

VENTILÁTOR MÉRÉS

1. A mérés célja

Egy ventilátorból és a vele összeépített háromfázisú aszinkron motorból álló **gépcsoport üzemi jelleggörbéinek** felvétele (ld. továbbá **2. fejezet**); ez a következő függvénykapcsolatok meghatározását jelenti:

$$\begin{aligned}\Delta p_{\ddot{o}} &= f(Q) && \text{- az össznyomás növekedés} \\ \Delta p_{st} &= f(Q) && \text{- a statikus nyomásnövekedés} \\ \eta_{MV} &= f(Q) && \text{- a motor-ventilátor gépcsoport hatásfoka} \\ &&& \text{a térfogatáram függvényében.}\end{aligned}$$

Valamint a szívócsőben kialakuló sebességeloszlás (sebességprofil) meghatározása Prandtl csöves méréssel (ld. továbbá **3. fejezet**).

2. Jelleggörbe mérések

2.1. Elméleti alapok

(ld. továbbá: Dr. Kullmann László, Áramlástechnikai gépek, online jegyzet, Ventilátorok fejezet: http://ak.mersz.org/?xmlazonosito=m304ag_47#m304ag_47)

Ventilátoroknál a tömegegységre eső Y fajlagos munka helyett a térfogategységre jutó fajlagos munka, az ún. össznyomás növekedés használata szokásos (jele $\Delta p_{\ddot{o}}$, $\Delta p_{\ddot{o}} = \rho Y$). Mivel a helyzeti energia megváltozása elhanyagolható, az össznyomás növekedést a

$$\Delta p_{\ddot{o}} = \left(p_n + \frac{\rho}{2} c_n^2 \right) - \left(p_s + \frac{\rho}{2} c_s^2 \right) = p_{n\ddot{o}} - p_{s\ddot{o}} \quad (1)$$

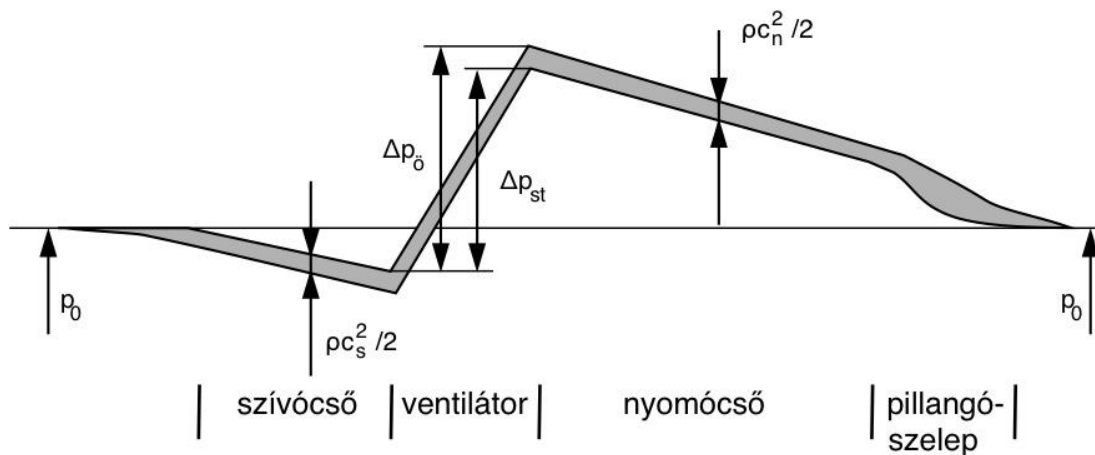
Bernoulli-entalpiaváltozásként lehet kiszámítani.

A ventilátorból távozó levegő fajlagos mozgási energiája, a $\frac{\rho}{2} c_n^2$ dinamikus nyomás gyakran nem hasznosítható, veszteség, ez indokolja a

$$\Delta p_{st} = \Delta p_{\ddot{o}} - \frac{\rho}{2} c_n^2 = p_n - p_s - \frac{\rho}{2} c_s^2 \quad (2)$$

statikus nyomásnövekedés bevezetését.

A laboratóriumi mérőberendezésben a szívó- és nyomócsők keresztmetszete A_S és A_n különbözik, így $c_S = Q/A_S$ és $c_n = Q/A_n$ is különbözik. $\Delta p_{\ddot{o}}$ számításakor a dinamikus nyomások tehát nem esnek ki. A ventilátor a szabadból szív, ott az össznyomás p_0 , ez alakul át veszteség mellett $p_s + \frac{\rho}{2}c_s^2$ -té, majd a ventilátorban $\Delta p_{\ddot{o}}$ -vel nő, azaz $p_n + \frac{\rho}{2}c_n^2$ lesz. A nyomócső, pillangószelep veszteségei és a távozó $\frac{\rho}{2}c_n^2$ fajlagos mozgási energia levonása után a (statikus) nyomás ismét p_0 . Egy áramvonal mentén a statikus és össznyomás változása a 2.1. ábra szerinti.



2.1.ábra: Áramvonal mentén a statikus és össznyomás változása

Ventilátorok hasznos teljesítménye a térfogategységre jutó fajlagos munka ($\Delta p_{\ddot{o}}$) és a térfogatáram (Q) szorzata $P_h = Q \Delta p_{\ddot{o}}$.

