

Labormérések minimumkérdései a BSC képzésben

1. Írja fel az ideális gáz állapotegyenletét a levegő sűrűségének meghatározására! Adja meg az egyenletben szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét!

A levegő sűrűségének meghatározásakor az ideális gáz állapotegyenletét használjuk. Ezt a sűrűsége rendezve kapjuk az általánosan használt összefüggést:

$$\rho = \frac{p_0}{RT}, \text{ ahol:}$$

ρ : levegő sűrűsége [kg/m³]

p_0 : levegő abszolút nyomása [Pa]

R : levegő specifikus gázállandója [J/kg/K];

T : levegő abszolút hőmérséklete [K]

2. Ismertesse a folyadékszint kitérés elvén működő U-csöves manométer! Milyen összefüggéssel határozza meg a folyadékszint kitérésből a nyomáskülönbséget, ha a ρ_m sűrűségű mérőfolyadékkal töltött manométert egy vízszintes csővezeték két pontjára kötjük, amelyben víz áramlik és a két pont között egy pillangószelep nyomáscsökkenést okoz? Adja meg az összefüggésben szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét!

A manométer **U** alakú **üvegcsövében** valamilyen, az áramló folyadékkal (sűrűsége ρ_{ny}) **nem keveredő, de nagyobb sűrűségű mérőfolyadék** (ρ_m) van. Ez leggyakrabban higany (ha víz az áramló folyadék) vagy víz, esetleg alkohol (ha gáznemű az áramló folyadék).

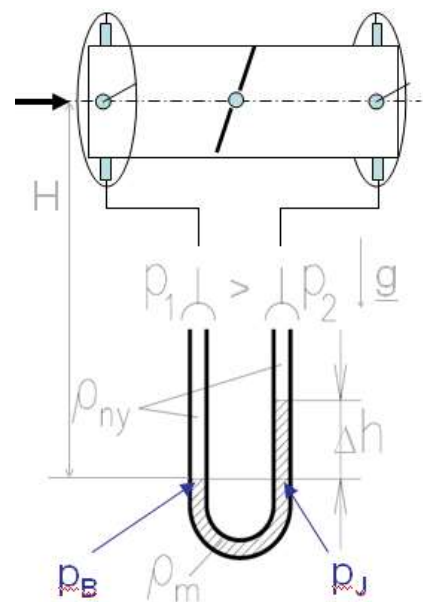
A manométer **egyensúlyi egyenletét az alsó közegváltási szintre** (p_B, p_J) kell felírni, ahol ezek a nyomások megegyeznek:

$$p_B = p_J$$

$$p_1 + \rho_{ny} gH = p_2 + \rho_{ny} g(H - \Delta h) + \rho_m g \Delta h$$

$$p_1 - p_2 = (\rho_m - \rho_{ny}) g \Delta h$$

$$\Delta p = (\rho_m - \rho_{ny}) g \Delta h$$



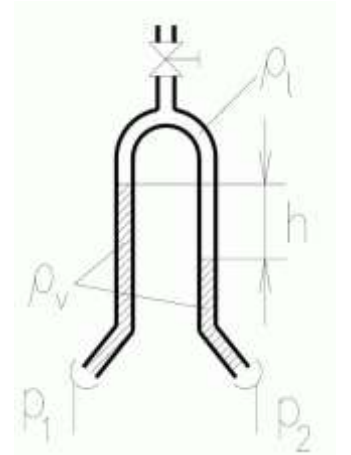
3. Mikor használjuk, és hogyan működik a fordított U csöves manométer? Hogyan kell a manométerben kialakuló felszínek különbségéből nyomáskülönbséget számolni?

Alkalmazása:

Cseppfolyós közeget (víz, olaj) szállító csövekben a **nyomáskülönbség** mérésére használjuk. A fordított U csöves manométer egy **felül zárt cső**, amelyben folyadék felett egy gáz szakasz (általában levegő) kapcsolja össze a két szárban felemelkedő folyadék feletti nyomást. Így mindkét szárban levő folyadék felett azonosnak tekinthető nyomás alakul ki.

Nagy előnye, hogy kisebb nyomáskülönbségeket sokkal **pontosabban lehet vele mérni**, mint például a hagyományos higanytöltésű U csöves manométerrel, így a mérés **relatív hibája jelentősen csökken**.

