

1. Folyadékok jellemzői, newtoni, barotróp folyadékok, gázok tulajdonságai, kavitáció

Folyadékokat jellemző tulajdonságok:

- Térfogat: V [m^3]
- Tömeg: m [kg]
- Fajtérfogat: v [m^3/kg]
- Sűrűség: $\rho = 1/v$ [kg/m^3]
- Nyomás: p [Pa] = [N/m^2]
- Hőmérséklet: T [K] { t [$^{\circ}C$] }
- $T=áll$ mellett dugattyút nyomjuk befelé (kondenzáció)
- T_{krit} hőmérséklet, nincs hófelszabadulás

Newtoni folyadékok, gázok:

- A viszkozitás értelmezését elsőként Newton adta meg, aki feltételezte, hogy a rétegek párhuzamos és egyenletes áramlása esetén az elmozdulás irányával ellentétes irányú súrlódó erő egyenesen arányos a súrlódó felületek nagyságával (A) és a sebességgradienssel. Az arányossági tényező az adott gáz vagy folyadék anyagi minőségére jellemző állandó a dinamikai viszkozitás

- $\tau = \mu \frac{dy}{dt}$ τ – csúsztató feszültség, dy/dt – sebességgradiens, μ – dinamikai viszkozitás

- Más megfogalmazásban a viszkozitási Newton-törvény kimondja, hogy az egyes rétegek közötti csúsztató feszültség egyenesen arányos a sebességgradienssel. Több folyadék, mint például a víz, és a legtöbb gáz kielégíti Newton feltételét, ezeket newtoni folyadékoknak nevezik. A nem-newtoni folyadékoknál összetettebb összefüggés áll fenn a csúsztató feszültség és a sebességgradiens között.

- $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ν – kinematikai viszkozitás, μ – dinamikai viszkozitás, ρ – folyadék sűrűsége

Barotróp folyadékok, gázok:

- a nyomás csak a sűrűségtől függ és fordítva
- $\rho = \rho(p)$

Kavitáció:

- fizikai jelenség, mely akkor következik be, ha egy anyag folyadék fázisból hirtelen gáz fázisba megy át a nyomás esése következtében. Ha a folyadék sebessége hirtelen megnő, akkor az energiamegmaradás törvénye értelmében (Bernoulli törvénye) a nyomása leesik. A keletkező gőzbuborék, ha az áramlás mentén olyan helyre ér, ahol a nyomás nagyobb az ottani hőmérséklethez tartozó telített-gőz nyomásnál, a buborék hirtelen összeroskad, az egymásnak csattanó folyadékfelületek erős akusztikus lökeshullámot keltenek, ami egyrészt erős zajjal, rezgéssel, másrészt a környező szilárd testek eróziójával jár.
- Ilyen eset fordul elő például nem teljesen elzárt vízcsap szűk áramlási keresztmetszetében, szivattyúknál vagy hajócsavaroknál. Szivattyúknál, ha a jelenség kiterjed az egész áramlási keresztmetszetre, a vízoszlop el is szakadhat, és a szivattyú nem képes folyadékot szállítani.

2. Hidrosztatika alapegyenlete, kontinuitás egyenlete, mozgásegyenlet, Euler-egyenlet, Bernoulli-egyenlet jelentése, alkalmazása

Hidrosztatika alapegyenlete : $p = \rho g h (+p_0)$

$$a = \frac{dv}{dt} = \ddot{y} - \frac{1}{s} \cdot \text{grad } p \quad \text{EULER - egyenlet}$$

gravitációs térsíri erővel
nyomás hely szerinti változása

$$0 = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + g, \text{ ahol } g = gk$$

Kontinuitás:

- tömeg megmaradása folyadékban

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho Av) = 0$$

$$(\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2 \text{ áramcső})$$

S = sűrűség
 A = keresztmetszet
 v = áramlási sebesség

A sűrűség- és keresztmetszet-változás miatt van tömegváltozás.

