

# ÁRAMLÁSTAN MÉRÉSEK

## 2. MÉRÉS:

### Hengeres szabadsugár jellemzőinek vizsgálata

A MÉRÉS HELYE: ÁRAMLÁSTAN TANSZÉK, NAGY LABOR, 2. MÉRŐKOCSI

#### 1. Szabadsugár jellemzőinek összefoglalása

Szabadsugárnak nevezzük az olyan áramlást, amely valamely résen, nyíláson keresztül nyugvó térbe fúj be. A sugárban és a térben a közeg megegyező (pl. levegő/levegő, víz/víz). A sugarat környező tér méretéhez képest a sugár által határolt tér elhanyagolható méretű. A szabadsugár sajátosságait az ipar számos területén használják (pl. szellőzéstechnika, hűtés, sugárhajtású gépek, stb.).

A szabadsugár a környezetéből nyugvó részeket ragad magával, ennek következtében a sugárban a sebesség, a továbbáramló térfogat, a sugár mérete megváltozik.

#### 2. A mérés célja

A mérés célja egy levegő/levegő szabadsugár jellemzőinek vizsgálata, amely során megismerhető a szabadsugár geometriája, a sebességmegoszlás, illetve a sugár által szállított levegő mennyiségének változása.

#### 3. A mérőberendezés leírása

A levegőáramot, amelybe a mérendő testeket helyezzük 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 sugár alakját a kilépő keresztmetszet geometriája (kör, négyzet, téglalap) határozza meg.

#### 4. Mérési feladat; a mérés menete

A szabadsugár vizsgálatot egy kiválasztott kifúvó keresztmetszetnél, legalább 8 kiválasztott magasságnál kell elvégezni.

4.1. A kifúvó keresztmetszet kiválasztása és felszerelése a mérőkocsira.

4.2. A vizsgálni kívánt mérési magasságok kiválasztása. A kifúvó elem szintjét, vagyis a  $z=0$  szintet és a mérőállványon beállítható legmagasabb mérési magasságot mindenképpen vizsgálni kell, a maradék legalább 6 szintet nagyjából egyenletesen kell elosztani a két végpont között, de egész számot választva minden cm-ben kifejezett magasságértékhez.

4.3. A nyomásmérő műszert annak bekapcsolása után a mérőkocsihoz tartozó gumicsövek segítségével a segédállványon található Prandtl csőhöz kell csatlakoztatni. Ha Betz manométert használunk, akkor ezt a műveletet járó ventilátornál, a Prandtl csövet áramlásba helyezve, a csövek óvatos

ráközelítésével kell elvégezni, hogy a fordított bekötést a Betz manométer kitérésének negatív értékek irányába történő elmozdulása révén észlelni lehessen.

- 4.4. Minden kiválasztott szinten el kell végezni egy síkban a sebességprofil felvételét. Az alsó két magasságban 0.5, a középső kettőben 1, a felső kettőnél pedig 2 cm-enként kell felvenni a mérési pontokat. A Prandtl csövet mozgató szerkezetet célszerű a mérés kezdetén a skála közepe tájékán található valamelyik egész centiméter értékre beállítani, és az egész állványzatot úgy mozgatni, hogy ebben a Prandtl cső vége a sugár közepére kerüljön. Így minden mérési szinten tudni fogjuk, hogy hol található a sugár eredeti középpontja (ez ugyanis változhat felfelé haladva, nem feltétlenül fog egybeesni a legnagyobb leolvasott nyomásértékkel), a sugár bővülésével elegendő mozgásterünk marad a skálán mindkét irányban, és az egész számértékek miatt a leolvasás is egyszerű lesz. Amint egy mérési pontra beálltunk, meg kell várni, hogy a használt nyomásmérő műszer, a digitális nyomásmérő vagy a Betz manométer viszonylag állandó értéket mutasson (egy kis ingadozás többnyire megmarad, mivel a nagyon pontos műszer az áramlás kis változásait is képes követni). A leolvasott érték a Prandtl cső működési elvének megfelelően a sugárban tapasztalható dinamikus nyomás értékét fogja mutatni vízoszlop milliméterben, melyből Pascalba átszámítva egyszerűen számítható az áramlási sebesség. A mérést minden mérési szinten középről kiindulva, mindkét irányban a sugár széléig, vagyis az utolsó mért pozitív sebesség értékig kell végezni. Nem elegendő csak a sugár egyik felét vizsgálni, mivel előfordulhat, hogy a sugár felfelé haladva görbül, így nem tekinthető az eredeti középpont által meghatározott függőleges tengelyre szimmetrikusnak.

