

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 áramlástanai erő meghatározása méréssel, a mérési adatból a testek ellenállástényezőjének kiszámítása és az eredmények kiértékelése.

2. A mérőberendezés leírása

A levegőáramot, amelybe a mérendő testeket helyezük egy mérőkocsival hozzuk létre. A kocsiból kilépő levegő egyenletes sebességét a kilépőnyílás előtt elhelyezett konfúzorok és egyenletesítő rácsok biztosítják. A konfúzorban két nyomáskivezetés kapott helyet, amiken a kifúvó átlagsebességhez kapcsolható vonatkozási nyomáskülönbség mérhető. A sebesség változtatását – mérőkocsitól függően – ventilátor fordulatszámának elektronikus szabályzásával, vagy a ventilátor szívóoldali fojtásával érhetjük el.

A testekre ható erőt egy karos áttételen keresztül meghajtott elektronikus mérleg segítségével mérhetjük meg.

3. A mérés leírása

3.1. Többféle modell test áll rendelkezésre. Kiválaszthatunk három egyforma alakú (henger, kúp, oszlop) 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.

3.2. A kiválasztott testek méretét méréssel állapítjuk meg és jegyzeteinkbe az alak és az érdesség jellemzőivel együtt rögzítjük. Feljegyezzük a mérlegkarok méreteit is, a mérőeszközök típusával, és egyéb adataival együtt. A mérés, illetve a mért adatokból folytatott számítások során szükség lesz még a teremben uralkodó hőmérséklet és légnyomás értékére, amelyet a laborban elhelyezett műszerekről olvashatunk le.

3.3. A mérést három szélsősebességnél végezzük el. Ezek megállapításához a mérőkocsin elhelyezett vonatkoztatási képletet kell felhasználni. A három sebességet célszerű úgy megválasztani, hogy a mérhetőség és a mérőkocsi teljesítménye által megszabott 7-20 m/s-ig terjedő tartományt kihasználva, egymáshoz képest egyenletes beosztást képezzenek (tehát pl. $v_1=8$ m/s, $v_2=13$ m/s és $v_3=18$ m/s).

Miután a vonatkoztatási képlet átrendezésével és a kívánt sebességértékek behelyettesítésével megállapítjuk a beállítani kívánt vonatkoztatási nyomást (és minden értéket rögzítettünk jegyzeteinkben), a digitális 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 (így ha ferdecsőves manométert használunk, a mérőfolyadéknak megfelelő bekötés esetén bekapcsolt ventilátor esetén felfelé kell elindulnia a manométerben, amennyiben lefelé indul, meg kell cserélni a csöveket).

A kívánt vonatkoztatási nyomásértékeket 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 fojtásszabályzó állítása során figyelniük kell arra is, hogy a véghelyzetnél tovább ne tekerjék azt, hiszen a nagy áttétel miatt kis erő kifejtéssel nagy kárt okozhatunk a berendezésben. A mérést célszerű egy megfúvási sebességnél minden testre elvégezni a sebesség tartás folyamatos ellenőrzésével, és csak azután beállítani az új sebességét.

3.4. A testre ható ellenálláserő mérését úgy tudjuk kellő pontossággal meghatározni, hogyha ismerjük adott szélsősebességnél a mért test által kitakart áramlás által terhelt mérőkarra ható ellenálláserőt is.

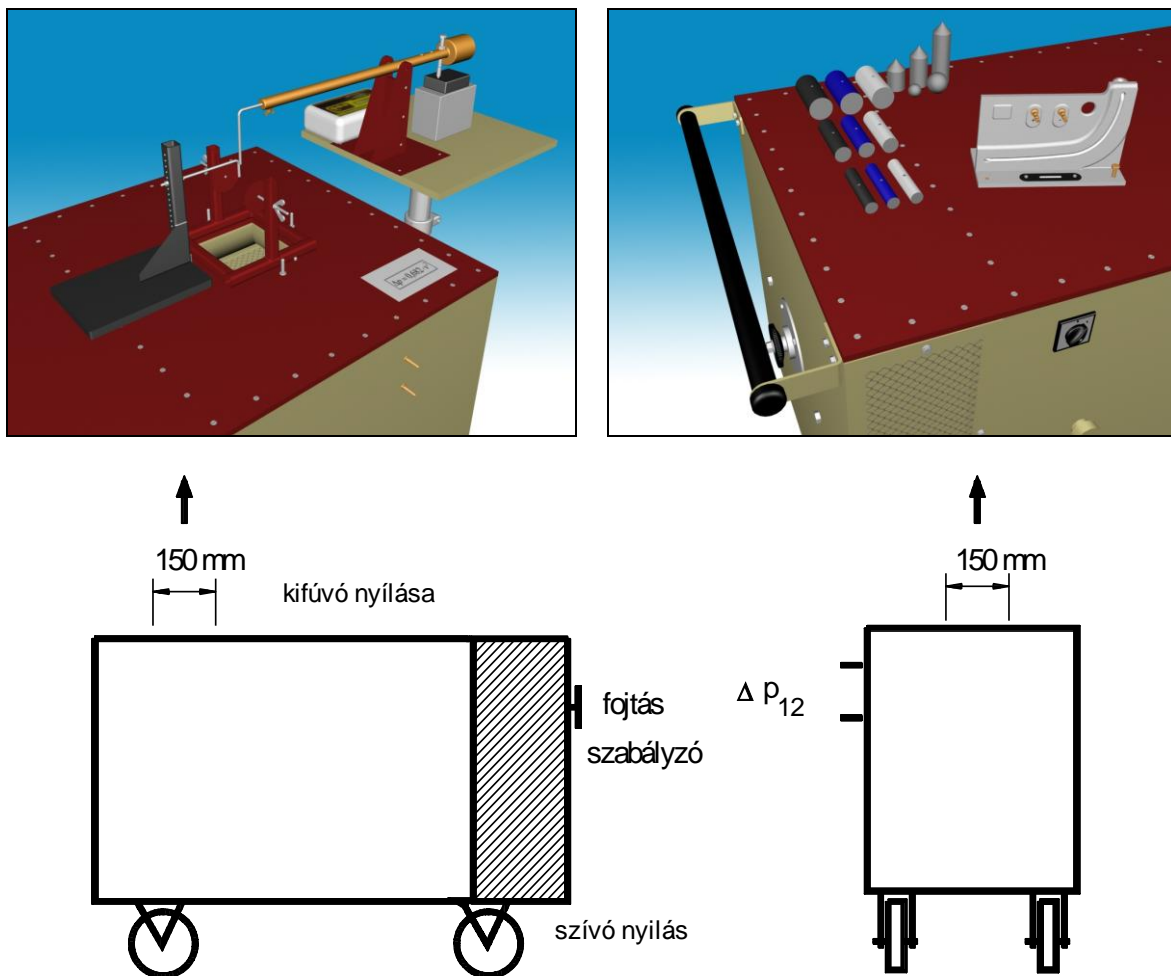
Egy adott test adott sebesség mellett történő mérését így két lépésben kell elvégeznünk:

a.) A mérendő testet álló ventilátornál felhelyezzük a mérőkarra, az elektronikus mérleget nullázzuk. Bekapcsoljuk a ventilátort és a mért erő értéket rögzítjük. Ezzel megkapjuk a vizsgált testre, és a mérőkarra együttesen ható szélőerő értékét.

b.) A testre és karra együttesen ható erő mérését követően, kikapcsoljuk a ventilátort, és ugyanezt a testet rögzítjük a segédállványra oly módon, hogy a testet az üresen álló mérőkar elé helyezzük. 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. Ezek után a mérleget álló ventilátornál nullázzuk. Így megkapjuk az adott szélsősebességnél, az adott test takarásában elhelyezkedő karra ható áramlási erőt. A nullázásnál mindig célszerű a ventilátor kikapcsolása után röviddel a levegőáram elterelése végett a kiömlő nyílást letakarni, hogy ne kelljen a nullázáshoz a gép teljes leállítását megvárni.

Az általunk keresett – vagyis a tisztán a testre ható – áramlási erőt a két mért érték kivonásával kapjuk meg. A fenti módon járunk el a többi sebességnél, és mérendő testnél is.

Tartsuk szem előtt, hogy a mérleg által mutatott erőt a karáttétellel a számítások során korrigálni kell. A karáttétel meghatározásához a test felfogatása és a mérőkar tengelye, illetve a mérőkar tengelye és a mérleg mérőpontja közötti vízszintes távolságot használjuk fel.



1. ábra: Mérőkocsi, mozgatható szélcsatorna

4. A mérési feladat kiértékelése

4.1. 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, karáttétellel korrigálva)
$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	a levegő sűrűsége (a laborhőmérséklet és légnyomás alapján számolt)
$A [m^2]$	a test keresztmetszete (a zavartalan áramlás irányára merőleges vetület)
$v \left[\frac{m}{s} \right]$	a levegő átlagsebessége (a kocsin található összefüggésből számolt)

4.2. 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.)

4.3. 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.)

4.4 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 eredményeket ábrázoló diagramok készítésekor a mennyiségeket és azok bizonytalanságát (hibaszámítás) együtt célszerű ábrázolni.

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:

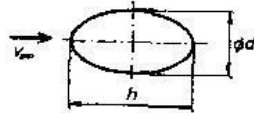
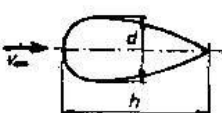
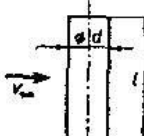
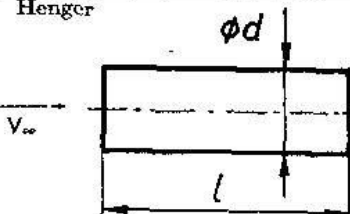
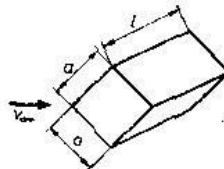
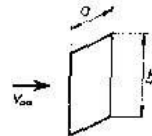
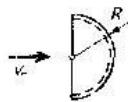
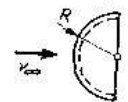
$X_1 = F_e$, illetve az erőmérés hibája $\delta F_e = 0,02 N$, ahol figyelembe kell venni, hogy az ellenállástényező számításakor az eredő erővel dolgozunk, amit két mérési hibával terhelt erő különbségeként kapunk. Ezeket az erőket a műszerről leolvasott érték és a karátétel alapján határozhatjuk meg, 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 0,089 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 megfeledezni

- 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 ferdecsőves 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-csőves" 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 ferdecsőves 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