

## M4

### TESTEK ELLENÁLLÁSTÉNYEZŐJÉNEK MÉRÉSE NPL TÍPUSÚ SZÉLCSATORNÁBAN

#### 1. A mérés aktualitása, a mérés célja

Az áramlásba helyezett testekre ható erők, nyomatékok ismerete fontos az épületek, tartószerkezetek, járművek tervezésénél. Jelen mérésnél az áramlásra merőlegesen elhelyezett lapok áramlási ellenállását határozzuk meg, vizsgálva a lap geometriájának változására bekövetkező erőváltozásokat. A mérésre két sorozatot készítettünk elő.

A: Az adott feladatban különböző lekerekítésű, az áramlásra merőlegesen behelyezett síklapok ellenállás-tényezőjének mérése a feladat. Vizsgálandó az ellenállás-tényező lekerekítés szerinti változására.

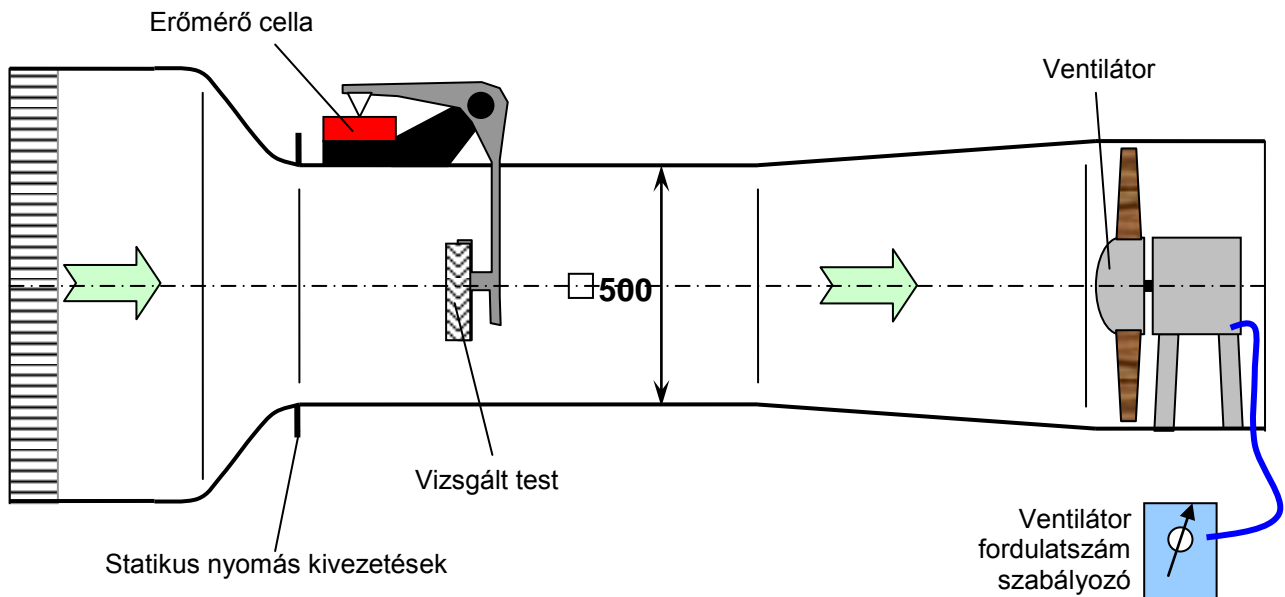
B: A mérés során különböző sűrűségű, az áramlásra merőlegesen behelyezett szita- és rácslapok ellenállás-tényezőjét kell meghatározni.

