 1: $$q_{n1} + w_{tn1} = h_1 - h_n + \frac{1}{2} \cdot \left(c_1^2 - c_n^2\right) + g \cdot \left(z_1 - z_n\right)$$

$$\sum \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{\left\| \sum_1^n q_{ik} + \sum_1^n w_{tik} = 0 \right\|}} \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{\left\| \sum_1^n q_{ik} = -\sum_1^n w_{tik} = -w_t \right\|}}.$$

Ebből a körfolyamat hasznos munkája

$$\underline{\underline{\left\| w_t = \sum_1^n w_{tik} \right\|}}.$$

Ha az I. főtétel egy másik alakját alkalmazzuk, és ebből kifejezzük fajlagos technikai munkát a következőt kapjuk

$$w_{t12} = \int_1^2 v \cdot dp + \frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) + g \cdot \left(z_2 - z_1\right) + w_{12súrl}.$$

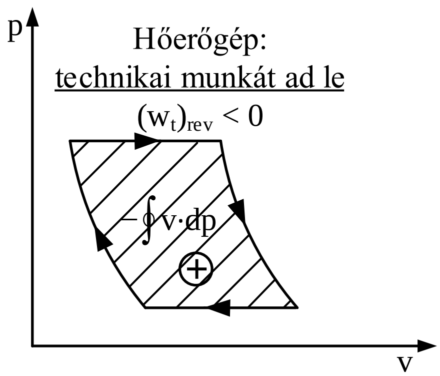
Reverzibilis esetben $w_{12súrl} = 0$, így reverzibilis állapotváltozás esetén a fajlagos technikai munka

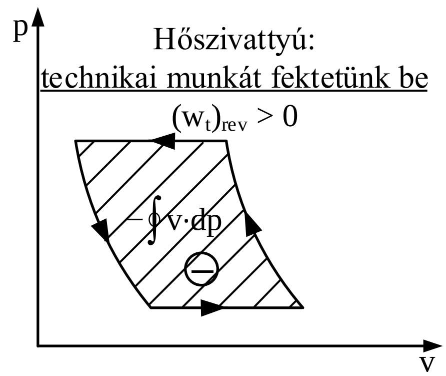
$$\left(w_{t12}\right)_{rev} = \int_1^2 v \cdot dp + \frac{1}{2} \cdot \left(c_2^2 - c_1^2\right) + g \cdot \left(z_2 - z_1\right).$$

Ezt egy körfolyamatra alkalmazva és összegezve kapjuk

$$\underline{\underline{\left\| -\left(w_t\right)_{rev} = -\oint v \cdot dp = \sum_1^n \left(q_{ik}\right)_{rev} \right\|}}.$$

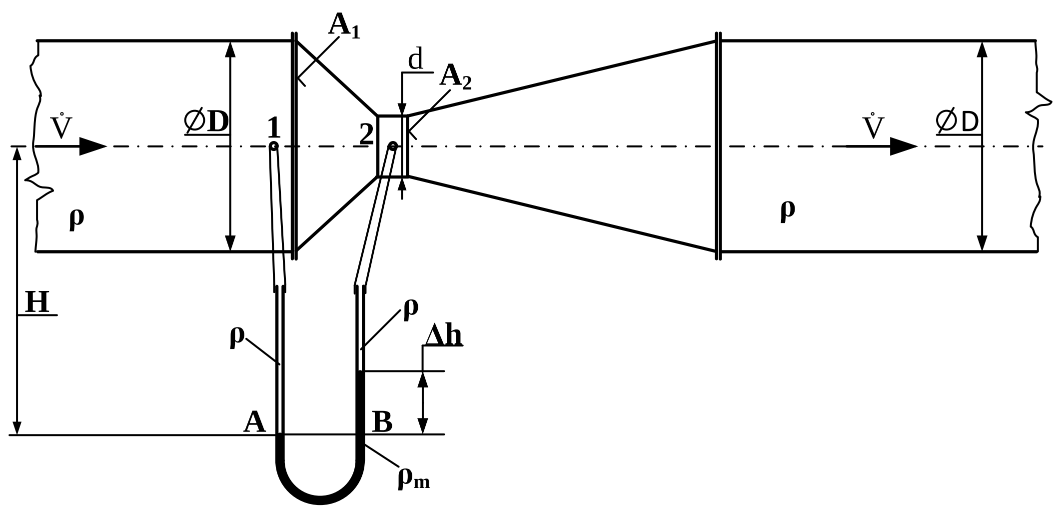
Az alábbi ábrákon a p, v síkon feltüntetett két körfolyamat lefolyásának iránya ellentétes. Az óramutató járásával megegyező irányban olyan körfolyamat megy végbe, amelynek során a rendszerbe több hőt vezetünk, mint amennyit a környezetnek átad, így a rendszerből munkát nyerhetünk. Az óramutató járásával ellenkező irányú körfolyamat esetén a rendszerrel munkát kell közölni, így a rendszer több hőt ad le, mint amennyit felvesz.





