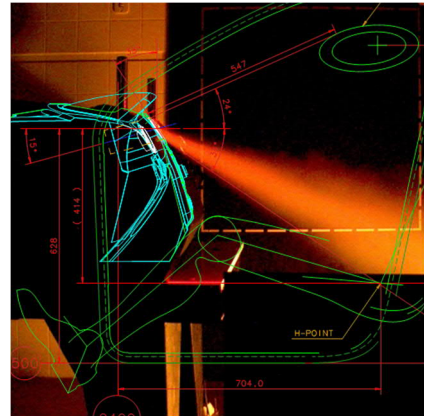


MÉRÉSI SEGÉDLET

Személyautó utastéri légbefúvók tesztelése
Részveszteség és sebességtér mérése

felelős: Dr. Suda Jenő Miklós, Benedek Tamás
Utoljára módosítva: 2016.04.13.

**Mérés tárgya:**

Személyautó utastéri (műszerfali) légbefúvó egységek, melyek közül a mérés során 1 db egység tesztelendő. A légbefúvó egységek szokásos jelölései:

1. táblázat: A légbefúvók szokásos műszerfali pozíciójára utaló jelölés

„SL” side left vezetőoldali bal	„CL” center left középkonzol bal	„CR” center right középkonzol jobb	„SR” side right utasoldali jobb
---------------------------------------	--	--	---------------------------------------

Mérés célja:

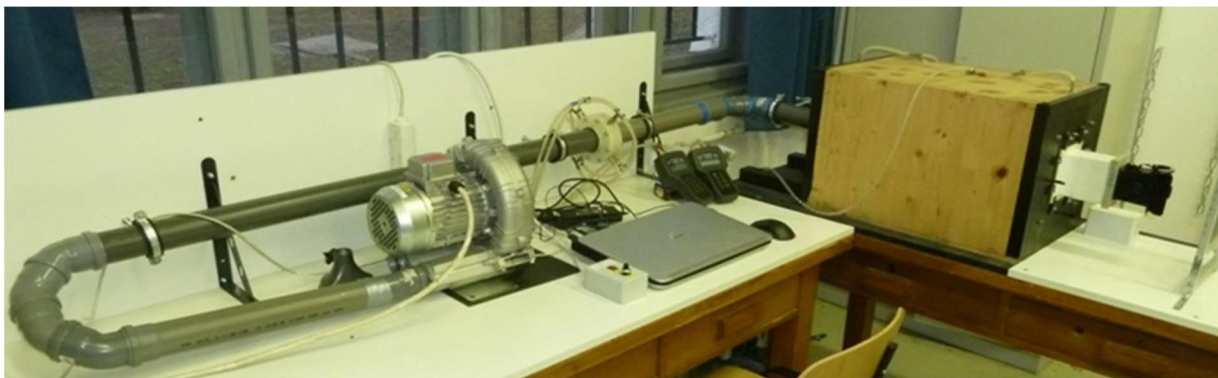
A kiválasztott légbefúvó egység tesztelése két fő részből áll:

- A teljesen lezárt légbefúvó előírt túlnyomás melletti részveszteségének kimérése.
- A teljesen lezárt, ill. nyitott légbefúvóból kiáramló levegő sebességterének mérése (hőgömbszondával), a szabadsugár által szállított levegő térfogatáramának kiszámítása

A fenti méréseket a gyártók által meghatározott tesztelési specifikáció követelményei szerint kell végezni és kiértékelni. A részveszteség érték alapján „megfelelő” („pass”) ill. „nem megfelelő” („fail”) minősítést kell az adott légbefúvóhoz hozzárendelni, valamint a sebességeloszlását pedig egyenlőtlenességi fokkal jellemezni.

