

M12

RADIÁLIS VENTILÁTOR VIZSGÁLATA

1. A mérés aktualitása, mérés célja

A mérés célja egy radiális ventilátor jellemzőinek, vagyis a q_v szállított térfogatáram függvényében a létrehozott Δp_δ össznyomás-növekedés meghatározása a jelleggörbe-sereg és a P_h hasznos teljesítmény görbék felvétele több, különböző n fordulatszám esetén. A radiális ventilátor szívóoldali áramlása előperdítő elemmel változatható, tehát állandó fordulatszám mellett vizsgálható az előperdítés szögének a ventilátor P_h hasznos teljesítményére gyakorolt hatása is.

A gyakorlatban levegő, illetve általában gáznemű közeg szállítására nagyon sokszor ventilátort használnak. A számtalan lehetőség közül csak néhányat említve, például helyiségek szellőztetésénél, kazánok levegő ellátásánál és füstgáz elvezetésénél, számítógép tápegységének, illetve nagyobb teljesítményű processzorának hűtésére. Fontos jellemzője a ventilátoroknak, hogy kis össznyomás-növekedést ($\Delta p_\delta \approx 100-10000\text{Pa}$) hoznak létre. Nagyobb össznyomás-növekedés létrehozására fűvót, illetve kompresszort használnak.

Ventilátorok áramlástani jellemzőinek meghatározására számtalan esetben lehet szükség. Így például új gép legyártása után a tervezési adatok teljesülésének mértékét ellenőrizni, esetleg adattábla nélküli ventilátor jellemzőinek meghatározásánál, vagy rosszul működő légtechnikai rendszerben üzemelő ventilátor működési paramétereinek ellenőrzésénél.

Jelen mérési feladat a ventilátorokkal kapcsolatos áramlástani alapmérések gyakorlati megismerésére ad lehetőséget laboratóriumi körülmények között.