Mozgásegyenlet, Euler-egyenlet, Bernoulli-egyenlet:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{p_1}{\rho} = \text{konstans} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{dQ}{dt} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{A(x)}$$

- Jelentése: Bernoulli törvénye azt mondja ki, hogy egy közeg áramlásakor (a közeg lehet például víz, de levegő is) a sebesség növelése a nyomás csökkenésével jár. Például, ha valaki egy papírlapot tart vízszintesen tartott tenyere alá és ujjai közé fúj, a papírlap a tenyeréhez tapad. Ennek oka, hogy a levegő sebessége a papír és tenyere közötti résben felgyorsul, nyomása lecsökken, a lap alatti nyomás azt a tenyeréhez szorítja. A Bernoulli-törvény pontosabban azt mondja ki, hogy áramló közegben egy áramvonal mentén a különböző energia összetevők összege állandó.

- Alkalmazása: folyadékok áramlási sebességének, nyomásviszonyainak meghatározása, csővesztés számolása

- Feltételei: áramvonal mentén, csak a gravitáció hat, venturómentes, örmennyomható, stacionárius állapot

3. Bernoulli entalpia és alkalmazása

Bernoulli entalpia:

$$i_B = \frac{p_{\text{statikus}}}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh$$

- az áramló közeg tömegegységére vonatkoztatott külső nyomás munkájának, mozgási energiájának és helyzeti energiájának összege
- az ideális folyadék áramlása közben ez az összeg (egy áramvonalon) állandó marad - az áramló közeg és környezete között termikus kölcsönhatás miatti energiaáramra nem kerül sor

Alkalmazása:

- az összeg megváltozásából teljesítményt számolhatunk
- vérnyomásmérés

4. Allievi elmélet jelentősége, alkalmazása

Allievi elmélet:

- (áramlási sebesség megváltoztatásakor nyomásváltozás)
- nyomáshullám terjedési sebessége függ a cső és a folyadék rugalmassági modulusától
- jelentősége, alkalmazása: elzáródások detektálása, cső rugalmasság mérése



rugalmassági modulus
 $\sigma = \epsilon E$
Young-modulus

5. Hullámsebesség, redukált rugalmassági modulus, alkalmazás

Hullámsebesség:

+ milárd tonna határérték
+ sűrűségeből számolható

Impulzustétel:

Mozgásegyenlet, amely a folyadékokra ható erők és a folyadékok mozgásállapotát leíró tömeg központi tevényt bevezet.

IMPULZUSTÉTEL:

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

Összetevői: + mozgásmennyiség megváltozása a V térfogatban + tömeg határérték + az A felületre ható, nyomásból származó erők + felületi egyenlegző erők által be- és kilépő tömeg mozgásmennyiségének (váltási) hullámsebesség.

• $\sqrt{\frac{E_r}{\rho}} = a$ hullámsebesség

$\Delta p = S \cdot c \cdot v$ nyomásművelkedés
 ↑
 áramlási sebesség

Redukált rugalmassági modulusz:

• $E_r = \frac{1}{\frac{1}{E_f} + \frac{D}{\delta E_{cső}}}$

$D = \text{átmérő}$
 $\delta = \text{érfal vastagsága}$
 $E_f = \text{folyadék rugalmassági modulusza}$
 $E_{cső} = \text{cső rugalmassági modulusza}$

$E_f' = E_f$
 $E_{cső}' = \frac{\delta}{D} \cdot E_{cső}$
 $E_r = E_f' \times E_{cső}'$

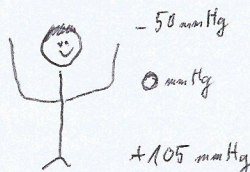
Alkalmazás:

- orvosi diagnosztikában: PWV (Pulse Wave Velocity) mérése – érfal rugalmasság és perifériás elzáródás

6. Vérnyomás fogalma, meghatározások: mérnöki/orvosi

Mérnöki meghatározás:

• $p_0 = p_{statikus} + \frac{\rho}{2} v^2$



Orvosi meghatározás:

- az az erő, amivel a vér az ér falának egységnyi felületére hat (Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology – IV/14 164. o.)

