

M9

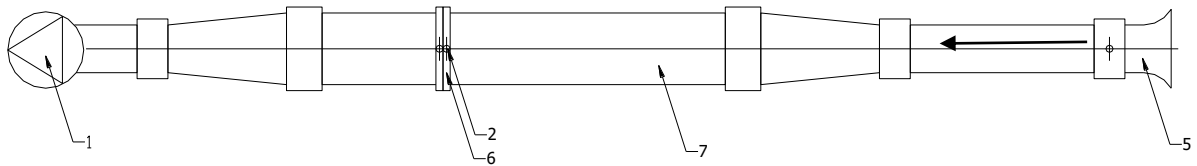
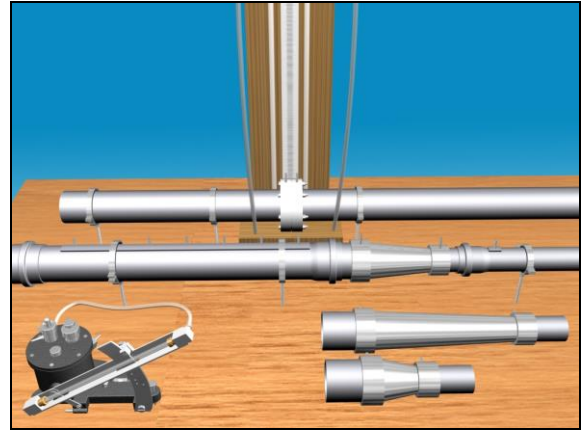
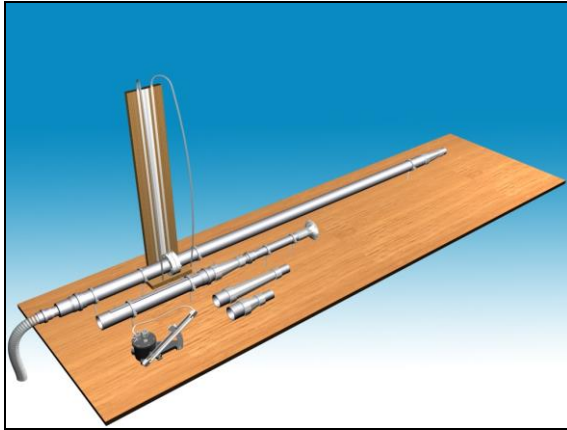
DIFFÚZOR JELLEMZŐINEK MEGHATÁROZÁSA

1. A mérés célja:

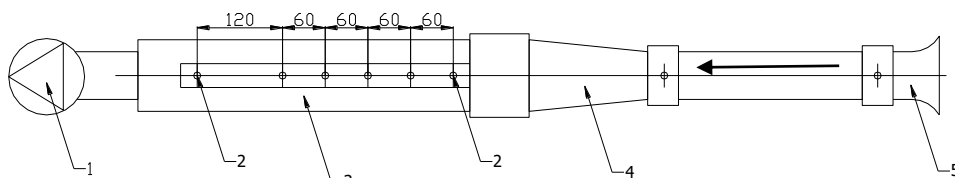
A laboratóriumi mérés során kör keresztmetszetű diffúzorok hatásfokát (η_{diff}) kell meghatározni. A hatásfokot a diffúzor nyílásszöge (φ) ill. a térfogatáram (q_v) függvényében kell vizsgálni, majd a mért értékeket diagramban ábrázolni. Hat különböző (6° , 15° , 30° , 45° , 60° , 90°) nyílásszögű diffúzor illetve egy Borda-Carnot elem építhető be a mérőberendezésbe. A diffúzoron átáramló levegő térfogatárama változtatható.

2. A mérőberendezés leírása

Az alábbi **1. ábrán** látható a mérőberendezés vázlata. A felső, (7) jelű, ún. kalibráló vezeték segítségével az (5) jelű egyedi kialakítású beszívóelemet egy szabványos átfolyó mérőperemhez (6) kalibráljuk. Az (5) jelű beszívóelem kalibrálása után, azt a mérőszakaszba építve történik a diffúzor hatásfok mérése.



1. ábra: Kalibráló berendezés



2. ábra: Diffúzor hatásfok mérőberendezés

BESZÍVÓELEM KALIBRÁCIÓ

A levegőt a mérőberendezésben egy, az asztalra épített (1) jelű radiális ventilátor áramoltatja, amely szívócsöve a kalibráló-vezetékhez (7) csatlakozik. A kalibráló vezetékbe épített szabványos mérőperemen (6) a (2) sarokmegcsapolásokon mért nyomáskülönbségből meghatározott térfogatáram segítségével meghatározhatjuk a beszívóelemen (5) mért nyomáskülönbség és a térfogatáram kapcsolatát.

DIFFÚZOR HATÁSFOKMÉRÉS

A ventilátor szívócsövét és a beszívóelemet a kalibráló-vezetékről áttesszük a (3) jelű mérőszakaszra. A mérőszakasz és a beszívóelem közé csatlakoztatjuk a vizsgálni kívánt diffúzorokat (4). A térfogatáram az előzetesen kalibrált beszívóelemen mérhető nyomáskülönbség alapján az előzőleg felvett kalibrációs diagram segítségével számítható.

A **diffúzor utáni** és **előtti** nyomáskivezetésen digitális manométerrel mért nyomáskülönbségből a diffúzor hatásfok számítható. A diffúzor utáni mérőszakaszon több nyomáskivezetés található, hogy figyelembe vehessük a diffúzorban bekövetkező leválás miatt létrejövő, kis nyomásnövekedést eredményező sebesség egyenletesedés hatását.

3. A mérés elve

A következő elvi megfontolásokban mindig a sebességek egész csőkeresztmetszetre vonatkoztatott átlagértékei szerepelnek, és a nyomásokról feltesszük, hogy az egyes keresztmetszetekben állandó. Az „1”-es keresztmetszet a diffúzor belépő, a „2”-es keresztmetszet a kilépő keresztmetszet (illetve a mérőszakasz adott keresztmetszetét) jelöli.

Mit jelent és hogyan határozzuk meg diffúzor jóságát?

A diffúzort általában akkor alkalmazzuk, ha két különböző keresztmetszetű szakasz közötti összekötést, azaz adott A_1/A_2 keresztmetszet-bővítést kell létrehozni. Ezt célszerű a rendszerbe bevitt legkisebb nyomásvesztés árán megoldani. A keresztmetszet-bővítést megoldhatnánk egy nagy leválási veszteségű, hirtelen keresztmetszet-növekedéssel (ún. Borda-Carnot átmenettel), vagy a másik végletként egy nagy fali súrlódású igen hosszú, bővülő csőszakasszal is. Az adott áramlást tekintve a legjobb megoldás viszont tulajdonképpen a két szélsőség közötti legkisebb veszteségtényező, azaz a legjobb hatásfokú, optimális nyílásszögű diffúzor, lásd alábbi **1. táblázat**ot.

| KERESZTMETSZET-NÖVEKEDÉST MEGVALÓSÍTÓ ELEM | Diffúzor nyílásszög | RENDSZERBE BEVITT NYOMÁSVESZTESÉG VESZTESÉG OKA | | HATÁSFOK |
|--|-----------------------|---|---------------|-----------|
| | | leválás | fali súrlódás | |
| Borda-Carnot idom (hirtelen keresztmetszet-növekedés) | 180° | NAGY | - | ROSSZ |
| Diffúzor | 0° < φ < 180° | KIS | KIS | MAXIMÁLIS |
| Hosszú, bővülő csőtoldal | Igen kicsi | - | NAGY | ROSSZ |

1. táblázat: Optimális nyílásszögű diffúzor

Megjegyzés: a tapasztalat azt mutatja, hogy egy 40° nyílásszögnél nagyobb diffúzor kb. ugyanakkora veszteséget okoz, mintha egy Borda-Carnot idom.

Egy diffúzor számszerű jellemzésére a diffúzor hatásfokot definiáljuk:

$$\eta_{diff} = \frac{(p_2 - p_1)_{val.}}{\frac{\rho}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2)},$$

amely a tényleges (valós) nyomásnövekedést $(p_2 - p_1)_{val.}$ viszonyítja az ideális, veszteségmentes esetben létrejövő $(p_2 - p_1)_{id.}$ nyomásnövekedéshez, amely az egyszerű Bernoulli-egyenletből számítható:

$$(p_2 - p_1)_{id.} = \frac{\rho}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2),$$

A valós (mért) és az ideális nyomásnövekedés hányadosa a diffúzor hatásfok.

A másik jellemző, amelyet elemek (könyökök, szelepek, stb.) jellemzésére szoktak használni a ζ veszteségtényező, mely a diffúzor esetében a következő kifejezéssel adható meg:

$$\zeta_{diff.} = \frac{\Delta p'_{diff}}{\frac{\rho}{2} \cdot v_1^2} = \frac{(p_2 - p_1)_{id.} - (p_2 - p_1)_{val.}}{\frac{\rho}{2} \cdot v_1^2}.$$

A diffúzorban áramló közeg nyomásvesztését viszonyítják a belépő dinamikus nyomáshoz. Természetesen a hatásfok és a veszteségtényező között az alábbi szoros kapcsolat áll fenn (a kifejezés jobboldali második alakjában a $v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$ alakú kontinuitást is felhasználva):

$$\zeta_{diff.} = (1 - \eta_{diff}) \cdot \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] = (1 - \eta_{diff}) \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right]$$

Az „1” és „2” keresztmetszetek az áramlás irányban vett diffúzor előtti ill. utáni keresztmetszetek. A diffúzor előtti nyomásmérés helye –mivel a diffúzor visszahatása jelen esetben elhanyagolható – egyértelmű.

Melyik nyomáskivezetésnél legyen a “2-es” keresztmetszet? Hol „fejeződik be”, „meddig tart” áramlástanilag a diffúzor?

Miért merül fel a fenti kérdés, miért nem rögtön a diffúzor utáni első csonkon mért adattal számolunk? A zavart a leválás jelensége okozza. Amikor a közeg keresztmetszet növekedésnek van kitéve, azaz áramlás irányú nyomásnövekedésnek, várható, hogy leválk a falról és csak bizonyos út megtétele után fekszik vissza rá. Eközben a közeg sebessége csökken, nyomása nő. Ha ábrázoljuk a mért statikus nyomáskülönbségeket a diffúzor kilépő keresztmetszetétől mért távolság függvényében, megfigyelhetjük, hogy a diffúzor hatására létrejövő statikus nyomás növekedés nem rögtön a diffúzor után éri el a maximumát, hanem csak fokozatosan. A leválási zóna után is egy darabig növekszik a nyomáskülönbség a diagramunkon. *Azzal az értékkel számolunk, ami már a közel vízszintes szakasz kezdetéhez tartozik.*

Mivel a különböző diffúzorok különböző térfogatáramoknál más és más méretű leválási zónát okoznak, a nyomáslefutást mindegyik esetben ábrázolni kell és a „2-es” keresztmetszet helyét egyenként meghatározni.

4. A mérés lefolytatása

A beszívóelem kalibrálása

A mérés során a szállított q_v [m^3/s] térfogatáram meghatározására a beszívóelem szolgál. A beszívóelemen átáramló közeg térfogatárama az alábbi összefüggésből számítható:

$$q_v = k \frac{d_b^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} \Delta p_b}$$

ahol

| | | |
|--------------|----------------------|--|
| k | [-] | beáramlási tényező |
| d_b | [m] | beszívóelem belső átmérő (Itt az értéke 36.4 mm) |
| ρ_1 | [kg/m ³] | áramló közeg sűrűség |
| Δp_b | [Pa] | beszívóelemen mért nyomásesés |

A beszívóelem beáramlási tényezőjét a kalibrálócső segítségével határozhatjuk meg. A kalibrálócső tartalmaz egy szabványos kialakítású, sarokmegcsapolásos átfolyó mérőperemet, melynek átfolyási számát szabványban rögzített ismert módszerrel tudjuk meghatározni. A kalibrálás során különböző térfogatáramok mellett mérjük a mérőperem és a beszívóelem nyomásesését. A mérőperem nyomáseséséből meghatározható a szállított térfogatáram, amit összevetve a beszívóelem nyomásesésével meghatározható annak beáramlási tényezője. *A beáramlási tényező meghatározását legalább három, különböző térfogatáramon végezzük el, majd hasonlítsuk össze a kapott értékeket.* A berendezésen beállítható viszonylag kis Re-szám tartomány miatt Re-szám függőséget nem tapasztalunk, ezért a három esetben kiszámolt átfolyási szám közel azonos értékű lesz. Az átlagértéküket felhasználva ezek után már alkalmas a beszívóelem térfogatáram mérésre.

Megjegyzés:

A kalibráció folyamata egy általános esetben csupán annyiból állna, hogy az összetartozó adatokból (pl. itt a mérőperemen meghatározott térfogatáram – beszívóelem nyomásesése) ún. kalibrációs diagramot szerkesztünk. Ilyenkor a beszívóelem nyomásesése alapján meghatározni kívánt térfogatáramot minden esetben a diagramról tudnánk leolvasni. Mivel itt azonban lehetőségünk van a kalibrációt egy paraméter – beszívóelem beáramlási tényező – meghatározására visszavezetni, a kalibrációs diagramot nem szükséges megszerkesztenünk.

A mérőperemen átfolyó térfogatáram számítási képlete:

$$q_v = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho_1} \Delta p}$$

ahol

| | | |
|---------------|------|--|
| C | [-] | átfolyási tényező |
| β | [-] | mérőperem átmérőviszony (jelen esetben $\beta = 0,6587$) |
| ε | [-] | kompresszibilitási tényező (jelen esetben $\varepsilon = 1$, mivel a közeg nyomásváltozása csekély) |
| d | [m] | mérőperem furatátmérő (jelen esetben $d = 38,8\text{mm}$) |
| Δp | [Pa] | mérőperemen mért nyomásesés |

A mérőperemre jellemző C átfolyási tényező számítási képlete:

$$C = 0,5961 + 0,0261\beta^2 - 0,216\beta^8 + 0,00052 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0,7} + (0,0188 + 0,0063A) \beta^{3,5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0,3} + 0,011(0,75 - \beta) \left(2,8 - \frac{D}{0,0254} \right)$$

ahol

$$Re_D = \frac{vD}{\nu} \quad [-] \quad \text{Reynolds-szám, a mérőperem előtti csőátmérővel számolva (jelen esetben } D = 58,9\text{mm)}$$

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

Iteráció

A fent megadott képletek alakján a térfogatáram számítása még nem végezhető el, hiszen a q_v térfogatáram számításához szükséges C átfolyási tényező Reynolds-szám függő, így a közeg áramlási sebességétől függ, amelyet nem ismerünk. (Hiszen ha ismernénk, nem lenne szükség a térfogatáram mérésére.)

A feladat megoldásához így szükségszerű többlépéses iterációt alkalmazni. Az iteráció lényege, hogy tapasztalat alapján egy közelítő kiindulási értéket felvéve - pl. a C tényezőre - a térfogatáram közelítő értéke számítható. Ebből a közelítő térfogatáramból a csőbeli áramlási sebesség, így a Reynolds-szám valamint a C átfolyási tényező is számítható, és összevethető a kezdetben felvett C értékével. Ezt az iterációs számítási ciklust addig ismétljük, amíg két iterációs lépést összehasonlítva a C értékek közötti eltérés egy %-ban megadott hibahatáron belül kerül. Jelen esetben pl. *1-2%-os hibahatár elfogadható* pontosságú, a számítás gyorsan konvergál, csak néhány iterációs lépést igényel, amely pl. Excel-ben könnyen megoldható.

1. lépés

$$C' \rightarrow q_{v'} \rightarrow v' \rightarrow Re_D' \rightarrow C''$$

2. lépés

$$C'' \rightarrow q_{v''} \rightarrow v'' \rightarrow Re_D'' \rightarrow C'''$$

... stb.

PÉLDA

Vegyük fel a C átfolyási tényező értékét: legyen az első iterációs ciklusban $C = 0,6$. Határozzuk meg a térfogatáram értékét a felvett átfolyási tényezővel. Majd számoljuk ki az áramlási sebességet a mérőperem előtt, ezzel számoljunk Reynolds-számot, majd számoljuk

ki a képlet segítségével a C átfolyási tényező „új” értékét. Ezt az értéket vessük össze a felvett 0,6 értékkel: az eltérés a megadott hibahatáron belül van-e? Ez egy ciklusa az iterációnak.

Amennyiben felvett és kiszámolt érték közötti eltérés nagyobb, mint az 1-2% hibahatár, a ciklust ismételjük!

A sebesség- és nyomásmérés

A v_1 és v_2 sebességeket a beszívóelem segítségével mért térfogatáramból számoljuk:

$$v_1 = \frac{4 \cdot q_v}{d_{be}^2 \cdot \pi}, \text{ illetve } v_2 = \frac{4 \cdot q_v}{d_{ki}^2 \cdot \pi}$$

A diffúzor belépésénél lévő kivezetés (p_1) és az utána levő ún. mérőszakasz nyomáskivezetései (p_2) között kell mérjünk a nyomásnövekedést. A mért nyomásnövekedésből és a sebességekből számítható a diffúzor hatásfoka.

5. A mérés kiértékelése és ellenőrzése irodalmi adatokkal:

A kiértékelés során a diffúzor geometriai adatait pontosan rögzíteni kell. A mért sebesség és nyomásértékeket táblázatosan és diagramok formájában kell elkészíteni (diagramba: nyomáslefutások ábrázolása: *mért nyomások a hely függvényében az összes esetre*)

A mérés kiértékelésekor meg kell határozni a diffúzor hatásfokát és veszteségtényezőjét, különböző térfogatáramokon mérve, eredményeket táblázatban és diagramban összefoglalni. (Diagramok szervezése olyan legyen, hogy szemléletesen látszódjon a térfogatáramok hatása, illetve az idomok kialakításának a hatása is. *Pl. x tengely: térfogatáram, y tengely: hatásfok, így minden idom egy görbét alkot a diagramban.*)

Hibaszámitás:

A diffúzor hatásfok kifejezése, és az abszolút hiba számítása:

$$\eta_{diff.} = \frac{\Delta p_{valós}}{\Delta p_{id}}$$

A mért értékekkel kifejezve:

$$\eta_{diff.} = \frac{\Delta p_{valós}}{\left[1 - \left(\frac{d_{be}}{d_{ki}}\right)^4\right] \cdot k^2 \cdot \Delta P_b}$$

abszolút hiba:

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

relatív hiba:

$$\frac{\delta \eta_{diff.}}{\eta_{diff.}} = ?$$

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

$$X_{1,2} = d, \quad \text{illetve a csőátmérők mérésének hibája}$$

$$X_{3,4} = \Delta p, \quad \text{illetve a digitális manométer hibája}$$

$$\delta d = 0.001 \text{ m}$$

$$\delta \Delta p = 2 \text{ Pa}$$

A hibaszámítás értékét alkalmazni kell a közölt diagramokban és táblázatokban!

(pl. $\eta_{diff.} = \# \pm 0.1$)

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 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 digitális **nyomásmérő kalibrációjáról!**
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csomópontjaira a gumicsövet óvatosan kell felhelyezni.
- 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. Kritikus pontok a műszerekre ill. a nyomáskivezetésekre történő csatlakoztatás helyei.
- A jegyzőkönyv leadása előtt erősen ajánlott a konzultációk igénybevétele.
- Gondosan ellenőrizni és betartani a mérési jegyzőkönyv követelményeit:
http://simba.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BSc LABOR/MAGYAR/ARA_BSc_jkv_kovetelmenyek.pdf
- Hasznos és fontos segédanyagok, például minta mérési jegyzőkönyv megtalálható a honlapon:
<http://simba.ara.bme.hu/oktatas/tantargy/NEPTUN/BSc LABOR/MAGYAR/>

Irodalom

Diffúzor

[1] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004-es és 2008-as kiadás) 465. oldal

Nyomásmérés manométerrel

[2] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004-es és 2008-as kiadás) 229. oldal

Térfogatáram mérése beszívó mérőperemmel

[3] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai (2004-es és 2008-as kiadás) 246. oldal