6. **Rajzolja fel** a Venturi mérőt, és **származtassa** a mérővel történő térfogatáram meghatározására alkalmas összefüggést! (**9 pont**)

Venturi cső (szabványos térfogatáram-mérő eszköz)



Bernoulli-egyenletet írunk fel az 1-es és 2-es pontok közé:

$$\frac{p_1}{\rho}+\frac{c_1^2}{2}+g\cdot z_1=\frac{p_2}{\rho}+\frac{c_2^2}{2}+g\cdot z_2. \quad (1)$$

Mivel a Venturi cső vízszintes, ezért $z_1=z_2$, ezért az (1)-es egyenlet $\frac{p_1}{\rho}+\frac{c_1^2}{2}=\frac{p_2}{\rho}+\frac{c_2^2}{2}$ alakú lesz.

Kontinuitási egyenletet írunk fel az 1-es és 2-es pontok közé:

$$\dot{V}=c_1\cdot A_1=c_2\cdot A_2=\underbrace{c_1\cdot\frac{D^2\cdot\pi}{4}=c_2\cdot\frac{d^2\cdot\pi}{4}}_{\text{Ezt átrendezve kapjuk}}\Rightarrow\frac{c_1}{c_2}=\frac{d^2}{D^2}=\left(\frac{d}{D}\right)^2. \quad (2)$$

Az (1)-es és a (2)-es egyenletekből kapjuk a következőt:

$$\frac{p_1-p_2}{\rho}=\frac{c_2^2-c_1^2}{2}=\frac{c_2^2}{2}\cdot\left[1-\left(\frac{c_1}{c_2}\right)^2\right]=\left|\left(\frac{c_1}{c_2}\right)^2=\left(\frac{d}{D}\right)^4\right|=\frac{c_2^2}{2}\cdot\left[1-\left(\frac{d}{D}\right)^4\right]=\frac{c_2^2}{2}\cdot\left(1-\beta^4\right), \quad (3)$$

ahol a $\beta = \dfrac{d}{D}\,[-]$ az átmérőviszony.

A (3)-as egyenletet átrendezve:

$$c_2 = \sqrt{\frac{1}{1-\beta^4} \cdot \frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}}\,.$$

Ezzel a Venturi csövön a térfogatáram:

$$\dot{V} = c_2 \cdot A_2 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{1}{1-\beta^4} \cdot \frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho}}\,. \qquad (4)$$

A $p_1 - p_2$ nyomáskülönbség meghatározása az U-csőre felírt hidrosztatika egyenletből lehetséges. Az U-csövön A-val, illetve B-vel jelölt síkban a nyomásnak meg kell egyezni: $p_A = p_B$. Így az U-cső két szárára külön-külön felírhatók a következők:

$$p_A = p_1 + \rho \cdot g \cdot H\,;$$
$$p_B = p_2 + \rho \cdot g \cdot (H - \Delta h) + \rho_m \cdot g \cdot \Delta h\,.$$

Így

$$p_1 + \rho \cdot g \cdot H = p_2 + \rho \cdot g \cdot (H - \Delta h) + \rho_m \cdot g \cdot \Delta h\,.$$

Az egyenletet egyszerűsítve és átrendezve kapjuk:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\rho_m - \rho}{\rho} \cdot g \cdot \Delta h = \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right) \cdot g \cdot \Delta h\,. \qquad (5)$$

A (4)-es és a (5)-ös egyenletből kapjuk a következő összefüggést a térfogatáramra:

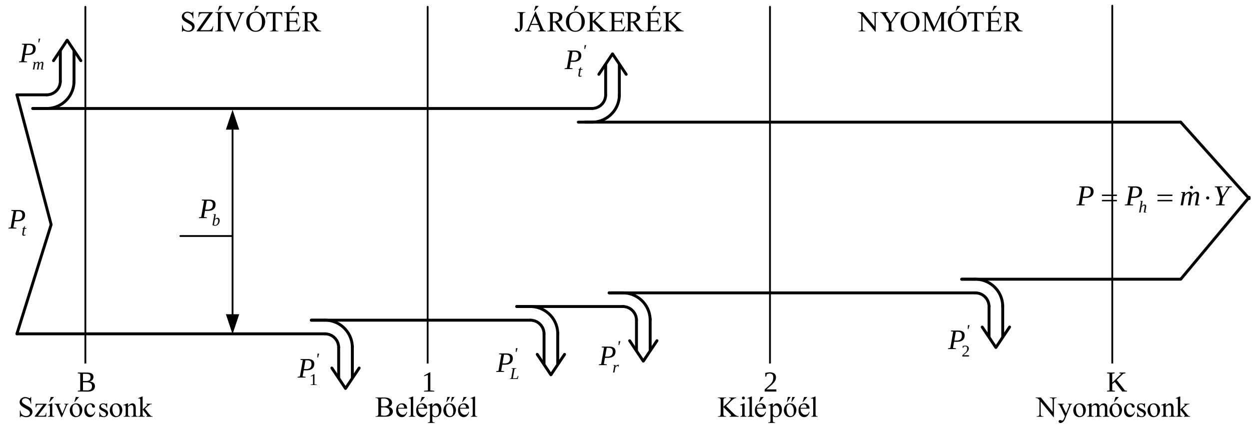
$$\underline{\underline{\left\| \dot{V} = c_2 \cdot A_2 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{1}{1-\beta^4} \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho} - 1\right) \cdot 2 \cdot g \cdot \Delta h} \right\|}}\ [m^3/s].$$

Bevezetve a Venturi csőre érvényes állandót kapjuk:

$\underline{\underline{\left\| \dot{V} = K \cdot \sqrt{\Delta h} \right\|}}$, ahol $K = \dfrac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\dfrac{1}{1-\beta^4} \cdot \left(\dfrac{\rho_m}{\rho} - 1\right) \cdot 2 \cdot g}\,.$

7. **Rajzolja fel** egy radiális átömlésű szivattyú teljesítményszalagját! Írja fel a szivattyú hatásfokait (összhatásfok, mechanikai hatásfok, belső hatásfok, volumetrikus hatásfok, hidraulikai hatásfok, tárcsasúrlódási veszteségtényező)! (**8 pont**)

Teljesítményszalag:



Az összhatásfok:

$$\eta = \frac{P}{P_t} = \frac{\dot{m} \cdot Y}{\omega \cdot M} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\omega \cdot M} \, [-],$$

ahol

$P \, [\mathrm{W}]$ hasznos teljesítmény,

$P_t \, [\mathrm{W}]$ tengelyteljesítmény.

A mechanikai hatásfok:

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_t} = \frac{P_t - P_m'}{P_t} \, [-],$$

ahol

$P_m' \, [\mathrm{W}]$ mechanikai teljesítmény veszteség,

$P_b = P_t - P_m' \, [\mathrm{W}]$ a szivattyú belső tengelyteljesítménye.

Belső hatásfok:

$$\eta_b = \frac{P}{P_b} = \frac{\dot{m} \cdot Y}{P_b} \, [-].$$

A belső hatásfok (η_b) a szivattyúnak, mint mechanikai rendszernek a hatásfoka. Megmutatja, hogy a belső teljesítménynek (P_b) hányada alakul át folyadékenergiává.

Az összhatásfok a mechanikai (η_m) és belső hatásfokkal (η_b) kifejezve:

$$\eta = \frac{P}{P_t} = \frac{P}{P_b} \cdot \frac{P_b}{P_t} \, [-].$$

Volumetrikus hatásfok:

$$\eta_V = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_L} = \frac{\dot{m}}{\dot{m} + \dot{m}_r} = \frac{Q}{Q + Q_r} \, [-].$$

Hidraulikai hatásfok:

$$\eta_h = \frac{Y}{Y_e} = \frac{Y}{Y + Y_1' + Y_L' + Y_2'} = \frac{H \cdot g}{H_e \cdot g} = \frac{H}{H + h_1' + h_L' + h_2'} \, [-].$$

Tárcsasúrlódási veszteségtényező:

$$\nu_t = \frac{P_t'}{P_b} \, [-].$$

Tételjegyzék az Áramlás- és hőtechnika és gépei (GEAHT432-B) c. tárgyból (MINTA!!!)

