

M1

TESTEK ELLENÁLLÁSTÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA

1. A mérés célja

A szélnek kitett álló, vagy mozgó (pl. jármű) szerkezetekre ható erő vizsgálata az áramlástechnikai mérések egyik fontos területe. A jelen mérés célja modelltestekre ható áramlástani erő meghatározása méréssel, a mérési adatból a testek ellenállástényezőjének kiszámítása és az eredmények kiértékelése.

2. A mérés leírása

2.1. Többféle modell test áll rendelkezésre. Kiválaszthatunk három egyforma alakú (henger, kúp, gömb) és méretű, de különböző felületi érdességű testet, vagy akár egyforma érdességű és alakú, de különböző méretű testet. A mérés során ezek mellett kötelezően lemérendő test a gömb is.

2.2. A kiválasztott testek méretét méréssel megállapítjuk és jegyzeteinkbe az alak és az érdesség jellemzőivel együtt rögzítjük (pl. a gömböt két félgömbbé szét lehet csavarni az átmérő megállapításához). Eközben a mérőcsoport egyik tagjának célszerű leolvasnia a teremben uralkodó levegő hőmérsékletet és légnyomást a laborban elhelyezett műszerekről (az adatok szintén rögzítendőek a jegyzetekben, és felhasználandók a jegyzőkönyv készítésénél például a levegő sűrűségének számításához).

2.3. A mérést három különböző szélességnél végezzük el. Ezek megállapításához a mérőkocsin elhelyezett $v=f(\Delta p_{ref})$ összefüggést kell felhasználni. A három sebességet célszerű úgy megválasztani, hogy a mérhetőség és a mérőkocsi teljesítménye által megszabott, nagyjából 7-25 m/s tartományt kihasználva, egymáshoz képest egyenletes beosztást képezzenek (tehát pl. $v_1=8$ m/s, $v_2=16$ m/s és $v_3=24$ m/s).

Miután a kívánt sebességértékek fenti összefüggésbe való behelyettesítésével megállapítjuk a beállítani kívánt vonatkoztatási (referencia) nyomáskülönbséget (és minden értéket rögzítettünk jegyzeteinkben), a digitális kézi nyomásmérőt vagy a görbecsőves manométert a mellékelt gumicsövek segítségével bekötjük a mérőkocsi oldalán található konfúzor kivezetési pontokra. Ezt a műveletet célszerű bekapcsolt ventilátor mellett, a csövek óvatos ráközelítésével végezni, hogy a helytelen bekötést megelőzzük.

A kívánt vonatkoztatási nyomásértékeket (a mini szélcsatorna kiáramlási sebességét) a mérőkocsi elején található fojtás segítségével lehet beállítani. A fojtás áttételéből kifolyólag a kívánt fojtási szint eléréséhez többnyire viszonylag sok fordulatot kell a szabályozóval megtenni.

A mérést célszerű egy megfúvási sebességnél minden testre elvégezni, és csak azután újabb sebességet beállítani.

2.4. A mérendő testet az áramlásba helyezzük. A testet ehhez a mérleg karjára kell rögzítenünk. Mivel ekkor nem csak a testre ható erőt, hanem a testre + az azt tartó karra ható áramlási eredetű erőt is mérjük, így a csak a mérendő testre ható ellenálláserőt úgy tudjuk meghatározni, hogyha ismerjük az adott szélességnél külön a testet tartó mérőkarra ható áramlási ellenálláserőt is. A kar a test mérése közben a test mögötti leválási nyomban van, így a karra ható erő mérésekor ezt az áramlási állapotot úgy hozzuk létre, hogy a testet egy segédállványra helyezzük. Ügyelni kell arra, hogy a karhoz mérés közben ne érjen hozzá a segédállványon rögzített test!

