

[új tanár]

www.HDS.BME.HU

↳ MUNKATÁRSÁK
↳ TITKSAJÁR

stiller@hds.bme.hu

1.) Bevezető fogalmak az áramlástanban

folyadékok tulajdonságai:

- halmazállapot: csapfolyós, légnemű

tétnélkülös vételekben deformlálható anyagok, hogy az anyagokhoz megváltozna

~~viselkedés~~ érintétfenültség arányos a deformáció sebességével

ha a kapcsolat lineáris: newtoni folyadék

nem-lineáris: nem-newtoni

(~~Newtoni folyadék~~)

- viszkozitás: μ (dinamikus visk.)
 ν (kinematikus visk.)

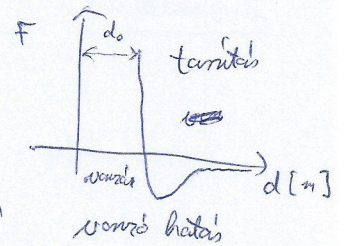
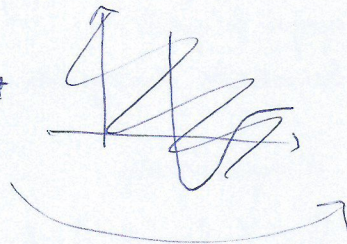
$$\tau = \mu \cdot \frac{dy}{dt} \quad ; \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- egyéb: térfogat, tömeg, fajtérfogat ($\frac{m^3}{kg}$), ρ (sűrűség), nyomás ($\frac{N}{m^2}$), hőmérséklet

[10. diát nem kell tudni]

légnemű: nagy a távolság a részecskék között

csapfolyós: a részecskék között van vonzás



- viszkozitás: légnemű: molekulák ütközéskor kicserélik az impulzusukat

$$T \uparrow \Rightarrow \nu \uparrow$$

$$\text{csapfolyós: } T \uparrow \Rightarrow \nu \downarrow$$

nyomástól független
a viszkozitás

[13. dia: ZH-kérdés]

csapfolyós	légnemű	
kicsi	nagy (10x)	molekulák közti távolság
nagy	kicsi	molekulák közti erő
kicsi \rightarrow "összenyomhatatlan"	nagy	nyomásnövekedés hatása a térfogatra
molekulák közti vonzóerő	impulzuscsere	viszkozitás forrása
erőhöz	ν	a viszkozitás a T növekedésével

Ideális folyadék:
[ZH-kérdés]

- homogén anyag
- síkfelületű
- összenyomhatatlan

valós folyadék: ...

Nyomás fogalma:

molekulák ütközése következtelen, egyirányú felületre ható erő

$$p = \frac{F}{A} \left[p_a = \frac{N}{m^2} \right] ; F = m \cdot g ; g = 9,81 \frac{m}{s^2} \rightarrow \text{errel kell számolni}$$

mértékegységek:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 98100 \text{ Pa} \approx 1 \text{ bar}$$

$$\text{vízoszlop mérő (u.s.m.)} = 9810 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ mm} \cdot 13600 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 133,4 \text{ Pa}$$

(120 mmHg = 0,16 bar → átlagos normális nyomás)

abszolút nyomás: tökéletes vákuumhoz képest (ténylegesen nincs nyomás)

túlnyomás: légköri nyomáshoz viszonyítva

$$p_{\text{túll}} = p_{\text{abs.}} - p_0$$

pozitív túlnyomás
negatív túlnyomás = relatív vákuum

légköri nyomás: meghatározása barometrel (pl. Toricelli-erő beállításával)

Hidrostatika:

nyugvó folyadék [18. dia nem kell]
hidrostatika alapegyenlete

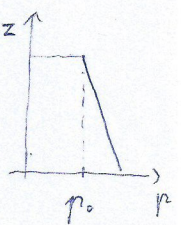
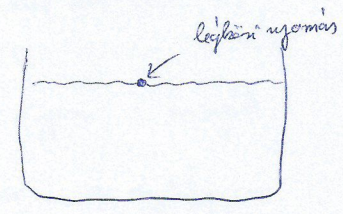
nyomás mértéke: h mélyen vízszint

$$G = V \cdot \rho \cdot g = A \cdot h \cdot \rho \cdot g$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{G}{A}$$

$$p = h \cdot \rho \cdot g$$

Archimédész törvénye
 $F_{\text{felhajtó}} = V \cdot \rho \cdot g$



~~$$p(z) = \rho \cdot g \cdot z + \text{konstans}$$~~

HIDROSTATIKA ALAPEGyenlete

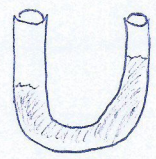
~~$$p(z) = \rho \cdot g \cdot z + \text{konstans}$$~~

$$p(z) = \rho \cdot g \cdot z + \text{konstans}$$

légköri nyomás

pl.: $p_0 = 10^5 \text{ Pa} = 10^3 \text{ h}_0 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$
 $h_0 = 10,19 \text{ m}$

↳ Manométer:



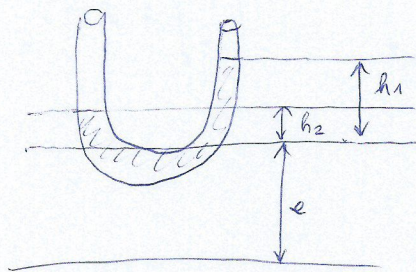
kis nyomás mértéke: vízszint

nagy nyomás mértéke: higannyal

$$1 \text{ mmHg} = 133,4 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg}_2\text{O} = 10^3 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{m^3} = 9,81 \text{ Pa}$$

- Pr.
- $h_1 = 616 \text{ mm}$
 - $h_2 = 284 \text{ mm}$
 - $e = 510 \text{ mm}$
 - $p_0 = 98 \text{ kPa}$



$$p_A - (e + h_2) \rho_{\text{víz}} g = p_0 + (h_1 - h_2) \rho_{\text{Hg}} g$$

$$p_A = 98000 \text{ Pa} + (0,616 \text{ m} - 0,284 \text{ m}) \cdot 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + (0,51 \text{ m} + 0,284 \text{ m}) \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 150083 \text{ Pa}$$

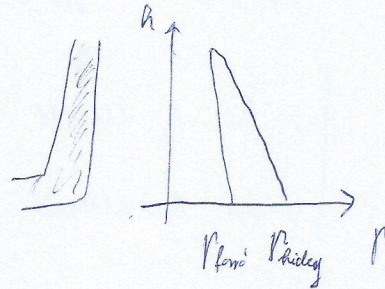
p_A -n berekítve adódik meg a végeredmény (emél pontosabban nem tudjuk lenézni)

- hidrosztatika elvén működik:
- hidrosztatikus emelő
 - lapát



← nem folyik ki a nyomás miatt

- kéndugó statikus huzata



definíciók (áramló közegek):

- folyadékcső polycija: 1 vénszka messze nagy (vénszkefeszítéssel mérhető)
- áramvonal: amit a sebességvektor érint minden pillanatban (hurokölögőbe)
- nyomvonal: 1 ponton az áramlott vénszka ké hal vanna egy adott pillanatban (mérésre → létezik)
- áramfelület:
- áramcső: áramfelület két görbével bürdülve
- állandósult, stacionárius áramlás: a konstans (v, p, S, T) időfüggetlenség
- instacionárius áramlás: időfüggő (megfelelő koordináta-rendszerrel stacionáriusra tehető néha)
L pl. autóból rögzített koordináta-rendszer