Mérőberendezés, felhasznált eszközök:

- fúvó és fordulatszám-szabályozó (fúvó, frekvenciaváltó, potenciométer)
- csővezeték ($\text{Ø}_{\text{belső}}=59,4\text{mm} / 63\text{mm}$, azaz falvastagság $s=1,8\text{mm}$)
- átfolyó mérőperem (belső nyílásátmérő $\text{Ø}d=15\text{mm}$)
- nyomásközlő vezetékek, szilikon csövek
- csillapítókamra
- TESTO sebességmérő hőgömbszonda (amennyiben rendelkezésre áll)
- 2db EMB-001 nyomásmérő (kérem, írják fel a használt nyomásmérő sorszámát)
- labor p_0 légnyomás és t_0 hőmérséklet (laborgép monitorján kijelzett érték)



1. ábra: A mérőberendezés (Figyelem, ez nem az aktuális összeállításról készült fotó!)

Ford Focus 2db CENTER +1 db SIDE légbefúvók



2. ábra: Ford légbefúvó egységek

Land Rover 2db CENTER +2 db SIDE légbefúvók



3. ábra: Land Rover légbefúvó egységek

Ford Focus 2db CENTER +1 db SIDE légbefúvók



Land Rover 2db CENTER +2 db SIDE légbefúvók



Mérőberendezés

A légbefúvók terelőlamellákból, pillangószelepből és ezek manuális működtetéséhez szükséges elemekből állnak.

A pillangószelep manuális állításával lehet a teljes nyitás, ill. zárás közötti különböző kívánt légáteresztést létrehozni.

A függőleges és vízszintes terelőlamellák a légsugár utastérbeli irány-beállítását teszik lehetővé. A terelő lamellák állásait az alábbi kétjegyű számjel kód szerint adjuk meg. A kifúvónyílást szemből nézve a lamella állások kétszámjegyű kódja:

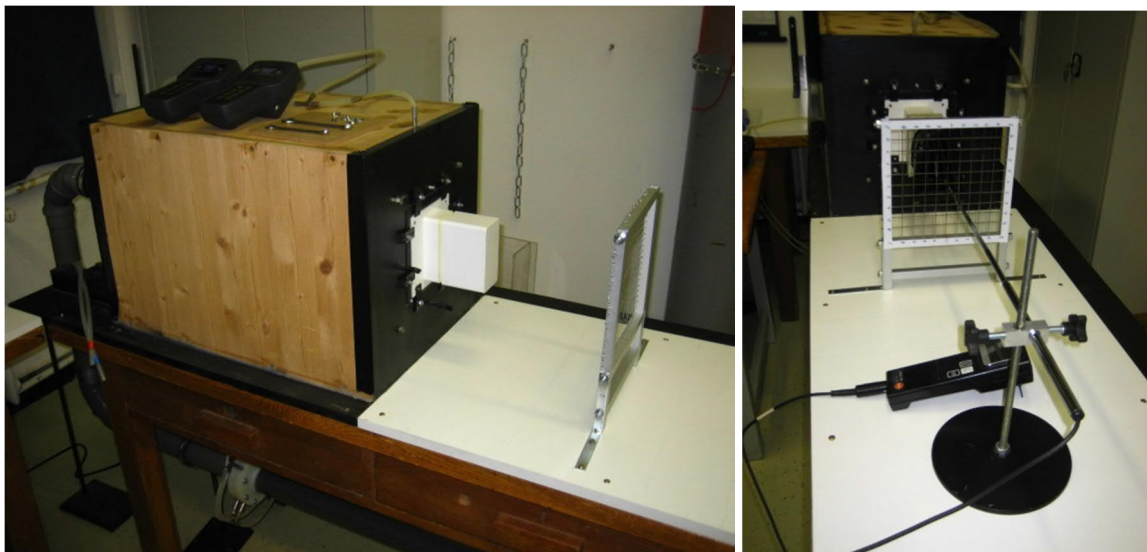
11	12	13
21	22	23
31	32	33

A légbefúvók a csillapítókamrához egy ún. befogó közdarabbal csatlakoznak.



4. ábra: Egyik légbefúvó (bal), befogó közdarabok (jobb)

A légsugár sebességterét TESTO hőgömbszondával mérjük.