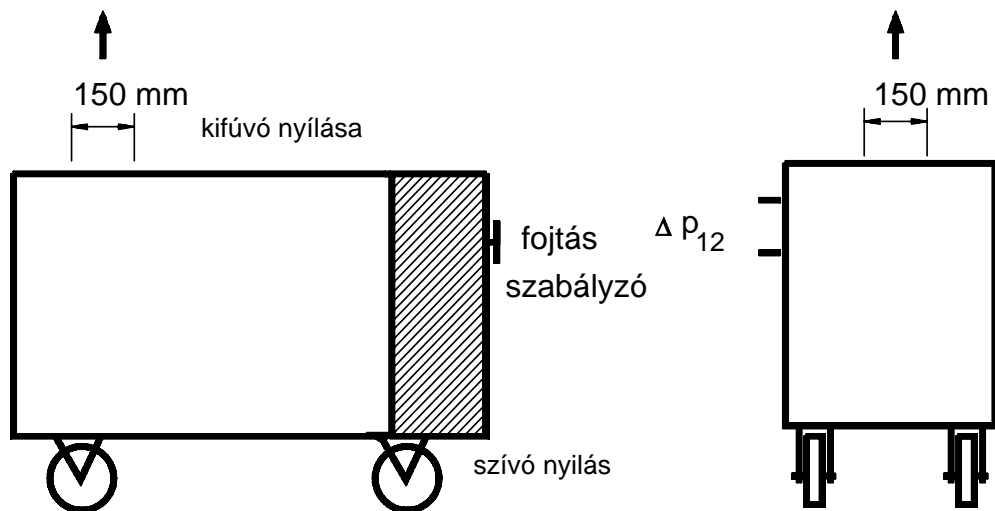
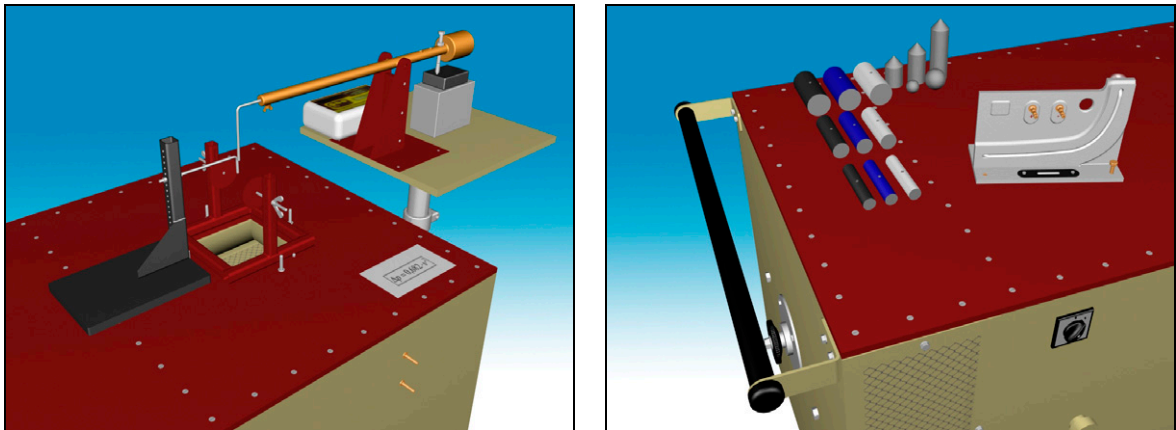
Minden test mérését így két lépésben kell elvégeznünk:

a.) A mérendő testet álló ventilátornál felhelyezzük a mérőkarra, az elektronikus mérleget nullázzuk. Bekapcsoljuk a szélcsatornát és a mért erő értéket rögzítjük (ügyeljünk rá, hogy a mérleg által mutatott erőt a karáttétellel szükséges korrigálni – ehhez meg kell mérni a test felfogatása és a mérőkar tengelye, illetve a mérőkar tengelye és a mérleg mérőpontja közötti vízszintes távolságot, és karáttételt kell számítani). Ezzel megkapjuk a vizsgált testre, és a mérőkarra együttesen ható áramlási eredetű erő értékét.

b.) Ezt követően ugyanezt a testet rögzítjük a segédállványra oly módon, hogy a testet az üresen álló mérőkar elé helyezzük úgy, hogy a beállítás a lehető legjobban közelítse azt az állapotot, amikor a test ténylegesen a mérőkaron van. Vigyázzunk a test és a segédállvány ne érjen a mérőkarhoz! A mérleget álló ventilátornál nullázzuk. A nullázásnál célszerű mindkét esetben a ventilátor kikapcsolása után röviddel a levegő kiömlő nyílást letakarni, hogy ne kelljen a nullázáshoz a ventilátor járókerék teljes leállítását megvárni. Így megkapjuk az adott szélességnél, az adott test takarásában elhelyezkedő karra ható áramlási erőt.