Mivel az áramló folyadék (legtöbbször víz) és a felül levő gáz (legtöbbször levegő) sűrűsége több nagyságrenddel eltér, jellemzően a nyomáskülönbség számításánál a víz sűrűségét használjuk.



Számítás fordított U csöves manométerrel:

$$\Delta p = (\rho_v - \rho_l) \cdot g \cdot h$$

$$\rho_v \gg \rho_l$$

$$\Delta p = \rho_v \cdot g \cdot h$$

4. Hogyan lehet megmérni csőben áramló közeg statikus nyomását? Milyen összefüggéssel és hogyan indokolható a szükséges kialakítás?

Statikus nyomás mérése során alapkövetelmény, hogy a nyomásmérő furat **NE befolyásolja az áramlást**, például ne görbítse meg az áramvonalakat, így **nem lehet sorjás** a csőfal belseje a furatnál, továbbá a furat belső élét **nem szabad jelentősen letörni**.

Mérés: A cső falán egy 0,5-1 mm furatátmérőjű **nyomáskivezető furatot** készítünk, majd a furat köré „légtömör” módon egy **nyomáskivezető csövet** rögzítünk a cső falának külső felületére a **furat köré**. Erre a kivezető csőre csatlakoztatjuk a **nyomásközvetítő csövet** (pl. szilikoncsövet), ami a furatot összeköti a **nyomásmérő eszközzel**. A csövet az áramló közegnek teljes egészében ki kell töltenie, például víz esetén **nem maradhat légbuborék** a nyomásközvetítő csőben.

Indoklás:

A természetes koordináta rendszerben felírt Euler egyenlet normál irányú komponensegyelete

stacionárius áramlásra a térerő elhanyagolásával: $\frac{v^2}{R} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial n}$ ahol

v: az áramlási sebesség [m/s]

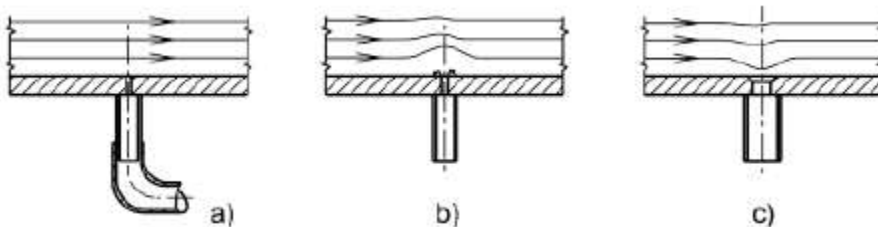
R: az áramvonal görbületi sugara [m]

ρ : levegő sűrűsége [kg/m³]

$\frac{\partial p}{\partial n}$: a nyomásváltozás rohamossága [Pa/m]

Az egyenletből látható, ha görbültek az áramvonalak, nyomásgradiens alakul ki az áramvonalakra merőlegesen, normálirányban. Ha az áramvonalak egyenesek, akkor a görbületi sugár $R = \infty$, tehát az áramvonalakra merőlegesen a nyomásváltozás zérus!

Ezért a megfelelő kialakítás: a), b) esetben alacsonyabb, c) esetben magasabb a nyomás a kivezetésen, mint az áramlásban



5. Ismertesse az EMB-001 kézi digitális nyomásmérő műszert! Adja meg a legfontosabb gombok funkcióját és a nyomáscsatlakozók kiosztását!

A nyomásmérő eszköz egy **kétcsatornás**, piezoelektromos elven működő, **digitális nyomásmérő eszköz**, amely **két nagy érzékenységű beépített nyomástávadót** tartalmaz. **Az eszköz $\Delta p = \pm 1250 \text{ Pa}$ tartományon belül 2 Pa pontossággal képes a nyomást mérni.** A műszerrel lehetőség van a **mért értékek folyamatos számítógépes rögzítésére** USB porton keresztül.

A kijelző felett jobb oldali csatlakozókon az 1-es csatorna, a bal oldali csatlakozókon a 2-es csatorna mér. Ha a légköri nyomáshoz képest mérünk, a kijelzőhöz közelebbi (felső) csatlakozókra a túlnyomást, az alsó csatlakozókra a depressziót kell kötni, ahhoz, hogy pozitív értékek jelenjenek meg a kijelzőn.

