5. MÉRÉS

NYOMÁSMÉRÉS

1. A mérés célja

- A nyomásmérő eszközök áttekintése.
- Nyomásmérés U-csöves és Bourdon csöves manométerrel. Adott mérőberendezés csővezetékének két helyén uralkodó abszolút és relatív nyomás (p_n és p_s) meghatározása.
- Az átáramló közeg térfogatáramának mérése köbözéssel és mérőperemmel.
- Egy Bourdon csöves manométer kalibrálása.

2. A nyomásmérő eszközök áttekintése

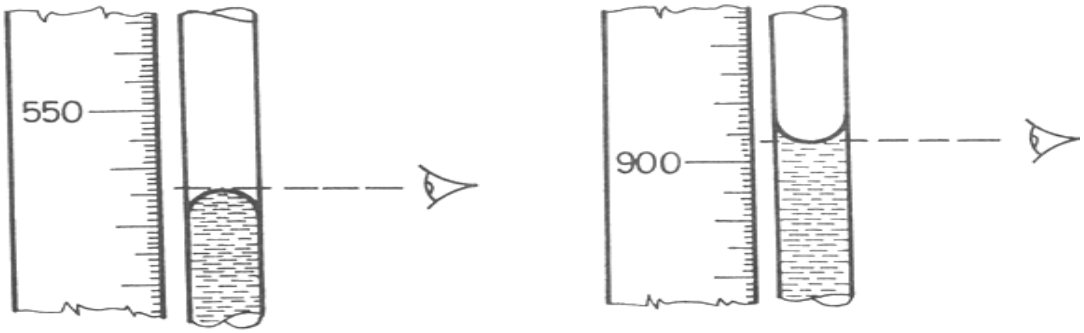
2.1 Folyadékos nyomásmérők

A legegyszerűbb nyomásmérő műszerek az **U-csöves manométer**ek. Az **1. ábrán** három U-csöves manométer látható egy vizet szállító csővezeték különböző pontjaira kötve. A **mérőfolyadék** higany, vagy egyéb, a munkafolyadéktól eltérő sűrűségű folyadék, amely terheletlen állapotban a közlekedő edények törvénye értelmében mindkét ágban azonos magasságban helyezkedik el. A szintkülönbség leolvasásához milliméter beosztású fém, vagy üveg **skálát** használnak.

1. ábra U-csöves manométerek

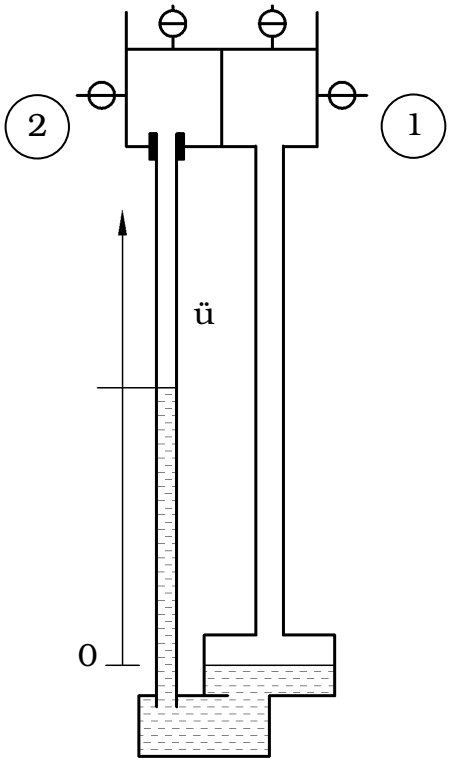
A leolvasás a szint magasságában, a meniszkusz (a görbült folyadékfelszín) vízszintes érintősíkjában történik **(2. ábra).** A vízszintes síkban történő leolvasást az üvegcső mögé helyezett tükörrel is segíthetjük.