5. ábra: Csillapító kamra kilépő oldala (bal), TESTO hőgömbszonda a sebesség-eloszlás méréshez (jobb)

Légbefúvó résvesztésének ($q_{V,rés(B)}$) és sebesség-eloszlásának (v) meghatározása

Jelölések: „**B**” – lég**b**efúvó egység; „**K**” - csillapító**k**amra

A légbefúvókra a pillangószelep teljesen zárt állásában egy adott túlnyomás biztosítása mellett a gyártó egy határ (max.) résvesztés térfogatáramot enged csak meg. A zárt pillangószelep állás mellett továbbá a kiáramló levegő sugárra is előírja, hogy a levegősugár sehol nem lépheti túl a $v_{limit}=0.55$ m/s sebességet a kifúvástól mért 100mm távolságban felvett, a légbefúvó tengelyére merőleges átáramlási keresztmetszeten.

	előírt túlnyomás Δp	max. megengedhető résvesztés $q_{V,rés(B), limit}$	max. megengedhető résáram sebesség v_{limit}
FORD FOCUS:	500 Pa	0,56 lit/sec	0,55 m/s
LAND ROVER:	1.0 v.o.inch („1.0 inch of water gauge pressure differential” (249,174Pa≈ 250Pa)	0,08 m³/min	0,55 m/s

Magyarázat: „v.o. inch”: „vízoszlop inch” folyadékkitérésben adott nyomáskülönbséget jelöl (USA specifikáció miatt), amely átszámítandó Pa-ra.

Tehát mérnünk kell a térfogatáramot előírt túlnyomás biztosítása mellett és a sebességeloszlást.

A légbefúvók tesztjeit értékelni kell az alábbi módon:

- a $q_{V,rés(B)}$ számértékének megadásával
- a $q_{V,rés(B)}$ értékének a határértékhez ($q_{V,rés(B), limit}$) %-ban viszonyítva történő megadása
- szövegesen a végeredmény: „megfelelő” / „nem megfelelő”.

Csillapító kamra résvesztése

A csillapító kamra is (minimális mértékben) tömítetlen, így a kamra résvesztésével korrigálni kell mérési eredményünket. $q_{V,rés(K)}$

Ehhez ki kell mérni először a lezárt kiáramlási keresztmetszetű csillapító kamra résvesztését a Δp túlnyomás függvényében, legalább 3-3 pontban a specifikáció által előírt Δp túlnyomás érték $\pm \Delta p$ környezetében felvesszük a kamra résvesztés jelleggörbét.

$$q_{V,rés(K)} [m^3/s] = f(\Delta p)$$

A csillapító kamra résvesztése jó közelítéssel **lineáris** a túlnyomás függvényében, ha célszerű okokból a $\Delta p = f(q_v)$ ábrázolásmódot választjuk. (ld. 7. ábra diagramját) Használjon a mérési pontokra illesztett egyenest, és tüntesse fel az egyenes egyenletét és R^2 értékét!

Légbefúvó résvesztése

A légbefúvót a csatlakozó idomával a csillapító kamra kilépő toldatára helyezve és fehér ragasztószalaggal gondosan rögzítve fentieket megismételjük úgy, hogy pillangószelepet manuálisan teljesen lezárjuk.

A Δp túlnyomás függvényében, legalább 3-3 pontban a specifikáció által előírt Δp érték \pm környezetében felvesszük a kamra + légbefúvó résvesztés jelleggörbét.