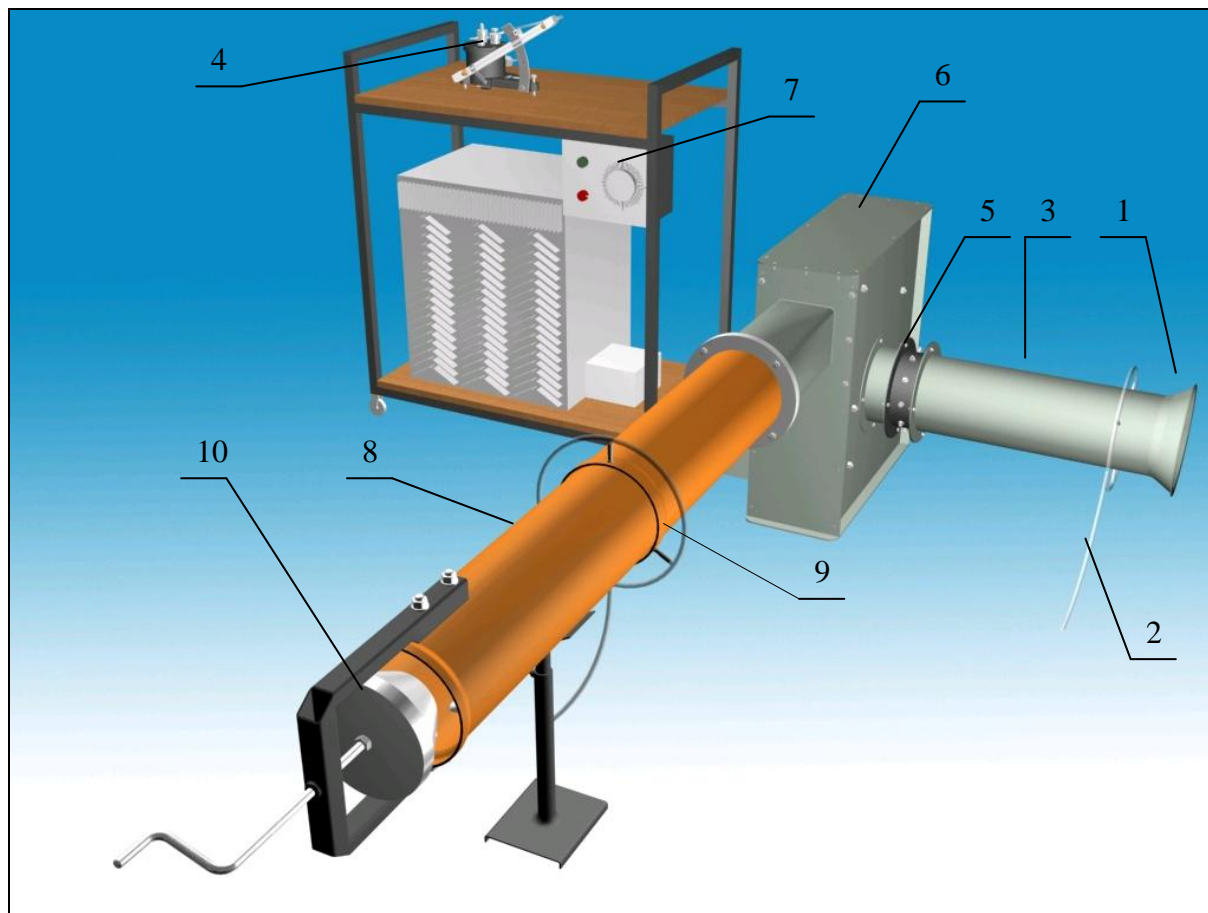
2. A mérőberendezés leírása

A ventilátorok jellemzően a szállítandó közeg be- és kivezetését szolgáló szívó- és nyomócsonkból, a folyadék össznyomás-növelésében kulcsszerepet játszó radiális lapátos járókerékből, a járókereket magába foglaló házból és a járókerék hajtását szolgáló villamos motorból áll. Attól függően, hogy a ventilátor járókerékét a levegő milyen irányból közelíti meg és hagyja el, axiális, félaxiális, radiális és keresztáramú típusú ventilátorokat különböztetünk meg. Radiális típusú gépeknél a járókerékbe közeg a járókerék tengelyével párhuzamos irányból lép be, és tengelyre merőlegesen, a járókerék forgása irányában eltérítve hagyja azt el. (Ventilátorokról további részletek az [1]-es irodalom 4.5.3-as fejezetében valamint a [2]-es irodalomban találhatóak.)

A jelenlegi mérés alkalmával a radiális ventilátor (Δp_0 ; q_V) jelleggörbéjének és a beömlési sebességprofiljának megváltoztatásával a ventilátor P_h hasznos teljesítményére gyakorolt hatásának meghatározására alkalmas teljes mérési kialakítás a következő fő részekből áll:

- a szívó- és nyomócsővel felépített radiális ventilátor;
- villamos motor és a hozzá tartozó fordulatszám szabályozó;
- változtatható szögű előperditő elem;
- a ventilátor áramlástani jellemzőinek vizsgálatára alkalmas berendezések: szívóoldali térfogatáram mérőtorok, statikus nyomásmérő körvezetékek, nyomóoldali fojtóelem.

A mérőberendezés a rajta átáramló levegő haladási iránya mentén az **1. ábrának** megfelelően a következő részekből áll.



1. ábra: A mérőberendezés vázlata

Jelmagyarázat:

1. Térfogatáram mérésre alkalmas beszívó mérőtorok.
2. Nyomásmérési hely: a mérőtorok kúpos bevezető része után található kis keresztmetszetű furathoz csatlakozó cső. Az itt mérhető nyomásból a térfogatáram meghatározására nyílik lehetőség.
3. A levegőt az előperdítőbe bevezető szívócső.
4. Ferdecsőves mikromanométer vagy digitális nyomásmérő. Ld. [3]-as, [5]-ös irodalom.
5. Az előperdítő elem.
6. A mérés tárgyát képező radiális ventilátor.
7. Háromfázisú aszinkron elektromos motor (takarásban), tirisztoros fordulatszám-szabályzóval.
8. A ventilátorból kilépő levegő elvezetésére szolgáló nyomócső.
9. A szívó- és nyomócső ventilátor felőli végénél található nyomásmérési helyek. Segítségükkel a ventilátor szívó- és nyomócsőjében mérhető statikus nyomások különbsége határozható meg.
10. A nyomócső végén szabályozható fojtás található. A fojtás segítségével a ventilátorhoz csatlakozó nyomócső hidraulikai ellenállását lehet megváltoztatni. Erre a ventilátor jelleggörbéjének meghatározásához szükséges különböző munkapontok beállításánál van szükség.