## 5. A mérés kiértékelése, és a jegyzőkönyv elkészítése

A mérési jegyzőkönyvet a tanszéki honlapon található „jegyzőkönyv követelmények” dokumentum tartalmának figyelembe vételével kell elkészíteni, az alábbi eredmények ismertetésével.

- 4.1. A leolvasott nyomásértékek megadás táblázatos formában. Célszerű magasságonként egy táblázatot készíteni, mely tartalmazza  $r$  függvényében a leolvasott nyomásértéket, annak Pascalban kifejezett megfelelőjét, az abból számított sebességet, és a térfogatáram számítás későbbiekben ismertetett menetéhez szükséges mennyiségeket.
- 4.2. A sebességprofilok felrajzolása egymás fölé helyezett, de különálló grafikonokkal. Az ábrák készíthetőek számítógépes szoftver segítségével (ügyelve a megfelelő diagram típus kiválasztására – ez az Excel esetében többnyire „xy chart”). Ügyeljünk a tengelyek elnevezésére és beskálázására, valamint az ábrázolt mennyiségek mértékegységének megadására. A sebességprofil grafikonok  $x$  tengelyét az egymás fölötti profilok esetében az összehasonlíthatóság végett azonos skálázásúakra kell választani.
- 4.3. A magmagasság meghatározása. Grafikonban, a  $z$  magasság függvényében rögzíteni kell az egyes szinteken leolvasott legnagyobb sebességértékeket, majd a kapott pontokra görbét illesztve (vagy azokat egyenes szakaszokkal összekötve), majd ezt a görbét – vagy törtvonalat – a  $v_0$  kezdeti legnagyobb sebesség 95 %-

ánál meghúzott egyenessel el metszve és a metszéspontot a magasságot ábrázoló  $x$  tengelyre vetítve megkapjuk a  $z_m$  magméretet.

4.4. A magméret fölé eső (többnyire a három legfelső) mérési magasságok sebességprofiljainak el kell végezni a dimenziótlanítását. A sebességértékeket az adott magasságon mért legnagyobb sebességgel, a sugárértékeket pedig az  $r_{1/2}$  értékével kell dimenziótlanítani (azaz minden egyes értéket elosztani vele). Az  $r_{1/2}$  értékét közelítő eljárással megkapjuk, ha az adott magasság sebességprofiljában a legnagyobb sebesség feléhez tartozó értéknél vízszintes vonalat húzunk, majd a metszéspontok  $x$  tengelyre vetített értékeit átlagoljuk. A dimenziótlanított sebességprofilokat közös diagramban kell ábrázolni, hogy a [3]-as irodalomban részletezett fizikai háttérű jelenséget, vagyis hogy a magméret fölötti görbék ilyen módon demenziótlanított görbéi egybeesnek, szemléltessük.

4.5 Minden mérési szintre ki kell számítani a sugár által szállított térfogatáramot, ezzel is szemléltetve, hogy a szabadsugár a környezetéből levegőt ragad magával. A térfogatáram számításához célszerű a következőkben ismertetett egyszerűsítő eljárást alkalmazni.

Az adott mérési magasságon a sugár keresztmetszetét felosztjuk a mérési pontoknak legmegfelelőbb felület elemekre, és minden felület elemet a hozzá tartozó mért sebességgel szorozva megkapunk egy résztérfogatáramot ( $q_i$ ). Az adott mérési szint összes mért sebességéhez tartozó ilyen résztérfogatáramot összegezve kapjuk meg az adott mérési szint teljes térfogatáramát ( $Q_i$ ). A kör keresztmetszetű kifúvó és egy síkban mért sebességértékek esetében a legcélszerűbb a felületet úgy felosztani, hogy minden mért sebességértékhez egy félgyűrű tartozik (kivéve a közepén mért értéket, melyhez egy kis körfelület). A félgyűrű vastagsága megegyezik az adott mérési magasságban érvényes lépésközzel. (Lsd. a függelékét). A középső két mérési szint 1 cm-es lépésközét figyelembe véve például a 2 cm-nél mért sebességhez tartozó félgyűrű 1.5-től 2.5 cm-ig terjed, vagyis a sebesség a félgyűrű közepes sugarértékénél helyezkedik el (a példában szereplő félgyűrű területét megkapjuk tehát, ha egy 1.5 és egy 2.5 cm-es kör területének különbségét elosztjuk 2-vel).

