

P. FitzPatrick – Nagy Britanniai Légpárnáshajó Egyesület

EMELŐVENTILÁTOROK MŰKÖDÉSE
ÉS KIVÁLASZTÁSA

Fordította: Németh Richárd

2004. szeptember 20.

Emelőventilátorok működése és kiválasztása

P. FitzPatrick – Nagy Britanniai Légpárnáshajó Egyesület

Bevezetés

A légpárnáshajó tolóventilátorának kiválasztása általában a lapátípus és lapátszám meghatározását és egy meglévő légcsatornába történő illesztésének viszonylagosan egyszerű folyamatát jelenti.

Az emelőventilátor kiválasztásánál azonban az avatatlan légpárnáshajó építő rendszert elbizonytalanodik. Hasznos ha rendelkezünk a gyártó műszaki ismertetőjével, azonban első ránézésre egy egyedi ventilátor jellegű zavarbaejtő görbeseregnek tűnhet.

Ventilátor teljesítmény

A ventilátorkiválasztás előtt meg kell határozni a szükséges ventilátor teljesítményt. Az emelőventilátor nyomására és a szükséges légmennyiségre vonatkozó számítások a „*Légpárnáshajó-tervezés alapelvei*” című jegyzetben ismertetésre kerültek. Egy Formula 3 típusú hajó esetén ez hozzávetőlegesen 480Pa nyomást és 2.2m³/s mennyiségű levegőt jelent. Ezek a számértékek a légpárnás kialakítása, önsúlya és a terhelő tömeg mértéke szerint változhatnak.

A számított értékek sima és lapos felszínen mozgó légpárnás esetén adják a szoknyanyomás és a minimálisan szükséges emelőlevegő-mennyiség nagyságát.

A levegőnek rendszerben akadályokon, iránytöréseken, keresztmetszetváltozásokon kell átáramlania, miközben változik a statikus és dinamikus nyomása. Ebből következik, hogy a ventilátor által biztosított nyomásnak nagyobbak kell lennie, mint a szükséges szoknyanyomás. Emellett többlet légmennyiséget kell biztosítani az egyenetlen terepen történő haladáskor, illetve az elkopott vagy hiányzó szoknyaszegmensen keresztül fellépő légvesztés legyőzésére.

Integrált hajtás esetén a hajtásteljesítmény-csökkentés okozta szoknyanyomás változás hatását is figyelembe kell venni.

Ismert tény, hogy a levegő egyik helyről egy másik helyre történő mozgatásához nyomáskülönbséget kell létrehozni. Ebből az következik, hogy a ventilátor által létrehozott nyomásnak a szoknya túlnyomásos terében uralkodó nyomásánál nagyobb értékűnek kell lennie. A két nyomásérték közötti különbség függ a szoknya típusától és kialakításától. Nagynyomású szoknya esetén a nyomások aránya elérheti az 1.7-et, kisnyomású és nyitott szegmensekből álló szoknya esetén ugyanez az arány 1.1 értékű lehet.

A ténylegesen szükséges légmennyiség kiszámítása elég nehéz. Rendszerint a minimális mennyiség 1.8 szerese kellő levegőmennyiséget biztosít a legkedvezőtlenebb esetekben kialakuló veszteségek fedezésére (pl. 2.2m³/s minimális értéknél ez 1.8x2.2m³/s=3.96m³/s). A kiválasztott ventilátornak a maximális nyomáson képesnek kell lennie ennek a térfogatáramnak a biztosítására.

Fontos szemelőt tartani azt, hogy minél nagyobb nyomású és térfogatáramú levegőt akarunk az emelőventilátorral létrehozni, annál nagyobb teljesítmény szükséges a ventilátor meghajtásához. Integrált meghajtás esetén mindez tolóerő-csökkenés árán valósítható meg. Különösen versenylégpárnásnál célszerű kisebb nyomás- és légmennyiségértéket választani.