Az előzőekben leírt alap-mérőberendezés mellett más kiegészítő berendezésekre is szükség lesz a mérés során. Így például barométerre, hőmérőre, mérőszalagra, fordulatszám-mérőre.

3. A mérési feladat részletes leírása, alapvető vizsgálati és a kiértékelési szempontok

Különböző, n =áll. fordulatszám mellett lehet a ventilátor (Δp_{δ} ; q_V) jelleggörbét kimérni, és minden mérési pontban meghatározni a P_h hasznos teljesítményt.

Az állandó fordulatszámot fordulatszabályozóval állíthatjuk be. A fordulatszámot minden mérési pontban kézi fordulatszám mérővel (Jacket-indikátorral), a motor tengelyen mérjük. **A fordulatszámot minden munkapontban ellenőrizzük, mert nagy fojtás esetén a fordulatszámot után kell állítani!**

A különböző térfogatáramú munkapontokat a ventilátorhoz kapcsolódó nyomócső hidraulikai ellenállásának változtatásával, vagyis a fojtóelem helyzetének módosításával állítjuk be. Minden egyes üzemi pontban mérni kell a ventilátoron átáramló térfogatáramot a mérőtorokkal, illetve a létrehozott Δp_{δ} össznyomás-növekedést.

Az egyes üzemi pontokban meghatározott térfogatáramokhoz tartozó össznyomás-növekedés értékeket diagramban ábrázolva a ventilátor adott n =áll. fordulatszámhoz tartozó jelleggörbét kapjuk. Az n =áll. fordulatszámnál felvett jelleggörbe-seregeket egy közös diagramban kell ábrázolni, célszerűen a hasznos teljesítmény adatokkal együtt.

Továbbá az előperdítő elem különböző állásszöge mellett is fel lehet venni a ventilátor jelleggörbét a fent meghatározott módon.

3.1. A mérési feladat elkezdése

A mérést a berendezés összeállításának ellenőrzésével, az előperdítő elem beállításával és beszerelésével, és a manométerek bekötésével célszerű kezdeni.

Térfogatáram méréshez a szívócső elején, közvetlenül a mérőtorok után található megcsapolás csatlakozó csövét vékony szilikoncsővel kötjük össze a nyomásmérő megfelelő kivezetésével. A nyomásmérő másik kivezetését légköri nyomásra kell megnyitni (vagyis szabadon kell hagyni). Általában a nyomásmérésről illetve nyomásmérőkről további részletekkel szolgál a [2], [5] szakirodalomban található leírás.

A ventilátor szívó- és nyomócsőjében mérhető statikus nyomások közötti különbséget úgy lehet megmérni, hogy a szívó- és nyomócső ventilátor felőli végénél található nyomásmérési helyeket a nyomásmérő megfelelő kivezetéseire csatlakoztatjuk, így közvetlenül a statikus nyomáskülönbség olvasható le. Ügyelni kell a megfelelő bekötésekre (a ventilátor az össznyomást növeli, a statikus nyomás a szívó- és nyomócső között nő).

Ezt követően a ventilátort be lehet indítani, és ha az adott mérési pont beállt, azaz a műszerek által jelzett értékek már nem változnak (a műszer és a mért jellemző jellegétől függően apró ingadozásoktól eltekintve), akkor a jelzett értékeket a műszerekről le kell olvasni, és fel kell jegyezni. Általában egy jól használható jelleggörbe megrajzolásához legalább 10 mérési pont, vagyis beállított üzemi pont szükséges. A feladat jellegét figyelembe véve azonban a mérési pontok száma jelen esetben ne legyen több 15-nél. Minden egyes üzemi pontban meg kell mérni a ventilátor fordulatszámát és szükség esetén korrigálni kell a kívánt szintre. Először egy adott fordulatszámánál a maximális (100%) térfogatáramhoz (nyitott nyomóoldali fojtóelemhez) tartozó nyomást érdemes megmérni, és ehhez viszonyítva a térfogatáramot 10%-os lépésekben csökkenteni az egyes munkapontok beállításához. A 3.2-es pontban jól látható, hogy a nyomás négyzetgyöke egyenesen arányos a térfogatárammal, illetve a térfogatáram négyzete egyenesen arányos a nyomással, tehát pl. a 90%-os térfogatáram beállításához az azzal arányos mérőperem nyomást figyelve 81%-ra kell beállítani a 100%-hoz képest.