Nem nedvesítő mérőfolyadék Nedvesítő mérőfolyadék



h=536 mm *h*=904 mm

2. ábra



3. ábra

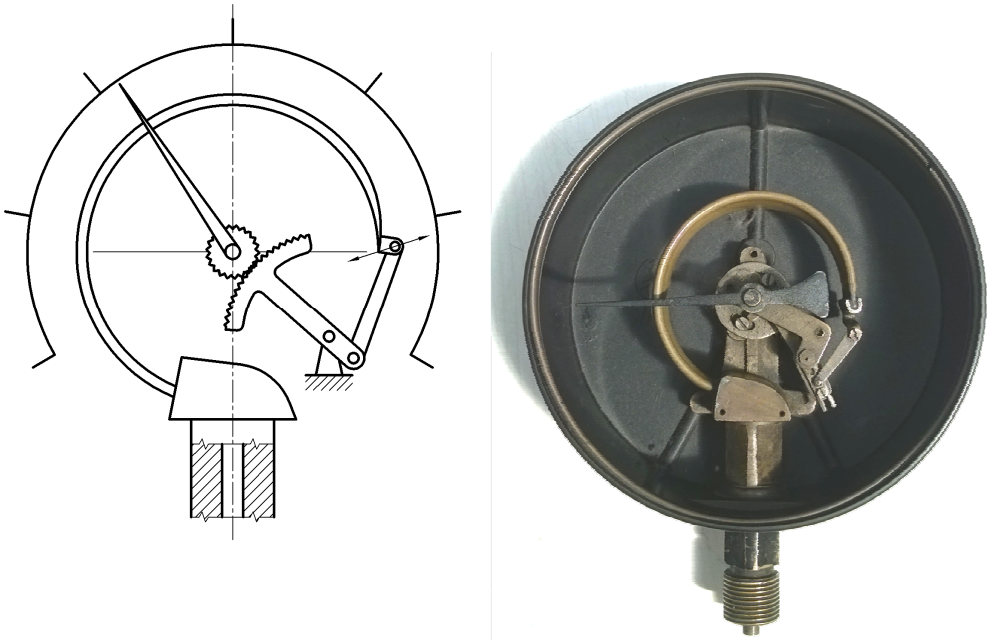
A folyadékos manométerek használatakor gondoskodnunk kell arról, hogy a manométer bekötővezetékeit az általunk kívánt **nyomásközvetítő közeg** töltse ki. Ez sokszor maga az a közeg, amelynek nyomását mérjük. E közvetítő közeggel a bekötővezeték legmagasabb pontján elhelyezett **légtelenítő csap,** ill. **szelep** segítségével tudjuk feltölteni a rendszert (lásd az 1. ábra tetején látható gömbcsapokat).
Az U-csöves manométerek alaptípusainál a szintkülönbség méréséhez két leolvasást kell elvégezni. A **3. ábrán** látható **egycsöves higanyos manométer**nél a higanytartály keresztmetszete lényegesen nagyobb, mint az „ü” jelű üvegcsőé. Ha az 1. pontot nagyobb nyomású térhez csatlakoztatjuk, mint a 2. pontot, az üvegcsőben úgy emelkedik a higanyszint, hogy közben a teljes higanytérfogat változatlansága miatt a tartály felszíne gyakorlatilag a skála 0 szintjében marad.
Hasonló kialakítású a légköri nyomás mérésére szolgáló **barométer** is. Az 1-es csatlakozó ekkor a szabadba (p_0) nyílik, a 2. jelű csatlakozó helyén az üvegcső zárt, a higanyoszlop felett vákuum van. A leolvasást tükörrel és a meniszkusz érintősíkjának beállítására szolgáló, mozgatható ütközővel könnyíthetjük.

2.2 Fémmanométerek

4. ábra

Üzemi viszonyok között közvetlenül leolvasható, számlapos műszereket használnak. A **Bourdon** [burdon] **csöves (dobozos) manométer (4. ábra)** egyik végén zárt, másik végével a nyomótérhez csatlakozó görbe csőrugó, amelynek görbülete a belső pozitív túlnyomás hatására csökken, belső szívás hatására pedig növekszik. E műszer mind pozitív túlnyomás, mind vákuum mérésére használható. Előbbi esetben a számlapot általában **bar** túlnyomásra, utóbbi esetben a negatív túlnyomással arányos %-ra rajzolják.