Állapot az anyagjellemzők között:

állapotegyenlet: $p = SRT$ ideális gáz

$\kappa = 1,4$ adiabotikus hitevő

$n = 1 \dots 1,4$ politropikus hitevő

$$\left(\frac{p}{\rho}\right)^\kappa = RT, \quad \left(\frac{p}{\rho}\right)^n = RT$$

Áramló folyadékok:

$$m(t) = S \cdot A \cdot dx \quad \text{kontinuitás egyenlet}$$

térfogatáram: sűrűség- vagy keresztmetszet-változás miatt

$$\text{kontinuitási egyenlet: } \frac{\partial}{\partial t}(SA) + \frac{\partial}{\partial x}(SAv) = 0 \quad \left(\begin{array}{l} \text{folyadékban} \\ \text{tömegmegmaradás} \end{array} \right)$$

erőmennyiség-görbe is

$$\text{hidraulikában: nem változik } A \rightarrow \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Sv) = 0$$

$$\text{állandó sűrűség (örvönycsiklózatlan)} \rightarrow \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(Av) = 0$$

$$\text{stacionárius állapotban } \left(\frac{\partial}{\partial t} = 0\right) \rightarrow \frac{\partial}{\partial x}(SAv) = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} \rightarrow \text{ha } A \text{ állandó} \\ \rightarrow \text{ha } S \text{ állandó} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \rightarrow \frac{\partial}{\partial x}(Sv) = 0 \\ \rightarrow \frac{\partial}{\partial x}(Av) = 0 \end{array}$$

$$\text{dinamika: } S_1 v_1 A_1 = S_2 v_2 A_2$$

$$\text{csővek esetén: } v_2 = v_1 \cdot \frac{S_1 D_1^2}{S_2 D_2^2}$$

$$\text{sebességprofil: } v(r) = v_{\max} \cdot \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^n \right] \quad \text{átlagsebesség}$$

$$\text{átlagsebesség: } \bar{v} = \frac{4v_0}{D^2 \pi}$$

$$\text{terfogatarám: } q_v$$

$$\text{átlagsebesség: } \dots$$

Kontinuitás tétel:

- lokális megváltozás ...
- konvektív megváltozás ...

Newton II törvénye: [mozgásegyenlet] $dS = v m(t)$ impulzus ~~átvitel~~ időbeli megváltozása

áramló folyadékban vonatkozó

MOZGÁSEGYENLET:

$$\frac{dv}{dt} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} |v| v = 0$$

[el kell tudni meggyorsulást]

cha = folyadékban ható külső és belső erők munkája

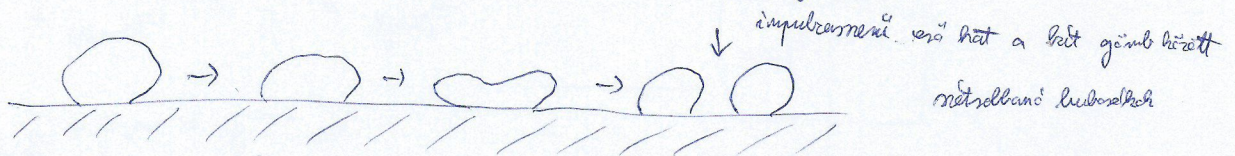
- erőttel $F_g = \dots$
- viselkedés (vontatást jelenti)
- nyomás

↓
mozgásegyenlet

Euler-egyenletben
vontatásmentesítést
feltehetünk.

Kavitáció: folyadékban a nyomás a telített vízgőz nyomás alá esikkor
buborékok keletkeznek (helyi hőmérséklet-vektoros)

megjelenés nyomáson a buborék ömöröppen \rightarrow ez a jelenség a kavitáció



mechanikai rezonanciát okoz

- rezgés, zaj (kezdődik, a jelenség után) - néha detektálható
- élettani hatás (fejfájás a rezgések miatt)
- gépek tömböredése
- előfordulás:
 - delfinek sebességhatása
 - felemás oldaji gamélák: vaddisznó (gyakori kavitáció a leeresztés miatt)
 - mesterséges vívillesztés (kavitáció rezonancia az erek falán)
 - vényomásmérés \rightarrow Körtör-hangok (lehet, hogy nem a kavitáció miatt)
 - kavitáció szivattyús (UH-val)
 - ~~rezonancia~~ • dagasztás rezonanciáján kavitációval (UH-val)
 - hajócsavar jérszékén kavitáció romlás

Archimedes-törvénye =

$$F_{\text{felhajtó}} = V \cdot \rho_{\text{közeg}} \cdot g \quad (\text{Kv. e. 3. névad!})$$

$V =$ kimentett térfogat

Pl. Úszály - tervezése :



úszóes 26 m³ vízkinntartás

$$m_1 = ? \quad m_2 = m_1 - 2,5t$$

$$m_2 = 2,5t \quad (\text{könnnyű úszály})$$

a.) m_1 ?

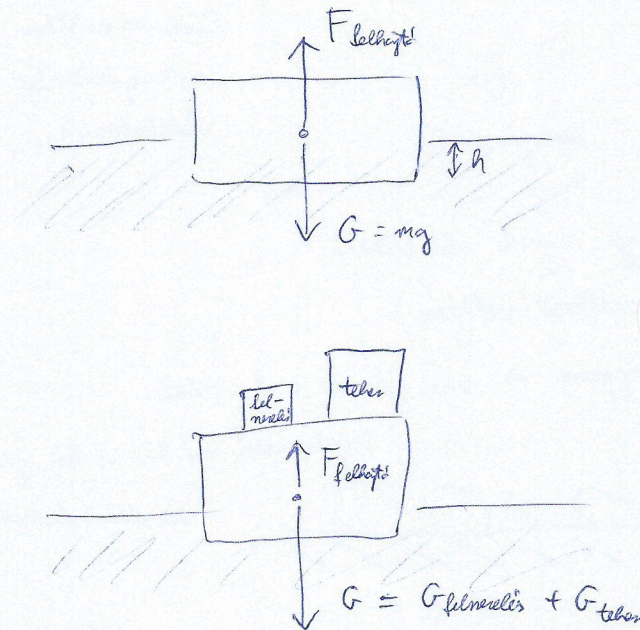
b.) max terhelés?

