

Miskolci Egyetem
Gép- és Terméktervezési Intézet

Oktatási segédlet

Általános járműgéptan és Gépészmérnöki alapismeretek tantárgyak mérési
gyakorlataihoz

Összeállította:
Némethné Nándori Zénáb
tanszéki mérnök

Miskolc, 2024

Oktatási segédlet

Általános járműgéptan és Gépészmérnöki alapismeretek tantárgyak mérési gyakorlataihoz

Az őszi félév során a gyakorlati órák keretében három, /2023-tól kezdett logisztikus hallgatóknak kettő/ mérési gyakorlatot kell teljesíteni. A mérési feladatokat az idő korlátozottsága miatt előre összeállított mérőberendezéseken végezzük. Ahhoz, hogy egy méréssorozat egy gyakorlati óra keretében beleférjen, hasznos, ha a hallgatók előre megismerik a soron következő mérés tudnivalóit. A mérést fegyelmezetten, a mérés irányítójának utasításait figyelembe véve kell végezni. A figyelmetlenség könnyen vezethet oda, hogy a mérést, vagy egy részét meg kell ismételni, esetleg más időpontban újra elvégezni.

Az első mérés elején a hallgatók tűz- és balesetvédelmi oktatásban részesülnek. A mérések során használt gépek, energiahordozók (villamos áram) és energiaforrások (sűrített levegő, olaj) mind baleseti veszélyforrást jelentenek. A forgó- és haladó mozgást végző alkatrészek is balesetet okozhatnak, ezért kell saját magunk és társaink testi épségére ügyelni.

Minden méréshez tartozik egy táblázat, amelybe a mérés során megállapított, leolvasott eredményeket kell beírni. Aki éppen valamelyik mérőberendezést kezeli, később írja a táblázatába az eredményeket, amikor átadta a helyét egy társának. A mérés vezetője a mérési gyakorlat végén csak akkor látja el kézjeggyel a hallgató táblázatát, ha ott minden szükséges adat ki van töltve. Az aláírt táblázat mindhárom mérés esetén a jegyzőkönyv részét képezi, ezért vigyázzunk épségére.

A mérésekről jegyzőkönyvet kell készíteni, és azt öt tanítási napon belül a mérést felügyelő oktatóknak le kell adni.

A jegyzőkönyv

A jegyzőkönyv minden olyan adatot tartalmaz, aminek alapján a mérés megérthető és megismételhető. Tartalmaznia kell a mérés körülményeit, a berendezés adatait, a mért és számított eredményeket, a számítás módját.

Formai követelmények:

A jegyzőkönyvet A4 méretű egyszerű lapok egyik oldalára kell írni, tollal, folyóírással. Az ábrák, diagramok ceruzával készülhetnek, szükség esetén színes ceruza is hasznos lehet. A diagramok A4 méretű milliméterpapírra készülnek, mely a jegyzőkönyv része.

Első oldal (borító):

Ennek az egy oldalnak ceruzával készítsünk keretet, amely bal oldalon 10 mm, máshol 5-5 mm széles.

A bal felső sarokba kerül a mérés helyszíne. Esetünkben:

Miskolci Egyetem
Gép- és Terméktervezési Intézet
Általános géptan labor (fsz. 11)

Középre kerül a mérés száma és címe, alatta a mérés irányítójának neve:

1. mérés: Mozgó súrlódási tényezők meghatározása
2. mérés: Áramlási veszteségek mérése
3. mérés: Fogaskerékszivattyú szállítóképessége és hatásfoka

A mérés vezetője lehet a gyakorlatvezető, egy demonstrátor, egy tanszéki mérnök, stb.

Alul baloldalra kell felírni a mérés időpontját, jobb oldalra a jegyzőkönyv készítőjének nevét, neptun kódját. Alatta kérem feltüntetni, hogy formatervező, gépész, logisztikus vagy járműmérnök hallgató.

Többi oldal:

A mérőberendezés bemutatása, saját kézzel készített vázlat segítségével. A mérés menetének ismertetése. A felhasznált kiinduló adatok. A mért adatok táblázatba foglalva. Ha szükséges, a számítások bemutatása. A számított eredményekből diagram készítés. Esetleg a diagram alapján újabb számítások. A mérés eredményének ismeretében egy összefoglalás az eredmények értékelésével. Felhasznált irodalom.

Az utolsó oldal végén:

Bal oldalra kerül a jegyzőkönyv elkészítésének dátuma (Pl. Mátészalka, 2030. február 30.), jobb oldalra a hallgató saját kezű aláírása.

Első mérés

Mozgó súrlódási tényezők meghatározása

1.1 A súrlódási tényező

Egy rögzített felületen egy merev test elmozdításához erőt kell kifejteni. Az elmozdulással ellentétes irányban F_s súrlódási erő lép fel. A súrlódási erő ma is alkalmazott képlete Coulomb (1736-1806) francia fizikustól származik [1] :

$$F_s = \mu \cdot F_n, \quad (1.1)$$

ahol F_s a súrlódási erő,

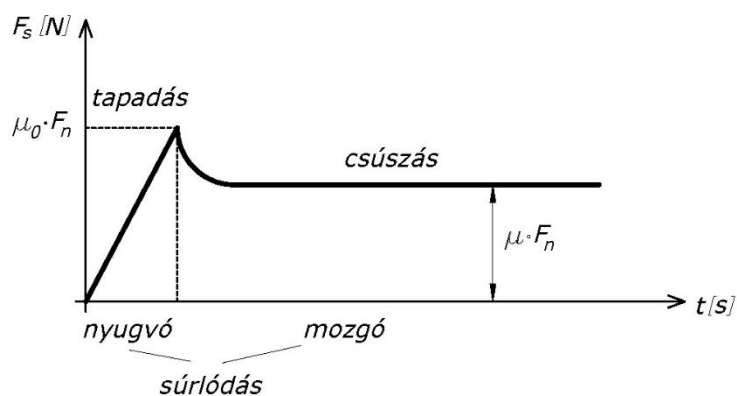
F_n a felületre merőleges nyomóerő (a felületeket összeszorító erő),

μ a mozgó súrlódási tényező.