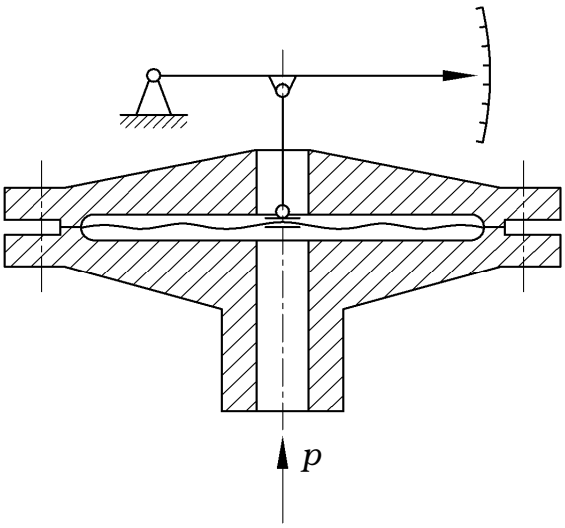
A csőrugó végének elmozdulását az **5. ábrán** látható módon vihetjük át a mutató tengelyére.



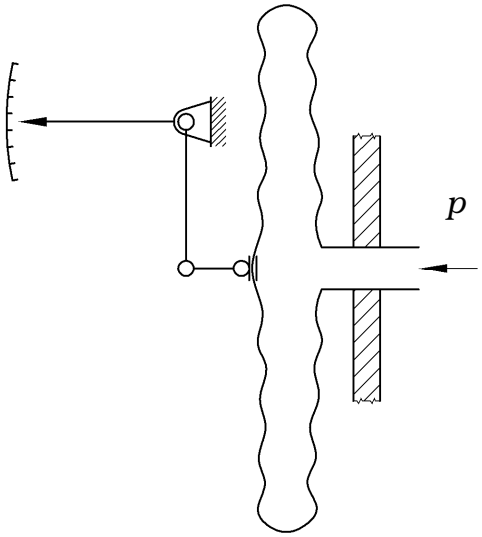
5. ábra

2.2 Egyéb nyomásmérők

A **membrános nyomásmérő**k működési elve az, hogy a membrán kitérése, illetve alakváltozása és a változást előidéző ***p*** nyomás között valamilyen összefüggés van. A **6. ábrán síkmembrán, a 7. ábrán szelencemembrán** látható. Korszerű nyomásmérő műszereknél a membrán kitérését ill. deformációját **villamos jellé** alakítják.