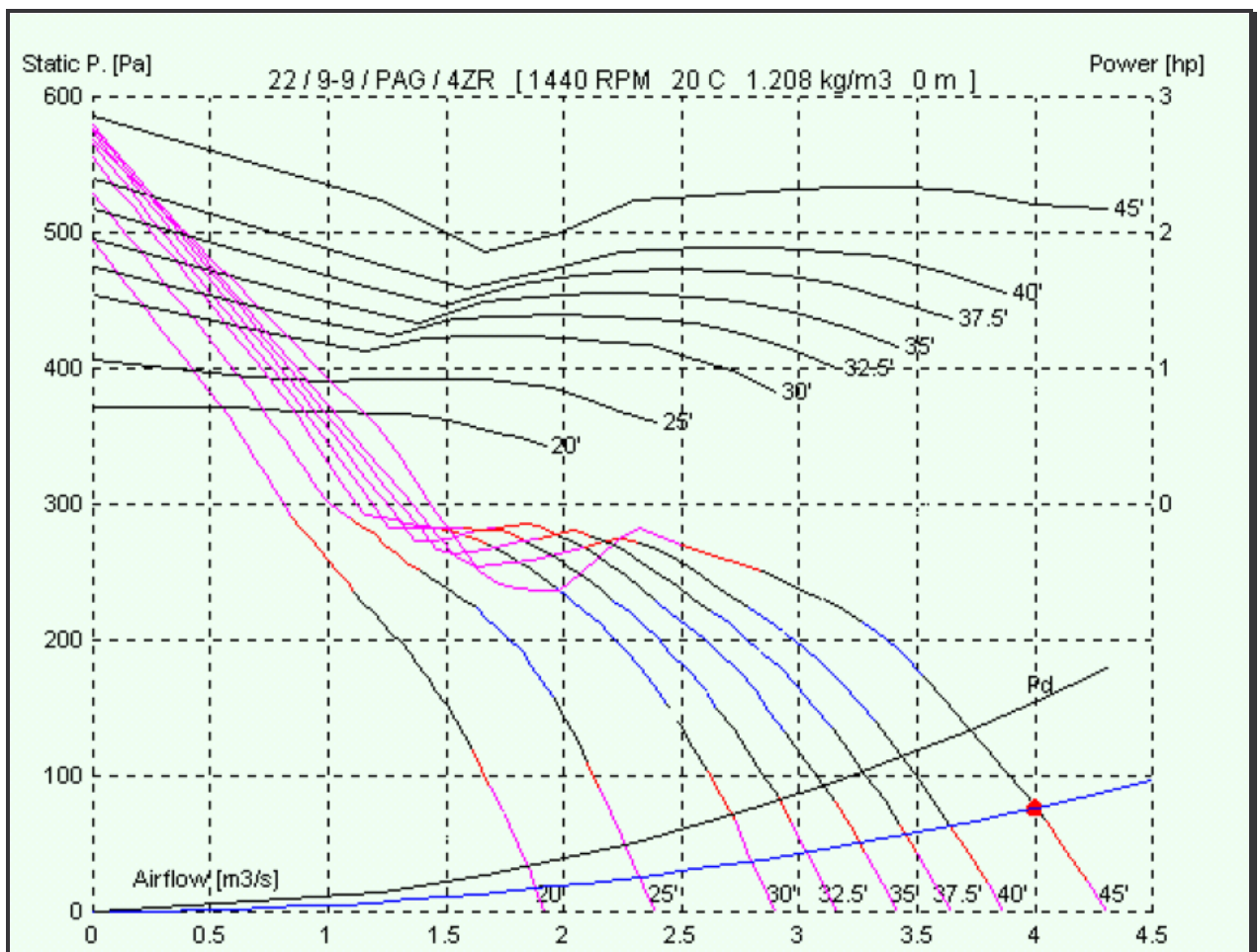
A következőkben szemléltető céllal bemutatjuk a ventilátor kiválasztásának folyamatát 580Pa nyomású 4m³/s térfogatáramú légmennyiségre.

Az **1.sz. ábra** egy általános 22in. méretű 9 lapáttal szerelt axiális ventilátor jelleggörbeseregét mutatja. Ezt a fajta ventilátort általánosan használják a különálló emelő- és hajtóventilátoros Formula 3 típusú hajókhoz. A függőleges tengely mentén az előállított statikus nyomás került ábrázolásra a szállított légmennyiség függvényében.

Egyes gyártók az össznyomást jelölik a függőleges tengelyen. Ilyen esetben a dinamikus nyomást le kell vonni az össznyomásból, hogy megkapjuk a statikus nyomás értékét (a dinamikus nyomás nagyságát a P_d nyomásvonal és az adott mennyiség metszéspontjának a függőleges tengelyre történő visszavetítéséből határozhatjuk meg).

A probléma azonban az, hogy a grafikon csak a járatos 1440 vagy 2900f/perc-es fordulatszámú, 4 vagy 2 pólusú elektromos motorral hajtott ventilátor jelleggörbéit mutatja. 1440f/perc-es fordulatszám, 45°-os lapátbeállítási szög nél a szükséges 4m³/s-os légmennyiség mellett a statikus nyomás mindössze 78Pa.