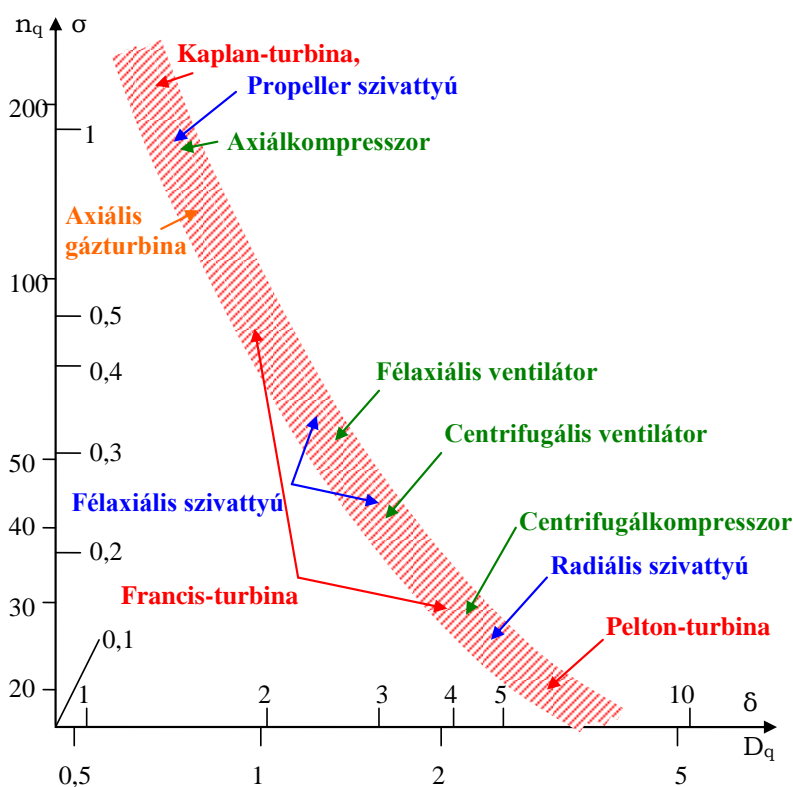
A Q , $\Delta p_{\ddot{o}}$ üzemi paramétereket gyakran φ mennyiségi, ill. $\psi_{\ddot{o}}$ nyomásszámként dimenziótlan alakban adják meg a **legjobb hatásfokú pontban (optimális üzemállapotban)**, definíciójuk:

$$\varphi = \frac{Q}{u_2 \frac{D_2^2 \pi}{4}} ; \quad \psi_{\ddot{o}} = \frac{\Delta p_{\ddot{o}}}{\frac{\rho}{2} u_2^2} \quad (3)$$

ahol $u_2 = D_2 \pi n$ a járókerék kerületi sebessége. A ventilátor típusát a $\sigma = \frac{\varphi^{1/2}}{\psi_{\ddot{o}}^{3/4}}$ fordulatszám tényező, vagy a $\delta = \frac{\psi_{\ddot{o}}^{1/4}}{\varphi}$ átmérő tényező számértékével szokás jellemezni. A mérési tapasztalatok szerint a jó

hatásfokú gépek $\sigma - \delta$ értékpárjai egy $\sigma = \sigma(\delta)$ görbe körüli keskeny sávban helyezkednek el, ez az ún. Cordier-diagram, 2.2. ábra.

(Jegyzetben: http://ak.mersz.org/?xmlazonosito=m304ag_12_p29#m304ag_12_p29)



2.2. ábra: Cordier-diagram

A hatásfok mellett - gyakran annál fontosabb - jellemzője a ventilátornak a kibocsátott hangteljesítményszint, L_w . A hangteljesítményszint az akusztikai hangteljesítmény 10-es alapú logaritmusának 10-szerese dB (decibel) mértékegységben megadva. Manapság egyre több helyen írnak elő korlátot (pl. irodaházakban) az embereket érő hangterhelésre, így tervezési, méretezési szempontból is irányelv, hogy csendes szellőztetőrendszerek kerüljenek beépítésre.

Tapasztalat szerint a kibocsátott hangteljesítményszint függ a ventilátor típusától, szerkezeti kialakításától, a teljesítményvesztéstől és a Mach-számtól (Ma).

$$L_w = A + 10 \lg \left(\frac{P_{veszt}}{P_{ho}} \right) + B \lg(Ma) \quad [dB] \quad (4)$$

$$P_{veszt} = P_{be} - P_h = \frac{P_h}{\eta} - P_h = P_h \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = Q \Delta p_{\delta} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad (5)$$

$$P_{h0} = Q_0 \Delta p_{\delta 0} = 1 \frac{m^3}{s} 1 Pa = 1W, \quad (6)$$

$Ma = \frac{u_2}{a}$, a kerületi sebesség (mint az áramlási sebesség léptéke) és a hangsebesség hányadosa ($a = 340 \text{ m/s}$ légköri körülmények között). A típusra, szerkezeti kialakításra utaló *A* és *B* számok néhány gyakori esetben a 2.1. táblázat alapján :

típus/kialakítás	A	B
radiális átömlésű/hátrahajló lapátozású	82,5	15,3
előrehajló lapátozású	85,2	15,6
axiális átömlésű/terelőlapát nélkül	90,4	15,6
utóterelő lapáttal	96,6	31,6

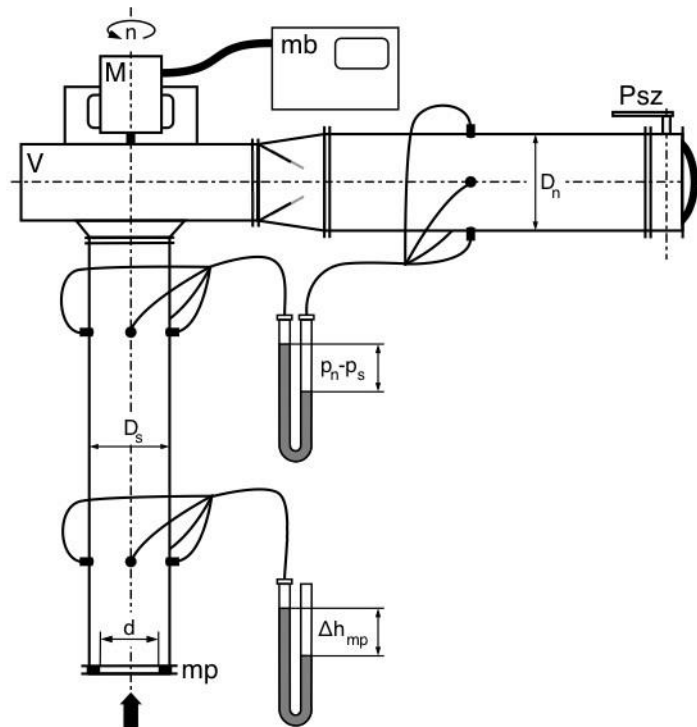
2.1. táblázat

2.2. A mérőberendezés leírása jelleggörbe méréshez

A mérőberendezés vázlatát a 2.3. ábrán láthatjuk. A mérendő gép a V jelű hátrahajló lapátozású, radiális átömlésű lemezventilátor. A hajtógép az M jelű, $n = 1440/\text{min} = 24/\text{s}$ névleges fordulatszámú háromfázisú aszinkron motor.