15 cm-t rúdlygobbit

hajtó alapterület 18 m² = A

úszó hajtó felmerülés 12000 N

víz sűrűsége: $\rho_{\text{víz}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$



$$F_{\text{felhajtó}} = V_k \cdot \rho \cdot g = m_0 \cdot g$$

$$\Rightarrow m_0 = 26t \rightarrow m_1 = 23,5t$$

$$V_k = 18 \cdot h \rightarrow h = \frac{26}{18}$$

$$F_{\text{felhajtó}} = G_1 + G_{\text{felmerülés}} + G_{\text{terhelés}}$$

$$V_k \cdot \rho \cdot g = m_1 g + G_{\text{felmerülés}} + m_{\text{terhelés}} \cdot g$$

$$18 \left(0,15 + \frac{26}{18} \right) \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$= 23,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 + 12000 + m_{\text{terhelés}} \cdot 9,81$$

$$\Rightarrow m_{\text{terhelés}} = 3977 \text{ kg}$$

Bernoulli - egyenlet :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \dots$$

integrálva :

$$\frac{v_1^2}{2} + g z_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + g z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{dQ}{dt} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A(x)}$$

- örmennyelődés
- stacionárius
- ...

elkeber Bernoulli-törvény
a Bernoulli-egyenlet

- csak áramvonal mentén
- csak a gravitáció hat
- vorticesmentes
- örmennyelődés
- stacionárius állapot

teljes
lista a
feltevésekről

Venteségi Bernoulli-egyenlet: $\frac{v_1^2}{2} + g z_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + g z_2 + \frac{p_2}{\rho} + g h'$

venteségi: h' → § venteségi tényszerő
 λ : csőcsatlakozás tényszerő

Lamináris és turbulens áramlás:

Reynolds-szám: $Re = \frac{c \cdot D}{\nu} = \frac{c \cdot D \rho}{\mu}$

c : áramlás sebesség [m/s]

D : jellemző méret [m]

ρ : sűrűség

ν : kinematikai viszkozitás [$\frac{m^2}{s}$]

μ :

turbulens áramlásnál: $Re > 2300$

- < 2300 : lamináris
- 2300 ... 4000 : átmenet
- > 4000 : turbulens

Csőcsatlakozás: $\lambda_{lamináris} = \frac{64}{Re}$; $\lambda_{turbulens} = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$ Blasius-formula

- fal felület érdességétől
 - Reynolds-számtól
- } függ

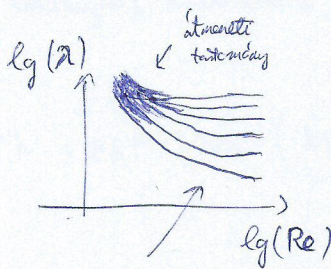
↳ hidraulikus rőns falú cső

↳ érdős falú cső

$\lambda_{turbulens} = \frac{1}{\lambda} = -2 \lg \left(\frac{k \cdot D}{3,71} + \frac{2,51}{Re \lambda} \right)$

iterációval lehet csak kiszámolni

Moody-diagram:



ahol kiegyenesedik,

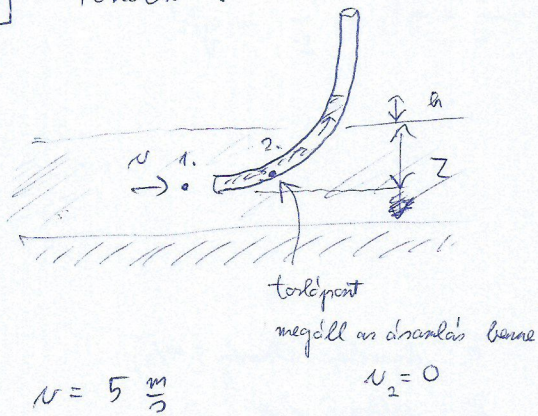
ott van Reynolds-szám - független

Egyéb csővezeték ventesség:

- hirtelen bővülés (Borda-~~csatlakozás~~ Carnot ventesség) - pangás közben energia ~~vesz~~ nem el
- hirtelen szűkülés (his csőből hirtelen nagy térbe)
- melegek, toldások, csapok: nyitott állapotban is van ventesség, mert változtatja az áramlás irányát
- csőcsatlakozás
- hirtelen keresztmértet ~~csatlakozás~~ csőcsatlakozás
- áramlási ventesség: csőhanyatlásban

erőbit inkább
 hismérjük, hogy
 pontos legyen

Pl. Torlécso :



feltorlécodik benne a víz, amikor az áramlás sebességével

(Pitét cső)

- Milyen magasságra emelkedik a víz a csőben?
- Mennyi a túlnyomás a torlécspontban, ha $z = 0,5 \text{ m}$?

→ Bernoulli-egyenlet felírás: $p_0 + z \cdot \rho \cdot g + \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 = p_0 + (z+h) \cdot \rho \cdot g + \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2$

$\frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 = h \cdot \rho \cdot g \Rightarrow$

$v = \sqrt{2gh}$ alapképlet

$h = \frac{1}{2g} \cdot v_1^2 = 1,27421 \text{ m}$

csőben $0,1 \frac{m}{s}$ -től $10 \frac{m}{s}$ -ig áramlottatunk folyadékot

→ $p_{\text{túlnyomás 2. pontban}} = (z+h) \cdot \rho \cdot g = (0,5 + 1,27) \cdot 1000 \cdot 9,81 = 17405 \text{ Pa}$

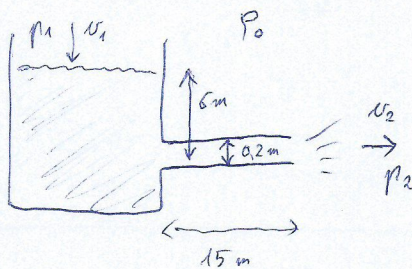
Nyomás: statikus és dinamikus nyomástag \rightarrow összynomás: $p_o = p_{st} + p_d$

\downarrow \downarrow
 cső falán \downarrow \downarrow
 lehet mérni \downarrow \downarrow
 torlódás esetén a torlódás
 felületen mért nyomás
 p_{st} $p_d = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$

Áramlás mérése: Pitot csővel (áramlással nem befordított cső)
 Prandtl csővel \leftarrow repülőgépekben, versenyautókban hirtelen

Pl.

Körülés a tartályból



- kiömlés:
- vertikális sebesség? ha a vízszint 0?
 - kiömlési sebesség? ha a csőszelvény térfogata 0,03? λ
 - kiömlési sebesség? ha a cső végén a keresztmetszetet a felére csökkentjük?
 - Milyen sebességgel áramlik a folyadék?

Bernoulli - egyenlet felírása:

a.) vízszintmentes esetben: $p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 + \rho g h_2$

$p_1 = p_2$

$v_1 \ll v_2 \rightarrow v_1 = 0$

mivel költette folyadékvesztés

hidromatikus nyugvástól eltérésként (20 cm vastag cső) $\rightarrow h_2 = 0$

$\rho g H = \frac{\rho}{2} v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{2gH} = 10,85 \frac{m}{s}$

b.) vízszintes esetben: $p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 + \rho g h_2 + \Delta p'$

$\Delta p' = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{cs}^2 = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2$ (vesztés)

a cső mentén a keresztmetszet és irányok nem változik $\rightarrow v_2$ a cső végén is \leftarrow

$\rho g H = \frac{\rho}{2} v_2^2 + \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho}{2} v_2^2$

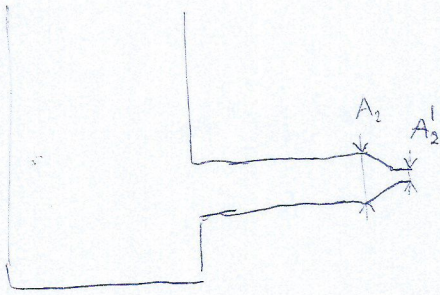
$2gH = v_2^2 (1 + \lambda \frac{L}{d})$

$2gH = v_2^2 + \lambda \frac{L}{d} v_2^2$

$\sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda \frac{L}{d}}} = v_2 = 6,02 \frac{m}{s}$

(?)

c.) kiömlési sebesség?



$$A_2' = \frac{1}{2} A_2$$

Bernoulli-egyenlet:

kontinuitás: $\int v_2 A_2' = \int v_2' \cdot A_2$

$$v_2 = \frac{v_2' A_2'}{A_2} = \frac{1}{2} v_2'$$

$$v_2' = 2 v_2$$

$$\Delta p' = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_{cs}^2 = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \left(\frac{v_2'}{2} \right)^2$$

$$\rho g H = \frac{\rho}{2} v_2'^2 + \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho}{2} \left(\frac{v_2'}{2} \right)^2$$

$$2gH = v_2'^2 \left(1 + \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{1}{4} \right) \rightarrow v_2' = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \frac{\lambda L}{4d}}} = \frac{8,68}{1,02} \frac{m}{s}$$

d.) $v_2 = \frac{1}{2} v_2' = 4,34 \frac{m}{s}$

Pl.

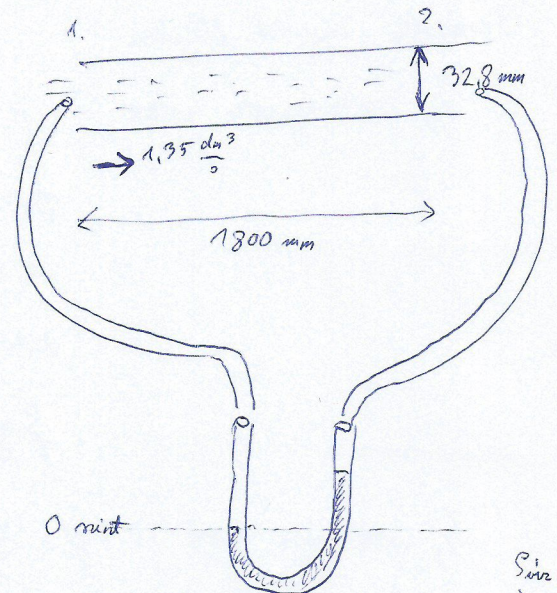
Urníves csővezetékbe U-csővel, higgyes manométert kötöttünk.

$a = 1800 \text{ mm}$

A csőben balról $1,35 \frac{dm^3}{s}$ áramlik (balról jobbra).

A cső belső átmérője $32,8 \text{ mm}$.

A manométer kitérése 13 mm .



a.) Mennyi a nyomáskülönbség az 1. és 2. pont között?

b.) Mekkora a csőáramlási tényező?

a.) Manométer egyenlet felírása:

bal oldal jobb oldal

$$p_1 + \left(\frac{a}{2} + h \right) S_{víz} \cdot g \quad p_2 + z \cdot S_{víz} \cdot g$$

$$= p_2 + z \cdot S_{Hg} \cdot g + \Delta h S_{Hg} \cdot g$$

$$\Delta p_{12} = \Delta h g \frac{S_{Hg}}{S_{víz}} - h S_{víz} \cdot g = \Delta h g (S_{Hg} - S_{víz}) \cong 1607 \text{ Pa}$$

$\frac{13600 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}}$

c.) $\Delta p_{12} = \Delta p' = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho}{2} v^2$

$$v = \frac{q}{A} = \frac{q}{\left(\frac{d^2 \pi}{4} \right)} = 1,6 \frac{m}{s}$$

$$\lambda = \frac{1607 \text{ Pa}}{\frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2} = 0,023$$

$\frac{L}{d} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2$

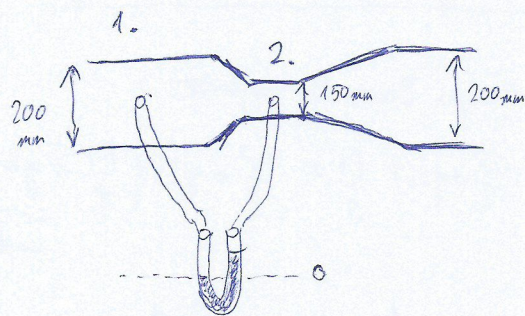
(L=a) 0,02 ... 0,035
ALTALÁNOSAN

Pl. Venturi-mérés:

200 mm átmérőjű vízvezeték csőbe épített Venturi-mérőn a torok átmérője 150 mm.

A befűrés (műhő) végeire képereszt U-csöves, higanyos manométer hirtétele 240 mm.

nyomáshűlésből sebességet mérünk



- a.) Milyen sebességgel áramlik a víz a torokban?
 b.) Mekkora a Venturi-mérőn áthaladó vírmennyiség?

Kontinuitási egyenlet: $\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2$

$$v_1 \cdot \frac{D_1^2 \pi}{4} = v_2 \cdot \frac{D_2^2 \pi}{4}$$

$$v_1 D_1^2 = v_2 D_2^2$$

Bernoulli-egyenlet:

$$p_1 + \cancel{\rho g h_1} + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \cancel{\rho g h_2} + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho v}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

nálbeli vízszint est mindeztől függ megjelölés !!!

Manométer-egyensúly:

$$p_1 + (z + \Delta h) \rho_{\text{víz}} \cdot g = p_2 + z \rho_{\text{víz}} \cdot g + \Delta h \cdot \rho_{\text{Hg}} \cdot g$$

$$p_1 - p_2 = \Delta p = \Delta h g (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}})$$

a.) $v_1 = v_2 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$

$$\frac{\rho_{\text{víz}}}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{\rho_{\text{víz}}}{2} \cdot v_2^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\right]$$

$$\rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{\frac{\rho_{\text{víz}}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2\right]}}$$

$$p_1 - p_2 = \Delta h g (\rho_{\text{Hg}} - \rho_{\text{víz}}) = 29665 \text{ Pa}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{29665 \text{ Pa}}{\frac{\rho_{\text{víz}}}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{150}{200}\right)^2\right]}} = 9,32 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b.) $q = v_2 A_2 = v_2 \cdot \frac{D_2^2 \pi}{4}$

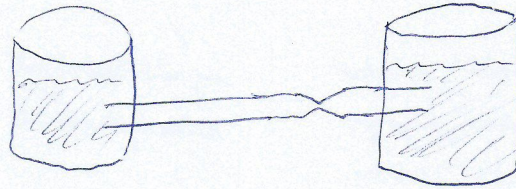
$$q = 9,32 \cdot \frac{0,15^2 \pi}{4} = 0,165 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

árfolyósebesség

labor: BME, L épület, hallgatói bejárat (Stoczekkal szemben)

Pl.