Ha ezeket a jelleggörbéket kell használnunk, akkor a kisminta törvények használatával át kell számolnunk a nyomás- és mennyiségértéket a magasabb fordulatszámú üzemre.



1.sz. ábra

Kisminta törvények

A gyártók számára végrehajthatatlan feladat lenne, minden általuk gyártott méretű és kialakítású ventilátor paramétereinek a kimérése. Ezért a méréseket mintaventilátorokon végzik el, és a kisminta törvényekkel kiszámítják a hasonló ventilátorok paramétereit különböző fordulatszám, légmennyiség és teljesítményértékek mellett.

Fontos megjegyezni, hogy a kisminta törvények csak a fizikailag hasonló ventilátorok esetén alkalmazhatóak. Abban az esetben, ha a ventilátor átmérője megváltozik, de a légcsavargy mérete változatlan, akkor a lapátok által súrolt térfogat százalékos értéke különböző, tehát a ventilátorok nem pontosan hasonlóak. Emiatt a törvények alkalmazását ésszerű korlátozni olyan ventilátorokra, amelyek mérete az ismert ventilátorétól csak kis mértékben különbözik (pl. 50-100mm nagyságú átmérőkülönbség).

Képletek

Megváltozott fordulatszám esetén:

$$\text{Fordulatszám tényező } (k) = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{új fordulatszám}}{\text{eredeti fordulatszám}} \quad (1)$$

A paraméterek megváltoztatására a következő kisminta törvényeket alkalmazhatjuk:

$$\text{Légmennyiség } (q) \quad q_2 = q_1 \cdot k \quad (2)$$

$$\text{Nyomás } (p) \quad p_2 = p_1 \cdot k^2 \quad (3)$$

$$\text{Teljesítmény } (P) \quad P_2 = P_1 \cdot k^3 \quad (4)$$

A jelleggörbékét nézve látható, hogy egy adott statikus nyomásérték esetén (pl. 150Pa) a ventilátor által szállított légmennyiség a lapátszög változtatásával befolyásolható.

A példánkban először meg kell határoznunk azt a fordulatszámot, amelynél egy, a görbére illeszkedő, munkapontban elérjük az 580Pa-os statikus nyomást. A jelleggörbe se-reg legjobb hatásfokú pontjai körülbelül 150Pa-os nyomásértéknél vannak (a görbék első részének középső, kék színű vonalszakasszal jelölt része).

A fordulatszám tényező meghatározásához a (3) egyenletet használjuk.

$$p_2 = p_1 \cdot k^2$$

amiből:

$$k = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = \sqrt{\frac{580}{150}} = 1.966$$

A k tényező értékét behelyettesíthetjük a (2), (3) és a (4) egyenletekbe és a kapott értékek a meglévő jelleggörbére illeszthetőek. A szükséges fordulatszám az (1) egyenletből számítható.

$$n_2 = n_1 \cdot k$$

A jelleggörbék $n_1=1440$ f/perc járatos motorfordulatszámra vonatkoznak, amivel az új fordulatszám:

$$n_2 = 1440 \cdot 1.966 = 2831 \text{ f/perc}$$

A továbbiakban ellenőrizhetjük a ventilátor megfelelőségét.