A nyugvó (tapadási, statikus) súrlódási tényező μ_0 általában nagyobb a mozgó (kinetikus) súrlódási tényezőnél.

$$\mu_0 > \mu. \quad (1.2)$$

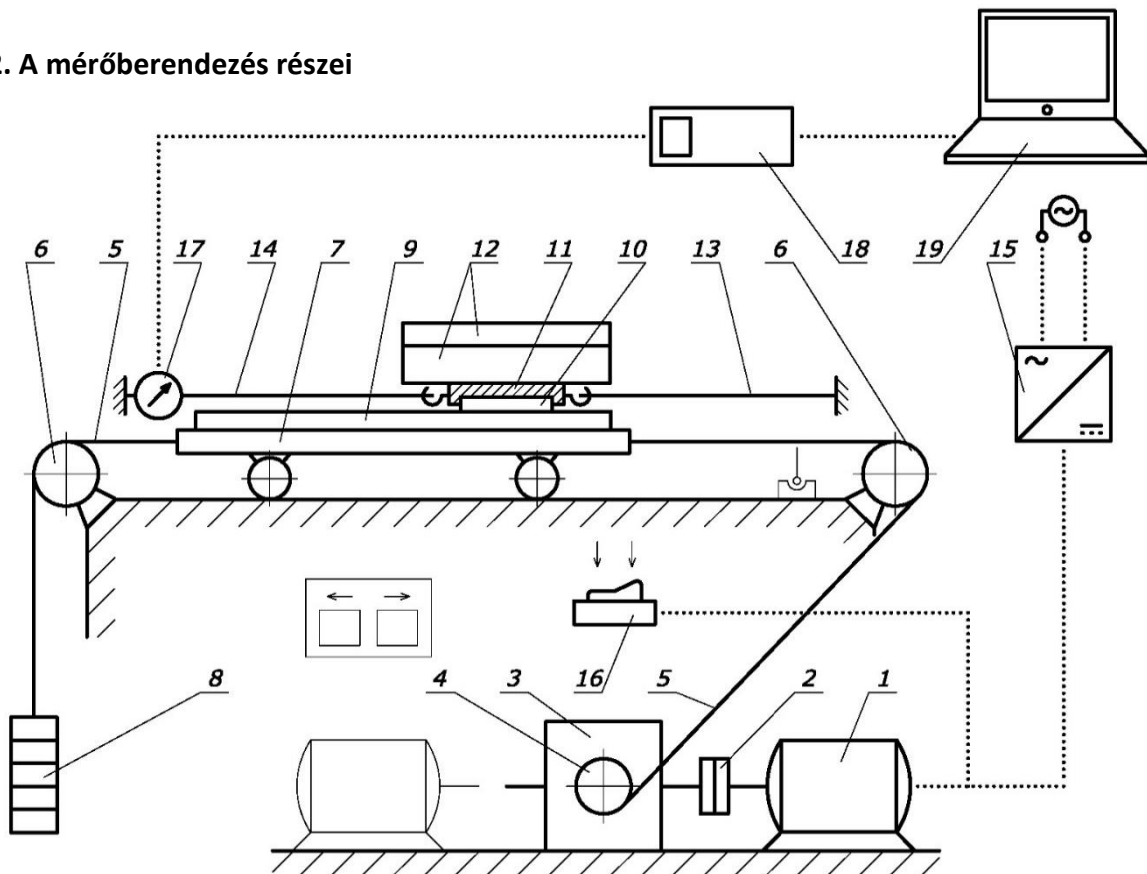
Gondoljunk arra, hogy egy szánkót húzunk, vagy egy autót kell tolnunk (bár ez esetben az itt nem tárgyalt gördülési ellenállás a mérvadó). A mozgás elindítása - vízszintes pályán - nagyobb erőfeszítést igényel, mint az állandó sebességű mozgás fenntartása. A súrlódási erő alakulását az 1.1 ábra mutatja.



1.1 ábra. A tapadási és mozgási súrlódás

Mérési gyakorlatunkon a μ mozgó súrlódási tényezőt határozzuk meg egy lehetséges mérési módszerrel, több anyagpárosítás esetén.

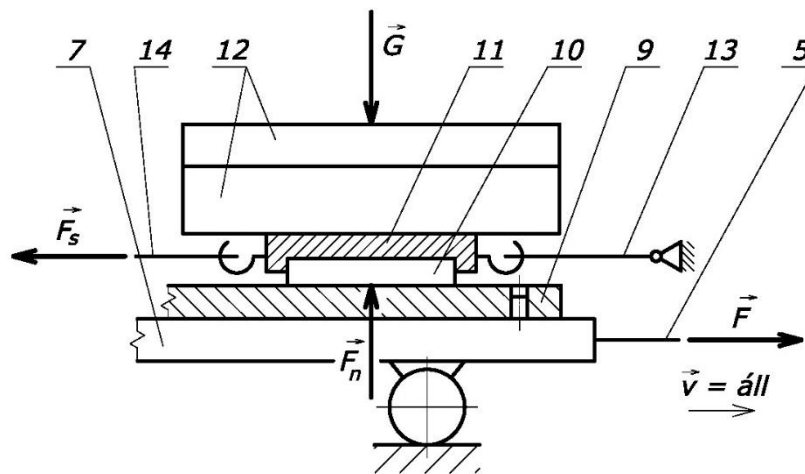
1.2. A mérőberendezés részei



1.2. ábra. A mérőberendezés

1. Egyenáramú villamos motor
2. Tengelykapcsoló, /kiegyenlítő, rugalmas/
3. Csigahajtómű, $i = 16$ lassító áttétel
4. Kötéldob
5. Drótkötél, kerékpár fékbowden
6. Kötélcsiga
7. Mérőkocsi
8. Ellensúly
9. Acéllemez
10. Próbatest, körgyűrű alakú, különböző anyagból készült
11. Befogó, a próbatestet tartja, a vonózsínörhöz és a tartózsínörhöz kapcsolódik
12. Öntöttvasból készült terhelő korongok, 1, 2, 3 kg tömegűek
13. Tartózsínör, damil
14. Vonózsínör, fonott, üvegszál
15. Egyenáramú tápegység
16. Billenő kapcsoló a mérőkocsi (motor) jobbra-balra mozgatásához
17. Erőmérő cella /méréshatár 5000N, leolvasási pontosság 1N/
18. Mérő erősítő
19. Adatgyűjtő és kijelző /laptop/

1.3 A súrlódási során fellépő erők



1.3. ábra. Erőjáték

A motor (1) elindítása után a drótkötél (5) a kocsit (7) állandó v sebességgel jobbra mozgatja. A kocsival együtt haladó acéllemez (9) és a próbatest (10) között súrlódás lép fel. A próbatestet egy befogó (11) tartja, amelynek helyzetét a (13) és (14) jelű zsinórok rögzítik.

Miközben a kocsit a drótkötél (5) F erővel húzza, a befogóhoz kötött vonózsínóban (14) F_s súrlódási erő ébred. A tartózsínór (13) ezalatt terheletlen. A kocsi állandó sebességgel halad, ezért

$$F = F_s . \quad (1.3)$$

A próbatestet (10) és az acéllemezt (9) összeszorító G erő a próbatest (10), a befogó (11) és a rátett terhelő korongok (12) súlyából származik.

$$G = G_{pt} + G_b + G_t . \quad (1.4)$$

a próbatest		
anyaga	tömege: m	súlya: G_{pt}
	[kg]	[N]
acél	0,066	0,647
alumínium	0,023	0,226
bonamid	0,013	0,128
textilbakelit	0,011	0,108
teflon	0,022	0,216

a próbatest és a befogó együttes súlya: $G_{pt} + G_b$	
	[N]
	1,648
	1,227
	1,129
	1,109
	1,217

a befogó		
anyaga	tömege: m	súlya: G_b
	[kg]	[N]
poliamid	0,102	1,001

1. táblázat. A próbatestek és a befogó adatai

A próbatestek és a befogó tömegét az 1. táblázat tartalmazza. A G_t terhelő tömeget a mérés során 1 kg-ról 10 kg-ra növeljük. A megfelelő súlyokat a

$$G_t = m_t \cdot g \quad (1.5)$$

képlettel számoljuk, ahol $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

A súrlódó testek elmozdulása vízszintes pályán történik, ezért a felületre merőleges nyomóerő

$$F_n = G. \quad (1.6)$$

Az 1.1 képletben szereplő F_n terhelő erő az 1. táblázat adatai és a 1.5 képlet segítségével minden méréshez kiszámítandó:

$$F_n = G_{pt} + G_b + G_t. \quad (1.7)$$

A vonózsínórban (14) ébredő F_s súrlódási erőt pedig méréssel határozzuk meg.