6. ábra



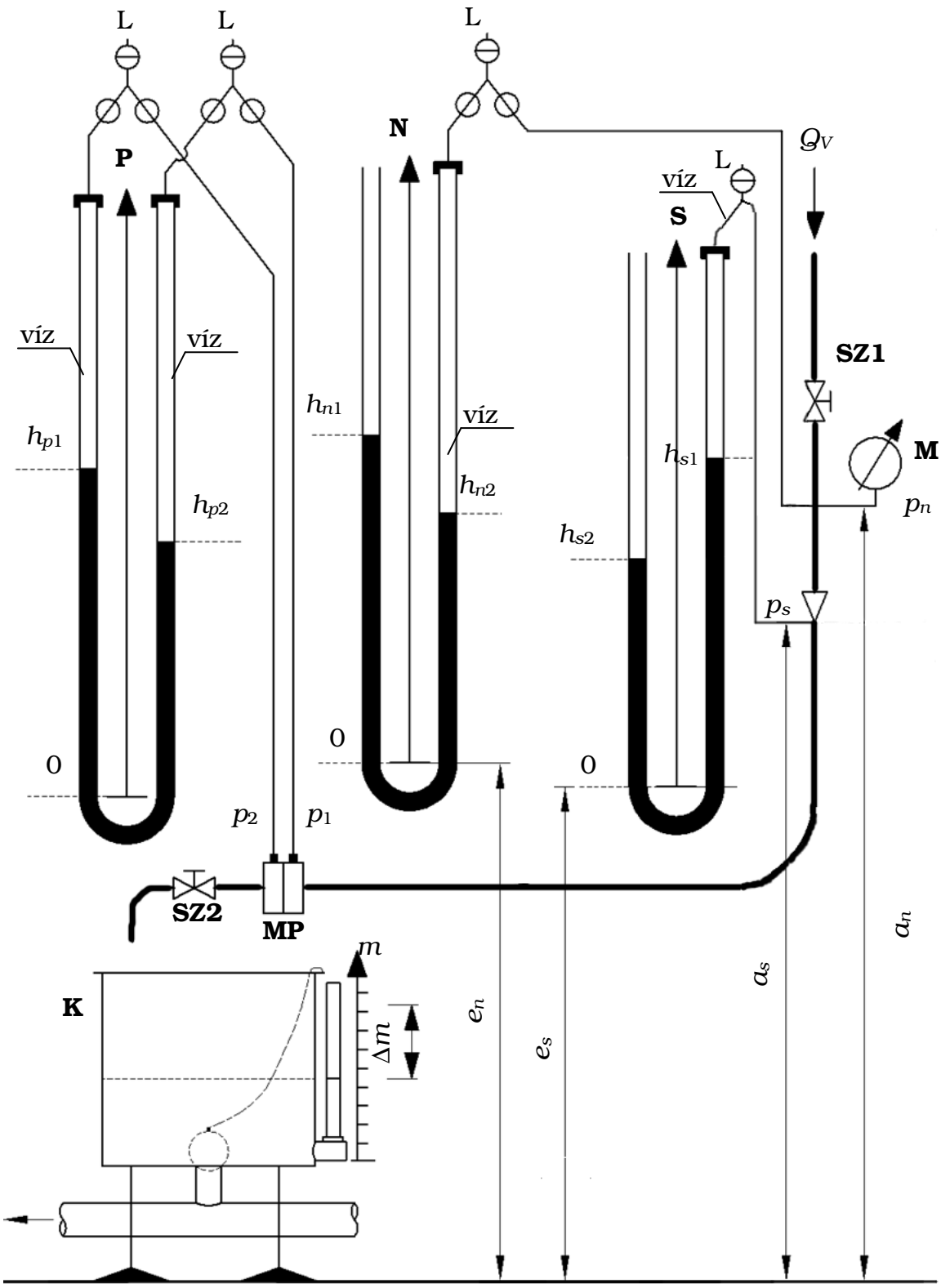
7. ábra

3. A mérési gyakorlat

3.1. feladat: a **8. ábrán** látható berendezésen egy bizonyos Q_V térfogatáram esetén a csővezetékben a vázlat szerinti helyeken uralkodó ***p_n* és *p_s* nyomás meghatározása.** Erre szolgál az N, ill. S jelű U-csöves higanyos manométer. A p_n túlnyomást az M jelű Bourdon-csöves manométer is mutatja (p_{nM}).

3.2. feladat: Q_V meghatározása mind köbözéssel ($Q_{köböz}$), mind a beépített mérőperem segítségével (Q_{perem}), amelyhez a P jelű U-csöves higanyos manométer csatlakozik.

3.3. feladat: egy Bourdon csöves manométer kalibrálása.


L
L
L
L
P
N
S
víz
víz
víz
víz
Q_V
SZ1
M
h_{p1}
h_{p2}
h_{n1}
h_{n2}
h_{s1}
h_{s2}
p_n
p_s
0
0
0
p_2
p_1
SZ2
MP
m
K
Δm
e_n
e_s
a_s
a_n