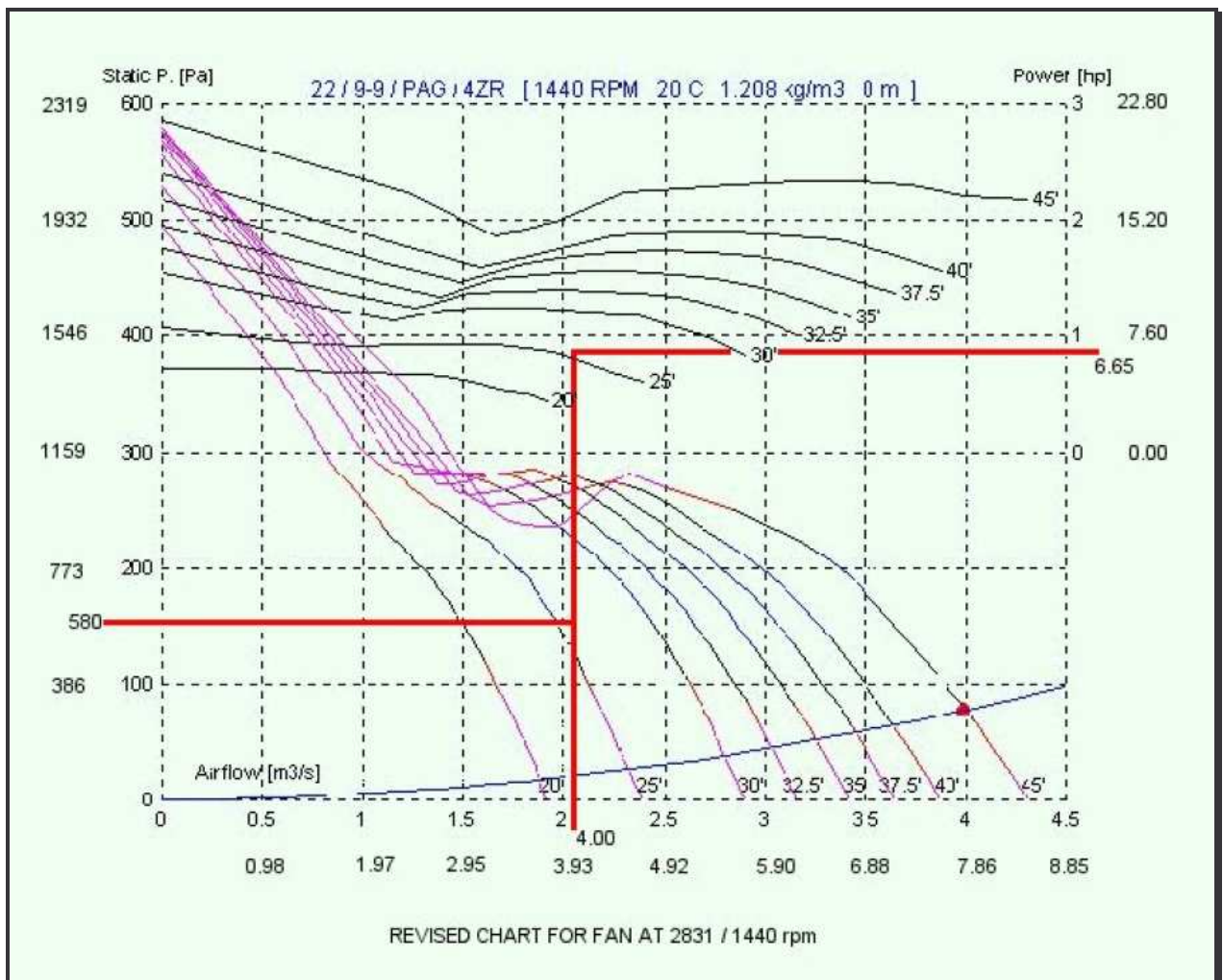
A szükséges légmennyiség $4\text{m}^3/\text{s}$ 580Pa nyomáson.

Tudjuk, hogy a fordulatszám növelésével elérhetjük a kívánt nyomásértéket. A (2) egyenletből látható, hogy k -val szorozva az x tengelyen szereplő mennyiségértékeket a legnagyobb értékre $4.25\text{m}^3/\text{s} \times 1.966 = 8.5\text{m}^3/\text{s}$ adódik.

A ventilátor $1440 \times 1.966 = 2831\text{f}/\text{perc}$ fordulatszám, 25° -os lapátszög esetén $4\text{m}^3/\text{s}$ mennyiségű levegőt szállít $150 \times 1.966^2 = 580\text{Pa}$ nyomáson.

Az eredeti jelleggörbe-ponthoz ($4\text{m}^3/\text{s}$ és 78Pa) tartozó teljesítmény-igény kevesebb, mint 1LE (745.7W), a (4) egyenlet alapján az új fordulatszámhoz tartozó teljesítmény-igény közelítő értéke $0.8 \times 1.966^3 = 6\text{LE}$ (4.47kW).

A **2.sz. ábra** a kisminta törvények alkalmazásával számított, és a megfelelő tengelyekre felírt értékeket mutatja.



2.sz. ábra

A módosított diagram használata

Első lépésként a függőleges tengelyen megkeressük a kívánt nyomásértéket, majd vízszintesen elmozdulunk a tervezett légmennyiség értékéig. Ez a ventilátor munkapontja. Példánkban a munkapont éppen a 25° -os lapátszöghöz tartozó vonal mellé esik. Ha a lapátok állíthatóak volnának, akkor a tervezett légmennyiség és nyomás a lapátszög ekkora ($\sim 26^\circ$) értékre történő állításával biztosítható lenne.