A ventilátor jelleggörbáját a mért mennyiségekből az alábbi módon határozhatjuk meg.

- a mérőtoroknál mért nyomásesés: Δp_{mp}

- a ventilátor által szállított térfogatáram: q_v

- a ventilátor nyomó- és szívócsonkjában mérhető statikus nyomások különbsége: $p_{st,ny} - p_{st,sz}$

- a ventilátor hasznos teljesítménye: P_h

3.2. A térfogatáram meghatározása

A q_v térfogatáramot a radiális ventilátor szívócsővéhez csatlakozó beszívó mérőtorokkal határozzuk meg. A beszívócső elején koncentrikusan elhelyezett mérőtorkon lévő nyomásmegcsapolásnál mérjük a légköri p_0 nyomáshoz képesti Δp_{mp} nyomáskülönbséget. A Δp_{mp} függvényében a q_v térfogatáramot az alábbi összefüggés segítségével határozhatjuk meg:

$$q_v = k \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2 \Delta p_{mp}}{\rho_{lev}}} \quad (1)$$

ahol q_v [m^3/s] a ventilátor által szállított térfogatáram.

k [-] beömlési tényező, amelynek értékét kísérletek alapján a következő értékben határozták meg: 0.96.

d [m] a beszívó mérőtorok kúp alakú részét követő hengeres csőszakasz (szívóoldali csőszakasz) belső átmérője.

Δp_{mp} [Pa] a mérőtorkon kialakuló nyomásesés nagysága.

$\rho_{lev} = \frac{p_0}{RT_t}$ [kg/m^3] az áramló közeg sűrűsége.

p_0 [Pa] légköri nyomás.

$R = 287$ [J/kgK] a levegő specifikus gázállandója.

T_t [K] A mérőberendezést is tartalmazó teremben mérhető abszolút hőmérséklet.

A térfogatáram mérésről további részleteket az [5]-ös irodalomban találhatunk.

3.3. A ventilátor által a közegen létrehozott össznyomás növekedés meghatározása

A ventilátor járókerék lapátjai közötti részt, ahol a levegő a járókeréken átáramlik, lapátcsatornának hívjuk. A járókerék lapátok a környezetükben haladó levegőrészecskékre dinamikai kényszerrel fejtenek ki, vagyis erőhatást gyakorolnak rájuk. Így a lapátcsatorna hossza mentén áthaladó levegőrészecskék forgásirányban eltérülnek, munkavégző képességük megnő. Ennek a növekedésnek a mértékét a ventilátor nyomó- és szívócsonkjában lévő össznyomás különbségével jellemezhetjük. A ventilátor által létrehozott össznyomás növekedés:

$$\Delta p_{\bar{o}} = p_{\bar{o},ny} - p_{\bar{o},sz} = \left(p_{st,ny} + \frac{\rho_{lev}}{2} v_{ny}^2 \right) - \left(p_{st,sz} + \frac{\rho_{lev}}{2} v_{sz}^2 \right) \quad (2)$$

ahol: $\Delta p_{\bar{o}}$ [Pa] a ventilátor által létrehozott össznyomás növekedés.

$p_{st,ny}$ illetve $p_{st,sz}$ [Pa] a ventilátor szívó- illetve nyomócsoncjában mérhető statikus nyomások. A fenti kifejezésben szereplő különbségeket mérés segítségével határozzuk meg.