#### 2. A mérőberendezés leírása

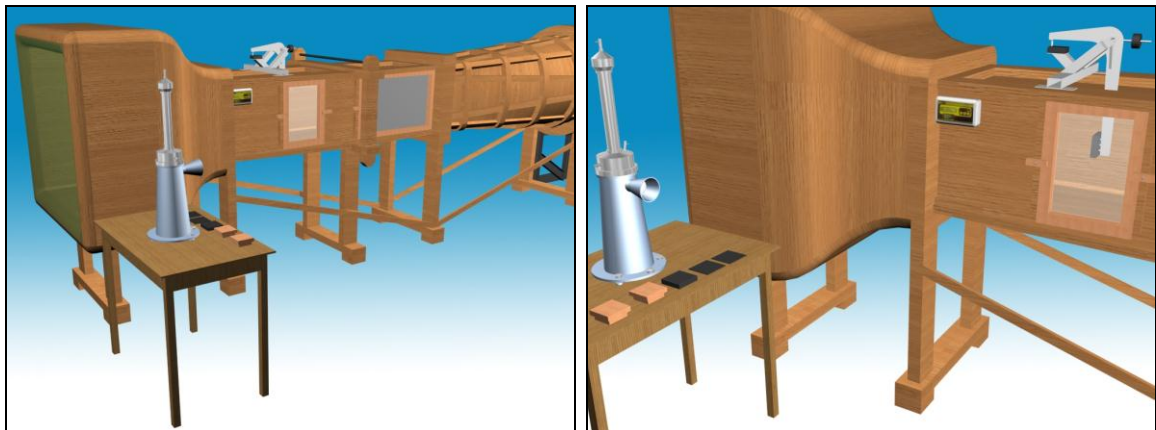
A tanszék NPL (*National Physical Laboratory*) típusú szélcsatornája egy zárt mérőterű beszívó csatorna. A mérőtér  $\square$  500×500 mm keresztmetszetű, hossza 2 m. Előtte találjuk a konfúzoros beszívó száját egyenirányítóval, szitákkal felszerelve, ami a mérőtérben lévő sebességmegoszlás egyenletesítését biztosítja. A konfúzor mögött kialakított körvezeték segítségével a szélcsatorna és az atmoszféra közötti  $\Delta p_k$  nyomáskülönbség mérhető. Ennek segítségével számítható a mérőtér középső részében érvényes sebesség.

A  $\Delta p_k$  méréséhez Betz-rendszerű manométert, vagy kézi digitális manométert lehet használni. Mindkettő kezelési leírása megtalálható a mérési útmutató [1] 3. fejezetében ill. a [3]-as leírásban.

A mérőtér után egy diffúzor következik, majd a levegőt áramoltató ventilátor. A ventilátort egy egyenáramú motor hajtja, amelynek a fordulatszáma 0÷1500 1/perc között folytonosan változtatható egy potenciométer segítségével. A megfúvási sebesség így 0÷15 m/s között változtatható. A mérendő testet egy, a csatorna tetejére felszerelt mérleg mérőtérbe nyúló karjára kell felszerelni. A másik kar egy elektronikus mérlegre támaszkodik, ezzel mérhető a testre ható erő.



Az NPL típusú szélescsatorna mérési összeállítása



### 3. A mérés elve, a mérendő mennyiségek

Az áramlásba helyezett testekre ható erőket, az erő- és ellenállás-tényezők definiálását Az *áramlástan alapjai* tankönyv [1] 11. fejezete tárgyalja.

A mérési feladat és a mérőrendszer kiépítése az áramlási sebesség irányába mutató erő, azaz az ellenállás-erő mérését teszi lehetővé. A feladat lényege a megfúvási sebesség és a testre ható erő meghatározása, amiből az ellenállás-tényező már meghatározható.

$$F_e = c_e \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_\infty^2 \cdot A$$

ahol  $c_e$  [-] az ellenállás-tényező,  $v_\infty$  [m/s] a megfúvási sebesség,  $A$  [m<sup>2</sup>] a test jellemző megfúvási sebességre merőleges vetületének területe,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] az áramló levegő sűrűsége. A  $v_\infty$  megfúvási sebesség a konfúzornál mért  $\Delta p_k$  nyomáscsökkenésből számítható.

A mérőtér középpontjában nem tudjuk megmérni a sebesség számításához szükséges dinamikus nyomást, hisz ott a mérendő test helyezkedik el. Ezért korábban elvégezték a csatorna minősítést, ahol egyrészt megvizsgálták, hogy a sebesség eloszlás mennyire egyenletes a mérőtér adott keresztmetszetében, másrészt meghatározták a kapcsolatot a konfúzornál mért nyomáscsökkenés és a mérőtérbeli dinamikus nyomás között:

$$p_d = k \cdot \Delta p_k$$

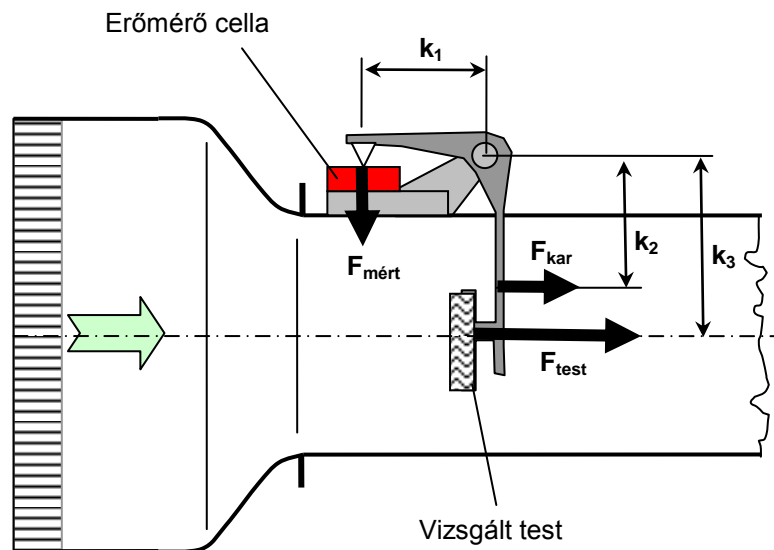
ahol a  $k$  [-] konstans rács nélküli esetben 1,015 értékű.

A sebesség ezek alapján az alábbi formában számítható:

$$v_\infty^2 = \frac{2}{\rho} p_d$$

A Reynolds-szám is számítható, amihez a kinematikai viszkozitás értéke a tanszék honlapján található.

A testre ható erő a mérlegen kialakuló nyomatéki egyensúlyok felírásából határozható meg.



Fontos magára az egyedülálló (a mérendő test nélküli) a felfüggesztésre ható erő meghatározása, amit le kell vonni a testre ható erő mérésekor, hisz ekkor a testre és a felfüggesztésre ható erők együttesét mérjük. A testet ilyenkor csak behelyezzük a mérlegkar elé, de nem erősítjük rá - ez az ún. kitakarás módszere - és így csak a mérlegkarra ható erőből származó nyomatékot ( $M_{kar}$ ) mérjük. Ekkor felírható a nyomatéki viszonyokra test nélkül:

$$k_1 \cdot F_{mértkar} = M_{kar}$$

majd a testtel együtt is írható:

$$k_1 \cdot F_{mért} = M_{kar.korr.} + k_3 \cdot F_{test}$$

Mivel a két mérés nem pontosan azonos sebességnél történt, ezért korrekcióra van szükség, ennek módja:

$$M_{kar.korr.} = M_{kar} \left( \frac{v_{mért}}{v_{mértkar}} \right)^2$$

A fenti képletek segítségével számítható a testre ható erő:

$$F_{test} = \frac{k_1 \cdot F_{mért} - M_{kar.korr.}}{k_3}$$

#### 4. A mérés menete

A mérés során a csoportnak legalább 4-5 (egy- vagy kétféle csoportba tartozó) test ellenállás-tényezőjét kell meghatározni különböző Reynolds-számmal.

Miután a műszerekkel megismerkedtünk, első lépésként ellenőrizzük az erőmérő cella kalibrációját. Amennyiben ez nem megfelelő, kalibráljuk újra az erőmérő cellát.

Ez után a mérlegkarra ható erőt kell meghatározni. Ezt 4-5 különböző Re-számmal, vagyis különböző sebességnél kell elvégezni minden egyes mért testre.

A karra ható erők meghatározása után a testet felszerelve megismételjük a méréseket.

A  $\rho$  levegő sűrűség a mindenkori légállapotból ( $p_0$ ,  $T$ ) számítható:

$$\rho = \frac{p_0}{R \cdot T}$$

ahol  $p_0$  a mindenkori barometrikus nyomás,  $R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$  és  $T$  az aktuális levegő hőmérséklet K-ben mérve.

#### 5. A mérés kiértékelése és ellenőrzése irodalmi adatokkal

A mérés értékelésekor vizsgáljuk az ellenállás-tényező változását a lekerekítés szerint, amit a lekerekítési sugár és az átmérő vagy élhossz hányadosával jellemezhetünk. Ábrázoljuk az ellenállás-tényezőt ennek a függvényében. A sziták esetén a geometriát az  $A_{szabad} / A_{össz}$  keresztmetszet aránnyal jellemezhetjük. Mutassuk ki az ellenállás-tényező Re-szám függését is!