1.4. Az F_s súrlódási erő meghatározása méréssel

Az 1.2 ábrán látható erőmérő cella (15) a mérőkocsi (7) jobbra mozgása alatt a vontatózsínórban (14) fellépő F_s súrlódási erőt érzékeli. A jel a (18) mérő erősítőn keresztül a (19) kijelzőre kerül, onnan a mérést követően a súrlódási erő átlagos értéke leolvasható. Ezt az adatot a mérési táblázatunkban – lásd az első mérés végén - minden mérés során rögzítjük.

A számítással és méréssel meghatározott F_n és F_s értékeket táblázatba foglaljuk. Lásd 1.6 fejezet.

1.5 A mérés menete

A mérést egy időben három hallgató végzi szoros együttműködésben: egy teherpakoló, egy kocsimozgató és egy kijelző kezelő. A többi hallgató figyel - mert biztos mindenki sorra kerül -, és segít meghatározni a kijelzőn megjelent görbéből a mozgás közben kialakult súrlódási erő átlagértékét, majd felírja a táblázatába. A mérésben közreműködő három hallgató csak a feladatára összpontosít, nem ír a táblázatba.

Egy méréssorozat azzal kezdődik, hogy a mérés irányítója – gyakorlatvezető, doktorandusz, tanszéki mérnök, stb. – a megfelelő próbatestet (10) a befogóba (11) helyezi. A kocsimozgató hallgató a billenő kapcsolót (16) működtetve megfigyeli a mérőkocsi (7) mozgását, végül a bal oldali szélső helyzetbe vezeti azt. A teherpakoló hallgató a befogóra (11) helyezi az 1 kg tömegű terhelő korongot. A kijelző kezelő hallgató elindítja az adatgyűjtést, és ezzel csaknem egyidőben a kocsimozgató hallgató a billenőkapcsoló megnyomásával elindítja a kocsit.

A nyomógomb megnyomásával a motor (1) működésbe lép, és a tengelykapcsolón (2) keresztül hajtja a csigahajtóművet (3). Ennek kötéldobja (4) feltekericseli a drótkötelet (5), mely a kötélcsga (6) közbeiktatásával állandó sebességgel jobbra vontatja a mérőkocsit (7). A mérőkocsira rögzített acéllemez (9) és a befogóba (11) helyezett, terhelő korongokkal (12) megterhelt próbatest (10) között létrejön a mozgó súrlódási állapot. (Lásd 1.1 ábra és 1.3 fejezet.) A mérőkocsi (7) mozgása közben a kijelzőn (19) megjelenik a súrlódási erő értékének alakulása. Amint a kijelzőn vége az adatgyűjtésnek (5 másodpercre állítjuk be), a kocsimozgató hallgató elengedi a billenőkapcsolót és ezzel megállítja a kocsit. A hallgatók leolvassák a súrlódási erő átlagos értékét.

A kocsi megállása után a teherpakoló hallgató leemeli a korongokat a befogóról, összeválogatja a következő terheléshez szükséges 1 kg-mal nehezebb összeállítást. A kocsimozgató hallgató a terheletlen mérőkocsit visszavezeti a kiinduló állapotba. Ezalatt a kijelző kezelő hallgató felkészül a következő mérésre.

Kezdődhet a következő mérés, és folytatódik a 10 kg-os terhelésig.

A következő méréssorozat előtt a mérés irányítója kicseréli a próbatestet, és kijelöli a következő három hallgatót. A kocsimozgató ismerkedik a kocsimozgatással, a kijelző kezelő megismeri a feladatát, a teherpakoló kiválasztja az 1 kg-os tárcsát.

Hibalehetőség, következmények:

A terhet pakoló és kocsit mozgató hallgató közösen ügyelnek arra, hogy a mérőkocsi mindig terheletlenül térjen vissza a kiinduló helyre. Ellenkező esetben az ellensúly nem képes a kocsit visszahúzni, a drótkötél letekeredik a kötéldobról, a súly felemelése után pedig a kocsi balra szalad, és az ellensúly a földre pottyan esetleges balesetet okozva. Ekkor a mérés irányítójával helyre kell állítani a mérőberendezést. Ez néhány percet igénybe vesz, a mérési gyakorlat könnyen átcsúszik a szünetbe. Mindezek miatt e két hallgató - a mérésben való közreműködése során - ne foglalkozzon a táblázat kitöltésével, csak a fenti feladatait végezze erős odafigyeléssel.

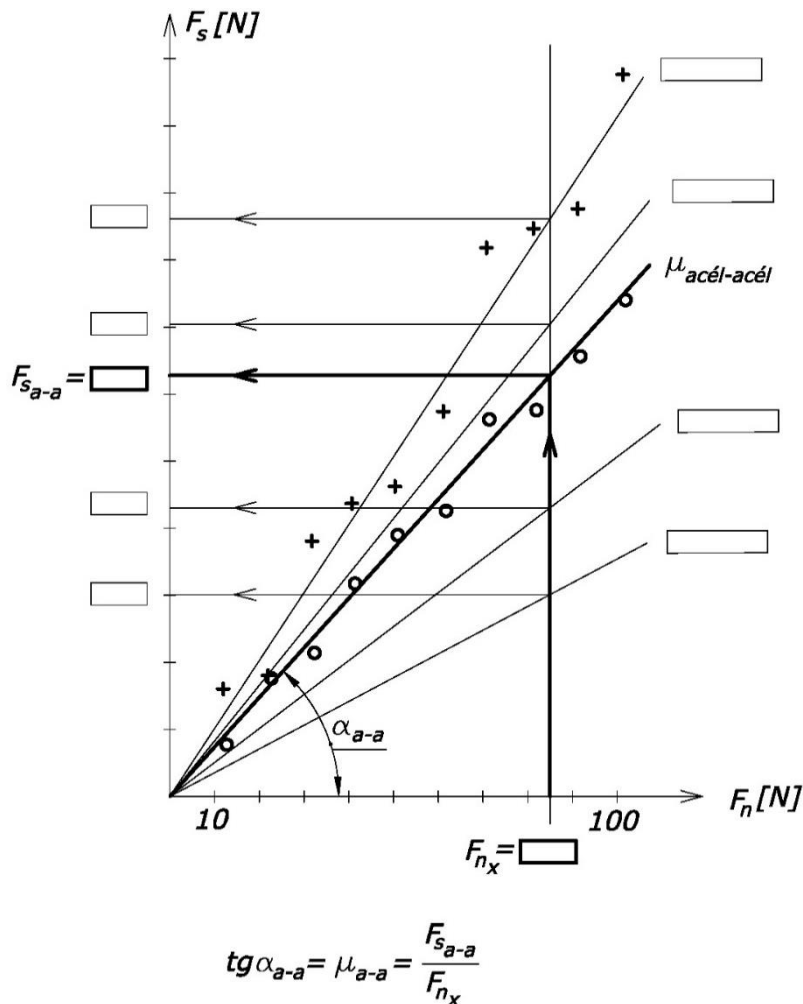
1.6 A mérés eredményeinek feldolgozása (otthoni munka)

