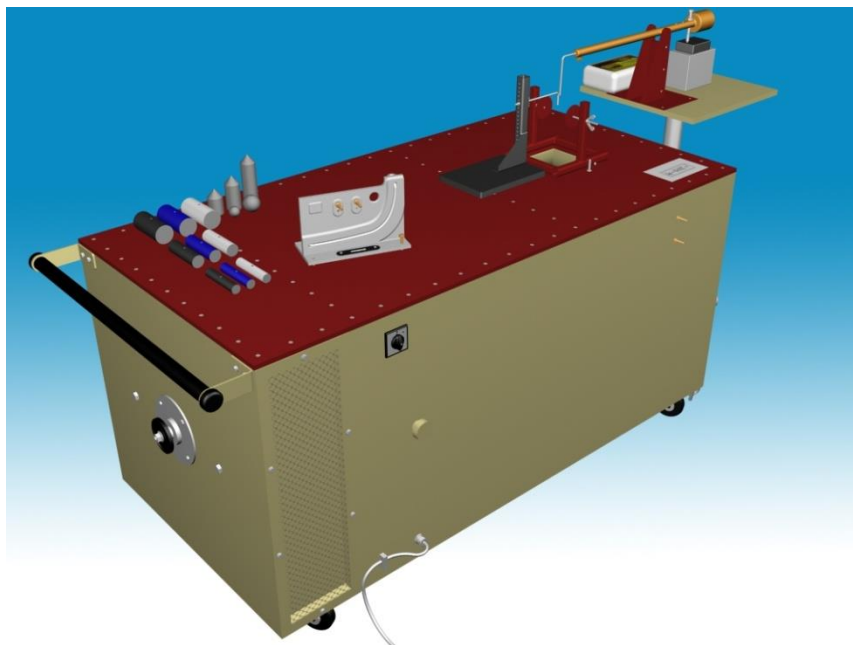


BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK



BSc M01 MÉRÉSI SEGÉDLET
TOMPA TESTEK ELLENÁLLÁSTÉNYEZŐJÉNEK
VIZSGÁLATA

Érvényes: 2014/15. II. félév

Otthoni felkészülés

1. A mérés célja

Különböző, de valamilyen tulajdonságuk szerint összehasonlítható tompa testekre különböző sebességeken ható ellenálláserők meghatározása méréssel, melyekből az ellenállás-tényező Reynolds-számtól és az összehasonlított tulajdonságtól való függése megismerhető.

2. Felkészülés a mérésre

A mérésre való felkészüléshez, elméleti alapjainak megértéséhez és a mért eredmények összehasonlításához **ajánljuk a tankönyv (Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai) 11.1-11.3 leckéinek tanulmányozását.**

A mérési útmutató alapos áttanulmányozása után **készítsük el a mérési munkatervet táblázatokkal, amelyekbe a mérendő adatokat rögzíthetjük.**

3. Elméleti összefoglaló

A folyadékáramlásban lévő, áramlásnak kitett testekre (pl. épületre, járművekre) áramlási eredetű erő hat. Ezen erőnek a zavartalan áramlás irányával párhuzamos komponensét ellenálláserőnek nevezzük. Tompa testnek nevezzük az olyan testeket, melyeken az ellenálláserő döntő részben a test szélfelőli és azzal ellentétes része között tapasztalható nagy nyomáskülönbség eredőjeként jön létre, a fali csúsztatófeszültségek eredője viszont elhanyagolható. (Áramvonalas testeknél az arány fordított). Az ellenálláserő az áramlási sebességtől, a test méretétől és a test alakjától a négyzetes ellenállástörvény szerint függ:

$$F_e = \frac{\rho}{2} v^2 c_e A$$

ahol a sebesség négyzetét és a sűrűséget tartalmazó csoport definíció szerint a zavartalan áramlás dinamikus nyomása:

$$p_{din} = \frac{\rho}{2} v^2$$

Az ellenálláserő tehát egyenesen arányos a dinamikus nyomással, ezen kívül a test jellemző felületével, és a dimenziótalan ellenállás-tényezővel:

$$F_e = p_{din} c_e A$$

A test jellemző felülete tompa testeknél a test áramlásra merőleges vetületének területe. A tapasztalatok és elméleti megfontolások szerint a különböző tompa testek ellenállás-tényezője az általunk vizsgálandó sebesség- és mérettartományban a test pontos alakjától, zavartalan áramláshoz viszonyított térbeli helyzetétől, felületi érdességétől valamint a Reynolds-számtól függ:

$$c_e = f(\text{alak, helyzet, érdesség, } Re)$$

A Reynolds-szám dimenziótlan csoport, melyet az áramlási sebességgel, a test jellemző méretével és az áramló folyadék kinematikai viszkozitásával alkotunk:

$$Re = \frac{vL}{\nu}$$

A test jellemző mérete az áramlásra merőleges vetületi kép két befoglaló mérete közül a kisebbik. A nevezőben szereplő kinematikai viszkozitás a dinamikai viszkozitás és a sűrűség hányadosa:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

A dinamikai viszkozitás az általunk vizsgálandó levegőáramlás sebesség- és mérettartományában a hőmérséklet függvényében empirikus képlettel meghatározható és diagrammal ellenőrizhető, a sűrűség pedig a laborban mért abszolút hőmérséklet és környezeti nyomásának függvényében az ideális gáztörvényből számolható:

$$\rho = \frac{P_0}{RT}$$

4. A mérőberendezés leírása

4.1. A mérőkocsi. A dinamikus nyomás mérése és beállítása

A levegőáramot egy nyitott mérőterű hordozható szélcsatornával hozzuk létre. A kilépő levegő egyenletes sebességeloszlását a kilépőnyílás előtt elhelyezett konfúzor, szűrőréteg és egyenletesítő rács biztosítja.

A konfúzor belépő- és kilépő keresztmetszeténél egy-egy nyomáskivezetés kapott helyet, ide kell csatlakoztatnunk a nyomásmérő műszerünk egyik csatornáját. A konfúzort Venturi-csőként használva a két csonc közt mérhető nyomáskülönbség közel a kilépő keresztmetszet dinamikus nyomásával egyenlő. A kalibrációs mérések szerint, ahol a kilépő keresztmetszet közepe fölé, 140 mm magasságba helyezett Prandtl cső által mért dinamikus nyomást hasonlítottuk össze a mérőkocsin mérhető nyomáskülönbséggel, **az alábbi összefüggést kell használnunk:**

$$p_{din} = K\Delta p, \quad K = 0,908$$

A dinamikus nyomást a ventilátor szívóoldali fojtásával szabályozzuk. A fojtás mechanizmusa a kocsi felső asztalfelületén lévő ablakon keresztül ellenőrizhető, oldalt egy kerékkel kézzel állítható. A fojtás a szívó keresztmetszet előtt mozgatható körlappal van megoldva, melyet egy orsós mechanizmuson keresztül állíthatunk. **A szívó keresztmetszetet a körlappal teljesen elzárva közel 0 Pa-t tudunk beállítani,** míg a keresztmetszetet folyamatosan nyitva **a kerék első 10 fordulatával a nyomás drasztikusan növekszik a maximális érték 90%-áig,** további 8 fordulattal lassan nő a teljesen nyitott helyzetig.

A kerék különösebb erőfeszítés nélkül mozgatható. Nagyon figyeljünk arra, hogy a végállások közelében ne feszítsük túl az orsót, mert eltörhet!

4.2. Az erőmérő mérleg

A testekre ható ellenállóerőt egy kétkarú emelős áttételen keresztül mérjük egy elektronikus erőmérő cellával. Az emelő hosszabb karjának a végére tudjuk felcsavarozni a mérendő testet, míg a rövidebb kar végén egy közdarabon keresztül terheljük az erőmérő cella mérőtüskéjét. A rövidebb karon a mérőtüske után található ellensúly az erőmérő cella előterhelésére szolgál a pontosabb mérés érdekében.