A kapott eredményeket össze kell hasonlítani – amennyiben rendelkezésre áll – irodalmi adatokkal, például Az áramlástan alapjaiban található értékekkel. Ezt követően hibaszámítást kell végezni. A hibaszámítást alapesetben az ellenállás-tényezőre kell elvégezni, tehát a honlapon található hibaszámítási segédlet alapján  $R=c_e$ . A leolvasási hibával terhelt adatok ( $X_i$ -k), melyeknek explicit kell szerepelniük  $c_e$  képletében, valamint azok hibái:

- nyomáskülönbség a dig. manométeren:  $X_1 = \Delta p, \quad \delta \Delta p = 2Pa$
- erőmérő műszer:  $X_2 = F_e, \quad \delta F_e = 0,02 N$
- hőmérséklet  $X_3 = T, \quad \delta T = 1K$
- légköri nyomás  $X_4 = p_0, \quad \delta p_0 = 2Pa$

A geometriai pontatlanságból, hibás beállításból, vagy az áramkép változásából fakadó hibákat további vizsgálatokkal lehet megállapítani és kiszűrni. Nem szabad elfeledkezni, hogy a mérés során két mérést kell elvégezni, amikor az ún. kitakarás módszert használjuk illetve, amikor a test fel volt függesztve az állványra.

Az ellenállás-tényező kifejezése, abszolút hiba számítása: relatív hiba:

$$c_e = \frac{F_e}{\frac{\rho}{2} v^2 A} \qquad \delta c_e = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \delta X_i \cdot \frac{\partial c_e}{\partial X_i} \right)^2} \qquad \frac{\delta c_e}{c_e} = ?$$

A kiértékelés és a jegyzőkönyv egyéb formai követelményeire vonatkozó útmutatások a [www.ara.bme.hu](http://www.ara.bme.hu) honlapon letölthető (mereskov.doc) található [3].

A mérendő testek a következők (a betűjelölések a testeken található):

- A csoport : A jelű rácsokat (4 db)
- B csoport : B jelű rácsokat (4 db)
- C csoport : C jelű tömör testeket (6 db)

Gyakori hiányosságok a jegyzőkönyvekben:

- nincs ellenőrző kód
- nincs hibasáv diagram
- az eredmények összefoglalása, következtetések, irodalmi adatokkal való összehasonlítás hiányos
- nincs csatolva a kitöltött mérési munkaterv a mérésvezető aláírásával

Ezekre figyeljenek, mielőtt benyújtják a jegyzőkönyvet!

### A mérés során nem szabad megfelelni

- A mérőberendezés bekapcsolása előtt, illetve általában a mérőberendezés üzeme során mindig meg kell győződni a balesetmentes használat feltételeinek teljesüléséről. A bekapcsolásról, illetve a mérés közben végrehajtott változtatásokról a berendezés környezetében dolgozókat figyelmeztetni kell.
- Minden mérési alkalommal a légköri nyomás és teremhőmérséklet feljegyzéséről!
- A felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a rájuk vonatkozó egyéb tényezők (Például a digitális mikromanométer mintavételezésének sebessége, a nullpontok ellenőrzésének időpontja) feljegyzéséről.
- A felhasznált mérőműszerek típusának, gyártási számának és a benne lévő mérőfolyadék sűrűségének feljegyzéséről!
- A mérőműszerről leolvasott mennyiségek és a további számításoknál felhasznált mennyiségek mértékegységének egyeztetéséről.
- A folyadékkal töltött nyomásmérők csak megfelelően kivízszintezve használhatóak.
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának kiválasztásánál. Általában mindegyik manométer típusnál figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csomójaira a szilikonsövet óvatosan, "ráközelítve", a kitérés mértékét figyelemmel kísérve kell felhelyezni. Ha bekötőcsövek tömör rögzítése előtt a mérőfolyadék szál kitérése megközelíti a maximális kitérést, úgy – ha lehet – méréshatárt kell változtatni a műszeren. Ha túl nagy kitérés adódik, és ez a módszer nem segít, akkor nagyobb nyomások mérésére alkalmas műszert kell választani a méréshez. Ellenkező esetben a mérőfolyadék egy része a bekötőcsőbe áramlik, meghamisítva, esetleg teljesen lehetetlenné téve a mérést.
- A nyomásközlő szilikonsöveket mérés előtt, esetleg közben is célszerű ellenőrizni, nehogy repedés, szakadás legyen rajtuk, mert lyukas mérőcső esetén az összes addigi mérési eredmény kárba vész. Az ellenőrzést szemrevételezéssel, vagy nyomástartási próbával végezhetjük el. Kritikus pontok a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.

### 6. Irodalom

- [1] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai. Műegyetemi Kiadó, 2004; Jegyzet azonosító: 45072.
- [2] EMB–001 kézi digitális nyomásmérő berendezés leírása
- [3] A mérési jegyzőkönyv formai és tartalmi követelményei

[2] és [3] dokumentumok: <http://www.ara.bme.hu/oktatas/labor/labor.htm>