A mérés végeztével minden hallgató táblázatának öt oszlopa legyen kitöltve. Azok az oszlopok, melyek az F_s (súrlódási erő) értékeket tartalmazzák. A mérésben közreműködők - amikor szabaddá válnak - leírják az eredményeket a társaik táblázatából. A mérés vezetője csak ebben az esetben látja el kézzel a hallgató táblázatát.

1.6.1. A táblázat F_n és F_s értékeinek kiszámítása az oktatói segédlet, és a táblázat alatti képletek és adatok segítségével.

A számítást nem kell leírni, csak a táblázatba kell beírni a hiányzó 50 db F_n értéket két tizedes jegyre kerekítve.

1.6.2. Diagram készítése a táblázat adataiból milliméterpapírra



1.4 ábra. A diagram elkészítése, és felhasználása a súrlódási tényező meghatározására

A vízszintes tengelyen a felületre merőleges nyomóerőt (F_n [N]), a függőleges tengelyen a súrlódási erőt (F_s [N]) jelöljük. A tengelyek végén ezt feltüntetjük.

A diagramot úgy célszerű elhelyezni az A4 méretű milliméterpapíron, hogy az minél nagyobb legyen.

A táblázatunkban észrevesszük, hogy a legnagyobb kiszámított F_n érték kicsit kisebb, mint 100 N. Ezért a vízszintes tengelyen olyan beosztást készítünk, hogy a 100 N a papírunk jobb széléhez közel legyen.

A táblázatunkban kikeressük a legnagyobb F_s értéket is, és úgy osztjuk be a függőleges tengelyt, hogy ez minél magasabbra kerüljön.

Minden terheléshez és anyagpárosításhoz tartozik egy összetartozó F_n és F_s érték.

Kiválasztjuk az egyik anyagpárosítást, pl. acél-acél. A tíz terheléshez tartozó összetartozó F_n és F_s értékeket felmérjük a vízszintes és függőleges tengelyre. Az általunk kijelölt léptéknek megfelelően pontosan dolgozunk. Így keletkezik tíz pontunk a diagramban, melyek véletlenül sem fognak egy egyenesbe esni. Ez mérési, leolvasási hiba. Azért végeztünk egy anyagpárosítással tíz mérést, hogy ezek átlagából állapítsunk meg egy μ súrlódási tényezőt.

Az eredmények átlagolását nem számítással, hanem grafikusán oldjuk meg. A tengelyek metszéspontjából vonalzóval húzunk egy egyenest, mely ránézésre legjobban követi a bejelölt pontok sodrásirányát. (Az egyenes alatt és felett is legyenek pontok, ne kössük össze az origót a tizedik ponttal.)

Az egyenes végén tüntessük fel, hogy az melyik anyagpárosításhoz tartozik. (Lásd az 1.4 ábrán a $\mu_{\text{acél-acél}}$ felirat.)

Az előző három bekezdésben foglaltakat elvégezzük a másik négy anyagpárosítás esetére is. Célszerű a tíz-tíz pontot más jellel, vagy más színnel jelölni (lásd 1.4 ábra), nehogy egymással összekeveredjenek. Lesznek egymáshoz nagyon közel húzott egyenesek is.

1.6.3. A súrlódási tényező meghatározása a vizsgált anyagpárosítások esetén a diagram segítségével.

Vegyük észre (és nézzük meg az 1.4 ábrában), hogy a ferde egyeneseink iránytangense éppen az adott anyagpárosításnak megfelelő μ súrlódási tényező.

Mindegyik általunk behúzott egyenesen kijelölünk egy pontot. Célszerű

- az egyenes minél magasabb pontján, mert ott messzebb van a többi egyenestől,
- olyan F_n értéknél, ahol nincs a diagram alapján kijelölt pont (pl. 85 N),
- tartozhat mindegyik ugyanahhoz az F_n értékhez, vagyis eshetnek egy függőlegesbe

Fentiek alapján az acél-acél anyagpárosítás ferde egyenesén kijelölünk egy pontot, melynek összetartozó koordinátái F_{n_x} és $F_{s_{a-a}}$. Az 1.4 ábrában téglalappal jelölt helyekre a diagramban be kell írni a választott F_n és a diagramból kiolvasott F_s számértékeket.

Az ábra acél-acél anyagpárosításra mutatja be, hogyan lesz a meghúzott ferde egyenesből súrlódási tényező. Az egyenes iránytangense $\tan \alpha$. Mivel a diagram vízszintes és függőleges

tengelyén más-más léptéket használunk, α értékét nem lehet szögmérővel mérni, $\operatorname{tg}\alpha$ értékét viszont meg lehet határozni az egyenes bármely pontjának két koordinátája segítségével. A kijelölt pontokkal tehát

$$\operatorname{tg}\alpha_{a-a} = \frac{F_{s_{a-a}}}{F_{n_x}}. \quad (1.8)$$

Ha ezt összevetjük a Coulomb féle 1.1 képlettel, akkor az acél–acél anyagpárosításra a súrlódási tényező

$$\mu_{a-a} = \frac{F_{s_{a-a}}}{F_{n_x}} = \dots. \quad (1.9)$$

A másik négy anyagpárosítás esetén is be kell írni a diagramba az 1.4 ábrában jelölt téglalapok helyére a leolvasott F_s súrlódási erő számértékeit. Ezek után az 1.10 összefüggés alapján minden anyagpárosításra ki kell számolni a mérési gyakorlaton meghatározott μ súrlódási tényezőt.

Ezzel elértük mérési gyakorlatunk célját. Különböző anyagpárosítások esetén meghatároztuk a μ súrlódási tényezőt.