A mérési elrendezés olyan, hogy mind a szívó-, mind a nyomóoldalon egy-egy egyenes hengeres csőszakasz kapcsolódik a ventilátorhoz.

A térfogatáram mérésére a szívócső belépő keresztmetszetébe helyezett "mp" jelű beszívó mérőperem szolgál (1. kép). A mérőperem által létesített nyomáskülönbséget egy U-csöves manométerrel, illetve egy párhuzamosan kötött Rosenmüller típusú ferde csöves, vízzel töltött manométerrel mérjük (3. kép). A ferde csöves manométer „1:2” állásban (azaz 30°-os döntési szög mellett) a teljes mérési tartományban használható. Figyelem: ekkor a ferde csőben leolvasott „ Δl ” kitérés (0,5)-szöröse a Δh_{mp} érték.



2.3. ábra: A mérőberendezés vázlata, ventilátor mérés

A különböző üzemállapotok beállítása fojtással történik, ami a nyomócső végére felszerelt "Psz" jelű pillangószeleppel valósítható meg (2. kép).

A szívó- és a nyomócsokban uralkodó nyomások különbsége a csövek közé kapcsolt U-csöves, víztöltésű, Pa-ban skálázott manométerrel mérhető (2.3. ábra).

2.3 A jelleggörbéken szereplő mennyiségek mérése és számítása

Fordulatszám (n)

A fordulatszámot a motortengely szabad végén Jaquet indikátorral kell mérni minden üzemállapotban.

Bevezetett teljesítmény (P_{be})

A motor felvett teljesítményét mérőbörönddel mérjük, arról a mért érték kW-ban közvetlen leolvasható.

Térfogatáram (Q)

Az áramló közeg levegő. A térfogatáram meghatározásához mérni kell a

Δp_{mp} nyomáscsökkenést a mérőperemen. A perem előtti nyomás egyenlő a légköri nyomással, a perem utáni nyomást a peremtől $1/2 D_S$ távolságban elhelyezett megcsapoló furatokon mérhető átlagnyomás adja.

A térfogatáram a

$$Q = \alpha \cdot \varepsilon \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2 \Delta p_{mp}}{\rho}} \quad (7)$$

összefüggésből számítható, ahol

d - a perem legkisebb átmérője ($d = 300 \text{ mm}$).

ε - az expanziós szám, értéke a kis nyomáscsökkenés miatt $\varepsilon = 1$,

ρ - a levegő sűrűsége, amit a mérés során uralkodó légköri nyomásból (p_0) és hőmérsékletből (T_0) a gáztörvény ($\rho = \frac{p_0}{RT_0}$) alapján

számolhatunk, ahol $R = 288 \text{ J/kg K}$.

$\Delta p_{mp} = \rho_{\text{víz}} \cdot g \cdot \Delta h_{mp}$, ahol a víz sűrűsége 1000 kg/m^3 .

A térfogatáram meghatározásához szükséges átfolyási szám (α) beszívó mérőperem esetén $\alpha \approx 0,6$ a keresztmetszettől gyakorlatilag függetlenül.

Az átfolyási szám (α) meghatározása méréssel

Amennyiben a mérőperem szabvány előírás szerinti beépítése nem biztosított, a szállított közegmennyiséget egy keresztmetszetben a sebességeloszlás Prandtl-csővel történő kimérésével határozhatjuk meg.

Megjegyzés : a 3. fejezetben bemutatásra kerülő és a laborgyakorlat alatt elvégzendő Prandtl csöves mérés eredményei alapján nem szükséges az átfolyási szám módosítása a jelleggörbe mérés kiértékeléséhez, használhatják az $\alpha \approx 0,6$ -os közelítést.

Statikus és össznyomásnövekedés (Δp_{st} , $\Delta p_{\text{ö}}$)

A statikus nyomáskülönbség

$$\Delta p_{st} = (p_n - p_s) - \frac{\rho}{2} c_s^2 \quad (8)$$

A $(p_n - p_s)$ nyomáskülönbséget U-csöves víztöltésű differenciálmánométerrel mérjük, nyomásközvetítőként a levegő szolgál. Az U-cső két szára a szívó-, ill. nyomócsövön elhelyezett 4 - 4 statikus nyomásmérő furat átlagnyomására van kapcsolva. **A manométerskála Pa beosztású!**

A szívóoldali dinamikus nyomáshoz szükséges c_s ismerete, ami a térfogatáramból számítható.

Az össznyomáskülönbség

$$\Delta p_{\dot{o}} = \Delta p_{st} + \frac{\rho}{2} c_n^2 \quad (9)$$

ahol a nyomócsőben áramló levegő c_n átlagsebessége a kontinuitás alapján számítható c_s -ből, vagy Q -ből.

A ventilátor hasznos teljesítménye P_h

$$P_h = Q \cdot \Delta p_{\dot{o}} \quad (10)$$

A ventilátor-motor gépcsoport hatásfoka

$$\eta = \frac{P_h}{P_{be}} \quad (11)$$

2.4 A mérőberendezés üzembe helyezése

1. A pillangószelepet teljesen zárjuk.
2. A manométerek üzemképes állapotát ellenőrizzük, a Rosenmüller ferdecsovés mikromanométer üvegcsövét függőleges állásba helyezzük, a kezdeti nyomáslengések lecsillapodása után a fenti ferde helyzetbe megdöntve rögzítjük.
3. A motorkapcsoló zöld indítógombját benyomjuk.
4. Ha a motor elérte névleges fordulatszámát, a mérőbőröndöt bekapcsoljuk.