$v_{ny} = \frac{q_v}{A_{ny}}$ illetve $v_{sz} = \frac{q_v}{A_{sz}}$ [m/s] a ventilátor nyomó- illetve szívócsoncjában a közeg átlagsebessége. Értéküket az A_{ny} és A_{sz} [m²] a ventilátor nyomó- és szívócsonc áramlásra merőleges keresztmetszetének ismeretében számítással határozzuk meg. (A számítás során feltételezzük, hogy a mérőrendszerbe levegő csak beszívó mérőtorkon keresztül jut be, és a nyomócső végén lép ki. A mérőkialakítás egyéb részeit légtömörnek tekintjük, így a sűrűség állandósága miatt a mérőrendszer bármely keresztmetszetében az átáramló térfogatáramok jó közelítéssel azonosak.)

3.4. A ventilátor hasznos teljesítménye

A ventilátor P_h hasznos teljesítménye a q_v szállított térfogatáram és a Δp_δ össznyomás-növekedés szorzata.

$$P_h = q_v \cdot \Delta p_\delta$$

A ventilátor hasznos teljesítménye a radiális járókerékre való rááramlási viszonyoktól jelentősen függ, amelyet a mérőberendezésen változtatni tudunk az ún. előperdítő elemmel (1. ábra (5) jelű elem). Az előperdítő elem a ventilátor szívóoldalán elhelyezett csőszakasz kerülete mentén 8, adott állásszögben rögzíthető kis, trapéz alakú lapátból áll. A szívóoldali áramlás előperdülte a lapátok állásszögének változtatásával állítható be. Az állásszög beállítása szögbeállítóval lehetséges úgy, hogy az előperdítő elemet kiszerelejük a szívóoldali csőszakaszból, és a lapáttengelyek csavarjainak meglazítás után minden lapátot a szögbeállítóval kimérve ugyanolyan állásszögbe forgatjuk.

3.5. A mennyiségi és nyomásszám [1]

A ventilátorok jellemzőit (q_v , Δp_δ , Δp_{st}) adott geometriai kialakítás mellett több paraméter határozza meg. Ezek: a gép méretét képviselő D járókerékátmérő, az n fordulatszám, a szállított közeg ρ sűrűsége és μ viszkozitása. A sok változó közötti összefüggést egyenként megmérni, s azokat könnyen áttekinthető formában rögzíteni megoldhatatlan feladatnak tűnik. A változók számának csökkentése dimenzió nélküli csoportokba való rendezéssel lehetséges. Két ilyen dimenziótlan csoport a mennyiségi szám és a nyomásszám.

$$\text{Mennyiségi szám: } \Phi = \frac{q_v}{\frac{D^2 \pi}{4} u_2}, \quad \text{nyomásszám: } \Psi = \frac{\Delta p_\delta}{\frac{\rho}{2} u_2^2},$$

ahol D [m] a járókerék átmérője ($D=340\text{mm}$), u_2 [m/s] a járókerék kilépő élének kerületi sebessége.

A dimenzió nélküli számok a gép egyéni jellemző görbéje ($\Delta p_\delta=f(q_v)$; $P_h=f(q_v)$) helyett a típusra, tehát egy bizonyos geometriájú gépcsoportra jellemző görbéket adnak. Ha a Reynolds-szám hatásától eltekintünk, akkor azt mondhatjuk, hogy ez az ábrázolási mód mindenféle méretű (D) és fordulatszámú (n) gép jellemzőgörbét egy görbébe sűríti.

3.6. Kiértékelés

Az elvégzett vizsgálatokról a mérési jegyzőkönyvet a [4]-es irodalomban leírtak alapján kell elkészíteni. A mérési módszerekről és az elméleti háttérrel bővebb információ a [2]-es irodalomban található.

Amennyiben az oktató másképpen nem rendelkezik, a kiértékelésnek tartalmaznia kell a ventilátor jelleggörbe-seregét, azaz az össznyomás-növekedést kell ábrázolni a térfogatáram függvényében. A mért, különböző fordulatszám mellett felvett jelleggörbék egy közös diagramban kell ábrázolni.

Továbbá, az adott fordulatszámokon beállított különböző előperdület esetén mért jelleggörbék is együtt kell ábrázolni egy másik közös diagramban.