1.7. Mi kerüljön a jegyzőkönyvbe?

- Első oldal, az általános irányelveknek megfelelően (lásd 1. oldal, formai követelmények)
- A mérőberendezés bemutatása. Le kell rajzolni az oktatási segédlet 1.2 ábráját a tételszámokkal együtt (ceruzával).
- A mérés rövid (3-4 soros) ismertetése úgy hogy a szöveg a mérőberendezés vázlatával egyeztethető legyen. A saját tevékenység is belefér. A mérés menete fejezet lemásolása szükségtelen.
- A kitöltött táblázat
- A táblázat adatai alapján A4 mm papírra készített diagram. A diagramon szerepelnie kell minden kijelölt és leolvasott számértéknek, ami a további számításokhoz szükséges.
- A diagramon bejelölt és felírt számértékek felhasználásával öt súrlódási tényező kiszámítása.

$$\mu_{acél-acél} = \frac{\dots N}{\dots N} = \dots$$

$$\mu_{acél-alumínium} = \frac{\dots N}{\dots N} = \dots$$

stb.

g. Összefoglalás. A mérés eredménye, hogy meghatároztunk öt súrlódási tényezőt. Az eredményeket értékelni kell. Pl. melyik a legkisebb, vagy kettő nagyon közeli érték.

h. Felhasznált irodalom

i. Végül az utolsó lap aljára kerül bal oldalon a jegyzőkönyv elkészültének dátuma, jobb oldalon a saját kezű aláírás. (Lásd a Jegyzőkönyv című fejezetben.)

A jegyzőkönyvet - bármilyen módon összefűzve - a következő gyakorlati órát megelőzően a mérés vezetőjének kell beadni.

Mozgó súrlódási tényező meghatározása

	acél-acél		acél-alumínium		acél-bonamid		acél-textilbakeleit		acél-teflon	
	F_s [N]	F_h [N]	F_s [N]	F_h [N]	F_s [N]	F_h [N]	F_s [N]	F_h [N]	F_s [N]	F_h [N]
m_t [kg]										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

A próbatestek és a befogó együttes súlya:

$G_{pt} + G_b$	acél	1,648N
	alumínium	1,227N
	bonamid	1,129N
	textilbakeleit	1,109N
	teflon	1,217N

$$F_h = (G_{pt} + G_b) + G_t,$$

$$G_t = m_t \cdot g,$$

$$\text{ahol } m_t = 1 \dots 10 \text{ kg}$$

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

$$Pl. F_h = \dots N + 5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \dots N$$

Második mérés

Áramlási veszteségek mérése

2.1. A mérés célja

Mérési gyakorlatunk során egyenes csövekben és csőszerelvényekben fellépő áramlási veszteségeket határozzuk meg.

A Bernoulli-egyenlet valóságos folyadék áramlása esetén az áramlási vonal két pontja között a

$$p_1 + \rho gh_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \Delta p^1 \quad (2.1)$$

képlettel írható fel,

ahol	ρgh	a fajlagos helyzeti energia,
	$\rho \frac{v^2}{2}$	a fajlagos mozgási energia,
	p	a nyomási energia,
	Δp^1	a nyomásveszteség.

2.2. A fajlagos energia: térfogategységre vonatkoztatott energia

Fajlagos helyzeti energia: $e_h = \frac{E_h}{V} = \frac{mgh}{V} = \rho gh \quad [N/mm^2]$

Fajlagos mozgási energia: $e_v = \frac{E_v}{V} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{V} = \rho \frac{v^2}{2} \quad [N/mm^2]$

2.3. A veszteségtényező és a csősúrlódási tényező

A Δp^1 nyomásveszteség a folyadék belsejében és a csővezeték falán fellépő súrlódási veszteségeket, és a csőídomokban, szerelvényekben fellépő leválási veszteségeket foglalja magában. A nyomásveszteség a

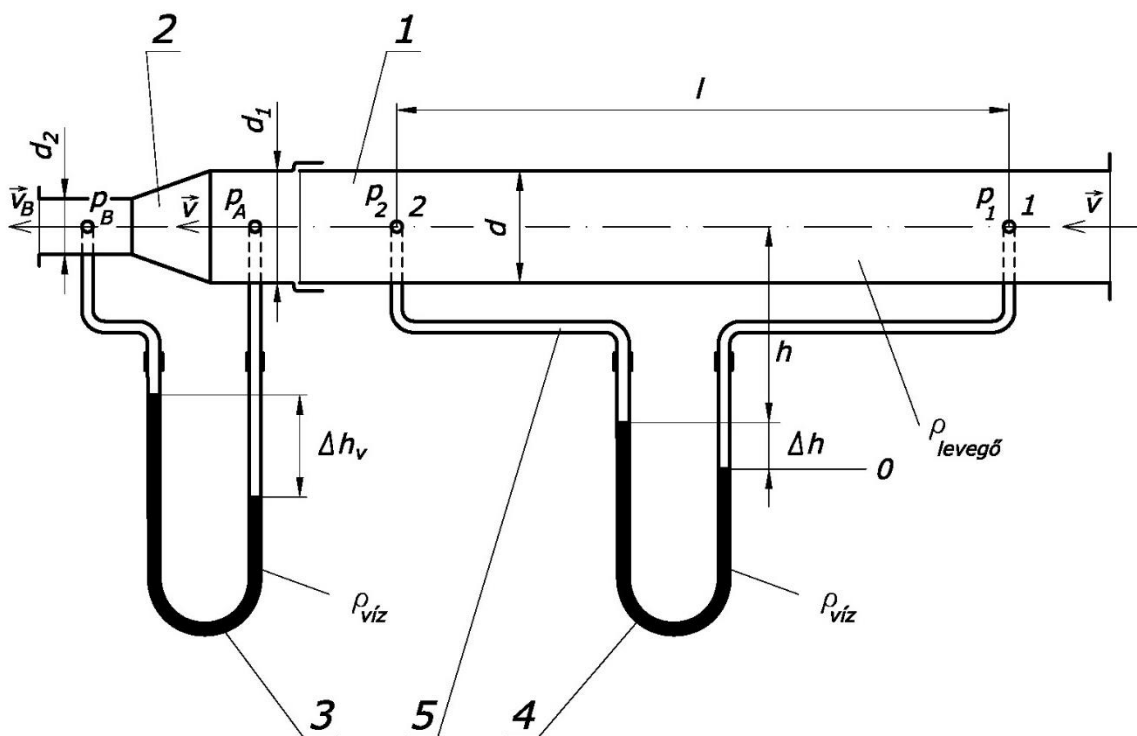
$$\Delta p^1 = \zeta \rho \frac{v^2}{2} \quad (2.2)$$

képlettel írható fel, ami azt mutatja, hogy a nyomásveszteség egyenesen arányos a fajlagos mozgási energiával, és az arányossági tényező a ζ veszteségtényező. Egyenes, állandó keresztmetszetű csövekre

$$\zeta = \lambda \frac{l}{d}, \quad (2.3)$$

ahol ζ a veszteségtényező,
 λ a csősúrlódási tényező,
 l a cső hossza,
 d a cső belső átmérője.