7. Erek viselkedése, ellenállásának változása, modellezése (összefüggések nélkül)

Erek keresztmetszete:

- $70 \frac{cm}{s}$ aorta > nagy artériák > $10 \frac{cm}{s}$ kis artériák > $5 \frac{cm}{s}$ arteriolák > $1 \rightarrow$ kapillárisok > $0,03 \frac{cm}{s}$ venulák < kis vénák < nagy vénák < véna cava

Erek ellenállása:

- aorta, nagy artériák, kis artériák → kis ellenállás
- arteriolák, kapillárisok, venulák → nagy ellenállás
- kis vénák, nagy vénák, véna cava → kis ellenállás

Viselkedés alapján:

- szélkazan erek: aorta
- konduktív (vezető) erek: artériák
- rezisztancia erek: kis artériák, arteriolák
- kicserélési erek: kapillárisok
- kapacitás erek: vénák

- periténfogó: $5 - 8,5 \frac{l}{perc}$
- pulzshullám terjedési sebessége: $5 - 8 \frac{m}{s}$
- erek ellenállása: $R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$ (Hagen-Poiseuille)
- vér viszkozitása: $\eta = 3 - 4 mPa \cdot s$
- vérnyomás = $120/80 mmHg$

8. Érhálózat modellezésének alapja, (pulzálás eltűnése a kapillárisokig), modellek

Szív: volumetrikus szivattyú, térfogatkezelés elvén működik – független a mögötte lévő rendszer nyomásától

- ciklikus összehúzódás-tágulás
- szisztolé-diasztolé

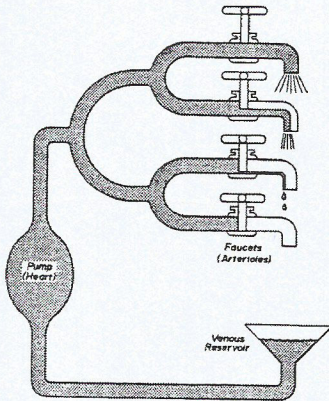
Vérkör modellezése:

- ellenállás a körön belül: $\Delta p = \Delta p_{hydr.} + KQ^2$
- hidrosztatikus különbség: $\Delta p_{hydr.} = \rho g \Delta h = 0$

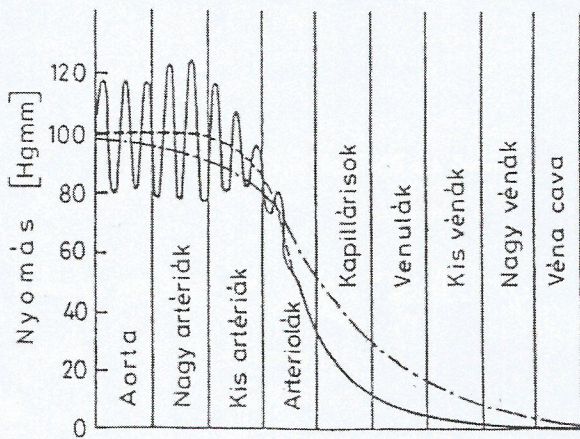
$K = \text{hidraulikus ellenállás}$

- Hidraulikus ellenállás: $K = \frac{\Delta p}{Q^2}$

Csővezeték analógia:



Pulzálás eltűnése a kapillárisokig:



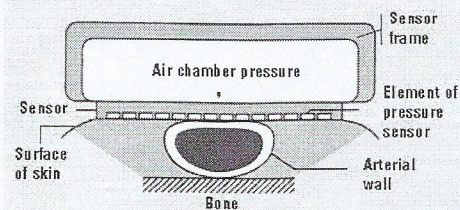
9. Vérnyomásmérési módszerek csoportosítása és a módszerek (mandzsetta, oszcillometria, invazív technikák) működése.