8. ábra

3.1. Nyomásmérés U-csöves és Bourdon csöves manométer segítségével

A Q_V térfogatáram szabályozására, azaz minden hallgató számára új mérési állapot beállítására az SZ1 szelep szolgál. A p_n nyomás a kifolyásig még hátralévő csőszakasz ellenállásának megfelelően nagyobb a légköri nyomásnál. Itt tehát **pozitív túlnyomást** mérhetünk. A p_s nyomás kisebb, mint a légköri, mert itt egy fúvókát (áramvonalas szűkületet) építettünk be, amelyből a folyadék nagyobb sebességgel lép ki, és ez helyi nyomáscsökkenést eredményez. Itt tehát **negatív túlnyomást** mérhetünk. Az SZ2 szelep enyhe zárásával elérhető, hogy a p_s nyomás is nagyobb legyen a légkörinél. Ez a szelep biztosítja tehát mind a négy bekötővezeték légteleníthetőségét. A mérések során azonban nyitva tartandó.
A **kiértékelés során** szükségünk lesz a légköri nyomás értékére is. A ***p_0 légköri nyomást*** a mérőcsarnokban rendelkezésre álló digitális barométerről olvashatjuk le *mbar* mértékegységben. A *Pa*-ra átszámított p_0 légköri nyomást, valamint a helyszínen lemérendő a_n, a_s, e_n, e_s magasságokat mint **"egyszer mért mennyiségeket"** adjuk meg. Adottnak tekinthetjük a víz és a higany sűrűségét ρ_V=1000 kg/m^3, ρ_{Hg}=13600 kg/m^3. Ezek után felírhatjuk a manométer egyensúlyi egyenleteket, amelyekből a feltételezett leolvasásos és az előbbi adatok birtokában p_n és p_s keresett nyomás kiszámítható. Rendezze az egyenleteket, és végezze el a behelyettesítéseket!

Az N jelű manométer egyensúlyi egyenlete:

$$p_0 + (h_{n1} - h_{n2})\rho_{Hg} g = p_n + [a_n - (e_n + h_{n2})]\rho_V g \qquad \Rightarrow p_n = \ldots$$

Az S jelű manométer egyensúlyi egyenlete:

$$p_0 = p_s - (e_s + h_{s1} - a_s)\rho_V g + (h_{s1} - h_{s2})\rho_{Hg} g \qquad \Rightarrow p_s = \ldots$$

A fenti egyenletekben az 1 index mindig a nagyobb, a 2 a kisebb magasságra utal **(v. ö. 8. ábra)**. A manométereken kerek **mm**-eket olvasunk le, de az egyenletek numerikus megoldása során **méterben helyettesítünk be**!

A kiindulási adatokat és az eredményeket táblázatos formában is adjuk meg! A p_{nM} a Bourdon-csöves manométerről közvetlenül leolvasott túlnyomás bar-ban.

A p_n nyomás meghatározása:

Egyszer mért mennyiségek:

a_n = e_n =

Adott:

ρ_V = p_0 = ... mbar = ... Pa

ρ_{Hg} =

A mérési adatokat az alábbi táblázatban rögzítjük:

h_{n1}	h_{n2}	h_{n1}-h_{n2}	p_{nM}	p_n **abszolút nyomás**		p_n **túlnyomás**	
[mm]	[mm]	[m]	[bar]	[Pa]	[bar]	[Pa]	[bar]

A p_S nyomás meghatározása:

Egyszer mért mennyiségek:

a_s = e_s =

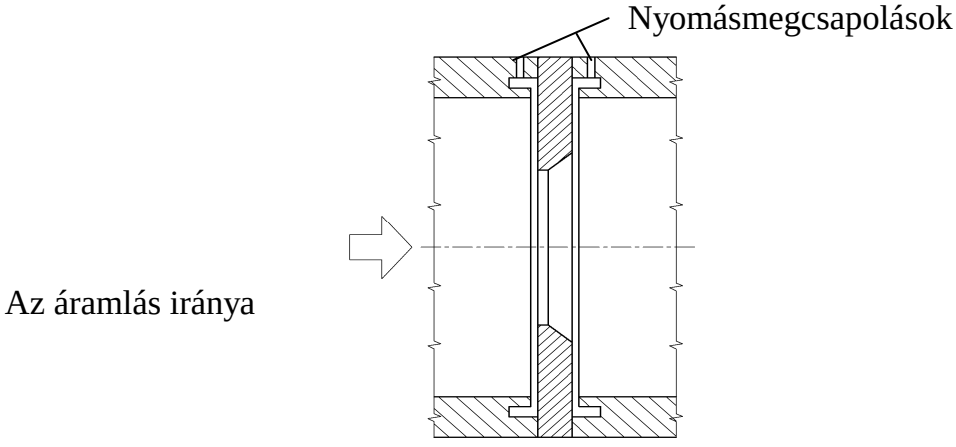
A mérési adatokat az alábbi táblázatban rögzítjük:

h_{s1}	h_{s2}	h_{s1}-h_{s2}	p_s **abszolút nyomás**		p_s **túlnyomás**	
[mm]	[mm]	[m]	[Pa]	[bar]	[Pa]	[bar]