2.4. A mérés elrendezési vázlata



2.1 ábra. Egyenes csövekben fellépő nyomásveszteség mérése

1. Állandó keresztmetszetű egyenes cső
2. Venturi-cső
3. A Venturi-csőhöz kapcsolt U-csöves manométer
4. Az egyenes csőhöz és a csőelzáró szerelvényekhez bekötött U-csöves manométer
5. Gumitömlő
6. Csőelzáró szerelvény (a 2.2 ábrán)

2.5. A mérés körülményei

2.5.1. A 2.1 ábrán látható mérési összeállítás egy hosszú asztalon van, ahol az egyenes csövek és a Venturi-cső vízszintesen helyezkednek el. Mivel a Bernoulli egyenletben szereplő

$$h_1 = h_2, \quad (2.4)$$

az egyenlet (2.1) képletében bal és jobb oldalon a fajlagos helyzeti energia megegyezik.

Az állandó belső átmérőjű csőben, ahol

$$A_1 = A_2, \quad (2.5)$$

a kontinuitási tétel

$$q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{áll.} \quad (2.6)$$

alapján a sebesség is állandó.

$$v_1 = v_2, \quad (2.7)$$

tehát a fajlagos mozgási energia sem változik.

A (2.1) Bernoulli egyenlet

$$\Delta p^1 = p_1 - p_2 \quad (2.8)$$

alakra egyszerűsödik.

2.5.2. A 2.1 ábrán jelöltük, hogy a csövekben levegő áramlik, az U-csöves manométerekben pedig víz áll. Számításainkhoz szükség lesz a levegő sűrűségére.

A levegő sűrűségét $\rho_l = 1,293 \text{ kg/m}^3$ -ben határozzák meg. Ez az érték 0°C (273Kelvin) hőmérsékleten és 760 Hgmm ($\sim 0,1013 \text{ MPa}$) nyomáson igaz. A mérőszobában ettől eltérő körülmények vannak, ráadásul a hőmérséklet és a légnyomás napról napra, sőt akár óránként is változik. Ezért minden mérés elején a hallgatók leolvassák a falon függő hőmérőről a t [$^\circ\text{C}$] hőmérsékletet, és a barométerről a (ez utóbbi használata segítséget igényel) a pillanatnyi légnyomásértéket (b [Hgmm]). Ezeket a mérési lapon az alapadatok között rögzítik.

A Boyle-Mariott-féle gáztörvényből a

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{p_1}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_1} \quad (2.9)$$

összefüggés következik, aminek segítségével a mérőszobában levő levegő sűrűségét a

$$\rho_l = 1,293 \frac{kg}{m^3} * \frac{b[Hgmm]}{760[Hgmm]} * \frac{273[K]}{\vartheta[K]}, \quad (2.10)$$

$$\vartheta[K] = 273 + t[^\circ C] \quad (2.11)$$

képletekbe való behelyettesítéssel kell kiszámolni a mérési lapon.

2.5.3. További mérési alapadatok:

a csövek	belső átmérője	$d = 28 \text{ mm}$
	vizsgált hossza	$l = 1200 \text{ mm}$
a Venturi cső átmérője		$d_1 = 28 \text{ mm}$
		$d_2 = 17 \text{ mm}$
a víz sűrűsége		$\rho_v = 10^3 \text{ kg/m}^3$

2.6. A ζ veszteségtényező meghatározásának elméleti lépései

2.6.1. A nyomáskülönbség és az áramlási sebesség kiszámításával

A (2.2) és (2.8) képletekből felírható az alábbi egyenlet:

$$p_1 - p_2 = \zeta \rho_l \frac{v^2}{2}. \quad (2.12)$$

A mérés alkalmával az egyenes csőbe sűrített levegőt eresztünk. A csőben keletkező nyomásvesztés az 1. és 2. pont között kialakuló nyomáscsökkenésben mutatkozik meg. $p_2 < p_1$. A cső 1. és 2. pontjához kötött U-csöves manométerben Δh vízoszlopmagasságkülönbség jelentkezik. Mivel a differenciál manométerben levő víz nyugvó folyadék, felírható rá a hidrosztatika alaptörvényének

$$p_1 + \rho g h_1 = p_2 + \rho g h_2 \quad (2.13)$$

általános alakja, amely az adott esetben a 2.1 ábra jelöléseivel

$$p_1 + \rho_l g (h + \Delta h) = p_2 + \rho_l g h + \rho_v g \Delta h \quad (2.14)$$

formát ölt. Innen

$$p_1 - p_2 = (\rho_v - \rho_l) g \Delta h. \quad (2.15)$$

Mivel ρ_l értékét a mérési lapon mindenki kiszámolja, ρ_v alapadatként ismert, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, és Δh az U-csöves manométeren leolvasható, a (2.12) képletből $p_1 - p_2$ nyomáskülönbség meghatározható.

A levegő áramlási sebességének kiszámításához szükség van a Venturi csőre felírt Bernoulli-egyenletre, és a kontinuitási egyenletre. A 2.1 ábra jelöléseivel $h_1 = h_2$ figyelembe vételével

$$p_A + \rho_l \frac{v^2}{2} = p_B + \rho_l \frac{v_B^2}{2} \quad (2.16)$$

és

$$\frac{d_1^2 \pi}{4} \cdot v = \frac{d_2^2 \pi}{4} \cdot v_B \quad (2.17)$$

E két egyenletből

$$v^2 = \frac{2(p_A - p_B)}{\rho_l} \cdot \frac{1}{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 - 1} \quad (2.18)$$

Ha a nyomáskülönbséget kifejezzük (2.15)-höz hasonlóan, akkor az áramló sebesség (négyzete) a

$$v^2 = \frac{2(\rho_v - \rho_l)g\Delta h_v}{\rho_l} \cdot \frac{1}{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 - 1} \quad (2.19)$$

képlettel számítható ki, ahol Δh_v a Venturi csőhöz kapcsolt U-csöves manométerről leolvasható vízoszlopmagasság-különbség. Lásd 2.1 ábra.

Ha már ki tudjuk számítani $p_1 - p_2$ nyomáskülönbséget, és az áramló levegő sebességének négyzetét, v^2 , akkor (2.12) összefüggésből meghatározható a ζ veszteségtényező.