1. Erő- és munkagépek osztályozása különböző szempontok szerint.
2. Termodinamikai alapfogalmak, termodinamikai rendszer. Állapotjelzők, termodinamikai egyensúly.
3. A termodinamika I. főtétele nyugvó zárt rendszerre. Mechanikai munka, térfogatváltozási munka, súrlódási munka. Belső energia, entalpia.
4. Az I. főtétel nyitott rendszerre, fajlagos technikai munka.
5. Az I. főtétel alkalmazása gőzturbinára.
6. Az I. főtétel alkalmazása összenyomhatatlan közeggel működő rendszerekre. Alkalmazás szivattyú és vízturbina eseteire.
7. Az I. főtétel alkalmazása áramlásos folyamatokra. Speciális eset: Bernoulli egyenlet. Alkalmazás: Venturi cső. További speciális eset: hidrosztatika.
8. Kontinuitási egyenlet származtatása áramcsőre.
9. Áramlási veszteség csővezetékekben. Osborn REYNOLDS kísérletei.
10. Csősúrlódási tényező turbulens és lamináris áramlásra, Moody diagram.
11. Nyomás- és teljesítményveszteség a térfogatáram függvényében turbulens csőáramlások esetén.
12. A csősúrlódási tényező meghatározása méréssel.
13. Szerelvények hidraulikai vesztesége. Veszteségtényező meghatározása méréssel. Csővezetékekből és szerelvényekből álló összetett rendszer energia vesztesége.
14. A Bernoulli egyenlet alkalmazása: Venturi cső.
15. A Bernoulli egyenlet alkalmazásai: mérőperem, mérőtorok, Prandtl cső.
16. A Bernoulli egyenlet alkalmazása: kiáramlás zárt és nyitott tartályból, sugárkontrakció. Kvázistacionárius kifolyás tartályból.
17. Energiadiagram súrlódásmentes és súrlódásos esetben. Energiaegyenlet speciális esete: hidrosztatika. További speciális eset: összenyomhatatlan közeg.
18. Folyadékba merített síkfalra ható erő.
19. Folyadékba görbült felületre ható erő.
20. Kalorikus állapotegyenlet. Belső energia és fajhő. Közepes fajhő származtatása ideális gáz esetén.
21. Ideális gáz egyszerű állapotváltozásai (fajlagos hő és térfogatváltozási munka izochor, izobár és izotermikus állapotváltozásoknál).
22. Ideális gáz egyszerű állapotváltozásai (fajlagos hő és térfogatváltozási munka izentropikus és politropikus állapotváltozásoknál).
23. Körfolyamatok. A hőerőgépekből nyerhető technikai munka.
24. A termodinamika II. főtétele; kapcsolata az I. főtétellel. Entrópia és entrópia diagramok.
25. Tiszta közegek termodinamikai jellemzői. Gőzfejlesztés. Nedves gőz, gőzhányad.
26. Technikai körfolyamatok: Rankine-Clausius körfolyamat. Termikus hatásfok. A hatásfok javítási lehetőségei.
27. Technikai körfolyamatok: Joule körfolyamat. Termikus hatásfok.

28. Hővezetés, hőátadás. Fourier törvény; newtoni hőátadási törvény. Stacionárius egy-dimenziós hővezetés egy- és többrétegű síkfalban hőátadással a felületen. Hőáram, hőátadási ellenállás, hőátbocsátási tényező.
29. Stacionárius egy-dimenziós hővezetés egy- és többrétegű hengeres falban hőátadással a felületen. Hőáram, hőátadási ellenállás, hőátbocsátási tényező.
30. Hőcserélők. Egyenáramú és ellenáramú hőcserélők vázlata és hőmérsékletviszonyai. Leadott és felvett hő. Hőátbocsátási tényező, logaritmikus hőmérséklet különbség.