A mérleg kétkarú emelőként működik: a hosszabb kar, vagyis a mérőkar végén megjelenő erők függőleges komponensével a mérleg rövidebb karjának végén, a mérőtüske által a mérlegkarra ható erő tart egyensúlyt.

A mérőkarra ható erőt a mérlegen mért erőből a kétkarú emelő nyomatéki egyensúlya alapján számíthatjuk:

$$F_e = F \frac{k_2}{k_1}$$

Hogy később az adatok feldolgozásánál ne keverjük össze a karok arányát, érdemes megjegyeznünk, hogy az erőmérő a testre ható erőt felnagyítva méri, emiatt **a testre ható tényleges ellenállóerő a mért értéknél mindig kisebb.**

4.3. Az ellenálláserő mérése. A kiejtéses mérési elv

A mérés során nem csak maga a mérendő test, hanem a mérőkar is a légáramban van, ezáltal a mérőkarra is ellenálláserő hat, amelyet mérés során ugyanúgy belemérünk a mért értékbe. Ráadásul a mérőkarra ható ellenálláserőt nagymértékben befolyásolja az elé helyezett test mögötti áramlás, amelyben elhelyezkedik. Annak érdekében, hogy a végső eredménybe ez a karra ható ellenálláserő ne szójjon bele, **a kiejtéses mérési elvet alkalmazzuk. Ez a következő lépésekből áll:**

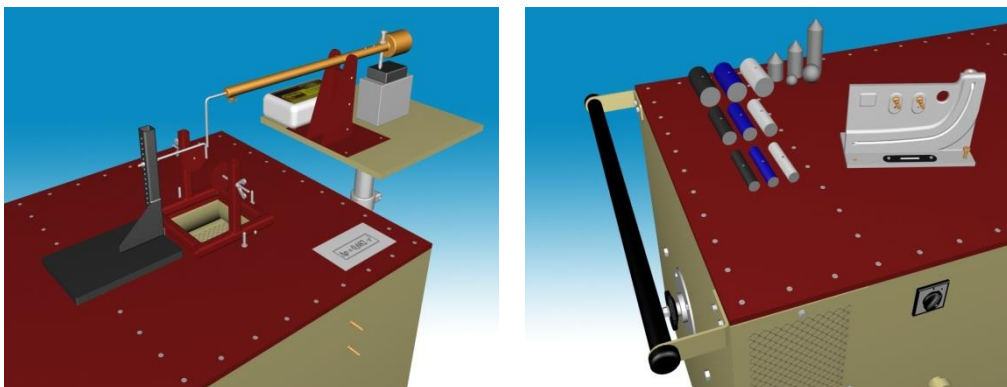
0) **A szélcsatorna kikapcsolt állapotában nullázzuk az erőmérőt.** Ezzel a mérendő test, a kar és az ellensúly súlyerejét kiejtjük a mérésből.

1) **Az első mérésnél a testet ténylegesen a mérőkarra rögzítve helyezük a légáramba,** ekkor lemérhetjük a testre ható ellenálláserő, és a test mögötti áramlásba helyezett karra ható ellenállóerő összegét.

2) **A második mérésnél a testet egy segédárványra rögzítve helyezük a légáramba, a test és a mérőkar első méréskori relatív helyzetét megtartva,** de anélkül, hogy a test és a mérőkar ténylegesen összeérne. Mivel a testre ható ellenálláserő ebben a konfigurációban nem a mérőkart, hanem a segédkart terheli, ezért így lemérhetjük a test mögötti áramlásba helyezett mérőkarra ható ellenálláserőt olyan körülmények között, mint az első mérésben.