2.6.2 A nyomásvesztés és az áramlási sebesség képletének behelyettesítésével.

A (2.12) képlet rendezésével

$$\zeta = \frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_l v^2} \quad (2.20)$$

összefüggést kapjuk, amibe behelyettesítve $p_1 - p_2$ (2.15) képletét és v^2 (2.19) képletét, egyenletrendezés után a

$$\zeta = \frac{\Delta h}{\Delta h_v} \left[\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^4 - 1 \right] \quad (2.21)$$

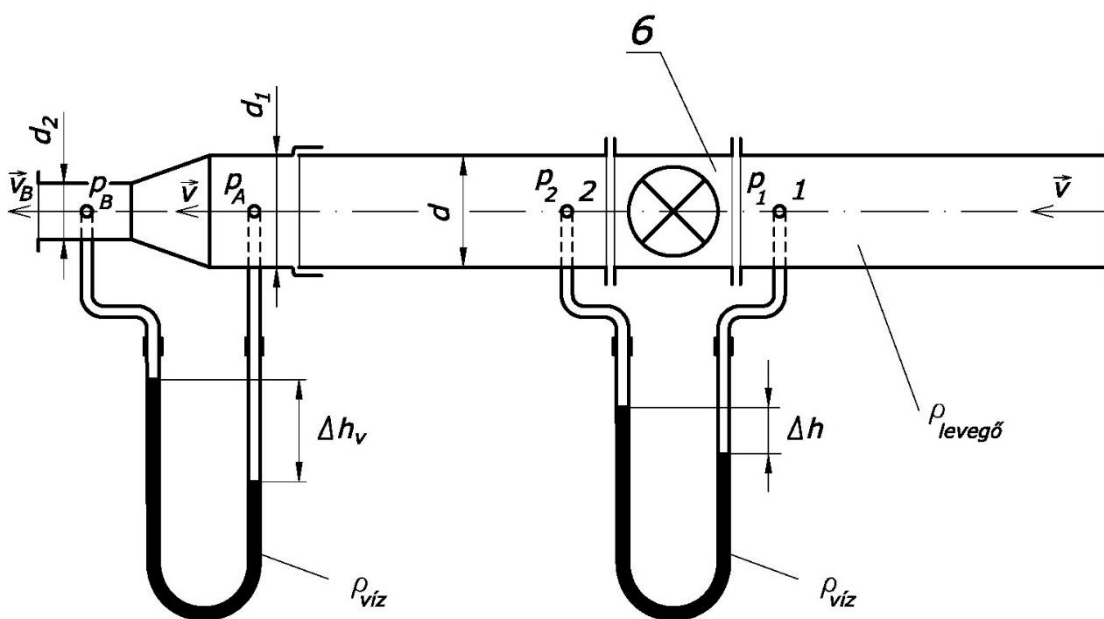
összefüggéshez jutunk. Vegyük észre, hogy mi minden nem szerepel ebben a képletben:

Nem szerepel a levegő ρ_l és a víz ρ_v sűrűsége, valamint a v áramlási sebesség.

A veszteségtényező tehát nem függ a csővezetékben áramló közegtől, (akár kőolajjal is végezhetjük volna a mérést), és az áramlási sebességtől sem.

A veszteségtényező meghatározásához elég ismerni a Venturi-cső átmérőit, és leolvasni a Venturi-csőhöz, ill. a vizsgált cső két pontjához kötött differenciál manométerben mutatkozó magasságkülönbséget.

A vizsgált cső két pontja között lehet akár egy csőidom (pl. könyök), vagy csőelzáró szerelvény (6. tételszám) is.



2.2 ábra. Csőelzáró szerelvényekben fellépő nyomásvesztés mérése

A veszteségtényező tehát egy adott csőelzáró szerelvényre, vagy egy adott belső felülettel rendelkező csőre, ill. csővezetékre jellemző számérték.

Állandó keresztmetszetű egyenes csövek esetén λ cső súrlódási tényezőt számolunk, amely a (2.3) képletből

$$\lambda = \frac{d}{l} \zeta \quad (2.22)$$

összefüggéssel számítható.

2.7 A mérésben vizsgált csőelzáró szerelvények.

A szelep kialakítása a benne áramló közeget erős, kettős iránytörésre készíti, ez okozza a többi csőelzáró szerkezethez képest kedvezőtlen, nagymértékű áramlási veszteséget. Előnye viszont az áramló közeg térfogatáramának finom állítási lehetősége, ezt a szelepelemekre záródó szeleptányérnak a menetes orsó-anya kapcsolatú mozgatása teszi lehetővé.

A ferde ülésű, vagy ülékű szelepleben megoldották, hogy az áramló közeg kevesebb iránytörési veszteséget szenvedjen el.

A tolózár a szelepekhez hasonlóan működtethető, de az öntött háza egészen más alakú. Igazodik ahhoz, hogy benne egy zsiliphez hasonló ferde falú záróalkatrész süllyed, ill. emelkedik.

A gömbcsap az eddigiektől erősen eltérő kialakítású csőelzáró szerelvény. Az elzáró elem gömb alakú, amiben a csővezetéknek megfelelő átmérőjű furat van. A tömítő gyűrűk csak teljesen nyitott és teljesen zárt állapotban biztosítják a megfelelő működést. A működtető fogantyú is olyan, amiből látszik, hogy a csap csak a fenti két állapotában használható.

2.8 A Mérés menete

A mérés vezetője (gyakorlatvezető, demonstrátor, tanszéki mérnök, stb.) bemutatja a mérési gyakorlat helyszínét, a csöveket, U-csöves manométereket, csőelzáró szerelvényeket, feltételezve, hogy a hallgatók a mérési útmutatóból (oktatási segédletből) már tájékozódtak. Bemutatja, hogy a szomszéd helyiségben levő tartályból érkező sűrített levegőt melyik csap nyitásával engedjük a megfelelő csövekbe.

Ha mérésünk tárgyát, a veszteségtényezőket a 2.6.1 fejezet szerint a nyomásvesztés és az áramlási sebesség kiszámításával határoznánk meg, akkor szükség lenne a levegő sűrűségének kiszámítására.

Ezért tehát a hallgatók megkeresik a falon a hőmérőt (ez a könnyebb) és a légnyomásmérőt (barométert), leolvassák hány fok [°C] a hőmérséklet, és hány higanymilliméter [Hgm] a légnyomás. E két adatot felírják a mérési lapjuk alapadatai közé. Ugyanott a hőmérsékletet átváltják °C -ról K mértékegységre, és kiszámítják a mérőszobában lévő levegő sűrűségét.

A mérés irányítója megmutatja a két kívülről egyformának látszó hosszú egyenes csövet, melyek belső felülete különböző érdességű. Az egyikhez csatlakoztatja a sűrített levegő tömlőjét és az U-csöves manométer gumicsöveit, majd a Venturi-csövet. Bemutatja, hogy a sűrített levegő csapját nagyon lassan, fokozatosan kell a végállásig fordítani, nehogy a manométerekben levő víz onnan kiömöljön.

A hallgatók figyelik, és ujjakkal megmutatják, hogy a levegő fújása közben a csővezetékhez csatlakoztatott U-csöves manométeren mekkora Δh vízoszlopmagasság-különbség látszik. Ezt a kísérletet a másik egyenes csővel is el kell végezni. A Δh magasságkülönbség erősen el fog térni az előzőtől. A magasságkülönbségek a bekötési pontok közötti nyomáskülönbséget,

vagyis a nyomásvesztést mutatják. Ezek után megbeszéljük, hogy melyik a kettő közül az érdekesebb, és melyik a simább falú cső. Megbeszélhetik azt is, hogy sok kilométer hosszú kőolaj- vagy földgázvezetékek csövei milyenek legyenek, hogy minél kisebb nyomásesés következzen be.