2.5 A mérési pontok felvétele

A jelleggörbe mérésénél a pillangószelep fokozatos állításával különböző üzemállapotokat hozunk létre és leolvassuk a műszereket. Célszerű a pillangószelepet úgy beállítani az egyes mérési pontokhoz, hogy a mérőperemhez kapcsolt manométer Δh_{mp} kitérésének gyöke, $\sqrt{\Delta h_{mp}}$ egyenletes lépésekben változzék. A mérés során fel kell jegyezni a közvetlenül mért mennyiségeket: $h_{mp,bal}$ [mm], $h_{mp,jobb}$ [mm], $p_{,bal}$ [Pa], $p_{,jobb}$ [Pa], P [kW], n [1/min]; mindezeket a jegyzőkönyvnek is tartalmaznia kell.

2.6 Felkészülés a jelleggörbe méréshez

- Mérés előtt írásos formában ellenőrizni fogjuk a megfelelő felkészültséget, ehhez a leírás végén felkészítő kérdéseket bocsátunk rendelkezésre.**
- A mérési eredmények feljegyzéséhez táblázatot kell előkészíteni (digitálisan (notebook) vagy papír alapon).
- Elő kell készíteni egy A4 méretű milliméterpapíron az **1. ellenőrző diagram** koordináta-rendszerét (ezt is lehet digitálisan).

Az 1. ellenőrző diagramban a következő mennyiségeket ábrázoljuk: vízszintes tengelyen a mérőperemre kötött manométer kitéréséből vont négyzetgyök ($\sqrt{\Delta h_{mp}}$) értékét, mint a Q térfogatárammal arányos mennyiséget, a függőleges tengelyen a ventilátor szívó- és nyomócsövének megcsapolásai közé kapcsolt manométer kitérését ($\Delta p_v = p_n - p_s$), és a mérőbőröndről leolvasott P teljesítményt.

Maximális értékek a lépték megválasztásához:

$$\left(\sqrt{\Delta h_{mp}}\right)_{\max} = 10 \sqrt{\text{vízoszlopmm.}}$$

$$\left(\Delta p_v\right)_{\max} = 1500 \text{ Pa}$$

$$(P)_{\max} = 2000 \text{ W}$$

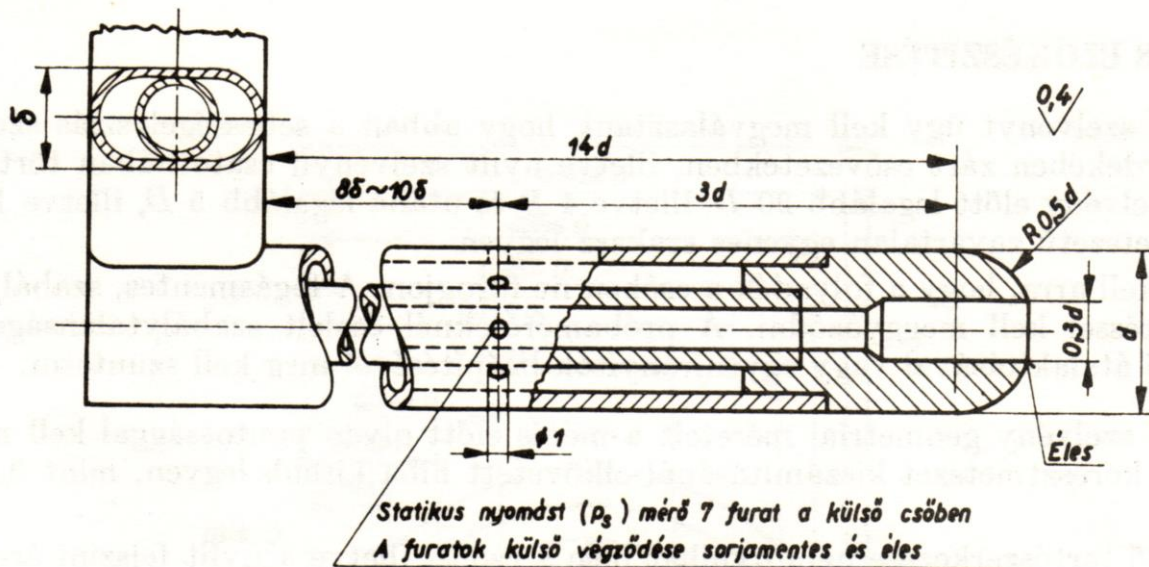
3. Prandtl csöves térfogatáram mérés

3.1. A mérés elve

(Cél: A szívócsőben kialakuló sebességeloszlás meghatározása Prandtl csöves méréssel.)

A torlócső (Prandtl-cső) áramlási sebesség mérésére alkalmas eszköz, alakja az 3.1. ábra szerinti.

Torlócsővel csak egyfázisú folyadék vagy gáz áramlása mérhető. A folyadék vagy gáz nem tartalmazhat olyan mennyiségű, illetve minőségű szennyezést, amely a műszer eldugulását okozhatja, vagy annak szárán olyan lerakódást alkothat, amely az áramképet megváltoztathatja. A torlócsövet folyadékmennyiség mérésére csak állandósult vagy lassan változó áramlás esetén lehet használni.



3.1. ábra: Félgömbvégű Prandtl-cső, alak és főméretek összefüggése

3.2. Prandtl-cső alkalmazása sebesség mérésére

Az orrpontban a nyomás (p_0) egyenlő a műszerrel meg nem zavart áramlás (p_s) statikus és a ($p_d = \frac{\rho}{2} c^2$) dinamikus nyomásának összegével. Egy alkotó mentén haladva a cső palástja mentén a nyomás az orrpont után a statikus nyomás alá csökken, majd a végtelenben eléri a statikus nyomás nagyságát.

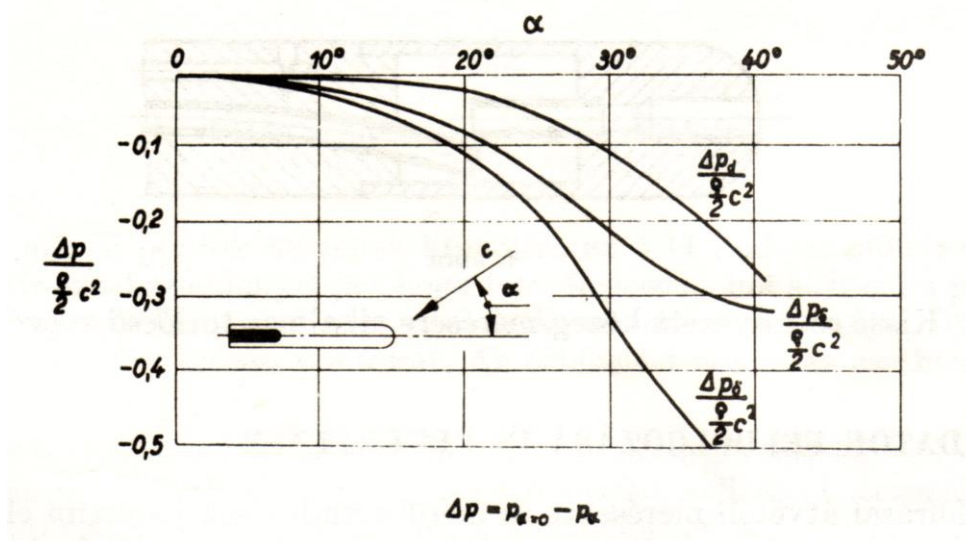
A sebesség:

$$c = C \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_0 - p_s)} \quad (12)$$

Ha $Re_D > 3000$ (ld. 15-es összefüggés), akkor a szabványnak megfelelő Prandtl-cső kalibrálás nélkül használható és műszerállandója (C) 1-nek tekinthető.

A torlónyílás élei sorjamentesek legyenek és középpontja a henger tengelyvonalaiba essék.

A szabványnak megfelelő Prandtl-cső kevésbé érzékeny az áramlás irányára (3.2. ábra).



3.2. ábra: Prandtl-cső irányérzékenysége

A Prandtl-cső mérésre csak akkor alkalmazható, ha $\alpha < 15^\circ$.

3.3. A Prandtl-cső beépítési előírásai, alkalmazása térfogatáram mérésére

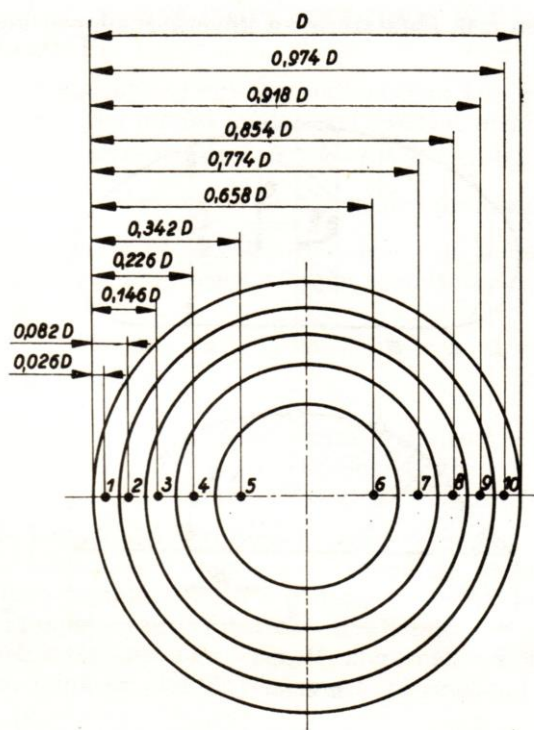
A mérési szelvényt úgy kell megválasztani, hogy abban a sebességeloszlás szabályos legyen. Ennek érdekében zárt csővezetékben történő mérésnél a mérési szelvény előtt legalább $20D$ és utána legalább $5D$ változatlan keresztmetszetű zavartalan egyenes szakasz legyen. Ügyelni kell arra, hogy az áramló közeg a csőben ne forogjon. A forgásmentes, szabályos áramképről próbaméréssel kell meggyőződni. A próbamérésnél észlelt szabálytalanságokat a vezeték megfelelő átalakításával vagy egyenirányítók beépítésével meg kell szüntetni.

A mérési szelvény geometriai méreteit a mérés előtt olyan pontossággal kell megmérni, hogy a mérési keresztmetszet kialakításánál elkövetett hiba kisebb legyen, mint 0.2% .

A torlócső tartószerkezete nem nyúlhat bele a csőbe. A vezeték fala folytonos legyen. A tartószerkezet és a torlócső szára olyan merev legyen, hogy az áramlásba helyezett torlócső ne rezegjen. Ha a mérés folyamán a torlócső rezeg, akkor a mérés eredményét nem szabad figyelembe venni.

Körszelvényű csővezetékek esetén, legalább két, egymásra merőleges átmérő mentén tetszőleges számú (de átmérőnként legalább 10) pontban

mért sebesség alapján kell sebességeloszlást meghatározni. A pontok kiosztása a 3.3. ábra szerint megengedett.



3.3. ábra: Példa a mérési pontok kijelölésére

A cső keresztmetszetét legalább öt egyenlő területű koncentrikus körgyűrűre kell osztani. E gyűrűterületeket tovább felező súlyponti köröknek megfelelő sugarakon kell mérni a sebességet. A c_k középsebesség az összes mért sebességek számtani középértéke. Ezzel a keresztmetszeten időegység alatt átáramló folyadéktérfogat:

$$q_v = A c_k \quad (13)$$

Megengedett a mérési pontok helyének kijelölése a 3.4. ábrán megadottaktól eltérő módon is. Ez azzal az előnnyel jár, hogy tetszőlegesen lehet sűríteni a pontok számát azokon a helyeken, ahol azt a sebesség változása indokolja. Ilyen esetben a csőfal közelében sűríteni kell a mérési pontokat. A kiértékelést ebben az esetben a következőképpen kell elvégezni.