Tartályokból áramlás mérés tartályba



• ventesség Bernoulli-egyenlet

$$\frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho} = \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho} + gh'$$

↑
ventesség

Iha lenne egy rövidített, akkor nem lehetne felírni rd a Bernoulli-egyenletet.

$$\frac{\rho}{2} v_1^2 + \rho \cdot U_1 + p_1 = \frac{\rho}{2} v_2^2 + \rho \cdot U_2 + p_2 + \sum \Delta p'$$

• tagok: $p_1 = p_2$; $p_2 = p_0$; $v_1 = v_2 = 0$ (elhanyagolható)
 $U = \rho g z$; $z_1 = H$; $z_2 = 0$

• ventesség: $\sum \Delta p' = \frac{\rho}{2} v^2 \left(\xi_{be} + \xi_t + \lambda \cdot \frac{l}{d} + 1 \right)$

$\sum \dots$

Impulzustétel: mozgásegyenlet, amely a folyadékban ható erők és a folyadék mozgásállapota között tesemt kapcsolatát

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \cdot \vec{v} dV + \int_A \vec{v} \rho \vec{v} dA = \int_V \rho \cdot \vec{g} \cdot dV - \int_A \rho d\vec{A} - \vec{R} - \vec{S}$$

$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \cdot \vec{v} dV$: mozgásmennyiség lokális megváltozása a V térfogatban (gravitáció)

$\int_A \vec{v} \rho \vec{v} dA$: felületen egységnyi idő alatt be- és kifelé tömeg mozgásmennyiségének (vektorok) különbsége (nyomás)

$\int_V \rho \vec{g} dV$: tömegre ható térsűrűség (tömeg)

$\int_A \rho d\vec{A}$: az A felületre ható, nyomásból származó erő

\vec{R} : súrlódás ható erő

\vec{S} : súrlódásból származó erő

Borda-Carnot átméret: hirtelen ~~le~~ bővülés

impulzustétel: $-\rho v_1^2 A_1 + \rho v_2^2 A_2 = -p_2 A_2 + p_1 A_2$

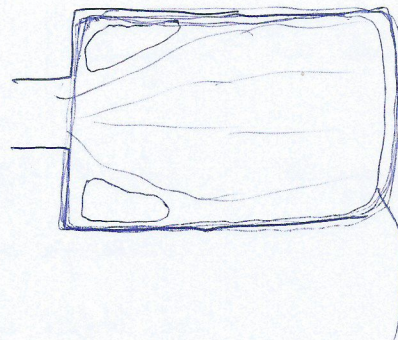
kontinuitás: $\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2$

$\hookrightarrow \frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$

$\hookrightarrow -\rho v_1^2 \frac{A_1}{A_2} + \rho v^2 = -p_2 + p_1$

$(p_2 - p_1)_{BC} = \rho v_2^2 (v_1 - v_2)$

Borda-Carnot nyújtásihossz



erre a felületre
újabb fel az
impulzustételt

Származó ható erők:

• felhajtóerő tényező: $C_f = \frac{F_L}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A}$

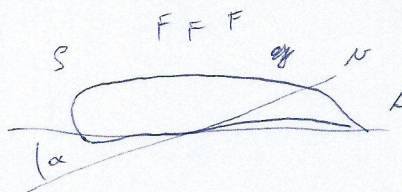
• ellenállás tényező: $C_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A}$

• nyomatéki tényező: $C_m = \frac{M}{\frac{\rho}{2} v_\infty^2 A h}$

• siklás szám: $\frac{C_f}{C_e}$ (vitóka's gépeltve)

1 m süllyedési alatt hány m-t ten meg.

függ az áramlás sebességétől (v_∞^2)



Autó légellenállása:

• ellenállás erő: $F_e = C_w \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot A$

A = kocsi homlokfelülete

v = kocsi sebessége

C_w = ellenállás tényező

• teljesítmény: $P_e = F_e \cdot v = C_w \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2} \cdot A$

• felhajtóerő: $F_f = C_f \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot A$

Álló kocsi a dramblik a levegő.

[Ajtósa háló' eső - nyomtatás]

Energiaegyenlet : folyadék fajlagos belső energiája : e

össenergia megváltozása : külső + belső energiák, ezek

pl. tápláló energia : változik a hőmérséklet

belső energia megváltozása a hőmérséklet teljességével

entalpia : $h = (i) = e + \frac{p}{\rho}$

össentalpia : hozzáadva a mozgásból származó entalpiát

- hőközléses folyamatokban van szükség energiaegyenletre

- Thermodynamika I feltételre szükség van

[Alapegyenletek összefoglalása - TUDNI!]

- kontinuitás

- Bernoulli

- mozgásegyenlet

- impulzustétel

- Euler-egyenlet

- energiaegyenlet

Allapitegyenlet :

- barotrop közeg : összenyomható : $\rho = \rho(p)$

- összenyomhatatlan : $\rho = \text{konstans}$

- hígít összenyomható : $m = \rho \cdot V = \text{konstans}$

$$0 = d \cdot m = V \cdot d \cdot \rho + \rho dV = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V}$$

$$\sigma = E \epsilon; \quad \frac{\sigma}{E} = \epsilon \Rightarrow -\frac{dp}{E_f} = \epsilon = \frac{dV}{V}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} \\ -\frac{dp}{E_f} = \epsilon = \frac{dV}{V} \end{array} \right\} \frac{d\rho}{dS} = \frac{E_f}{S}$$

folyadék rugalmassági modulus [MPa]

Ideális gáz viselkedés : $\frac{p}{\rho} = RT$

- izotermikus állapotváltozás : $\frac{p}{\rho} = \text{konstans} \quad \frac{dp}{dS} = \frac{p}{S} = RT$

- izentropikus állapotváltozás : $\frac{p}{\rho^k} = \text{konstans} \quad \frac{dp}{dS} = k RT$

$k =$ izentropikus hitevő

- politropikus állapotváltozás : $\frac{p}{\rho^n} = \text{konstans} \quad \frac{dp}{dS} = n RT$

$n =$ politropikus hitevő

Áramlás rugalmas falú csővezetékben: pl. erekben

nyomás a keresztmetszetre függősége

$$dp \text{ nyomás hirtelen a csőfal hirtelenültség megváltozása} : d\sigma = \frac{Ddp}{2\delta}$$

Hooke-törvény : $d\sigma = E E_{cs} \rightarrow \dots$

rendszer : $\frac{dA}{dp} = A \cdot \frac{D}{\delta E_{cs}}$

kontinuitási egyenlet : megjelölök benne a keresztmetszet ~~meg~~ megváltozása
a benne áramló folyadék térfogata is változik

Hullámsebesség:

a = hullámterjedési sebesség
információterjedési sebesség a hullámban

~~szóval~~ szócik egyenlet $\rightarrow \frac{1}{a^2} = \frac{\rho}{E_r} ; a = \sqrt{\frac{E_r}{\rho}}$

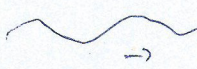
($p + \rho \cdot a \cdot \vec{v}$) időbeli és térbeli megváltozását diff. egyenlettel lehet leírni.

alkalmazási csőben : $a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} ; \frac{dp}{d\rho} = \frac{E_r}{\rho}$

(a a hullámterjedési sebessége)

Alliévi elmélete:

[99. diát tudni]

 nyomáshullám " a " sebességgel mozog

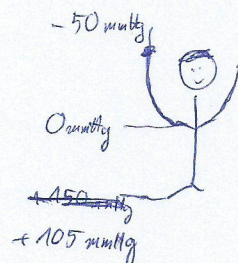
ha vízszintes terjed a nyomáshullám, \ominus nyomáshullám,
ennek minirendszer mintájára a csőben, összeroppantás
zárt csőnél körmozdulás

van egy maximális sebességváltozás, amit még bír a cső

Véráramlás, vérnyomásmérés:

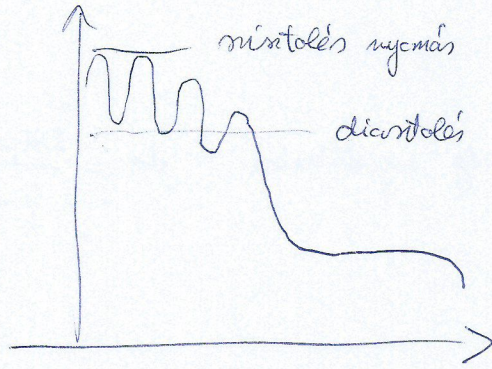
vérgyorsítás : a vér az erek falán kifejtett nyomása

logellenjellel kardiovaskuláris diagnosztikai paraméter



~~vérnyomás:~~

vérnyomás:



~~mindeneset~~

arteriális vérnyomás = nagyon változik
pácienseknél

szív : egy ritmikus, volumetrikus, térfogatbírósági szerv működik
a mozgásból származó nyomásértékkel függetlenül

víz: bifurkációs pont: innen van visszaverődés, nagy növekedés
nyomáingadozásban mutatkozik meg

érhalmozás: aorta: 2,5-3 cm átmérő; 20 cm/s

artériák: 5-10 cm/s

artériák } itt már a víz nem tekinthető homogénnek
kapillárisok } nem newtoni folyadék
0,03 cm/s

perctérfogat: 5 l/perc ... 8,5 l/perc nagy normális

pulzuskülső terjedési sebessége: 5-8 m/s információ áramlása

erek ellenállása: Hagen-Poiseuille törvény

$$\Delta p = \frac{8\mu}{\pi r^4} \cdot Q = R \cdot Q \quad ; \quad R = \frac{8\mu}{\pi r^4}$$

viskozitás: $\mu = 3-4 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

erőátvitel 16%-os csökkenés
kétreszeri az ellenállás

hipokolemia: $< 5 \text{ l/perc}$; normovolemia
kiszáradás esetén beszűkülnek az erek

szűkített magas vérnyomás
hi van szűkítés

isóinjekció
(lehet mástól is!)

Inkrementális: az 1. amplitúdó eltérése!
nyomáingadozás

légréis hatása: kétfrekvenciás hullámvadás a vérnyomás-görbén

Vérnyomásmérés: vérnyomásgörbe felvétel

ritmikus, diastolikus értékek: 120/80 mmHg

monofázis: mandzsettás vérnyomásmérés: aortakultáción - Korotkoff hang; oszillométer
tonometriás módszer // hullámvadás

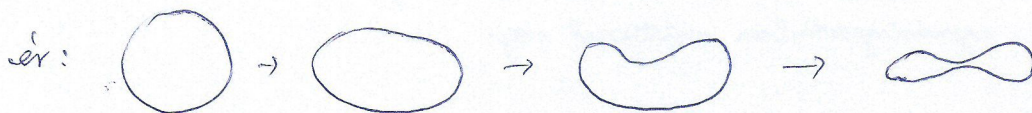
invasív: emberekben nem bannáljárás (?)

artériás közepnyomás (MAP)

Bernoulli-entálpia állandó: $\rho_B = \frac{\rho}{2} + \rho \cdot z + \rho \cdot gh$ // vízterésymérés
+ gh // vízterés

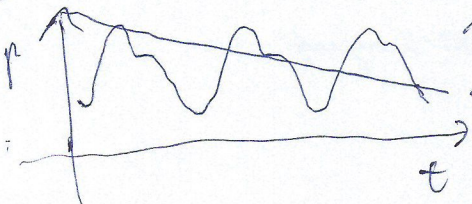
függ a testhelyzettől
mandzsettás közegen a víz magasságában

mandrsettaugymást minősít:



manométeres vérnyomásmérés:

Rivar Riva-Rocci módszer



elmozdítja teljesén a felken artériát, elmozdítja az ér lumen leeresztjük a mandrsetta

- 1. koppanó hang → sistolés vérnyomás
- megnyílik a hang → diastolés vérnyomás

Korothov hangok

Korothov-hangok:



turbulens áramlás

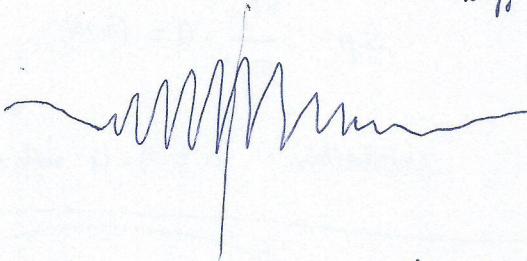
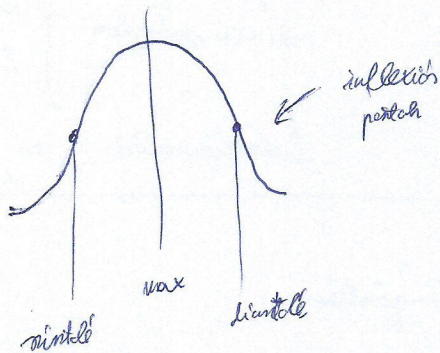
parietális eredetű zaj
vagy levdék zóna

Oscillométeres mérés:

sistolés főképp pumpáljuk a mandrsetta
a mandrsetta nyomását mérjük

$$P_{közép} = \frac{P_{sistolés} + 2 P_{diastolés}}{3}$$

tupasztalati után hirtelen meg



maximum = artériás bőrdérmérés

trendkövetésre jók az eszközök
de pontos diagnózisra nem
tudományosan nem megfelelő

Tonométeres vérnyomásmérés:

nyomásmérés az artéria falatti bőrfelületen

általában orvoknál mérnek, néha a kalibráció; rutinos személyzet kell hozzá
nagy tudás, jól kell mérni, mikor, ...

nem mindig -ban használják meg,

hanem MV-ban

auskultációs vérnyomásméréssel kalibrálnak

Egyéb nyomásmérő (nem vérnyomásmérőre):

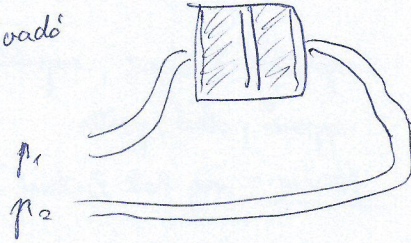
~~manométer~~ - manométer (egy csővel, U-alakú)

- dobos manométer:



ha akkor szűkesebb a nyomásra
 állítélelkel a mérést.
 idővel, hőmérséklettel változik,
 kalibrációt kell, lineáris hirtelenidőben

- nyomástávadó



ezt is kell kalibrálni
 mérés határ → elszakad a belső
 membrán

Invaszív vérnyomásmérés:

nyomásmérő szonda bevezetése az artériába

ha a katéter végén van a mérőfej, akkor pontosabb, de drágább

időben folyamatosan lehet monitorozni a vérnyomást

csak akkor használják, ha a betegnek már nagy baja van (ha más életvesztés fel van nyitva...)