Minden esetben a P_h hasznos teljesítmény görbéket is tartalmaznia kell a diagramoknak.

Diagramban kell ábrázolni a nyomásszámot a mennyiségi szám függvényében, vizsgálva az egyes görbék egyezőségét.

Minden diagramhoz táblázatos formában is meg kell adni minden mért és számított adatot, képletekkel együtt.

A kapott eredményeket össze kell hasonlítani az irodalmi adatokkal [1],[2].

Hibaszámítás

A jelleggörbék minden mért pontjára hibaszámítást (abszolút és relatív hiba meghatározását) kell elvégezni, és azokat az adott (q_v , Δp_δ) jelleggörbével és P_h görbével együtt ábrázolni minden esetben ahol ábrázolásra kerülnek a jelleggörbék.

A hibaszámítást a P_h hasznos teljesítmény számított mennyiségre kell elvégezni, amely mennyiség az össznyomás-növekedéstől és a térfogatáramtól függ.

A hasznos teljesítmény kifejezése: abszolút hiba számítása:

relatív hiba:

$$P_h = q_v \cdot \Delta p_\delta \qquad \delta P_h = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\delta X_i \cdot \frac{\partial P_h}{\partial X_i} \right)^2} \qquad \frac{\delta P_h}{P_h} = ?$$

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

$$X_1 = p_0, \qquad \text{légnyomásmérés hibája} \qquad \delta p_0 = 100 \text{ Pa}$$

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

$$X_3 = \Delta p_{mp}, \quad X_4 = \Delta p_\delta \qquad \text{EMB-001 típusú digitális nyomásmérő hibája} \quad \delta \Delta p = 2 \text{ Pa}$$

Minden, a kézi digitális nyomásmérővel mért nyomáskülönbség a $\delta \Delta p = 2 \text{ Pa}$ értékű hibával terhelt, tehát $X_3 = \Delta p_{mp}$, illetve $X_4 = \Delta p_\delta$.

A leolvasási hibával terhelt adatoknak (X_i -nek) explicit kell szerepelniük a Δp_δ és a q_v képleteivel számolt P_h kifejezésben, amelyet a hibaszámítás képletében alkalmaznunk kell.

A geometriai pontatlanságból, hibás beállításból, vagy az áramkép változásából (instacioner hatásokból) fakadó hibákat további vizsgálatokkal lehetne megállapítani és kiszűrni, de ezekkel a fenti hibaszámítás során nem vesszük figyelembe.

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 mérés előtt és után is!
- A felhasznált mérőműszerekről leolvasott értékek mértékegységének és a rájuk vonatkozó egyéb tényezők (Például a mintavételezés sebessége, a nullpontok ellenőrzésének időpontja.) feljegyzéséről.
- A felhasznált mérőműszerek típusának, gyártási számának feljegyzéséről!
- A mérőműszerről leolvasott mennyiségek és a további számításoknál felhasznált mennyiségek mértékegységének egyeztetéséről.
- A digitális manométer kalibrációjáról.
- A nyomásmérő bekötésénél figyelmesen kell eljárni a csatlakozók "+" illetve "-" ágának és a méréshatár kiválasztásánál. Figyelni kell arra, hogy a nyomásmérő csatlakozó csonkjaira a szilikonsövet óvatosan kell felhelyezni.
- A ventilátorhoz csatlakozó csatorna összeállításánál vigyázni kell a légtömör szerelésre, mert az esetlegesen kialakuló réseken távozó illetve beáramló levegő jelentősen elronthatja a mérések eredményeit.
- A jegyzőkönyv leadása előtt erősen ajánlott a konzultációk igénybevétele.

Irodalom

- [1] Gruber és szerzőtársai: Ventilátorok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [2] Lajos Tamás: Az áramlástan alapjai; Műegyetemi kiadó, 2004; Jegyzet azonosító: 45072.
- [3] EMB-001 digitális nyomásmérő leírás (www.ara.bme.hu)
- [4] A mérési jegyzőkönyv formai és tartalmi követelményei (www.ara.bme.hu)
- [5] Hibaszámítási segédlet (www.ara.bme.hu)