Fontosabb nyomógombfunkciók:

I/O: KI/BE kapcsolás

0 Pa: nullázás, nulla nyomáskülönbség megadása

CH I/II: csatornaváltó. A kijelző jobb oldalán levő szám jelöli a mért csatornát

Fast/Slow: átlagolási idő változtatása. A kijelző jobb oldalán levő betű jelöli az átlagolási időt (**F**ast/**M**edium/**S**low)

A mérési tartomány: $\Delta p = \pm 1250 \text{ Pa}$

A mérési hiba: $\delta \Delta p = 2 \text{ Pa}$



6. Ismertesse a statikus-, dinamikus- és össznyomás fogalmát (ahol van ilyen, a leíró összefüggést, az abban szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét), valamint mérésük módját!

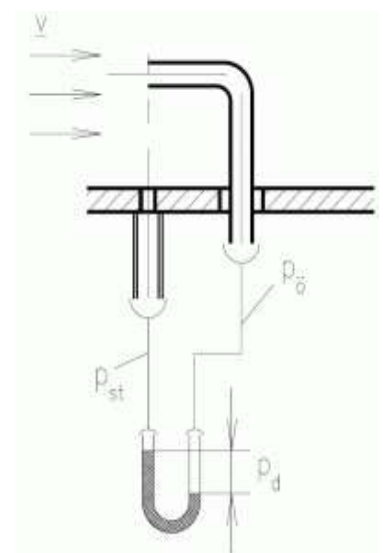
Statikus nyomás: a zavartalanul áramló közegben uralkodó nyomás, jelölése: p_∞ p_{st} [Pa]

Össznyomás: a torlóponti nyomás (a megállított közeg nyomása), jelölése: p_0 vagy p_t , [Pa]

Dinamikus nyomás: a közeg mozgási energiájával arányos nyomás, az előbbi kettő különbsége, jelölése: $p_d = \frac{\rho}{2} v_\infty^2$, ahol v_∞ a zavartalanul áramló közeg sebessége, ρ pedig a sűrűsége, [Pa]

Statikus nyomást **statikus nyomásmérő furat** segítségével, össznyomást **Pitot-csővel**, dinamikus nyomást pedig a **kettő különbségeként** mérünk. Ebben az esetben alapkövetelmény, hogy a nyomás az áramlási irányra merőlegesen ne változzon, **az áramvonalak nem lehetnek görbültek**. Ellenkező esetben **Prandtl-csővet** kell használni.

$$p_\infty + \frac{\rho}{2} v_\infty^2 = p_t = p_0$$

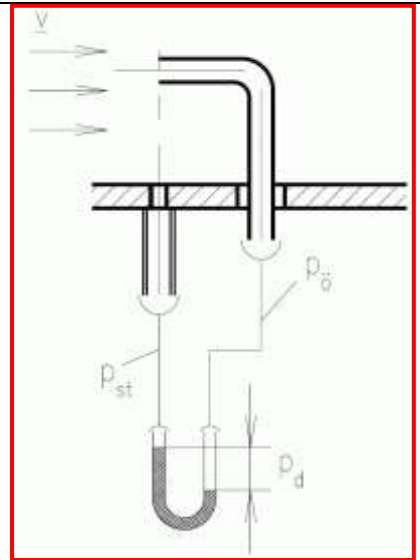


7. Ismertesse a Pitot-csőes sebességmérés módját, magyarázatát szemléltesse vázlatrajzzal!

A Pitot-cső tulajdonképpen egy áramlással szembe fordított cső, amellyel a megállított közeg nyomását (**össznyomás**) lehet mérni, ha megakadályozzuk, hogy a Pitot-csőben áramlás alakuljon ki (pl. lezárjuk a végét egy nyomásmérővel). Amennyiben a vizsgált áramlásban az áramvonalak **egyenesek, párhuzamosak**, mérni tudjuk a **statikus nyomást** a falon egy **nyomásmérő furat segítségével**. Az **össznyomás** és a **statikus nyomás** különbségeként adódik a **dinamikus nyomás**, amelyből a közeg sűrűségének az ismeretében az áramlási sebesség meghatározható:

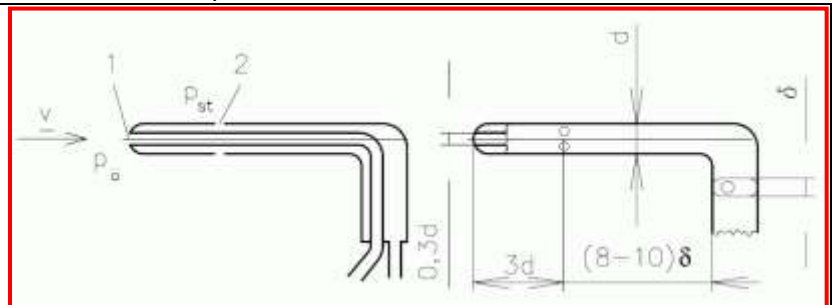
$$p_{\text{din}} = p_{\text{ö}} - p_{\text{st}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\text{din}}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$



8. Ismertesse a Prandtl-csőes sebességmérés módját! Magyarázatát szemléltesse vázlatrajzzal! Milyen többlet képessége van a Prandtl-csőnek a Pitot-csőhöz képest?

A Prandtl-cső két, egymásba épített csőből áll. A **belső (Pitot) cső** segítségével mérhető az **össznyomás a torlópontban**. A **külső, köpenycsővön** a Prandtl-cső orrától meghatározott távolságban elhelyezett **statikus nyomást mérő furatok** találhatóak, innen vezeti a köpenycső a statikus nyomást a csatlakozóhoz. A cső másik végén lévő kivezetéseket egy manométer kivezetéseire csatlakoztatva mérhetjük az **össznyomást**, a **statikus nyomást** vagy ezek különbségeként a **dinamikus nyomást**. A **dinamikus nyomásból** az áramló közeg **sűrűségének** ismeretében **áramlási sebesség** számítható. A Prandtl-cső előnye a Pitot-csőhöz képest, hogy **görbült áramvonalak** esetén is alkalmazható, mivel méri a **lokális statikus nyomást**.

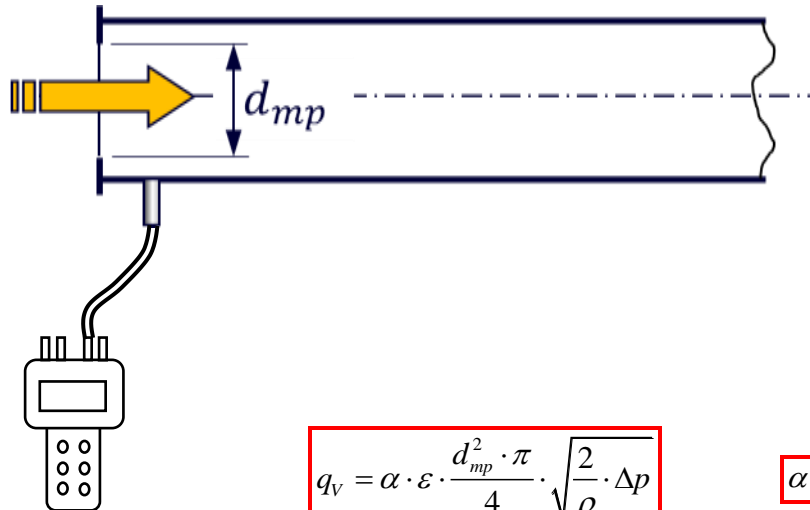


$$p_{\text{din}} = p_{\text{ö}} - p_{\text{st}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\text{din}}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

9. Vázlattal ismertesse a beszívómérőperemmel történő térfogatáram mérés elrendezését: a beszívómérőperem, a nyomáskivezetés helye, a nyomásmérő eszköz bekötése a nagyobb és kisebb nyomás megjelölésével. Írja fel a mérőperemmel történő térfogatáram meghatározására használt összefüggést és adja meg az ebben szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét. Magyarázatában térjen ki az átfolyási szám és az expanziós szám értékére!

A csővezeték belépő végére egy **belül élesperemű furattal** rendelkező **lemez** csatlakozik **légtömőren**. A lemez belső furatának átmérője kisebb, mint a csatlakozó cső belső átmérője. Közvetlenül a lemez után **statikus nyomásmérő** furatot kell kialakítani. A térfogatáram-mérés során a beszívó mérőperem után mérhető nyomást a **légköri nyomáshoz** kell viszonyítani (Δp)! Mivel a beszívómérőperem a nyugvó térből szívja a levegőt, a statikus nyomásmérő furaton a légkörinél kisebb nyomásra kell számítani!