Véráramlás sebessége:

periódikusan változik

- plethizmográfia
- UH - mérés
- induktív

Intencionális áramlások:

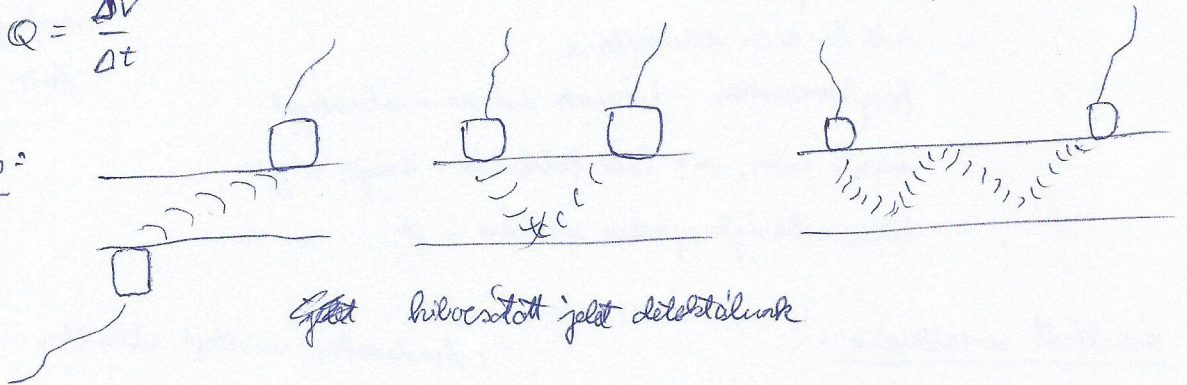
- átlagos térfogatánál meghatározás
- pillanatnyi térfogatánál

Plethizmográfia: mandretta - véráramlás elmozdítása

a busz térfogatának változását nézzük az időben

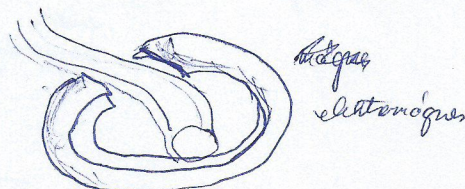
$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

UH - os vérnyomásmérés:



hibaerőstől jelet detektálunk

elektromágneses indukció: inováció mérés



elektromágnes

Indikátoros mérések:

- fűtés dilúció: fűtés koncentrációját mérjük, hogyan változik
- termódilúció: vízszintben juttatunk hideg folyadékot (vagy éppen folyadékot)
- inert gáz keletkezés (pl. oxigén) - tudvale mérési veszély, nem vényvesztés!
- mérési hibával a gáz koncentrációjának változása

Köbözés:

emberben nem!!!

~~megfigyelés a csőben~~

megvizsgálják a csövet, megméri a hirtelenlő térfogatot

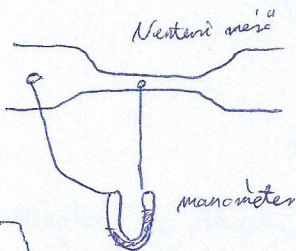
egyszerű, olcsó, pontos

hátrány: meg kell bontani a csőrendszert

Szűkítőelemes mérés:

- Venturi
- Mérőperem

malbecumozott
kis helyigény
itt is nagy helyigényű



nyomáskülönbséggel térfogatot mérünk

előre

kevesebb csővesztés mellett kell hirtelenlő

az áramlás ellenállását növelni → nyomásvesztés

UA - mérés:

cső külső felületének érzékenysége nagyon befolyásolja az eredményt → körülmények
előny, hogy nem kell megfontalni a csövet.

LDA:

lézer-doppler anemométer
non-invasív

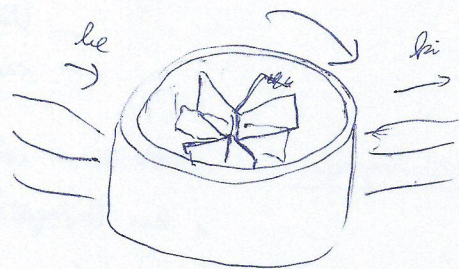
lézersugár beállítás

interferencia detektálás

felgyámorítás - frekvencia csökkenés a sebességgel

nagyon pontos, nem kell kalibrálni, drága nagyon

több sebességkomponens mérésére is jó



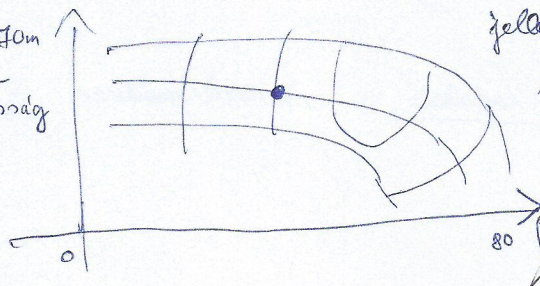
megfoghatja a levegőt
fontos a jó csatlakozás

csőhálózat modellezése:

cső = volumetrikus nyitottság

csőszakaszok nyitottsági változása: katalógusból

40m
emelő-
magasság



jelleggörbék víznyomáspontja

működési pont

- ilyen nyitottsági kell

$\frac{m^3}{h}$

Pl. Sivottynävalantien

$0,06 \frac{m^3}{s} @ 40 m$

lyhen sivottynä kello valantoni, ami ensel jehll (magasall)

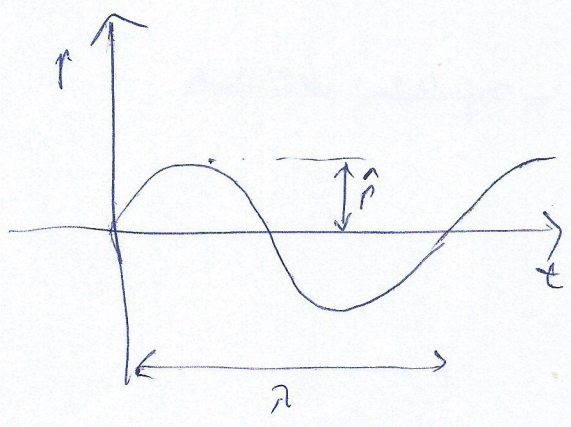
[ilyen fladet nem rchitt lenni virsogin]

Pl.

fläri virallitö rendren munkapentja

Akustika

- viikköryg ällapantänek ingudera'sa
- hulläm formäben terjed
- (- nyomashulläm)
- halläskünöb $\approx 2 \cdot 10^{-5} Pa$ (\pm)
- löjädalenkünöb $\approx 20 Pa$ (\pm)
- löghäri nyomäs = $10^5 Pa$ (absolüt)



haupteljestendry : $P(t) = A \cdot v' \cdot p'$

Allievi - elmélet : $p' = S \cdot a \cdot v'$

} $P(t) = A \cdot \frac{p'^2}{S \cdot a}$

atlasz haupteljestendry : $P = A \cdot \frac{p'^2}{S \cdot a}$

effektiv haupteljestendry ($\frac{1}{\sqrt{2}}$)

logaritmikus skala : csendes lened : $10^{-3} W$
 rabata fellövés : $4 \cdot 10^7 W$