3) **Feldolgozáskor a testre ható tényleges ellenállóerő az első és a második mérésben mért erők különbségeként számítható:**

$$F_e = F_{e,test+kar} - F_{e,kar}$$



1. ábra: Mérőkocsi, mozgatható szélcsatorna

A mérés menete

4.1 Alapadatok felvétele (két párhuzamosan, egyénileg végezhető részfeladattal)

1a) A kiválasztott testek alakját, méreteit, érdességi jellemzőit, az alkalmazandó megfűvási irányt jegyzeteinkbe rögzítjük. A testek befoglaló méreteit tolómérővel mérjük le. Feljegyezzük a **mérőeszközök (mérőkocsi, nyomásmérő, erőmérő cella) típusát, sorozatszámát**. A laborban elhelyezett fali műszerekről leolvassuk a **teremben uralkodó hőmérséklet és légnyomás értékeit**.

1b) A kocsi beindítása és próbája, a maximális és minimális nyomás lemérése.

A nyomásközlő gumi- vagy szilikonsöveket mérés előtt célszerű ellenőrizni, nehogy kis repedés, szakadás legyen rajtuk, mert ha szelel a mérőcső, a mérési adataink utólag is menthetetlenek. **Kritikus pontok** a műszerekre, ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei. Az ellenőrzést szemrevételezéssel, vagy rögtönzött nyomástartási próbával végezhetjük el.

A minimális és maximális nyomás leméréséhez, mivel azok csak tájékoztató értékek, a kalibrálatlan nyomásmérő is elegendő. Kössük a nyomásmérőt a mérőkocsi nyomáskivezetéseire, és teljesen álló szélcsatorna mellett nullázzuk azt. Fedetlen kifűvónyílás mellett indítsuk be a ventillátort. A fojtás állításával járjuk be a megvalósítható teljes sebességtartományt. **Jegyezzük fel a maximális beállítható nyomáskülönbséget - ez fogja meghatározni a bejárható sebességtartományunk felső határát.**

4.2 Kalibráció és mérési program meghatározása (három párhuzamosan, egyénileg végezhető részfeladattal)

2a) A nyomásmérő kalibrálása: a digitális manométert lekötjük a csatornáról, majd a Betz-féle mikromanométer segítségével, a nullpont beállítása után 0 és a mért maximális nyomáskülönbség között 5 mérési pont rögzítésével ($h_{\text{Betz}} [mm]; p_{\text{dig}} [Pa]$) kalibráljuk. Egyszerűen beállítható, kerek vízoszlop-értékeket válasszunk.

2b) Az erőmérő cella kalibrálása: a cella nullázása után a rendelkezésre bocsátott mérőtömeget a mérőtű fölé, a mérleg támadáspontjára helyezük, a mért értéket lejegyezzük. A tömeg levételével és visszahelyezésével 5 mérést végzünk. Tolómérővel mérjük meg és jegyezzük fel a kétkarú emelő forgáspontja és a mérőtű közti rövidebb karhosszt, a hosszabb karhosszt mérőszalaggal mérjük le.

2 c) A mérési program elkészítése, célnyomások meghatározása.

El kell készítenünk egy mérési programot, amelyet a testek méreteinek és a szélesatorna maximális nyomásértékének értékének ismeretében, a különböző mérési pontoknál **a szélesatorna fojtásával beállítandó nyomások célértékeinek táblázatában rögzítünk.**

A kitűzött mérési feladat sebességek, illetve Re-számok azonosságát írja elő, helyben, a mérőkocsin viszont csak nyomásértékeket tudunk mérni, ill. beállítani. A hangsúly nem a kiválasztott konkrét értékeken van, hanem az azonosságukon a különböző testek esetében. Ezért az alábbiakban megadjuk a módját, hogy a sebességre, ill. Re-számokra vonatkozó előírásokból hogyan lehet a helyszínen meghatározni a célnyomásértékeket úgy, hogy a mérések a szélesatorna nyomástartományára és a testek adatai alapján megvalósíthatóak legyenek, és ne kelljen sokat számolni. A tényleges sebességértékek, ill. Re-számok a kiértékeléskor fognak adódni.

2 c 1) Ha azonos sebességek vannak előírva.

A beállítandó mérési pontokat körülbelül nyomás szerint egyenletes eloszlással, kerek értékekben vegyük föl. Kerüljük a 20 Pa-nál alacsonyabb, vagy a maximális 90%-ánál nagyobb nyomásértékeket, mivel ezeket már nehéz biztonsággal beállítani, illetve reprodukálni. A sebességek a mérés feldolgozásakor adódnak majd.

2 c 2) Ha azonos Re-számok vannak előírva.

Például: három különböző méretű testből álló csoport ellenállás-tényezőjét kell összehasonlítani öt különböző Reynolds-számon. Ekkor a sebességeket minden pontban változtatnunk kell, ezért összesen 15 különböző célnyomásunk lesz. **A célnyomásokat egy 3 sorból és 5 oszlopból álló táblázatba rendezve számítjuk ki, ahol az oszlopok növekvő sorrendben egy-egy Reynolds számhoz, a sorok egy-egy testhez tartoznak növekvő jellemző méret sorrendjében.**

1) A legnagyobb jellemző méretű test legkisebb Reynolds-számhoz tartalmazó célnyomása lesz a beállítandó legkisebb. Ezt válasszuk 20 Pa-ra, mert ez még kényelmesen beállítható és elfogadható relatív mérési hibával mérhető.

2) A legkisebb jellemző méretű test legnagyobb Reynolds-számhoz tartozó célnyomása a beállítandó legnagyobb, ez legyen a beállítható maximális nyomás 90%-a, mert ez még biztonsággal reprodukálható.

3) A legkisebb célnyomásból számoljuk ki az azonos oszlopban, vagyis azonos Reynolds-számhoz tartozó célnyomásokat a másik testekre is. Feltételezve a levegő sűrűségének, a kinematikai viszkozitásnak és a kalibrációs tényezőknek állandóságát a mérés során, a Reynolds-szám és a dinamikus nyomás definíciójából levezethető alábbi képlet megadja a célnyomások átszámítását azonos Reynolds-szám esetére két különböző jellemző méretű test között:

$$Re_1 = Re_2 \Rightarrow \Delta p_2 = \Delta p_1 \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2$$

Gyors ellenőrzés: azonos Re-szám esetén a nagyobb testhez mindig kisebb dinamikus nyomás tartozik.

4) A legnagyobb testre most már adott a legnagyobb és legkisebb Reynolds-számhoz tartozó nyomás. Válasszuk meg erre a testre a közbenső nyomásértékeket is, közelítőleg egyenletes felosztást használva, egész számokra kerekítve.

5) A 3) pontban használt képlettel **oszloponként számítsuk ki a célnyomásokat a legnagyobb testnél meghatározott célnyomásokból.**

Kész vagyunk, indulhat a mérés.

4.3) A mérési program végrehajtása

Javasolt feladatmegosztás 4 főre:

1 fő állítja a fojtást, figyeli a beálló nyomásértéket a műszeren.

1 fő egyszerre figyeli az erőmérő cellát és a nyomásmérőt, jegyzőkönyvezi a mért értékeket.

1 fő szereli, illetve átszereli a mérendő testeket, figyel a testekre mérés közben, indítja és zárja a csatornát.

1 fő felügyeli a mérési programban a haladást, diktálja a mérendő testet és konfigurációt és a célnyomás értékét.

A mérések táblázatában egy sor az alábbi adatokat tartalmazza:

A test alakja, sorszáma

A test jellemző mérete

Mérőkaros vagy segédkaros konfigurációban van-e

A megvalósított mért nyomásérték (ez kis mértékben különbözhet a célértéktől) [Pa]

A mért erőérték [kg]

Javasolt mérési sorrend:

1. test:

Szélcsatorna tökéletesen álló helyzetben a nyomásmérő nullázása.