$$q_{V,rés(K+B)} [m^3/s] = f(\Delta p)$$

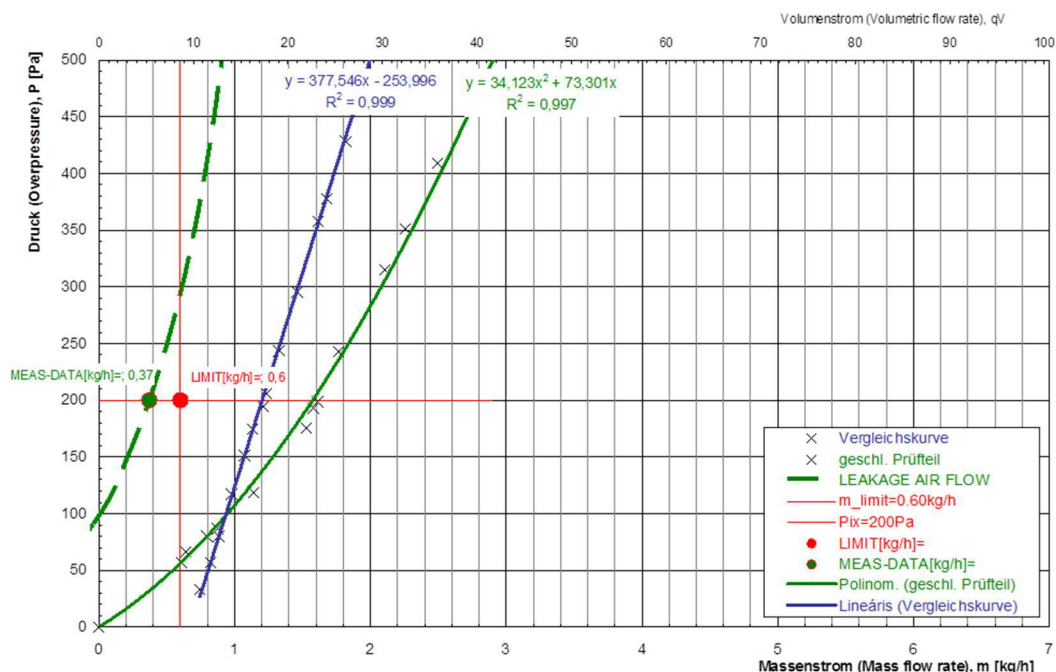
A csillapító kamra + légbefúvó résvesztése jó közelítéssel **másodfokú** a túlnyomás függvényében, ha hasonló módon a $\Delta p = f(q_V)$ ábrázolásmódot választjuk. (ld. 6. ábra diagramját) Használjon a mérési pontokra illesztett másodfokú polinomot, és tüntesse fel az egyenletét és R^2 értékét!

A fenti két mérés alapján magának a légbefúvónak a résvesztése a mérési pontokra illesztett közelítő egyenleteknek a specifikációban megadott pontos Δp túlnyomás értéken vett különbsége:

$$Q_{V,rés(B)} = Q_{V,rés(K+B)} - Q_{V,rés(K)}$$

Mivel ez számított érték, így pontosan 500Pa (Ford) ill 1.0 v.o.inch (Land Rover) túlnyomás esetén megadható és értékelhető a légbefúvó résvesztéség.

Az alábbi 6. ábrán egy minta(!) mérési eredményt mutatunk be, melyhez hasonló diagramon kell ábrázolni a saját mérési eredményeket is a kiválasztott 1db légbefúvó egységre.



6.ábra: Résvesztéség diagram (Minta! Más (VW) gyártó légbefúvójára vonatkozik!)

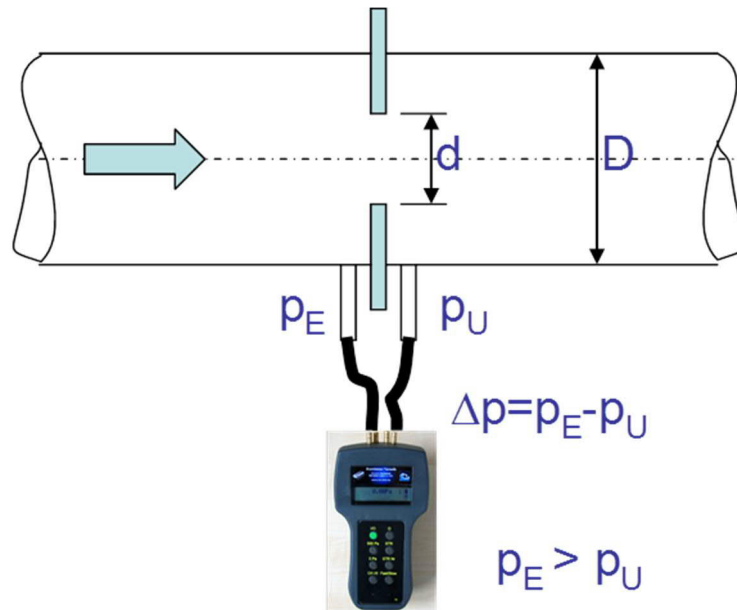
Jelmagyarázat

- kék folytonos vonal: kamra résvesztéség jelleggörbe
- zöld folytonos vonal: kamra + légbefúvó résvesztéség jelleggörbe
- - - zöld szaggatott vonal: légbefúvó résvesztéség jelleggörbe (különbség)
- piros folytonos vonalak: határértékek állandó vonalai
- piros jelölő: határértékeket jelző vonalak metszéspontja
- zöld jelölő: légbefúvó résvesztésége a kívánt túlnyomáson