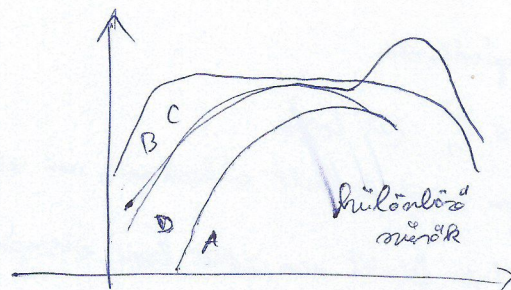
$L_w = 10 \log \frac{P}{P_0}$ haupteljestendry $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$ halläskünöb

$L_j = 10 \log \frac{j}{j_0}$ haupteljestendry $j_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$

löjädalenkünöb : 120 dB

Sül: szív: mely hangokat beszélő hallja

A - nekik felel meg



Zajszűrés: nem kívánt hangok

Elletani hatások:

- hallószervi: átmeneti / maradandó károsodás

- nem hallószervi: agy → stem

non hőmérséklet, lefagyás, béklyó

lelki fokozatok:

haj: 3-6 Hz

agy: 6-8 Hz

szem: 18 Hz

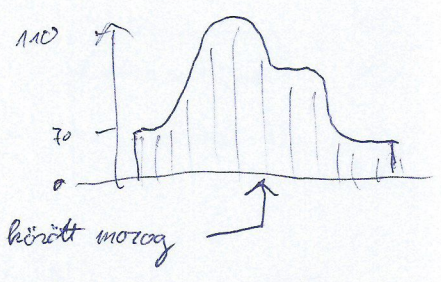
} nagyon megzavarhatók az alacsony frekvenciák hangok

+ zajszűrés elvárosok

gyereket hozni fülvédőt!
vagy 2 hét múlva

Diagnostikai paraméterek: [kardiovaszkuláris paraméterek]

1. blood pressure - vérnyomás : érben lévő folyadék erővel kifejtett nyomás
 minitole = nyomásgörbe maximuma
 diastole = -||- minimuma



2. mean arterial pressure (MAP) : artériás körérvnyomás
 artériás nyomásgörbe integrálközepe, értéke 70-110 mmHg körített morog

- ~~2.~~ vérnyomásgörbe :
- görbe alakja
 - inflexió pont (maximális húzóerő)
 - dőccenés ~~amelyet~~ a nyomásgörben (billentyűzárás)
 - minitole, diastole's idei hossa
 - minitole nyomásgörbe kezdeti meredeksége - érfael merevségével függ össze

3. heart rate (HR) - pulzusszám, szívfrekvencia
 adott idő alatt bekövetkezett szívritések száma
 szívfrekvencia $\left[\frac{1}{perc} \right]$

4. stroke volume (SV) - ~~levegő~~ lökettérfogat
 minitole's felis alatt az érpályába lökett vér térfogata

5. cardiac output (CO) - perctérfogat ; $CO = SV \cdot HR$; ~~5-10~~ $5-10 \frac{l}{perc}$

6. pulse wave velocity (~~PRV~~) (PWV) : pulzushullám terjedési sebesség
 az a sebesség, amellyel a
 zavarás (nyomáshullám) az érben terjed
 két kitérővel mérés, nagyon pontosan kell mérni
 érváltoztatás felmérésére ~~szükség~~ használható ; de ha már 2 kitérő kell, elég nagy baj van,
 akkor az illik mérni az intervívus felvétel, akkor még mai módszer, hogy ~~meg~~ milyen az érváltoztat

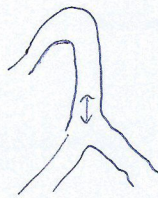
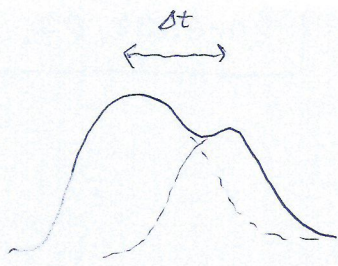
- másik módszer : pulzushullám mérés a test 2 különböző pontján, pontosan, de jó diagnostikai célra

$$PWV \approx \frac{X_2 - X_1}{t}$$

7 m/s alatt optimális
 7-9,7 m/s körített normális
 9,7-12 m/s emelkedett

12 m/s feletti káros
 a vér áramlás $\frac{1}{20}$ -osa (1,2 m/s)

[álló folyadékban is terjed a hullám]



bifurkációs pontnál visszaverődés

de nem csak innen van visszaverődés!

a nemzeti összes elágazásnál ismét a visszavert hullám

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \text{pulzus hullám terjedési sebesség}$$

Mégis jól becsül, de a mögöttes lévő kisebb tartalom nem káros!

↳ csak a bifurkációs pontot számítják

7. augmentation index (Ai_x) - augmentációs index

$$Ai = \frac{P_i - SYS}{SYS - DIA} [\%]$$

visszavert hullámokból ad információkat (hol helyszínekről el)

- emulgalmasság
 - perifériás ellenállás
- } az a két befolyásolója, nem két elhárítót!

A-típus : $Ai_x > 12\%$

C-típus :

B-típus : $12\% > Ai_x > 0\%$

D-típus : nem találjuk meg az inflexiós pontot

$$\left(\begin{array}{l} \text{fórum} = C \\ \text{középkori} = A \\ \text{örög} = D \end{array} \right)$$

nem mindegy, hogy hol mérjük a mérést

(Ai_x : korral növekszik)

de jóbb lenne az aortánál

- Ai_x :
- 30% alatt optimális
 - 30 és -10% között normális
 - 10 és +10% között emelkedett
 - + 10% fölött káros

8. Compliance (C) - teljességesség :

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

egyedüli nyomásváltozásra létrejövő érfogat-változás

nyomás - érfogat görbe adott pontjára hirtelt érintőjének meredeksége $\frac{ml}{mmHg}$ - ban.

nyomásváltozás hatására létrejövő keresztmetszet - változás

az artéria állapotának (rugalmasságának) jelezője

függ a vér viszkozitásától is!

+ és rugalmassági modulusaitól

9. Diastoliliter (D)

egyébnyi terfogatra és compliance
↑ értéke

10. Total peripheral resistance - teljes perifériás ellenállás (TPR)

a teljes érrendszer vércirkuláció ellenállása

$$TPR = \frac{MAP}{CO}$$

szívki tértelom: artériás polycis áramlási ellenállás

↑ az összes mics!

nyomásgörbe alatti terjedjen \int , a CO legyen 5 és \neq közt

Öregedés hatásai: minden paramétert befolyásol

- érték megváltozik, vastagabb len a faluk, értek ~~mozg~~ merevebb

- más terfogatra ~~egy~~ egyenlő jelalakja változik

L) nyomás nő, PWV nő, nyomásgörbe alatti változik, ΔV nővelni, compliance csökken

↑
minde, diastol, artériás hőmérséklet

↑
pulzusnyomás

L-efüldet → Stoczek előtt 50. ha