A mérésvezető átadja a helyét egy hallgatónak, aki a sűrített levegő csapját kezeli, és kijelöli a hallgatókat, akik az U-csöves manométerekről leolvassák a vízmagasság-különbségeket. Utóbbiaknak segít az adatok leolvasásában. Más hallgatók pedig a csöveket csatlakoztatják az éppen mérni kívánt helyre.

A hallgatók kezükbe veszik a mérési lapjukat, ahol a táblázatban megkeresik a Δh és Δh_v oszlopokat. Ezeket kell a mérés során kitölteni. A mérést a sima csővel kezdjük. A sima csőre a hallgatók rácsatlakoztatják a sűrített levegő és a manométer csöveit, meg a Venturi-csövet is. A csapot kezelő hallgató lassan végállásig fordítja a csap fogantyúját, és vár, míg a leolvasó hallgatók a manométeren levő mm beosztású skála alapján kiszámítják a vízszlopmagasság-különbséget. Ha jelzik, hogy készen vannak, a csapot kezelő hallgató nagyon lassan elzárja a csapot. Eddig a sűrített levegő nagy zajt csinált. Mikor csend lesz, bemondják a vizsgált csőhöz kapcsolt manométerről leolvasott Δh , és a Venturi-csőhöz kötött manométerről leolvasott Δh_v értékeket.

Ha mindenki felírta, átdujják a csöveket a következő méréshez, és a sűrített levegő indításával kezdődik a mérés. Lehetőleg a hallgatók cserélődjenek, a sűrített levegő csapját kezelő hallgatónak is legyen lehetősége a manométerek leolvasására. A táblázat alapján haladjunk a mérendő csövek és a csőelzáró szerelvények választásában.

Ebben az esetben a végére marad a szelep, aminek mérésében a mérésvezető működtesse a sűrített levegő csapját nagyon óvatosan. A szelep két oldalára csatlakoztatott U-csöves manométeren olyan nagy magasságkülönbség alakul ki, hogy se fent, se lent nincsenek mm beosztások, a Δh leolvasását becsléssel kell megoldani.

Hibalehetőségek, következmények

A csőelzáró szerelvényeket teljesen nyitott állapotban vizsgáljuk. Zárt állapotban a sűrített levegő az U-csöves manométeren keresztül áramlik, maga előtt tolvaa benne levő vizet, ami a cső végén kifröccsen. Hosszadalmas dolog az üvegcsöveket újratölteni. A mérendő csövek végéhez ne tegyünk ruhát, táskát, papírokat, mert elrepülhetnek, szerencsétlen esetben vizesek lesznek. A sűrített levegő csapjának hirtelen elfordítása is a víz kifröccsenéséhez vezet, kerüljük el.

2.8.1. A mérésvezető megmutathatja a mérőszobában fellelhető csőelzáró szerelvényeket. Lehetőségeinek megfelelően mutathat szétszerelt, demonstrációs célból kivágott, belülről megfigyelhető csőszerelvényeket. A hallgatók megfigyelhetik működés közben a benne levő alkatrészeket. Bemutathat a mérési gyakorlaton nem szereplő szerelvényeket is. A hallgatóknak bemutathatja a szeleplékmaró használatát, stb.

A mérési gyakorlat végeztével a mérésvezető minden hallgatónak aláírja a mérési lapját, közben ellenőrzi, hogy minden szükséges ki van-e töltve, és nincs-e feltűnően hibás adat felírva.

2.9. A veszteségtényezők és a csósúrlódási tényezők számítása (otthoni munka)

A számításokat a jegyzőkönyvben a következő formában kell elvégezni:

Sima cső:

$$\Delta h =$$

$$\Delta h_v =$$

$$\zeta = \frac{\Delta h}{\Delta h_v} \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] = \quad \text{behelyettesítés mértékegységekkel} = \dots$$

$$\lambda = \frac{d}{l} \zeta = \quad \text{behelyettesítés mértékegységekkel} = \dots$$

Érdes cső:

a sima csőhöz hasonlóan

Csap:

$$\Delta h =$$

$$\Delta h_v =$$

$$\zeta = \frac{\Delta h}{\Delta h_v} \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right] = \quad \text{behelyettesítés mértékegységekkel} = \dots$$

Tolózárr:

Ferde ülésű szelep:

Szelep:

a csaphoz hasonlóan.

A kiszámított veszteségtényezőket és csósúrlódási tényezőket be kell írni a mérési lap táblázatába, és azt a jegyzőkönyvbe befűzni.

Áramlási veszteségek mérése

Mérési alapadatok:

Légnyomás /barométer állás/:

$b =$ Hgmm

Hőmérséklet:

$\vartheta =$ °C = K

A csövek belső átmérője:

$d = 28$ mm

vizsgált hossza:

$l = 1200$ mm

A Venturi-cső átmérőí:

$d_1 = 28$ mm

$d_2 = 17$ mm

A víz sűrűsége:

$\rho_v = 10^3 \frac{kg}{m^3}$

A levegő sűrűsége:

$$\rho_l = 1,293 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{b[Hgmm]}{760[Hgmm]} \cdot \frac{273[K]}{\vartheta[K]} = \text{} = \text{} \frac{kg}{m^3}$$

TÁBLÁZAT

	Mért értékek		Számítási eredmények:	
			veszteség-tényező	csőszűrlődési tényező
	Δh [mm]	Δh_v [mm]	ζ	λ
sima cső				
érdes cső				
gömbcsap				/
tolózár				/
ferdeülésű szelep				/
szelep				/

2.10. Mi kerüljön a jegyzőkönyvbe?

- a. Első oldal (borító), az első jegyzőkönyvhöz hasonlóan (lásd: formai követelmények)
- b. A mérési összeállítás vázlata. Le kell rajzolni ceruzával a 2.1 ábrát, a tételszámokkal együtt. Az alkatrészeket meg kell nevezni.
- c. A mérés menetének rövid ismertetése, úgy hogy a leírás a vázlattal egyeztethető legyen.
- d. A mérési lap a kitöltött, kiszámolt alapadatokkal és a kitöltött táblázattal.
- e. A veszteségtényezők és a csősúrlódási tényezők számítása a 2.9 fejezet szerint.
- f. Összefoglalás. A kiszámított veszteség- és csősúrlódási tényezők hogyan vethetők össze a csőszerelvények kialakításáról, működéséről a gyakorlat folyamán tanultakkal.
- g. Felhasznált irodalom
- h. A lap alján bal oldalon a jegyzőkönyv elkészültének dátuma, jobb oldalon saját kezű aláírás.

A jegyzőkönyvet - bármilyen módon összefűzve - a következő gyakorlati órát megelőzően a mérés vezetőjének kell beadni.

Felhasznált irodalom:

[1] Dr. Terplán Zénó – Dr. Lendvay Pál: Általános géptan Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.

[2] Jálics Károly-Nagy József: Segédlet az általános géptanhoz Miskolc, 1995.

[3] Takács Ágnes szerk. Mérési útmutató Miskolc, 2015.