Az általunk keresett – vagyis a tisztán a testre ható – áramlási erőt a két mért erőérték kivonásával kapjuk meg.

A 4. pontban leírt lépéseket mind a négy vizsgálandó testre el kell végezni.



1. ábra: Mérőkocsi, mozgatható szélcsatorna

3. A mérési feladat kiértékelése

3.1. A leolvasott és a számított értékeket (a testre és a karra, illetve csak a karra ható erő, a két erő különbsége és a számított ellenállástényező) táblázatban rögzítjük.

Az ellenállástényező kiszámításának képlete:

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

$F [N]$ a testre ható erő (karra ható erőt levonva!)

$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ levegő sűrűség (számítandó)

$A [m^2]$ a test keresztmetszete (a zavartalan áramlás irányára merőleges vetület)

$v \left[\frac{m}{s} \right]$ a levegő sebessége

3.2. A számított ellenállástényező értékeket a három választott test (tehát a gömb nem) jellemző különböző paramétere (érdesség, átmérő, hossz, kúpszög, stb.) függvényében grafikonban ábrázoljuk. Például, ha három egyforma átmérőjű hengert választottunk, akkor a számított ellenállástényező értékeket az érdesség függvényében ábrázoljuk, egyértelműen

jelezve, hogy az egyes értékek mely sebességekhez tartoznak. (Az érdesség esetében nem lehet a mérési pontokat görbékkel összekötni, mivel a három kialakított érdesség pontos értékét, így egymáshoz képesti viszonyát nem ismerjük.)

3.3. A számított ellenállástényező értékeket mind a négy testre ábrázoljuk a Reynolds szám függvényében. A Reynolds szám kiszámításának módja:

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

Ahol

v [m/s] a légsugár sebessége
 d [m] a jellemző méret (a hengereknél és a gömbnél az átmérő, egyéb testeknél a mérésvezető oktató által kijelölt jellemző)

ν $\left[\frac{m^2}{s} \right]$ a levegő kinematikai viszkozitása (Leolvasható a megállapított teremhőmérséklet függvényében a tanszéki honlapon az oktatás/laboratórium-mérések/Diagrammok,... menüpontban található grafikonról, vagy a tankönyvben található képlet segítségével a hőmérséklet függvényében kiszámolható. A leolvasásnál ügyelni kell rá, hogy a viszkozitás értéke levegő esetében 10^{-5} nagyságrendű.)

3.4 Hibaszámítás készítése és az értékeke ábrázolása diagramban a mérésvezető oktató által meghatározott mennyiségre a tanszéki honlapon is megtalálható, illetve ezen útmutató végén található hibaszámítási segédlet alapján.

Az ellenállástényező kifejezése, az abszolút hiba számítása:

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

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

a relatív hiba:

$$\frac{\delta c_e}{c_e} = ?$$

ahol az X_i mért mennyiségek és a hozzájuk kapcsolódó mérési hibák:

$X_1 = F_e$,	illetve az erőmérés hibája	$\delta F_e = 0,02N$
$X_2 = p_0$,	illetve a nyomásmérés hibája	$\delta p_0 = 100 Pa$
$X_3 = T_0$,	illetve a hőmérsékletmérés hibája	$\delta T_0 = 1K$
$X_4 = \Delta h$,	illetve a ferde- v. görbecsöves manométer leolv. hibája	$\delta \Delta h = 0.001 m$
$X_5 = \Delta h_{\text{Betz}}$,	illetve a Betz-rendszerű manométer nyomásmérés hibája	$\delta \Delta h_{\text{Betz}} = 0.0001 m$
$X_6 = \Delta p$,	illetve a EMB-001 típ. digitális nyomásmérő hibája	$\delta \Delta p = 2Pa$