A térfogatáram számításához használt felület elemek területét és a kapott  $q_i$  résztérfogatáramokat a jegyzőkönyv elején található táblázatban fel kell tüntetni.

A mérési magasságokra számított  $Q_i$  teljes térfogatáramot a magasság függvényében grafikonban kell ábrázolni, a számított pontokat görbékkel vagy egyenes szakaszokkal összekötve.

4.6. Hibaszámítás készítése a mérésvezető oktató által meghatározott mennyiségre a tanszéki honlap található hibaszámítási segédlet alapján.

### ***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 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.
- 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 csonkjaira a gumicsövet óvatosan, "ráközelítve", a mérőfolyadék szál viselkedését 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 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**

[3] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai

## Hibaszámítás

A sebességprofil „k”-ik mérési pontjához tartozó abszolút hiba számítása:

$$v_k = \sqrt{\frac{2p_{din,k}}{\rho}} \quad \delta v_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \delta X_i \cdot \frac{\partial v_k}{\partial X_i} \right)^2}$$

A relatív hiba:

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

Ahol az  $X_i$  mért mennyiségek és a hozzájuk kapcsolódó mérési hibák:

$X_1 = p_0$ , illetve a nyomásmérés hibája  $\delta p_0 = 100 \text{ Pa}$

$X_2 = T_0$ , illetve a hőmérsékletmérés hibája  $\delta T_0 = 1 \text{ K}$

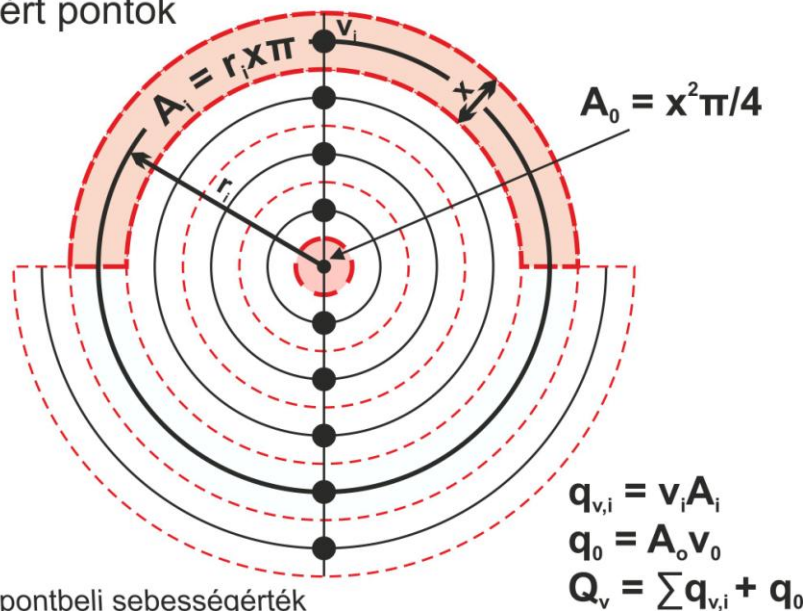
$X_3 = \Delta h$ , illetve a ferde- v. görbecsöves manométer leolv. Hibája  $\delta \Delta h = 0.001 \text{ m}$

$X_4 = p_{din}$ ,  $\delta p_{din} = 2 \text{ Pa}$  ha digitális nyomásmérő műszert használunk.

## Függelék

### M2. Térfogatáram számítása numerikus integrálással (midpoint módszerrel)

- mért pontok



$v_i$  [m/s] - „i” pontbeli sebességérték  
 $r_i$  [mm] - „i” pont középponttól mért távolsága  
 $x$  [mm] - lépésköz két pont között