Test felszerelése a mérőkarra, mérőcella nullázás, csatorna bekapcsolása,

Test mérése a mérőkaron emelkedő fojtások sorrendjében, csatorna kikapcsolása,

Test átszerelése a segédkarra, mérőcella nullázás, csatorna bekapcsolása,

Test mérése a segédkaron szökkenő fojtások sorrendjében, csatorna kikapcsolása.

2., 3., ...testek ugyanígy. Ezután ugyanígy járunk el a többi testtel is.

A mérés végén jegyezzük föl ismét a légköri hőmérséklet és nyomás értékét.

Mire figyeljünk a mérés során:

Munkavédelem:

Ne próbáljuk meg a járó szélsatorna szelét a fedéllel elterelni, lefedni, mert nem fog sikerülni, és balesetveszélyes!

Az asztal felületén csak a legszükségesebb dolgokat helyezzük el! Az asztalon ne hagyjunk írószert, vagy egyéb apró tárgyakat szabadon, amelyek a légáram által elsodorva leeshetnek, vagy sérülést okozhatnak!

Nyomásméréskor:

Győződjünk meg róla, hogy azt a csatornát olvassuk le, ami be van kötve! Ellenőrizzük a műszer helyes bekötését!

Győződjünk meg róla, hogy a vezetékek nem szelelnek! Kis repedés a bekötési pontok körül már menthetetlen adatokat eredményez!

Győződjünk meg róla minden test-cserekor, hogy tökéletesen álló szélsatorna mellett 0 Pa-os nyomásértéket mérünk, max. +/- 2 Pa hibával!

Erőméréskor:

Győződjünk meg róla, hogy mérleg (mérési bizonytalanságon belül) tökéletesen álló szélsatorna mellett 0 N-t mutat! Minden test-cserekor nullázzuk az erőmérőcellát, mert a testeknek eltérő a súlya!

Segédkaros mérésnél:

A segédkaros konfigurációban az állvány és a test behelyezésekor ügyelnünk kell arra, hogy a beállítás a lehető legjobban közelítse azt az állapotot, amikor a test ténylegesen a mérőkaron volt, és hogy a test, illetve a segédállvány ne érjen a mérőkarhoz.

A nyomások beállításánál és feljegyzésénél:

A megvalósított nyomásértéket fel kell írni, a célnyomás értéke önmagában nem elfogadható!

A beállítás nagy nyomásoknál 5 Pa-on belül, kis nyomásoknál akár 1 Pa-on belül megoldható. Vegyük figyelembe, hogy a mért nyomás csak 5-10 másodperc után áll be a fojtás eltekerése után.

4.4) Ellenőrzés

Ellenőrizzük a feljegyzett adatokat, ne legyen hiány vagy első ránézésre is gyanús mért érték.

Ellenőrizzük a célértékek és a megvalósított mérési pontok táblázatát, ne legyen durva eltérés.

Milliméterpapíros diagram:

A milliméterpapírra egy diagramban ábrázoljuk az összes test+kar erőmérő cellán leolvasott értéket a leolvasott nyomás függvényében. A pontoknak testenként különböző meredekségű, de az origóból induló egyenes vonalakra kell illeszkednie. A durva hibák ezzel kiszűrhetők: például: egy számjegy elírása, a mérleg nullázásának kihagyása, ezáltal súlyerő belemérése.

4.5) Rendrakás, a jegyzőkönyv kézzel írott formájának átadása a mérésvezető oktatónak.

A mérésvezető oktató ellenőrizheti a mérőstandhoz tartozó eszközök leltárját.

A kézzel írott jegyzőkönyv rendezésének követelményei:

A címoldalon szerepeljen a mérés címe, időpontja és a dátum, a mérést végző hallgatók neve, neptun kódja és aláírása!

Minden lapon szerepeljen oldalszám és dátum, valamint a mérésvezető oktató neve!