A fenti mennyiségek kiszámításához tehát mérnünk kell a térfogatáramot és a csillapító kamra túlnyomását. Ehhez egy-egy EMB-001 típ. nyomásmérőt használunk.

Térfogatáram mérése átfolyó mérőperem segítségével

A fűvő nyomóoldalára egy átfolyó mérőperemet tartalmazó térfogatáram-mérő csőszakasz csatlakozik. A csővezeték belső átmérője $D=59,4\text{mm}$ (DN63: $D_{\text{külső}}=63\text{mm}$, falvastagság $s=1,8\text{mm}$). A $d=15\text{mm}$ nyílásátmérőjű mérőperem előtti (p_E) és utáni (p_U) nyomás különbségét (Δp) a mérőperem sarokmegcsapolásaira (4-4 db) kapcsolt körvezetékkel mérjük az egyik EMB-001 típusú nyomásmérővel.



7.ábra: Átfolyó mérőperemes térfogatáram mérés ($D=$

A q_V [m^3/s] térfogatáram meghatározása az alábbi mérőperem képlet alapján történik:

$$q_V = C \cdot \varepsilon \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ ahol}$$

C	átfolyási tényező
ε	expanziós szám
β	a mérőperem átmérőviszonya ($\beta=d/D$)
d	a mérőperem furatátmérője
D	a mérőszakasz belső csőátmérője
Δp	a mérőperemen két oldalán mért nyomásesés
ρ	az áramló közeg sűrűsége

A mennyiségek értékei S.I. -ben írandók be a képletbe.

Az átfolyási tényező értéke nem ismert, kiszámítása a csőbéli áramlásra jellemző Reynolds-szám (Re_D) és a mérőperem geometriai adatai alapján számítható az alábbi összefüggésből:

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,000521 \cdot \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D}\right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A) \cdot \beta^{3,5} \cdot \left(\frac{10^6}{Re_D}\right)^{0,3} + 0,011 \cdot (0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{25,4}\right)$$

ahol

$$A = \left(\frac{19000\beta}{Re_D} \right)^{0,8}$$

Reynolds-szám: $Re_D = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$, ahol a levegő ν kinematikai ill. μ a dinamikai viszkozitása ($\nu = \frac{\mu}{\rho}$) pl. Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai tankönyv (2008) 1.2.4 lecke a 34. oldalon található összefüggéséből környezeti adatok alapján számítható az aktuális T laborhőmérséklet alapján.

$$\mu = \mu_0 \frac{T_0 + T_s}{T + T_s} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad \text{ahol } T_0 = 273,16\text{K}, \mu_0 = 17,1 \cdot 10^{-6} \text{kg/(m}\cdot\text{s)} \text{ és } T_s = 122\text{K}.$$

Az ε expanziós szám (ρ =áll. feltétellel): $\varepsilon=1$ közelítő értéke használható a mérések során.

ITERÁCIÓ

Mivel a C átfolyási tényező értéke a csőbeli Reynolds-szám függő, azt pedig áramlási sebesség hiányában nem tudjuk meghatározni, így q_V kiszámítása iterációs feladat.

Az iteráció menete:

Az α átfolyási számot az átfolyási tényező (C) és az átmérőviszony (β) alapján az alábbi összefüggés definiálja:

$$\alpha = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}}$$

Az átfolyási számra 0. iterációs lépésként kiindulásul felvett érték legyen: $\alpha' = 0,6$.

$$\alpha' = \frac{C'}{\sqrt{1 - \beta^4}} = 0,6$$

(Tapasztalat azt mutatja, hogy ha $0,6 \div 0,8$ közötti értéket veszünk fel kiindulásnak, akkor a szokásos átfolyási számhoz közeli kiinduló érték miatt gyorsan (akár 1-2-3 lépésben bekonvergál az iteráció.)