Az egyes sugarak mentén mért sebességek eloszlási görbéit fel kell rajzolni és az azonos sugárhoz tartozó sebességek számtani középértékeként kell meghatározni a közepes sebesség (c_{kr}) eloszlási görbéjét. Ennek ismeretében a folyadékáram a

$$q_v = 2\pi \int_0^R c_{kr} r dr \quad (14)$$

összefüggés alapján, grafikusán, vagy számítással határozható meg.

A 3.3. ábra szerinti mérést két egymásra merőleges átmérő mentén elvégezve, külön-külön meg kell határozni a folyadékáramot mindkét átmérő mentén mért sebességek alapján. Ha az így kiszámított két érték eltérése nagyobb, mint 2%, akkor a mérést legalább négy átmérő mentén kell elvégezni.

3.4. A mérőberendezés leírása a Prandtl csöves méréshez

A mérőberendezés vázlatát az 3.4. ábrán láthatjuk. A légáramot biztosító gép a V jelű, hátrahajló lapátos, radiális átömlésű lemezventilátor. A hajtógép az M jelű, $n = 1440/\text{min} = 24/\text{sec}$ névleges fordulatszámú villamosmotor. A mérési elrendezés olyan, hogy mind a szívó, mind a nyomóoldalon egy-egy egyenes hengeres csőszakasz kapcsolódik a ventilátorhoz. A térfogatáram mérésére a szívócső belépő keresztmetszetébe helyezett "mp" jelű beszívó mérőperem szolgál. (Ld. részletesebben: 2. fejezet.)

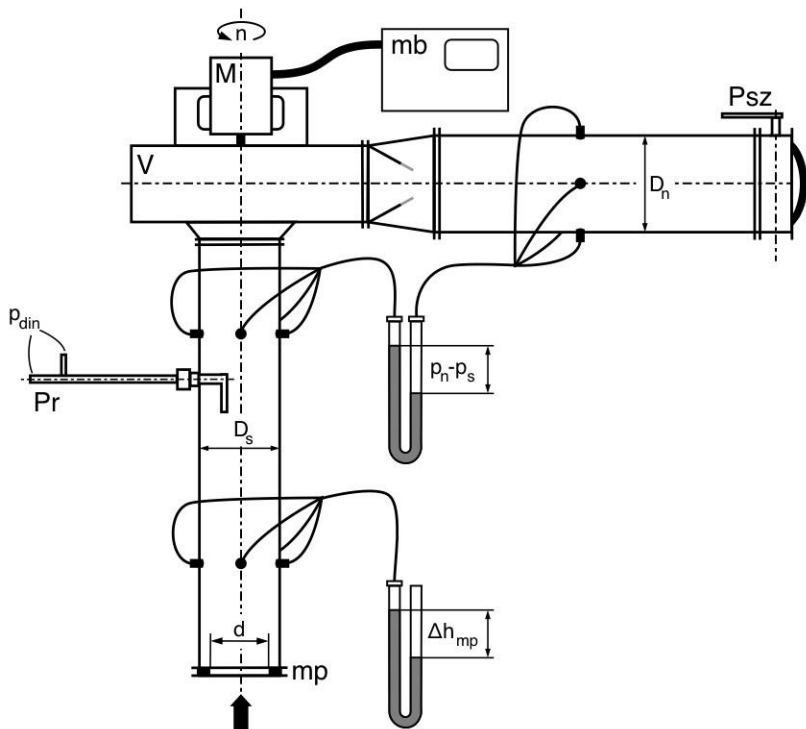
3.5. A mérőberendezés üzembe helyezése

1. A pillangószelepet teljesen zárjuk.
2. A manométerek üzemképes állapotát ellenőrizzük.
3. A motorkapcsoló zöld indítógombját benyomjuk.

3.6. A mérési pontok felvétele

Az átfolyási szám meghatározásához a pillangószelepet teljesen nyitott állásban (teljes nyitás) rögzítjük, s leolvassuk az üzemállapothoz tartozó Δh_{mp} manométer kitérést (az áganként előjelre helyesen leolvasott adatokat táblázatban rögzítjük). Ezután meghatározzuk a szívócsőbeli sebességeloszlást Prandtl-csővel.

A Prandtl cső átszerelésének megkezdése előtt a Rosenmüller mikromanométer üvegcsövét függőleges helyzetbe kell állítani!



3.4. ábra. A mérőberendezés vázlatja, műszerezése, Prandtl csöves mérés

3.7. Számítási összefüggések a Prandtl csöves méréshez

3.7.1. A térfogatáram meghatározása mérőperemmel, Reynolds-szám

A térfogatáramot mérőperemmel, a 2.3-as fejezetben leírt módon, a (7)-es összefüggéssel lehet számolni. Viszont a következőkben (3.7.2. alfejezetben) bemutatásra kerül, hogy az (α) átfolyási szám Prandtl csöves méréssel is meghatározható. A mérést teljesen nyitott pillangószelep állásnál kell elvégezni. A Reynolds-szám definíciója

$$Re_D = \frac{c_k D_s}{\nu} , \quad (15)$$

ahol a ν kinematikai viszkozitást különböző hőmérsékleteken a 3.1. táblázat tartalmazza.