3.2. Az átáramló közeg térfogatáramának mérése köbözéssel és mérőperemmel.

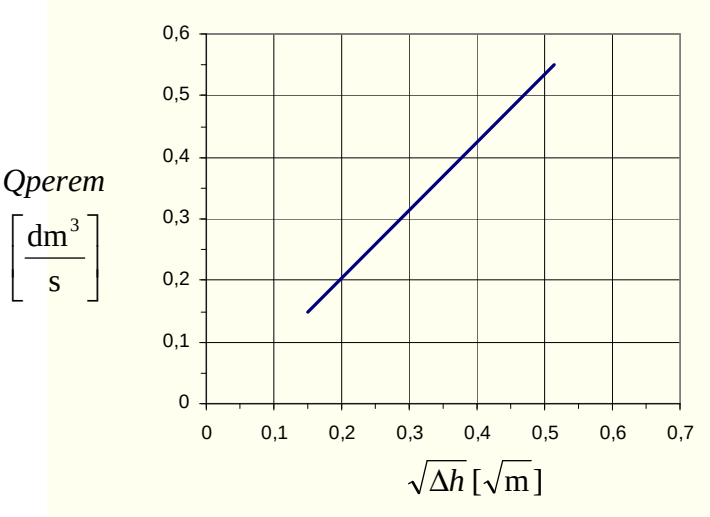
A térfogatáram egy valamilyen felületen egységnyi idő alatt átáramló folyadéktérfogat, mértékegysége m^3/s. A műszaki életben gyakori feladat, hogy egy csővezetékben áramló közeg térfogatáramát kell meghatároznunk, azaz a csővezeték keresztmetszetén egységnyi idő alatt átáramló közeg térfogatát.

A **mérőperem** a **9. ábrán** látható szűkület. A folyadék a szűkületben nagyobb sebességgel áramlik, ezért nyomása – a Bernoulli egyenlet szerint - lecsökken. A perem előtti és mögötti megcsapolás között jól mérhető nyomáskülönbség keletkezik. Ennek a nyomáskülönbségnek a négyzetgyökével egyenesen arányos az időegységenként átfolyó mennyiség. (A levezetés nagyon hasonlít a Venturi cső egyenletéhez.)



9. ábra

A **10. ábrán** a 8. ábrán MP-vel jelölt mérőperem diagramja látható. Az abszcisszán nem a nyomáskülönbség, hanem az azzal arányos, **a P jelű manométeren leolvasható** szintkülönbség ($\Delta h=hp_1-hp_2$) méterben megadott négyzetgyökét vittük fel, így a vízáram (Q_{perem}) közvetlenül a manométer-leolvasások után adódik:



10. ábra

$$Q_{perem}\ [dm^3/s] = 1{,}11\sqrt{\Delta h}\ \ [\sqrt{m}\,] - 0{,}0186$$

Ezt a vízáramot a K köbözőtartállyal is mérjük. A **köbözés** csak akkor használható, ha a rendszer nyitott, vagy megszakítható. Ismert keresztmetszetű tartályban **(8. ábra: K)** mérjük egy tetszés szerinti szintemelkedés idejét. A szintemelkedést a tartályhoz kötött, a közlekedőedények törvénye alapján működő üvegcsőben figyeljük. Az üvegcső mellé skálát helyezünk. Az időmérésre stopperóra szolgál. A folyadékáram:

$$Q_{köböz} = \alpha \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad \left[\frac{\mathrm{dm}^3}{\mathrm{s}}\right],$$

ahol α [dm³/mm] tartályállandó, az 1 mm magas tartályszelet térfogata,

Δm [*mm*] a mért szintemelkedés,

Δt [s] a szintemelkedés ideje.