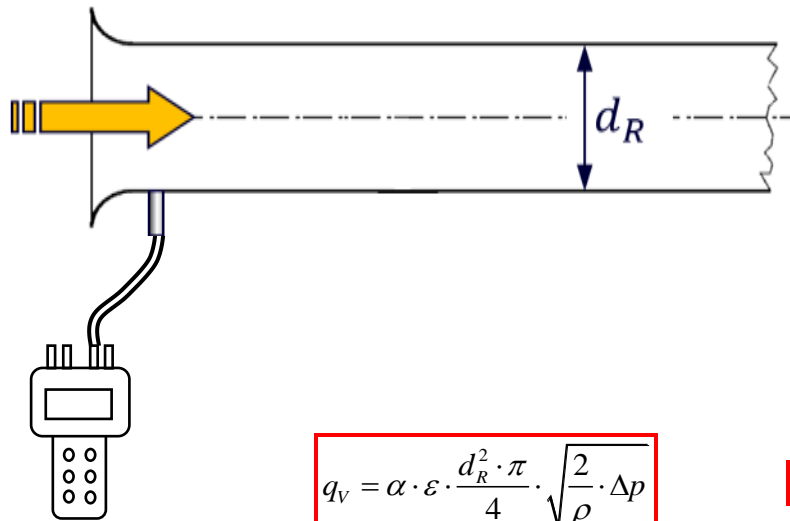


- q_v : térfogatáram, [m³/s]
 α : átfolyási szám, [-]
 ϵ : expanziós szám, [-]
 d_{mp} : a legszűkebb keresztmetszet átmérője, [m]
 Δp : a manométer által mért nyomáskülönbség, [Pa]
 ρ : az áramló közeg sűrűsége, [kg / m³]

Az expanziós szám 1 értékűnek vehető, amíg a nyomás változása 5000 Pa alatti.

10. Vázlattal ismertesse a beszívóelemmel történő térfogatáram mérés elrendezését: a beszívóelem, a nyomáskivezetés helye, a nyomásmérő eszköz bekötése a nagyobb és kisebb nyomás megjelölésével. Írja fel a beszívó elemmel történő térfogatáram meghatározására használt összefüggést és adja meg az ebben szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét. Magyarozatában térjen ki a beáramlási tényező és az expanziós szám értékére!

A csővezeték belépő végére **lekerekített, áramvonalas** kialakítású, jellemzően **minimális** áramlási zavarást okozó elem, a beszívó elem kerül beépítésre. A beszívó elem után, az **állandó átmérőjű** csőszakaszon kerül kialakításra a **statikus nyomásmérő** furat. A térfogatáram-mérés során a beszívóelem statikus furatának nyomását a légköri nyomáshoz kell hasonlítani (Δp)! Mivel a beszívó elem a nyugvó térből szívja a levegőt, a statikus nyomásmérő furaton a légkörinél kisebb nyomásra kell számítani!



$$q_v = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \frac{d_R^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}$$

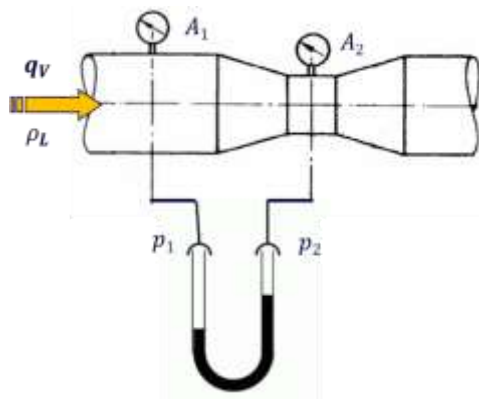
$$\alpha \approx 1$$

- q_v : térfogatáram, [m³/s]
 α : beáramlási tényező, [-]
 ε : expanziós szám, [-]
 d_R : a csatlakozó cső belső átmérője, [m]
 Δp : a manométer által mért nyomáskülönbség, [Pa]
 ρ : az áramló közeg sűrűsége, [kg / m³]

Az expanziós szám 1 értékűnek vehető, amíg a nyomás változása 5000 Pa alatti.

11. Vázlattal ismertesse a Venturi-csővel történő térfogatáram mérés elrendezését: a Venturi-cső, a nyomáskivezetések helyei, a nyomásmérő eszköz bekötése a nagyobb és kisebb nyomás megjelölésével. Írja fel a Venturi-csővel történő térfogatáram meghatározására használt összefüggést és adja meg az ebben szereplő mennyiségek jelentését és mértékegységét!