Az X_i mért mennyiségek és a hozzájuk kapcsolódó mérési hibák:

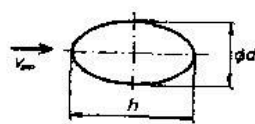
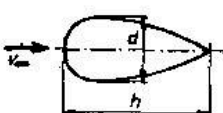
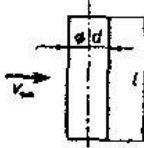
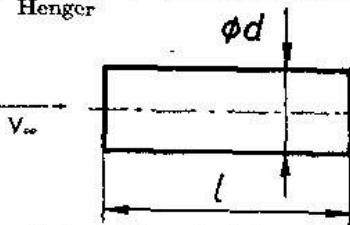
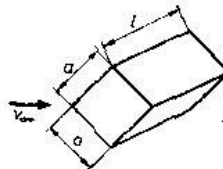
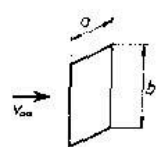
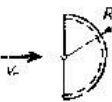
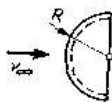
$X_1 = F_e$, illetve az erőmérés hibája $\delta F_e = 0,02 N$, ahol figyelembe kell venni, hogy az ellenállástényező számításakor az eredő erővel dolgozunk, amit két mérési hibával terhelt erő különbségeként kapunk. Ezeket az erőket a műszerről leolvasott érték és a karátétel alapján határozhatjuk meg, így a képletbe helyettesített hiba, az erőmérés hibája nem triviálisan a műszer hibája.

$X_2 = p_0$, illetve a nyomásmérés hibája $\delta p_0 = 100 Pa$

$X_3 = T_0$, illetve a hőmérsékletmérés hibája $\delta T_0 = 1K$,

$\delta \Delta h_{\text{dig}} = 2Pa$ ha digitális nyomásmérő műszert használunk.

Érdekességképpen és a várható nagyságrendek ismertetésére érdemes áttekinteni néhány jellemző geometria ellenállástényezőjének alakulását:

Test	Méretarány	c_e	
		$R \approx 10^4 + 10^6$	$R > 5 \cdot 10^6$
<p>Forgási ellipszoid</p> 	$h:d = 1,8$ 1 (gömb) 0,75 0 (körtárcsa)	0,5 0,6 1,1	0,09 0,15 0,2 1,1
<p>Dúc</p> 	$h:d = 2$ (hossza ∞) 3 5 10 20		0,2 0,1 0,08 0,083 0,094
<p>Henger</p> 	$l:d = 1$ 2 5 10 40 ∞	0,63 0,68 0,74 0,82 0,98 1,2	0,35
<p>Henger</p> 	$l:d = 0$ 1 2 4 7	1,11 0,91 0,85 0,87 0,099	
<p>Hasáb</p> 	$l:a = 5$ ∞		0,91 1,53
<p>Téglalap</p> 	$a:b = 1$ 2 4 10 18 ∞		1,10 1,15 1,19 1,29 1,40 2,01
<p>Fél gömb</p> 			1,33
<p>Fél gömbhéj</p> 			0,34

A mérés során nem szabad megfeledkezni

- 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 ferdecsöves mikromanométer mérőszál ferdítési tényezője.) 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.
- Az "U-csöves" nyomásmérő elvén működő mikromanométerek csak megfelelően vízszintezve használhatók.
- Ha nem digitális nyomásmérő kézi-műszert alkalmazunk, akkor a nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Általában mindegyik manométer típusnál, de kiemelten a ferdecsöves manométernél, figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csomópontjaira a gumicsövet óvatosan, "ráközelítve", a mérőfolyadék szál viselkedését figyelemmel kísérve kell felhelyezni. Ha a bekötőcsövek tömör rögzítése előtt a mérőfolyadék szál kitérése megközelíti a maximális kitérést, akkor (ha lehet) méréshatárt kell változtatni a műszeren. Ha ez 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 gumi, vagy szilikon csöveket 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.

Irodalom

- [1] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai