

## M2

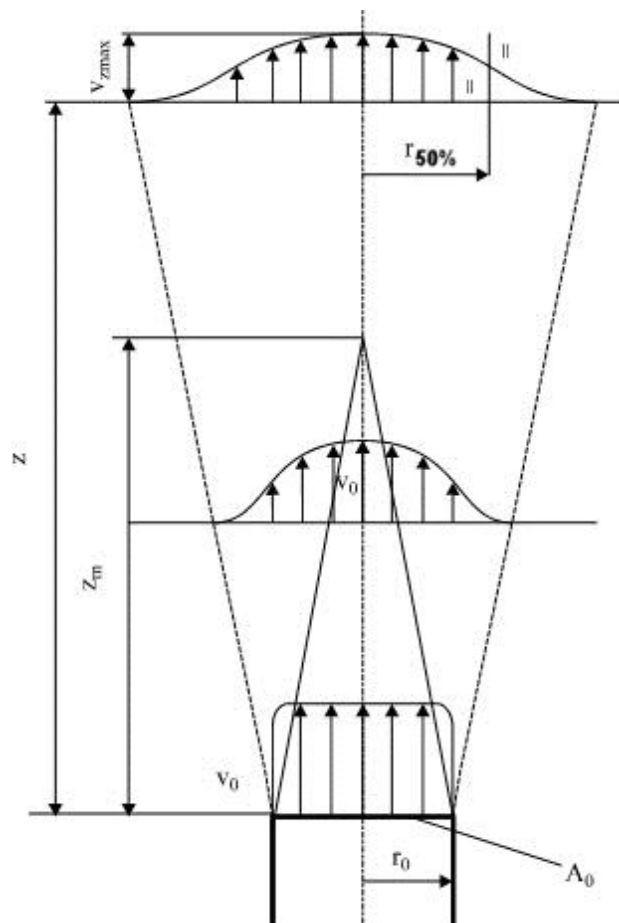
### SZABADSUGÁR VIZSGÁLATA

#### 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 sugár 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.

Mérések és elméleti megfontolások alapján a sugár szerkezete a sebességmegoszlás szempontjából két részre osztható (ld. a következő **1. ábra** jelöléseit). A  $z_m$  ún. magtávolságig a tengelyben – a szabadsugár magjában – a  $v_0$  sebesség jó közelítéssel változatlan, a kiáramlási keresztmetszetben érvényes sebességgel megegyezik. A mag mérete pl. hengeres sugárnál a szakirodalom alapján  $z_m \approx (5 \div 6)d_0$ . A  $z > z_m$  szabadsugár rész az ún. lassuló szakasz, ahol  $v_{\max} < v_0$ , de a sebességmegoszlás, a szabadsugár különböző  $z$  távolságban mért sebességprofiljai hasonlóak. A sugár szélét a zérus sebességre csökkenő nyíróréteg határolja.



1. ábra Szabadsugár sebesség-eloszlása

A sugár további jellemzőit az impulzustétel alkalmazásával vizsgálhatjuk, néhány egyszerűsítő elhanyagolással:

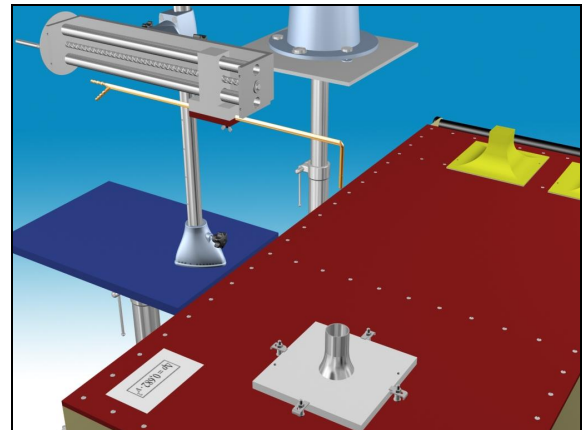
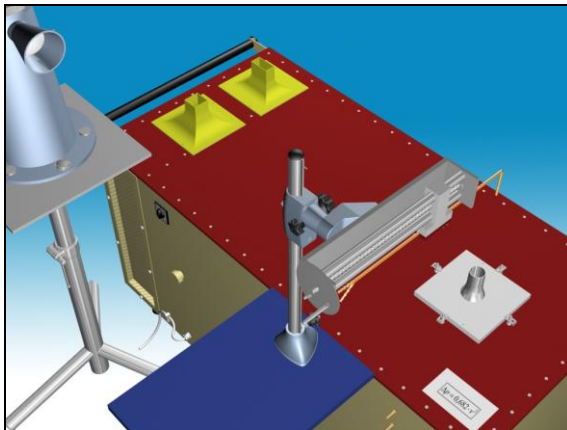
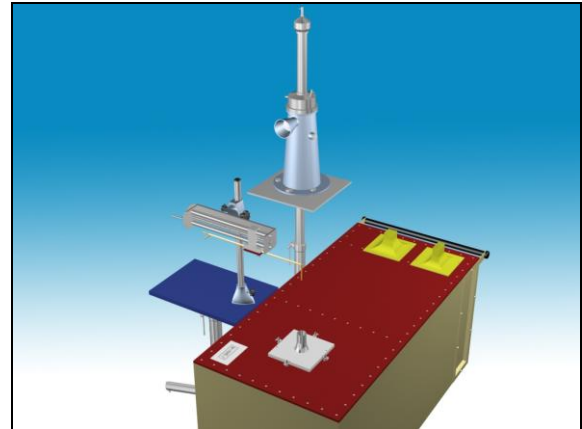
- a sugár nyugvó térbe áramlik,
- a súrlódás és térerő hatását elhanyagoljuk,
- a  $v_0$  kezdeti kifúvási sebességet időben állandónak tekintjük,
- nem vesszük figyelembe, hogy a sugárhoz történő hozzákeveredés folytán (nyírórétegben görbültek az áramvonalak) a sugárban a nyomás kissé eltérő lehet a  $p_0$  környezeti nyomáshoz képest.

## 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 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 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 ventillátornál, 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 2, a középső kettőben 5, a felső kettőnél pedig 10 mm-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 készíthetők számítógépes szoftver segítségével (ügylve 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 elmeszve 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 középen mért értéket, melyhez egy kis körfelület). A félgyűrű vastagsága megegyezik az adott mérési magasságban érvényes lépésközzel. (Izd. a függelék). A felső 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 sugárértékénél 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. A szállított térfogatáram jó közelítéssel lineárisan nő a  $z$  távolság függvényében, így a kiáramlási keresztmetszet  $q_0$  térfogatáramából induló lineáris trendvonalat illeszthetünk az adatpontokra. Célszerű egy olyan **dimenziótlan térfogatáram diagramot is készíteni**, melyben a  $q_0$  térfogatárammal dimenziótlanított értékeket:  $q^* = q_v / q_0$  dimenziótlan térfogatáramot ábrázoljuk a  $z$  távolság függvényében, mert ekkor azonnal látszik, hogy hányszorosára nő a szabadsugárban szállított levegő térfogatáram a kezdetihez képest

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

**Hibaszámítás**

A sebességprofil „k”-ik mérési pontjához tartozó sebesség, abszolút ill. relatív hiba:

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

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

$$X_1 = p_0, \quad \delta p_0 = 100 \text{ Pa}$$

$$X_2 = T_0, \quad \delta T_0 = 1 \text{ K}$$

$$X_3 = \Delta h, \quad \delta \Delta h = 0.001 \text{ m}$$

vagy az EMB-001 nyomásmérő műszert használunk

$$X_4 = p_{din}, \quad \delta p_{din} = 2 \text{ Pa.}$$

Egy sebességprofil minden pontjára ki kell számítani a relatív hiba értékét, és az így **kapott hibagörbét kell ábrázolni külön diagramban**, amely diagram tartalmazza az adott sebességprofil is!

***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 csomójaira 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**

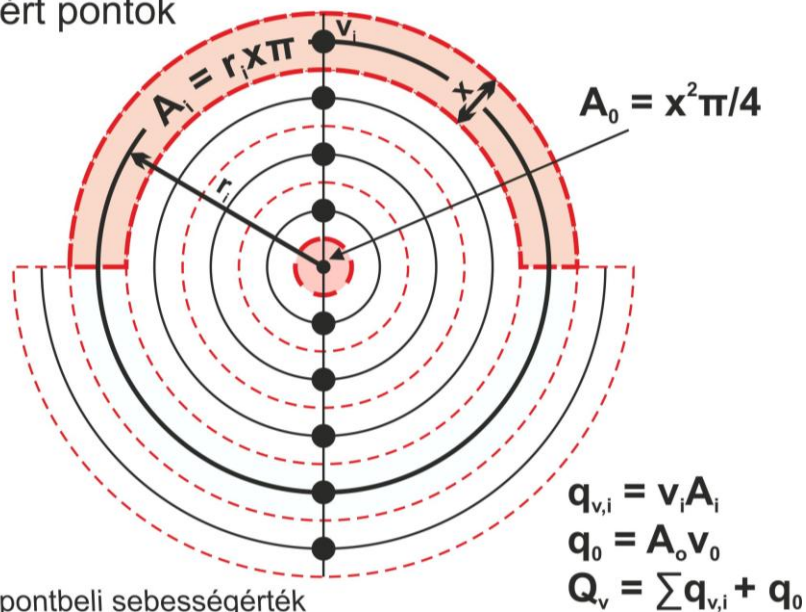
[3] Lajos Tamás: Áramlástan alapjai



## Függelék

## M2. Térfogatáram számítása numerikus integrálással (középpont-módszerrel)

- mért pontok



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