A Venturi-cső egy konfúzorból és egy diffúzorból áll, amely felgyorsítja, majd visszalassítja a közeg áramlását. A felgyorsulás következtében a Bernoulli egyenlet értelmében a közeg nyomása lecsökken, amely nyomáscsökkenésnek a mértéke a Bernoulli egyenlet segítségével kifejezhető. A térfogatáram mérés során a konfúzoros szakaszon kialakuló nyomáscsökkenést mérjük, mivel itt jellemzően nem lép fel jelentősebb áramlási veszteség.



Kontinuitás:

$$q_v = v_1 \cdot \frac{D_1^2 \cdot \pi}{4} = v_2 \cdot \frac{D_2^2 \cdot \pi}{4} \quad \text{ha } \rho = \text{áll.}$$

Bernoulli-egyenlet

$$p_1 + \frac{\rho}{2} \cdot v_1^2 + \rho \cdot U_1 = p_2 + \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 + \rho \cdot U_2 \quad \text{ha veszteségmentes az áramlás}$$

Ebből a térfogatáram:

$$q_v = \frac{D_1^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\frac{\rho}{2} \cdot \left[\left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right]}} = A_1 \cdot v_1$$

q_v : térfogatáram, [q_v] = m³/s

$D_{1,2}$: 1: csőátmérő, 2: legszűkebb átmérő [m]

$v_{1,2}$: 1: sebesség a csőben, 2: sebesség a legszűkebb átmérőn [m/s]

Δp : a manométer által mért nyomáskülönbség [Pa]

ρ : az áramló közeg sűrűsége [kg / m³]

12. Hasonlítsa össze előnyös és hátrányos tulajdonságaik alapján a sebességmérésen alapuló és a mérőperemes térfogatáram mérési módszereket!

SZEMPONT	SZŰKÍTŐELEMES	SEBESSÉGMÉRÉSEN ALAP.
1/ Beavatkozás a rendszerbe	<p>“ - ”</p> <p>Veszteségek ⇒ az üzem-állapot módosulhat ⇔ eleve betervezni a rendszerbe</p>	<p>“ + ”</p> <p>Elhanyagolható (fali furatok)</p>
2/ Időben változó üzemállapot követése	<p>“ + ”</p> <p>Folyamatosan leköveti</p>	<p>“ - ”</p> <p>Nem követi (felületen összegez) (⇔ korrekció..?)</p>
3/ Előírások, követelmények	<p>“ - ”</p> <p>Szigorúak (gyártás, beépítés, a rendszer leállítása...)</p>	<p>“ + ”</p> <p>Mérsékelt (nincsenek előírások, csak ajánlások; folyamatos rendszerüzem...)</p>
4/ Költségek	<p>“ - ”</p> <p>Magasak (gyártás, beépítés; üzemeltetés: a veszteségek fedezése)</p>	<p>“ + ”</p> <p>Mérsékelték</p>
5/ Pontosság	<p>“ + ”</p> <p>Fokozott (mérsékelt, szabványban szavatolt bizonytalanság) Jogilag <u>védhető!</u></p>	<p>“ - ”</p> <p>Mérsékelt (a bizonytalanság mértéke nem szavatolt) Jogilag <u>támadható!</u></p>

13. Ismertesse a relatív és abszolút hiba fogalmát! Hogyan határozza meg egy több mért adatból számolt mennyiség mérésének relatív hibáját?

A mérnöki gyakorlatban a mért mennyiségek minden esetben mérési hibával terheltek. A mérés pontosságának, a mért adatok megbízhatóságának számszerű jellemzésére hibaszámítást kell végeznünk. Jelölje X a mért mennyiséget, valamint δX a mért mennyiséghez tartozó mérési hibát (pontatlanságot). A mért eredmények helyes megadási formája a következő:

$$X \pm \delta X$$

ahol δX az X mennyiség abszolút hibája, a

$$\frac{\delta X}{X}$$

hányados pedig a relatív hiba (amelyet %-os formában szokásos megadni).

