

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 alpmérések gyakorlati megismerésére ad lehetőséget laboratóriumi körülmények között.

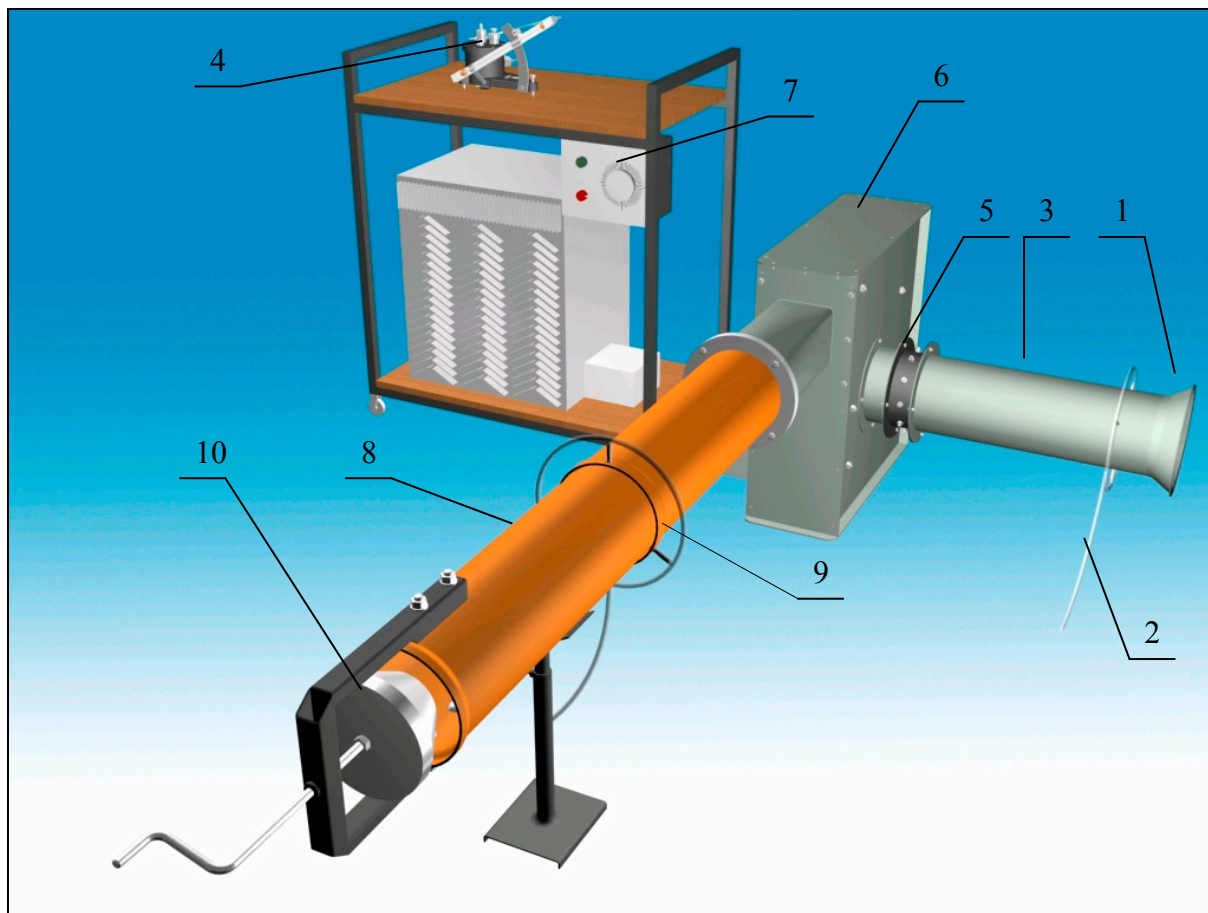
2. A mérőberendezés leírása

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 előperditőbe bevezető szívócső.
4. Ferdecsőves mikromanométer vagy digitális nyomásmérő. Ld. [3]-as, [5]-ös irodalom.
5. Az előperditő 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

Legalább három különböző, n =áll. fordulatszám mellett a ventilátor (Δp_0 ; q_V) jelleggörbét kell kimérni, és minden mérési pontban meghatározni a P_h hasznos teljesítményt.

Az állandó fordulatszámot fordulatszabályozóval állíthatjuk be. A fordulatszámot minden mérési pontban kézi fordulatszámmérővel (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_0 össznyomás-növekedést.

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

Továbbá egy kiválasztott fordulatszám esetén az előperditő elem legalább két különböző állásszöge mellett is fel kell venni a ventilátor jelleggörbéjét a fent meghatározott módon.

3.1. A mérési feladat elkezdése

A mérést a berendezés összeállításának ellenőrzésével, az előperditő 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 részleteket 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.

ν [m^2/s] az áramló közeg kinematikai viszkozitása. (A levegő kinematikai viszkozitása 1 bar nyomáson és 20 °C hőmérsékleten $\nu = 1.5 \cdot 10^{-5}$ [m^2/s]. Ettől eltérő hőmérsékleten és nyomáson a kinematikai viszkozitás értékét anyagtáblázatok vagy a [2] irodalomban található képlet segítségével határozhatjuk meg.)

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:

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

ahol: Δp_{δ} [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 különbségüket 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 szögbeállító lapocskákkal lehetséges úgy, hogy az előperdítő elemet kiszereljük a szívóoldali csőszakaszból, és a lapátengelyek csavarjainak meglazítás után minden lapátot a szögbeállító lapocskákkal kimérve ugyanolyan állásszögbe forgatjuk.

3.5. Kiértékelés

Az elvégzett vizsgálatokról a mérési jegyzőkönyvet a [3]-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 legalább 3 mért, különböző fordulatszám mellett felvett jelleggörbéket egy közös diagramban kell ábrázolni.

Továbbá, az egyik adott fordulatszámon beállított két különböző előperdület esetén mért jelleggörbéket is együtt kell ábrázolni egy másik közös diagramban.

Minden esetben a P_h hasznos teljesítményt is kell tartalmaznia kell a diagramoknak.

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

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

ahol D [m] a járókerék átmérője, u_2 [m/s] a járókerék kilépő élének kerületi sebessége.

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

Egy kiválasztott jelleggörbe 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 egy külön diagramban kell ábrázolni.

A hibaszámítást a P_h hasznos teljesítmény számított mennyiségre kell elvégezni, amely mennyiség az össznyomás-növekedéstől és a térfogatáramtól függ. A honlapon található hibaszámítási segédlet jelöléseit használva a Δp_{δ} és q_v mennyiségekkel arányos mért X_i mért adatokból kiszámított mennyiség az $R=P_h$ hasznos teljesítmény.

A hasznos teljesítmény kifejezése: abszolút hiba számítása: relatív hiba:

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

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

$$\begin{array}{lll} X_1 = p_0, & \text{illetve a nyomásmérés hibája} & \delta p_0 = 100 \text{ Pa} \\ X_2 = T_0, & \text{illetve a hőmérsékletmérés hibája} & \delta T_0 = 1 \text{ K} \\ & \text{illetve a EMB-001 típusú digitális nyomásmérő hibája} & \delta \Delta p = 2 \text{ Pa} \end{array}$$

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 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 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 folyadékkal töltött mikromanométerek csak megfelelően kiviszintezve 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 szilikonsövet 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 ventilátorhoz csatlakozó csatorna összeállításánál vigyázni kell a légtömör szerelésre, mert az esetlegesen kialakuló réseken távozó illetve beáramló levegő jelentősen elronthatja a mérések eredményeit.

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)