Ennek ismeretében a mérési eredményekből

- az első közelítéses q_V' térfogatáram,
- majd az ebből számolt csőbeli átlagsebesség $v_{cső}' = q_V' / A_{cső}$,
- majd ez alapján a csőbeli Re_D' Reynolds-szám

meghatározható, és ebből számítható a következő iterációs lépés számára szükséges α'' (ill. C'') értéke. Annyi iterációs lépést kell végezni, míg az α átfolyási szám (de a C, vagy akár célszerűen a q_V értékét is figyelhetjük) két iterációs lépés közötti eltérése kisebb, mint legalább pl. 0,1% (pl. $\Delta\alpha < 0,1\%$ feltételt állítunk be)!

A csillapító kamra túlnyomásának mérése

Az 1. ill. 5. ábrán látható a csillapító kamra 4 db nyomásmegcsapolási pontjához csatlakozó körvezetékekkel a p_0 légközi nyomáshoz viszonyított kamra nyomást (túlnyomást) egy másik EMB-001 típ. nyomásmérővel mérjük.

Áramlási sebesség-eloszlás mérése:

Választani lehet, hogy a zárt pillangószelep melletti résáramlás sebességterét ellenőrizzük, vagy **nyitott pillangószelep állásban nagyobb térfogatáramon kiáramló légsugár sebességterét** térképezzük fel. A tapasztalat szerint a laborban a hallgatói mérések alatt a sok mérőstand miatt viszonylag nagy a huzat, így a 0,1m/s sebességek mérése kivitelezhetetlen, így a **nyitott pillangószelep állásban nagyobb térfogatáramon kiáramló légsugár sebességterét mérjük és értékeljük ki a hallgatói mérések során.**

- a) **teljesen zárt pillangószelep** esetben a légsugár sebessége sehol nem lehet $v_{\text{limit}}=0,55\text{m/s}$ értéknél nagyobb. A sebességmérés az ún. hógömb szondával történik, a sebesség kijelzett értékének 0.01m/s pontossággal történő rögzítésénél ügyeljenek az ingadozások „szemre átlagolására”.
- b) **teljesen nyitott pillangószelep** esetben: a **terelőlamellák bármely állásában** elvégezhető: adott, állandó q_v térfogatáramú levegőt (az EMB-001 típusú nyomásmérőben lévő érzékeny szilikon membránt védendő kb. max. 6500Pa mérőperemen mért nyomáskülönbség mellett!) átfújva a légbefúvón a légbefúvó által létrehozott ún. szabadsugár sebességterét kell kimérni és annak egyenletességét jellemezni. A sebességmérés egy TESTO hógömbszondával történik. A sebesség kijelzett értékének rögzítésénél ügyeljenek az ingadozások „szemre átlagolására”.

Mindkét esetben a légsugárban szállított légmennyiség (q_v térfogatáram) is kiszámítandó, hiszen pontonkénti sebességmérésen alapuló térfogatáram-mérést végeztünk. A kimérendő terület:

- légbefúvó képzeletbeli tengelyére merőleges (x,y) síkban, kifúvástól 100mm távolságban. Azaz a kifúvási keresztmetszet középpontjától a TESTO hógömbszonda gömb mérőfejének középpontja legyen 100mm távolságban.
- ($\Delta x=20\text{mm}; \Delta y=20\text{mm}$) osztásközzel az (x,y) síkban négyzet részkeresztmetszetek súlypontjában mérjük a sebességet a TESTO hógömbszondával.

A levegősugár sebesség eloszlás jellemzésére kérem, ábrázolja az alábbiakat:

- 1) **Sebességeloszlás térkép**: $v(x,y)$ [m/s] a mért keresztmetszetben,
- 2) **Dimenziótlan sebességeloszlás térkép**: $v_{\text{rel}}(x,y)=v_i/v_{\text{átlag}}$ [%], amely a mért keresztmetszet átlagsebességéhez képesti relatív sebesség-eloszlás térkép,
- 3) **LOKÁLIS egyenlőtlenségi fok**: eddigi tanulmányai, ismeretei stb. alapján definiáljon a mért síkbeli sebesség-eloszlás jellemzésére egy **lokális egyenlőtlenségi fokot**, és adja meg az egyenlőtlenségi fok kiszámításának módját és értékét, vagy ábrázolja ezt a mennyiséget is a mérési keresztmetszeten egyenlőtlenségi fok térképként,
- 4) **GLOBÁLIS egyenlőtlenségi fok**: eddigi tanulmányai, ismeretei stb. alapján definiáljon a mért síkbeli sebesség-eloszlás jellemzésére egy **globális egyenlőtlenségi fokot**, és adja meg az egyenlőtlenségi fok kiszámításának módját és értékét. Ez a lokálistól eltérően egyetlen mérőszám, mely értéke jellemzi a sebességtér egyenletességét (térbeli-síkbeli) homogenitását.
- 5) **A sebességmérés alapján a légsugár térfogatáramának kiszámítása, és a mérőperemes méréssel való összevetése**

Az ábrázolt térképeken használjon a bemutatott mennyiségre műszakilag releváns beosztású színtvonalas/szintfelületes ábrázolásmódot! Ne felejtse el minden mért és számított értéket táblázatos formában is megadni, névvel mértékegységgel!

CL-07	VELOCITY v [m/s]	$q_v=$	3,34	[lit/s]	FAIL	$v_{a,=}$	0,10 m/s	CL-07	EVALUATION (PASS/FAIL)	WHISTLE=	1
	-80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80								-80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80		
80	0 0 0 0 0 0 0 0 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		80
60	0 0 0 0 0 0 0 0 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		60
40	0 0,01 0,06 0,07 0,09 0,02 0,01 0 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		40
20	0 0,09 0,28 0,53 0,44 0,03 0,02 0,01 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		20
0	0 0,04 0,11 0,32 0,23 0,05 0,04 0,01 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		0
-20	0 0,01 0,03 0,12 0,11 0,05 0,03 0,04 0								PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS PASS		-20
-40	0 0,02 0,05 0,12 0,69 0,62 0,08 0,02 0								PASS PASS PASS PASS FAIL FAIL PASS PASS		-40
-60	0 0,01 0,03 0,09 0,89 0,74 0,09 0,02 0								PASS PASS PASS PASS FAIL FAIL PASS PASS		-60
-80	0 0,01 0,05 0,09 0,69 1,06 0,08 0,04 0								PASS PASS PASS PASS FAIL FAIL PASS PASS		-80
	-80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80								-80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80		

8.ábra: Sebességeloszlás adatok (zárt pillangószelepre) (Minta! Más gyártó légbefúvójára vonatkozik!)

A nyomáskülönbségek mérése: digitális nyomásmérővel (EMB-001)

Az EMB-001 típusú kétszatornás nyomásmérőt célszerű a leghosszabb (15s-os) átlagolási idő „S” slow állásba kapcsolni.

A két csatorna nyomáskivezetéseinek kiosztása

A nyomásmérő műszer két csatornájára (CH I, CH II) a nyomásközlő vezetékeket a készülék első oldalán elhelyezett kivezetésekre kell rácsatlakoztatni az alábbi ábra (+)/(-) kiosztása szerint.



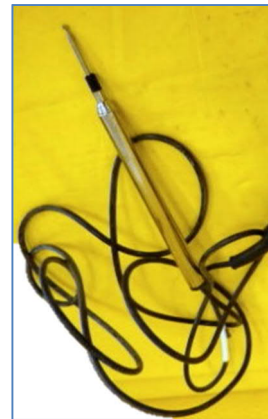
A műszer kijelzőjén mindig csak az egyik nyomástávadó által mért nyomáskülönbség értéket jeleníti meg (előjellel), a távadók között a CH I/II csatornaváltó kezelőgomb megnyomásával lehet váltani.

9.ábra: EMB-001 típusú nyomásmérő

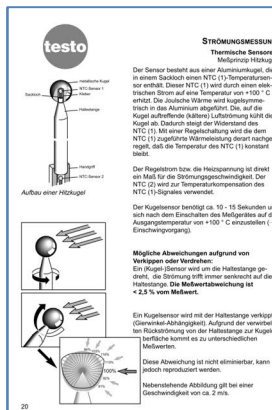
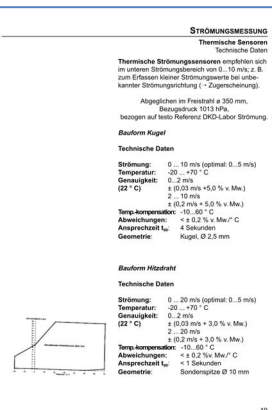
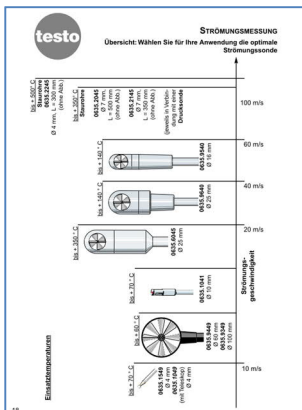
Sebességmérés hógömbszondával (TESTO)



TESTO 491 kézi kijelzőegység



TESTO 0635.1549 hógömb szonda fej



10.ábra: TESTO sebességmérő, katalógus adatok

Környezeti adatok rögzítése:

A légnyomás és hőmérséklet adatokat a szélcsatorna labor számítógép monitorján kell leolvasni, melyekből a közeg sűrűsége számítható a gáztörvény alapján.

$$\rho_{lev} = \frac{P_0}{R \cdot T_0}$$

ahol p_0 [Pa] helyi légköri nyomás
 T_0 [K]=273,16 + t_0 [°C] levegő hőmérséklet
 $R=287$ J/(kgK) levegő specifikus gázállandó.

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

AMENNYIBEN A TÁRGYUK KÖVETELMÉNYE MÁSHOGY NEM RENDELKEZIK:

1. Alapvető tartalmi/formai követelmények:

- mérés dátuma, helye
- mérést végzők felsorolása
- mérési jegyzőkönyvet készítő(k) neve
- mérés címe, célja
- mérőberendezés adatai, aktuális kialakításának vázlata, fénykép (ha készült)
- mérés során felhasznált eszközök / berendezések megnevezése, típusa, száma, jelzete stb.
- a tesztelt légbefúvó egység adatai
- egyszer mért környezeti nyomás és hőmérséklet adatok
- a jegyzőkönyvnek minden mért és leolvasott adatot táblázatos formában tartalmaznia kell (mennyiség neve, mértékegysége, számértéke)
- az eredmények bemutatása diagramok, grafikonok formájában
- az eredmények szöveges kiértékelése, következtetések levonása

2. A mérési jegyzőkönyvnek a fenti alapvető követelményeken túl legalább az alábbi diagramokat stb. kiértékeléssel kell tartalmaznia:

- Résveszteség diagram
- Sebességtér térkép (dimenziós, dimenziótlan)
- Egyenlőtlenségi fok adat és/vagy térkép
- Légsugárban szállított térfogatáram
- Hibaszámítás

AMENNYIBEN A TÁRGYUK KÖVETELMÉNYE MÁSHOGY NEM RENDELKEZIK:

A jegyzőkönyv leadási határidő: a mérést követő hét vasárnap éjfélig.

A tanszéki honlapon elérhető POSEIDON rendszerbe kell feltölteni, valamint kérem, hogy emailen (suda@ara.bme.hu) is küldjék el elektronikus formátumban (PDF).

Konzultálni előzetes egyeztetés alapján van lehetőség.

Határidőre leadott jegyzőkönyv igény esetén egy alkalommal javítható, +1hét beadási határidővel.

Budapest, 2016. február

Dr. Suda Jenő Miklós adjunktus, mérésfelelős
 Áramlástan Tanszék, www.ara.bme.hu, suda@ara.bme.hu, +36-1- 463-3465

További infó a tárgyhonlapon!