Az esetek döntő többségében a mérési hibát a mérőeszközök pontatlan leolvasása okozza. A leolvasási hiba jó közelítéssel az adott műszer skálaosztásának felel meg, pl. manométernél a mérőfolyadék kitérését a mérőműszer [mm] skáláján olvassuk le, itt a folyadékoszlop-kitérés leolvasási hibája 1mm. Egy több mért adatból számolt mennyiség mérési hibája a mért mennyiségek hibájából adódik össze, a hiba összegződésével számolt abszolút hiba a következő összefüggéssel számolható:

$$\delta R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial R}{\partial X_i} \right)^2}$$

ahol:

R a mért adatokból számított mennyiség,

X_i az n darab mért mennyiség i -edik eleme

δX_i a mért mennyiség abszolút hibája

δR a mért adatokból számított mennyiség abszolút hibája

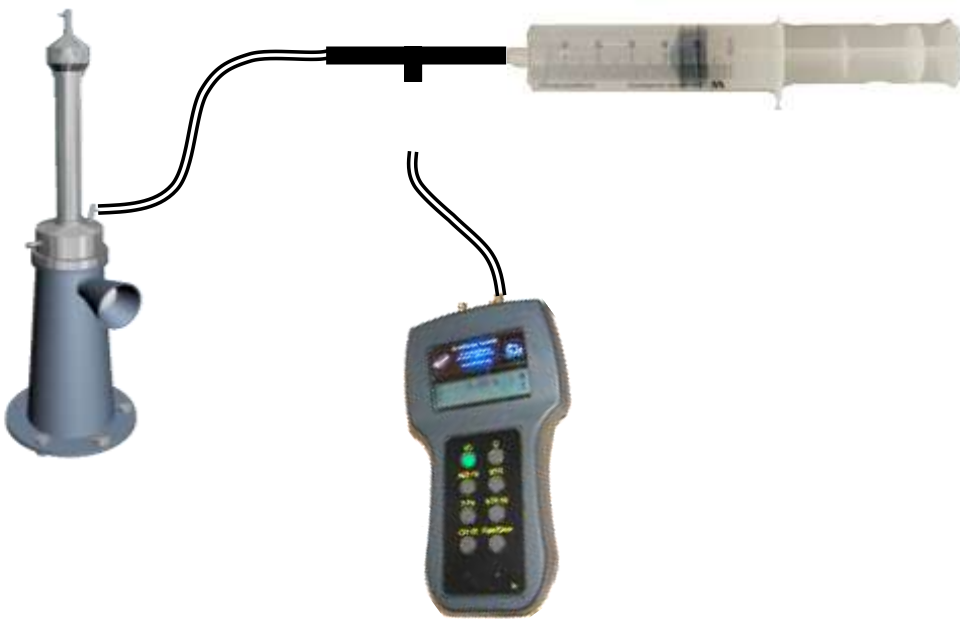
14. Ismertesse a kalibráció célját, menetét és eredményét! Mutasson be példát kalibráció alkalmazására!

A mérnöki gyakorlatban gyakran előforduló feladat, hogy egy pontatlanabb, nem szabványos eszközt, egy pontosabb, szabványosított eszközzel mérésre alkalmassá tesszük. A kalibráció során egy **fizikai mennyiséget több állapotban**, de fontos, hogy **egyszerre** megmérünk a pontatlanabb és a pontos eszközzel. Ezt követően **összefüggést** állítunk fel, amely megadja, hogy a pontatlanabb eszközzel meghatározott értéket a pontosabb eszközzel milyen értékűre mértünk volna (**kalibrációs egyenlet**).

Példa: Az EMB-001 digitális nyomásmérő kalibrációja Betz-manométer segítségével

A **Betz-manométer** és a **digitális nyomásmérő túlnyomás** mérésére szolgáló ágat egy **T idom** és **szilikoncsővek** segítségével egy **injekciós fecskendőhöz** kapcsolunk. Az injekciós fecskendő benyomásával-kihúzásával **túlnyomást/depressziót** (légköri nyomás alatti nyomást) állítunk elő, amit egyidejűleg a **Betz manométerrel** és a **digitális nyomásmérővel** is megmérünk több pontban. A digitális nyomásmérővel mért nyomás (x tengely) függvényében ábrázolva a Betz manométeren mért nyomás értékeket (z tengely) megkapjuk a **kalibrációs diagrammot**. A mérési pontokra **regressziós egyenest (lineáris trendvonal)** illesztve meghatározható az az egyenlet, amely segítségével a digitális nyomásmérőn mért nyomásértékből (pontatlanabb mérés) egy pontosabb eszközzel (Betz manométer) mért nyomást határozhatunk meg.

Elrendezés:



Eredmény