A levegő ν kinematikai viszkozitása légköri (101 325 Pa) nyomáson.			
t °C	15	20	25
ν m^2/s	$14,4 \cdot 10^{-6}$	$15 \cdot 10^{-6}$	$15,5 \cdot 10^{-6}$

3.1. táblázat

3.7.2. Az átfolyási szám (α) meghatározása

Az átfolyási szám meghatározásához Prandtl-csővel meghatározzuk a szívócsőben áramló levegő átlagsebességét (c_k), s ugyanakkor leolvassuk a hozzátartozó Δp_{mp} nyomáskülönbséget. Felhasználva, hogy

$$c_{mp} = \alpha \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_{mp}}{\rho}} \quad \text{és} \quad c_{mp} = \left(\frac{D_s}{d}\right)^2 \cdot c_k, \quad (16)$$

az átfolyási szám az alábbi összefüggésből meghatározható:

$$\alpha = \left(\frac{D_s}{d}\right)^2 \cdot \frac{c_k}{\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p_{mp}}{\rho}}}. \quad (17)$$

3.7.3. Az átlagsebesség meghatározása

A c_k sebesség megméréséhez a szívócső keresztmetszetét a 3.4. ábrának megfelelően koncentrikus körökkel öt egyenlő felületű részre osztottuk. Mindegyik részterület (körgyűrű vagy kör) két, egymásra merőleges átmérőjén levő 4 pontjában megmérjük a c_i légsebesség értéket Prandtl-csővel. A pontokat olyan sugarakon helyezük el, hogy parabolikus integrálközelítést feltételezve, az egész csőre vonatkozó c_k átlagsebesség a $4 \times 5 = 20$ sebességérték számtani átlagával legyen egyenlő.

$$c_k = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} c_i. \quad (18)$$

A mérésre szolgáló Prandtl-cső szárán jelek vannak, ezek segítségével lehet a megfelelő sugarakra beállítani a Prandtl-csövet. A műszer légzáró beépítését és a rögzítést kúpos szegmensbetétes szelencék biztosítják. A két befogó szelence közül azt, amelyen nem történik mérés, az ott található dugóval le kell zárni.

A Prandtl-cső megcsapolásai közti nyomáskülönbséget, amely megfelel a $p_{din} = \frac{\rho}{2} c_i^2$ dinamikus nyomásnak, Rosenmüller ferdecsöves mikromanométerről olvashatjuk le („ l_i ”), ebből a helyi „ c_i ”sebességek számíthatók:

$$\frac{\rho}{2} c_i^2 = \rho_{alk} g l_i \sin \alpha. \quad (19)$$

Az alkohol sűrűsége 800 kg/m^3 .

3.7.4. Felkészülés a Prandtl csöves méréshez

- A mérési eredmények feljegyzéséhez táblázatokat kell előkészíteni (lásd lejjebb részletezve).
- A 2. ellenőrző diagram**ban a következő mennyiségeket ábrázoljuk: a maximális térfogatáram mellett egy átmérő mentén (3.3. ábra alapján) a vízszintes és a függőleges sebességprofil mérésből adódó „ l_i ” kitérések négyzetgyökét, amelyek a vízszintes és a függőleges sebességprofillal egyenesen arányos mennyiségek.

Az alábbi, 3.2. táblázatban a mikromanométer kitérése „ l_i ” [mm alkohol oszlop] mértékegységben írandó.

A teljes nyitáshoz tartozó mérőperem adat: $\Delta h_{mp} = h_b - h_j =$											
sin $\alpha =$	irány	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	vízsz.										
2.	függ.										

3.2. táblázat

Táblázat a „ c_i [m/s]” helyi sebességek számításához:

A teljes nyitáshoz tartozó c_i [m/s] sebesség											
	irány	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	vízszintes										
2.	függőleges										

3.3. táblázat

Összesítő táblázat (közepes sebesség, mérőperem nyomáskülönbség, átfolyási szám, Reynolds-szám):

c_k	Δp_{mp}	a	Re_D
[m/s]	[Pa]	[-]	[-]

3.4. táblázat

4 A mérési eredmények feldolgoása

A www.hds.bme.hu honlapon a "Mérési jegyzőkönyv követelményei" címszó alatt foglaltak figyelembevételével mérési jegyzőkönyvet kell készítenie a mérésvezetőnek a 2. fejezetben részletezett jelleggörbe mérésről; ehhez kérjük a hibaszámítást. A következő mennyiségeknek kell a hibáját megbecsülni: $E_{\Delta h_{mp}}$; $E_{\Delta p_{SN}}$; $E_{P_{be}}$, (amik rendre a mérőperemre

kötött „U” csöves manométer szintkülönbségének; a szívó és nyomó oldal közé kötött „U” csöves, Pa-ban leolvasandó manométer szintkülönbségének; és a teljesítménymérésnek az abszolút hibái). Majd ezek felhasználásával a többi mennyiség hibáját számolni. Hibaszámítási segédlet a honlapon szintén elérhető, a mérőperem esetén az ott megadott 1,5%-os relatív hiba használható a geometriai befolyásoló tényezőkre. Továbbá a jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell a 3. fejezetben lévő Prandtl csöves mérés eredményeit a 3.2., 3.3., 3.4. táblázatoknak megfelelően (táblázatos formában), a maximális térfogatáram mellett a vízszintes és a függőleges sebességprofilokat, valamint az egyéni feladat megoldását (ld. a leírás végén).

5. A berendezés további műszaki adatai, tényleges elrendezése

A ventilátor típusa: VHf 56, gyártási száma:*

A motor típusa: VZ 222/4 gyártási száma:*

A mérőbőrönd típusa:* gyártási száma:*

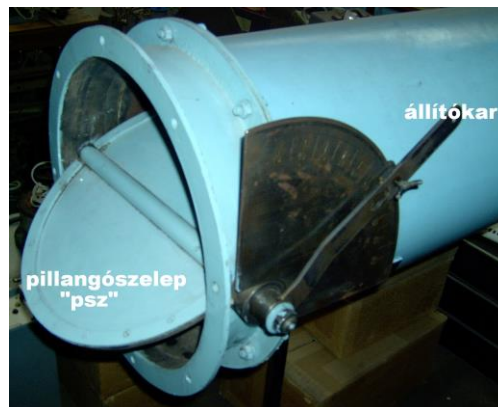
A mérőperem $d = 300 \text{ mm}$ furatátmérőjű **beszívó mérőperem**

A szívócső $D_S = 378 \text{ mm}$ átmérőjű, hossza 4800 mm .