Minden olyan lap, amin olyan információ (mért adat, vázlat, képlet) szerepel, amit később a kiértékelés során használni fogunk, a jegyzőkönyv része kell, hogy legyen, beleértve a címoldalt és a milliméterpapíros diagramot is! Többszörösen leírt adatokat (piszkozatot) tartalmazó papírokat nem kell beadni.

A jegyzőkönyv elfogadásakor a mérésvezető oktató minden beadásra rendezett oldalt aláír.

Kiértékelés

5. A mérési feladat kiértékelése

1. táblázat. Testek mért és származtatott geometriai adatai.

2. táblázat. A környezeti állandók kiszámítása: a mérés kezdetén és végén felvett adatok számtani átlagai alapján kiszámítjuk a levegő sűrűségét és viszkozitását. Táblázatban rögzítjük az eredményeket.

3. táblázat. A nyomásmérő kalibrálása: A nyers adatok feltüntetése után a Betz-manométeren leolvasott vízoszlopértékeket számítsuk át Pa-ba:

$$\Delta p_{\text{Betz}} = \rho_{\text{víz}} g h_{\text{Betz}}$$

Ezen értékeket diagramon ábrázoljuk a digitális nyomásmérőn leolvasott értékek függvényében. **Regressziós egyenest fektetünk a pontokra a diagramon és kiíratjuk az egyenes egyenletét:**

$$\Delta p_{\text{Betz}} \cong k_p \Delta p_{\text{dig}} + \Delta p_{0\text{dig}}$$

Mivel a nyomásmérő műszeren azonnali nullázási lehetőség van, amit a mérés elején, sőt akár közben is többször használtunk, ezért a regressziós egyenes $\Delta p_{0\text{dig}}$ konstans tagját elhanyagoljuk. A pontokra illesztett regressziós egyenes k_p meredekségét viszont a továbbiakban a digitális nyomásmérőnk kalibrációs tényezőjének tekintjük.

4. táblázat. Az erőmérő cella kalibrálása: a kalibrációs tömeg számított súlyának és a mért értékek átlagának hányadosa a mérleg kalibrációs tényezője:

$$k_F = \frac{mg}{\frac{1}{n} \sum F_{\text{dig},i}}$$

Ez tehát még nincs a karhosszakkal korrigálva, csak a mérleg mérési hibáját korrigáltuk!

5. Táblázat. A mérések feldolgozásának táblázata.

Célszerű az összes mérési adat feldolgozását egyetlen, nagy táblázatba foglalni, így a cellamegadások a lehető legegyszerűbben elvégezhetők.

Célszerű úgy rendezni az adatokat, hogy egy testtel, egy sebességen mért mérési adatok és a feldolgozásukból származó összes adat egy sorban legyen.

Egy testhez tartozó adatokat közvetlenül egymás alá célszerű rendezni, sebesség szerint növekvő sorrendben, így a diagramok megadása és az átláthatóság a legjobb.

Egy sor a következő oszlopokat tartalmazza (a mennyiség kiszámítását lásd alább):

- Test megnevezése, kvalitatív mérete (nagy, közepes, stb.);

- a célnyomás értéke,
 - a megvalósított leolvasott nyomásérték test+kar konfigurációban
 - a megvalósított erőérték test + kar konfigurációban,
 - a megvalósított leolvasott nyomásérték segédkaros konfigurációban,
 - a megvalósított leolvasott erőérték segédkaros konfigurációban,
-
- az átlagos kalibrált nyomáskülönbség
 - a kalibrált erőérték test+kar konfigurációban
 - a kalibrált erőérték segédkaros konfigurációban
-
- Dinamikus nyomás
 - Ellenálláserő
 - Sebesség
 - a test jellemző mérete,
 - Reynolds-szám
 - a test jellemző felülete,
 - ellenállás-tényező
-
- az ellenállás-tényező hibájához szükséges tagok (több oszlopban)
 - az ellenállás-tényező abszolút hibája
 - az ellenállás-tényező relatív hibája