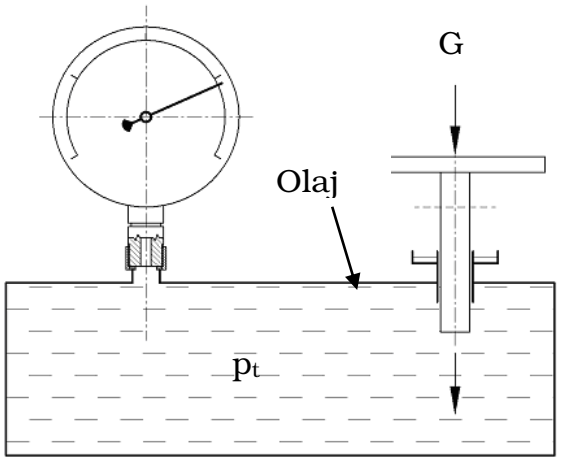
A köbözés során egyszerre kell figyelni a szintemelkedést és kezelni a stopperórát, ezért célszerű csak az előbbit nézni és **az órát kerek szintértékeknél** (pl.: egész *cm* osztásnál) **indítani, illetve megállítani,** és a stopper által mért időt **tized, század *sec* értékkel** együtt leolvasni**.** A véletlen hiba csökkentése érdekében lehetőleg **ne mérjünk 30 másodpercnél rövidebb ideig**! (Itt min. *Δm=100 mm* emelkedés idejét mérjük!)

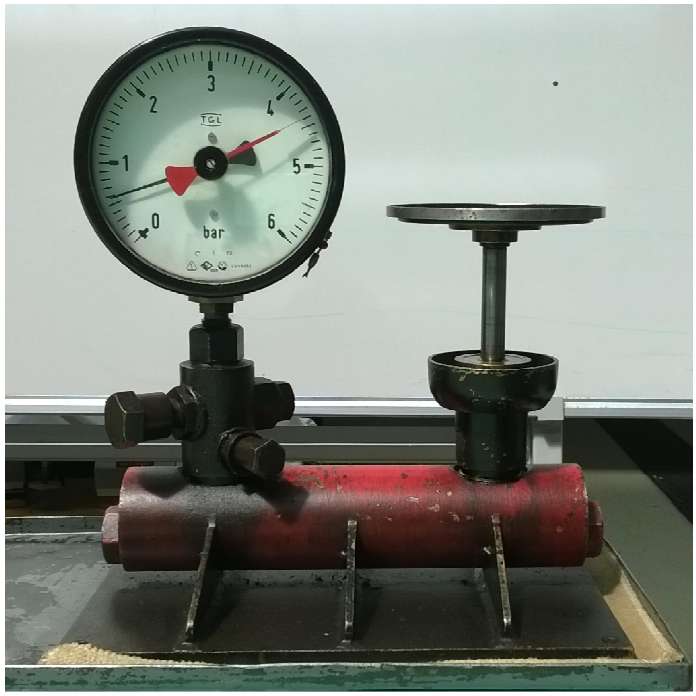
A mérési adatokat az alábbi táblázatban rögzítjük:

h_{p1}	h_{p2}	h_{p1}-h_{p2}	Q_{perem}	α	Δm	Δt	$Q_{köböz}$
[mm]	[mm]	[m]	[dm³/s]	[dm³/mm]	[mm]	[s]	[dm³/s]