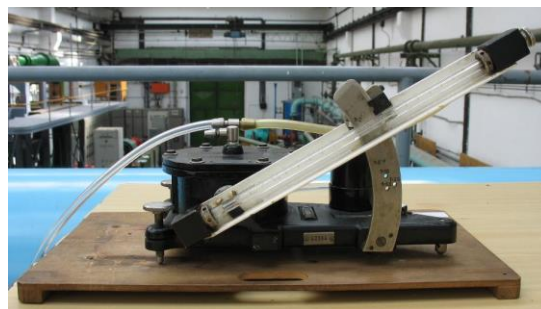
A nyomócső $D_n = 400 \text{ mm}$ átmérőjű és hossza 2000 mm .



1. kép: belépés



2. kép: kilépés



3.kép: ferdecsöves manométer

Ellenőrző kérdések:

1. Definiálja a következő dimenziótlan számokat és írja fel a képletekben szereplő mennyiségeket: φ (mennyiségi szám), Ψ (nyomásszám), σ (fordulatszám tényező) δ (átmérő tényező)!
2. Rajzolja meg a statikus nyomás és az össznyomás hossz menti változását egy áramvonal mentén, miközben a levegő átáramlik a ventilátoron! Jelölje benne a légszállító rendszer egyes részeit!
3. Írja fel az össznyomás növekedés és a statikus nyomás növekedés összefüggéseit ventilátorok mérése esetén! Nevezze meg a képletekben szereplő mennyiségeket és mértékegységeiket!
4. Milyen mérőműszereket használunk a ventilátor mérés során? Soroljon fel legalább 4-et, és írja fel a mért mennyiségeket és azok mértékegységeit!
5. Foglalja össze néhány mondatban a Prandtl csöves sebességmérés folyamatát és a kiértékelést az átlagsebességek meghatározásáig!
6. Milyen mérőműszereket használunk a Prandtl csöves mérés során? Soroljon fel kettőt, és írja fel a mért mennyiségeket és azok mértékegységeit!
7. Milyen mennyiségek szerepelnek az ellenőrző diagramon a ventilátor mérés, illetve a Prandtl csöves mérés során?
8. Hogyan kell meghatározni a ventilátor szállított térfogatáramát a ventilátor mérés során? Írja fel az összefüggést, és magyarázza a benne szereplő mennyiségeket, illetve adja meg azok mértékegységeit is!
9. Rajzolja fel a ventilátor mérés során felhasznált mérőberendezés vázlatát!
10. Rajzolja fel a Cordier – diagramot és jelöljön benne 3 áramlástechnikai gépet!
11. Egy ventilátor mérési adatai a következők: $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta p_{\delta} = 990 \text{ Pa}$, $\Delta p_{st} = 930 \text{ Pa}$ és $\rho_{lev} = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$. Mekkora a nyomócső átmérője? ($D = 0,391 \text{ m}$)

12. Milyen sebességgel áramlik a levegő a szívócsőben, ha az $\alpha=30^\circ$ fokra megdőntött, ferdecsöves, alkoholos manométeren a kitérés $l = 35$ mm és ez a manométer egy Prandtl csőre van rendeltetészerűen kötve? $\rho_{\text{levegő}} = 1,25$ kg/m³, $\rho_{\text{alkohol}} = 800$ kg/m³. ($v = 14,82$ m/s)

Ventilátor egyéni feladat

1. feladat a.) és b.)

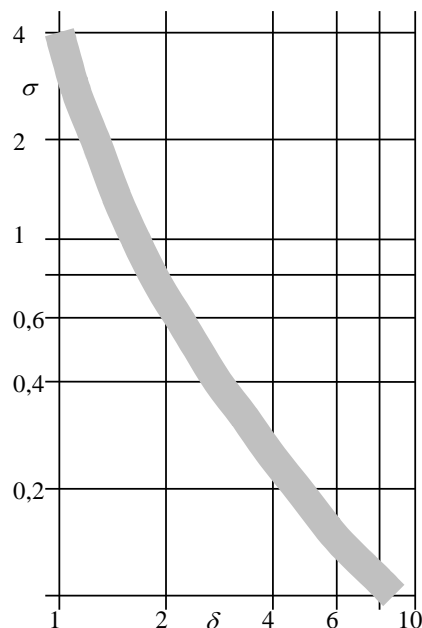
Számítsa ki és ábrázolja a mellékelt ún. Cordier-diagramban a ventilátor optimális üzemi állapotában (azaz, ahol a hatásfok maximális) a $\sigma = \varphi^{1/2} \psi_{\delta}^{-3/4}$ fordulatszám és a $\delta = \psi_{\delta}^{1/4} \varphi^{-1/2}$ átmérőtenyezőt.

(σ az n_q jellemző fordulatszámmal analog típusjellemző ventilátorok esetén,

$$\varphi = \frac{4Q}{D_2^2 \pi \cdot u_2};$$

$$\psi_{\delta} = \frac{2\Delta p_{\delta}}{\rho \cdot u_2^2};$$

$D_2 = 560$ mm ; $\alpha = 0,6$ mérőperem állandóval számolhat.)



2. feladat.

A mért ventilátorból milyen kapcsolással lehet az

a.) $\Delta p_{\delta} = 2 \frac{kPas^2}{m} \cdot Q^2$ jelleggörbájű csővezetékben 1 m³/s

b.) $\Delta p_{\delta} = 0,2 \frac{kPas^2}{m} \cdot Q^2$ jelleggörbájű csővezetékben $2,2$ m³/s

légmennyiséget szállító gépcsoportot összeállítani?

3. feladat a.) és b.)

Válasszon ki (pl.: online villamosmotor katalógusból) a mért ventilátor hajtásához szükséges aszinkron motort, ami az adott fordulatszámon üzemel, és tudja biztosítani a gépcsoport által felvett teljesítményt! (A kiválasztott villanymotor katalógusa legyen benne a jegyzőkönyv mellékletében.)