Az átlagos kalibrált nyomáskülönbség számításával egyrészt kiegyenlítjük a kiejtéses mérésnél a nyomás újbóli beállításakor lévő különbséget, másrészt korrigálunk a műszer kalibrációs tényezőjével:

$$\Delta p = k_p (\Delta p_{dig, test+kar} + \Delta p_{dig, kar}) / 2$$

A kalibrált erőértékek (**a mérleg hosszú karján mért erőérték**) a digitális erőmérőn leolvasott erőértékből így számítandó:

$$F_{test+kar} = k_F F_{dig, test+kar}$$

$$F_{kar} = k_F F_{dig, kar}$$

A dinamikus nyomás a szélsatorna mérőállandójával az előbbiből számolható:

$$p_{din} = K \Delta p, \quad K = 0,908$$

Az ellenálláserő:

$$F_e = F_{e, test+kar} - F_{e, kar} = \frac{k_2}{k_1} (F_{test+kar} - F_{kar})$$

A sebesség, Reynolds-szám és ellenállás-tényező a fentiekből az alapképletekkel számolható. Az ellenállás-tényezőtől közvetlenül használjuk a dinamikus nyomás számított értékét.

A hibaszámításhoz lásd a függelékét.

1. diagram. A nyomásmérő kalibrációja.

2. diagram. A számított ellenálláserők a számított dinamikus nyomás függvényében.

3. diagram. A számított ellenállástényező-értékeket közös diagramon, minden testre külön adatsorral ábrázoljuk a Reynolds-szám függvényében. Szintén fel kell tüntetni az ellenállás-tényezők abszolút hibáit fel- és lenyúló hibasávokkal vagy a hibaértékekkel felfelé és lefelé eltolt adatsorok feltüntetésével.

Értékelés.

Értelmezzük a kapott eredményeket az elmélet alapján, megállapításainkat rögzítsük a jegyzőkönyvben, adjuk elő a prezentáción. Vessük össze eredményeinket a tankönyvben található értékekkel, vagy egyéb irodalommal. Külön értékeljük a számított hibáknak a következtetéseink bizonytalanságára gyakorolt hatását.

Függelék. Az ellenállás-tényező hibaszámítása

A hibaterjedés számításakor az egyszerűség kedvéért már a kalibrált adatokból indulunk ki.

A korábban megállapított összefüggések szerint:

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v^2 A} = \frac{F_{e, \text{test+kar}} - F_{e, \text{kar}}}{P_{din} A} = \frac{\frac{k_2}{k_1} (F_{\text{test+kar}} - F_{\text{kar}})}{K \Delta p A}$$

Feltételezzük, hogy a kiemelt konstans-csoportban, illetve a test mért jellemző keresztmetszetében (továbbá a kalibrációs tényezőkben) elhanyagolható a mérési hiba. Ekkor az ellenállás-tényező, mint számított eredmény három független mennyiség függvénye:

$$c_e = f(X_1, X_2, X_3)$$

Ahol:

$X_1 = F_{\text{test+kar}}$ A kalibrált mért test+kar ellenállás-erő (karral korrigálás előtt)

$X_2 = F_{\text{kar}}$ A kalibrált mért ellenállás-erő (karral korrigálás előtt)

$X_3 = \Delta p$ A kalibrált átlagolt nyomáskülönbség

Tehát a parciális deriváltak meghatározásakor a fenti változók szerint kell deriválni az alábbi függvényt:

$$f(X_1, X_2, X_3) = \left(\frac{k_2}{k_1 K A} \right) \frac{(F_{\text{test+kar}} - F_{\text{kar}})}{\Delta p}$$

A fenti mennyiségek abszolút hibái az alábbi értékeknek veendőek föl:

$$\delta \Delta p = 2 Pa$$

$$\delta F = 0,02 N$$