3.3. Egy Bourdon csöves manométer kalibrálása

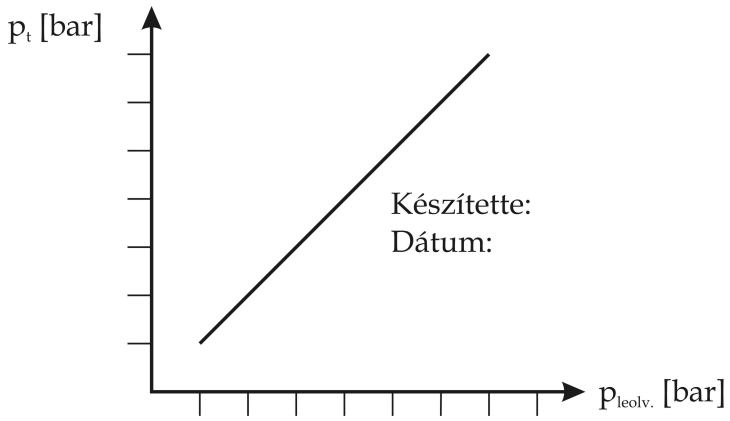
Kalibrálás során egy mérőeszköz által mutatott értéket valós fizikai mennyiséggel hasonlítjuk össze.
Mivel a fémmanométerek közvetett úton, deformáció elvén működnek, használat előtt rendszeresen kalibrálnunk kell őket. (A hitelesítés szót a hatóság hasonló tevékenységére tartjuk fenn.) A kalibrálásra a **11. ábrán** látható berendezés használható. Egy olajtöltésű hengerbe nyúló dugattyút ismert erővel terhelünk. Így a zárt térben ismert nyomásokat *(p_t)* tudunk létrehozni. Ezekkel az ismert nyomásokkal terheljük a manométert, és egyidejűleg leolvasásokat *(p_{leolv})* végzünk. A kalibrálás eredménye a **12. ábrán látható kalibrálási diagram.** Ez ideális esetben - az abszcisszán és az ordinátán azonos léptéket feltételezve - 45°-os egyenes.





11. ábra Manométer-kalibráló berendezés

A ..... típusú ..... számú manométer kalibrálási diagramja



12. ábra

Az ideális eseten azt értjük, hogy a dobozos nyomásmérő műszerben lévő csőrugó a nyomás hatására ugyanúgy viselkedik, mint akkor, amikor a skálát készítették. A csőrugó rugóállandója azonban idővel változik, s egy ún. **rendszeres hibával** kell számolnunk. A rendszeres hiba oka lehet az állandó műszerhiba, skálahiba, amely a mérések számának növelésével **nem küszöbölhető ki.** A kalibrálási diagram felvételének célja tehát a rendszeres hiba megállapítása. (A *Műszaki és gazdasági adatok elemzése* c. tantárgy részletesen elemzi ezt a témakört.)

A súlyterheléssel létrehozott, számított nyomás (terhelő nyomás):

$$p_t = \frac{(m + m_0)g}{a} \text{ [Pa]}.$$

Az általunk használt berendezésen a tálcás dugattyú tömege $\boldsymbol{m_0 = 1}$ **kg, a dugattyú keresztmetszete** $\boldsymbol{a = 2 \cdot 10^{-4}}$ **m².** A nyomás változtatására 1 kg és 2 kg *(m)* tömegű acéltárcsák állnak rendelkezésre. Első pontnak a csak az m_0 tömeggel terhelt állapotot vehetjük. Célszerű egyenletesen növelni, majd egy fél osztással eltolva az előbbi lépcsőkben csökkenteni a terhelést. Kb. 8 pont felvétele ajánlható. Méréskor (leolvasáskor) **a tálcát forgassuk meg**, hogy a függőleges irányú dugattyúsúrlódás zavaró hatását kiküszöböljük!

A mérés és kiértékelés során kitöltjük az alábbi táblázatot, végül megrajzoljuk a **12. ábra** szerint a **kalibrálási diagramot.**

Sorsz.	$m+m_0$	$p_{leolv.}$	p_t
	[kg]		[bar]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

A MÉRÉSRE VALÓ FELKÉSZÜLÉS

- Hozzanak magukkal 1 db A4-es milliméterpapírt, ceruzát, vonalzót, számológépet.
- Mérés előtt ellenőrizni fogjuk a mérésre történő megfelelő felkészülést, a mérés során alkalmazott összefüggések ismeretét és helyes használatát elméleti, ill. rövid számpéldán keresztül. (Pl.: a mintakérdések a honlapon; megjegyzés: a beugrón ezektől eltérő kérdések is lehetnek.)
- Töltsék ki otthon a biankó jegyzőkönyvet a 4. pontig (az 5-8 pontot majd a mérésen fogjuk).

A mérésleírással illetve a méréssel kapcsolatos észrevételeket a csizmadia@hds.bme.hu címre várjuk.