Invazív: *emberben nem használják, nyomásmérő sonda bevezetése az artériába, folyamatos méréscél*

- intravaszkuláris katéter segítségével

Non-invazív:

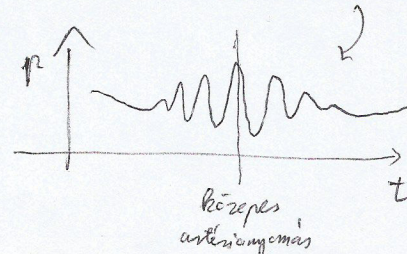
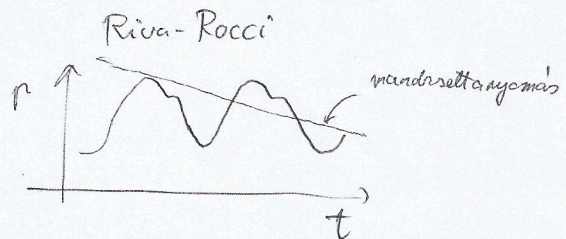
- Tonometria – mechanikai érzékelő a csuklóra rögzítve az artériához – *nyomásmérő* *nehéz kalibrálás*



- Mandzsettás módszerek

- Riva-Rocci módszer – Korotkov hangok alapján szisztolé/diasztolé meghatározása
- Oszcillometriás – pulzushullámok mérése, maximális oszcilláció közepes nyomásnál, szisztolé/diasztolé ebből visszszámolva (pontatlan)

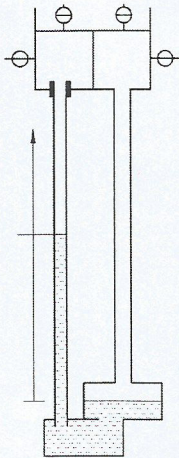
$$P_{\text{közepes}} = \frac{P_{\text{szisztolés}} + 2 \cdot P_{\text{diasztolés}}}{3}$$



10. Nyomásmérő eszközök és működésük

Manométer

- egycsőes

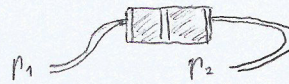


- Hg oszlop magasságának leolvasása
- U-csőes
 - közlekedő edények törvénye miatt mindkét csőben azonos magasságú Hg oszlop
 - a két cső leolvasása szükséges
- Dobozos manométer
 - hajlított csőrugó, mely egyik végén zárt, másik végén a nyomótérhez van csatlakoztatva
 - nyomás hatására a csőrugó egyenesedik
 - sokfajta technológia létezik



Nyomás távadó

- nyomással arányos villamos mennyiség
- oszcillometriás eszközök „lelke”
- kalibrálás szükséges: mért érték és fizikai mennyiség közötti kapcsolat



mérőhatár: elreked a membrán

11. Térfogatáram mérése, mérőeszközök, alkalmazásunk az orvostudományban

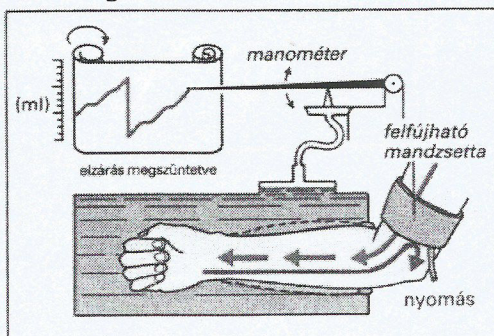
Térfogatáram mérése:

- Nehézkes
- Módszerek általában állandósult állapot mérésére
- Átlagos térfogatáram
- Pillanatnyi – elektromos úton, legtöbbször nyomásmérés alapon

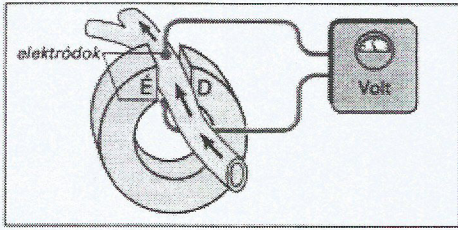
Mérőeszközök:

- Köbözés: köböző edény töltése, szintváltozás és idő mérése
- Pletizmográfia: köbözés, vénás elfolyás elzárása, alkar térfogatváltozásának mérése

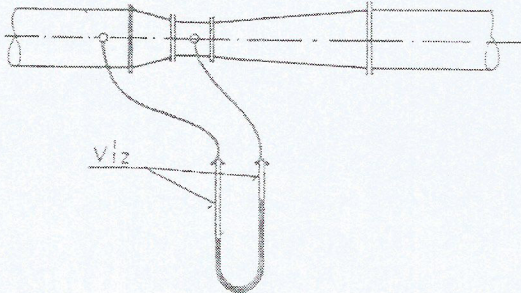
megnyitják a csapot, megméri a kicsomló térfogatát (egymű, dcsi, pontos, invaria) emelken nem használják!



- Elektromágneses indukció: folyadékban levő töltött részecskék mozgási indukcióját mérjük, invazív módszer (hozzá kell férni a csőhöz)



- Doppler-elv: ultrahang vagy LDA (Laser Doppler Anemometry), a sugárzott és visszavert hullám közötti frekvencia-eltolódás mérése, *hatalony: csőfal áteresztése erősen befolyásol*
- Indikátoros módszerek: festék dilúció, termodilúció (femorális katéter), alkalmazott gáz belégzése (pl. argon), vérmintákból a gáz koncentrációjának változása
- Venturi-cső: nyomáskülönbség mérése, kontinuitáson alapul

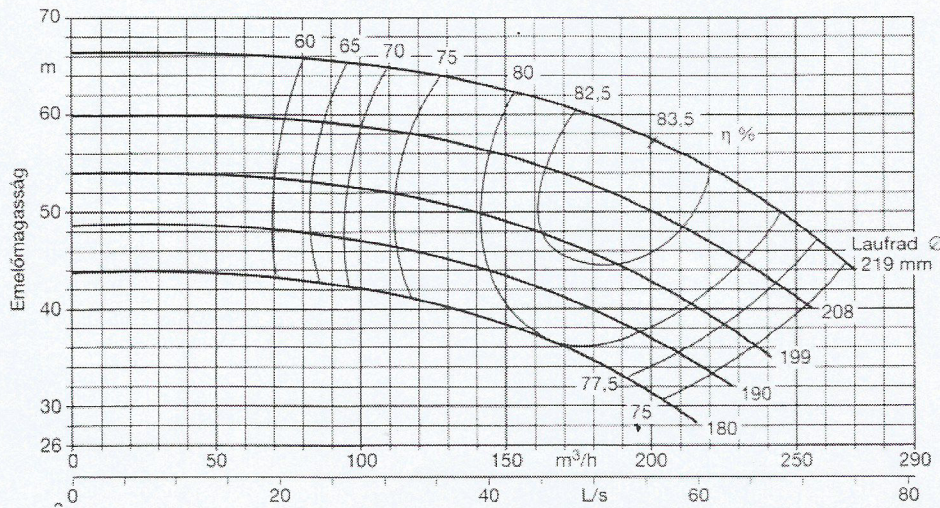


- festék dilúció: a festék koncentrációját méri, nézik hogyan változik
- termodilúció: vérsámla juttatnak hideg folyadékot (vérpótló folyadékot)
- inert gáz belégzése (Ar): tündöke, nem vényomásmérés!
- vérmintából a ~~gáz~~ gáz koncentrációjának változása

- Mérőperem: kis helyigény, utólagosan is beépíthető, hosszú egyenes cső, beszívott levegő mérése, Fleisch-cső

12. Szivattyú jelleggörbék, csővezeték veszteségek, szivattyú választása adott üzemi ponthoz

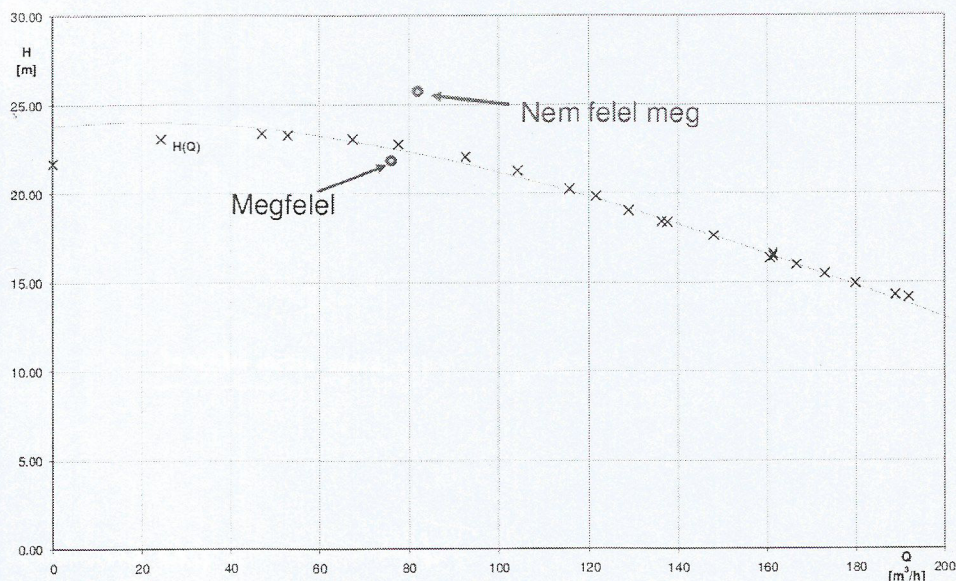
Szivattyú jelleggörbék:



Csővezeték veszteség:

- cső ellenállásából adódó emelőmagasság-vesztés

Szivattyú választása:



13. Akusztika, hang tulajdonságai, akusztika alapegyenlete

Hang tulajdonságai:

- Vívőközeg állapotának elemi ingadozása
- Hullám alakban terjed
- Állapotjellemzők közül nyomásváltozás érzékelhető legjobban pl. mikrofonnal
- Hallásküszöb: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (\pm) } *relatív*
- Fájdalomküszöb: 20 Pa (\pm) } *abszolút*
- Légköri nyomás: 10^5 Pa \leftarrow *abszolút*
- Igen kicsi ingadozások

Akusztika alapegyenlete:

- $p_a = p_0 + p$
- $a = f \cdot \lambda = c$ *terjedési sebesség*

14. Objektív akusztikai mérőszámok, szintek, műveletek szintekkel

Objektív akusztikai mérőszámok:

Hangenergiasűrűség:

Térfogategységre vonatkoztatott energia

$$\overline{E(x)} = \frac{p_{eff}^2}{\rho_1 a_1^2}$$

$$p_{eff}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt$$

Hangteljesítmény:

$$P = A \frac{p_{eff}^2}{\rho a}$$

Intenziás:

Felületegységre vonatkoztatott teljesítmény

$$I = \frac{p_{eff}^2}{\rho a}$$

Szintek, műveletek szintekkel:

Széles tartomány:

Hallásküszöb: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Fájdalomküszöb: 20 Pa

Logaritmikus skála

$$L = 10 \lg \frac{\xi}{\xi_0}$$

Egység: dB - decibell

Teljesítmény:

Csendes beszéd: 10^{-3} W

Rakéta fellövés: $4 \cdot 10^7$ W

$$L_w = 10 \lg \frac{P}{P_0} [dB]$$

Hangteljesítményszint:

$$P_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

Intenzitás szint:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} [dB]$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

15. Szubjektív mérőszámok, eredete, dB(A) fogalma

Szubjektív mérőszámok

- eredete:
 - Emberi hallás bizonyos frekvenciákat jobban hall (fül frekvenciaérzékeny)
- dB(A) fogalma:
 - hozzáillesztjük a zajt (különböző komponensek) az emberi fülhöz