A teljesítmény meghatározásához a munkapontból függőleges tengely mentén addig mozdulunk, amíg el nem érjük a megfelelő lapátszöghöz (~26°) tartozó teljesítménygörbét. A pontot a jobb oldali függőleges tengelyre vízszintesen kivetítve leolvasható a teljesítmény.

Rögzített lapátszög esetén a munkapontot vízszintesen a legközelebbi lapátszöghöz tartozó görbére kell felvenni. (Nem szabad elfelejteni, hogy a szükséges nyomás értéke rögzített, míg a légmennyiség a felület minősége szerint változik (változó légrés) és nő a légmennyiséget növelő biztonsági tényező értéke.) A teljesítményigény ebben az esetben nagyobb értékű lesz.

Az 580Pa és 25°-os lapátszög esetén a légmennyiség 3.93m³/s-os értéke elég közel esik a szükséges 4m³/s-os mennyiséghez.

Hatásfok

Nem beszéltünk még a ventilátor hatásfokáról. Az ilyen jellegű üzemben működő axiális ventilátorok hatásfoka rendszerint ritkán haladja meg a 65%-nál nagyobb értéket.

A statikus nyomásgörbéket az **1.sz. ábra** mutatja, ahol a színekkel jelölt a ventilátor hatásfokának értéke.

Fekete színű görberészen a hatásfok >55%

Kék színű görberészen a hatásfok >60%

A lapátszögbeállításhoz tartozó legnagyobb hatásfok-értékek hozzávetőlegesen 1-3%-os értékkel változnak, azonban célszerű a munkapontot a görbe legnagyobb hatásfokú pontjára állítani.

A hatásfok (η)
$$\eta = \frac{p_t \cdot q}{P}$$

ahol:

p_t = össznyomás (Pa)

q = légmennyiség (m³/s)

P = teljesítmény (W)

$$1LE=745.7W$$

Légpárnáshajó esetén dinamikus rendszerről beszélünk, amiben a levegő térfogatárama folyamatosan változik. Ahogy a hajó hullámos felületen halad át súlya a gravitációs gyorsulás következtében változik.

Ez a jelenség demonstrálható azzal, ha egy ismert tömeget egy mérlegre ejtünk. Az ütközés pillanatában a mérleg nagyobb kezdeti értéket fog mutatni, mivel a súly az esés közben megnő.

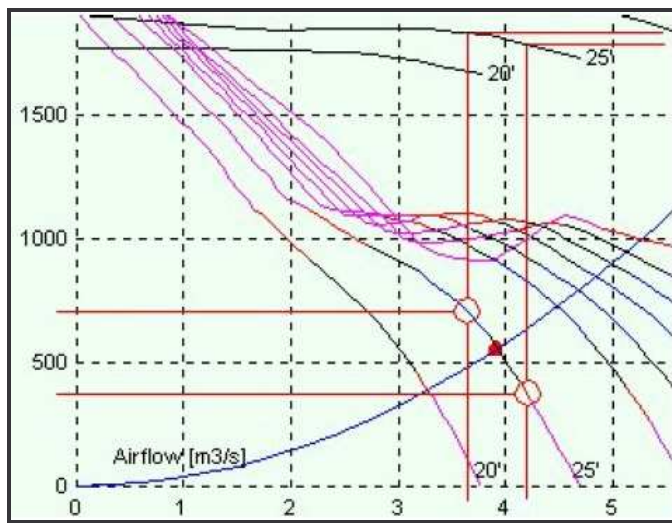
Amikor a légpárnás felemelkedése után visszacsapódik a felületre súlya megnő, miközben a szoknyanyomás pillanatnyi értéke is megemelkedik. Ennek megfelelően, ha a légpárnás elemelkedik a talajtól (nagy sebességgel bukkanón halad át), akkor a szoknyanyomás leesik. Ezek a hatások változtatják a ventilátor munkapontját.

A **3.sz. ábra** ezt a munkaponteltolódást mutatja. Az ábrán látható, hogy a ventilátor munkapontja a statikus nyomásvonal mentén vándorol, ahogy a szoknyanyomás változik.

A munkapontvándorlás fő hatása a szállított légmennyiség megváltozásában mutatkozik meg. Ha a szoknyanyomás lecsökken, akkor a ventilátor nagyobb mennyiségű levegőt biztosít, nyomásnövekedés esetén, pedig kevesebbet.

A ventilátor tervezett munkapontját a piros pont jelzi (A kék vonal a csatornarendszer jelleggörbéje). A nyomás csökkenésével a ventilátor nagyobb mennyiségű levegőt szállít. A ventilátorlapát valószínűsíthetően kevesebb teljesítményt vesz fel.

A súly növekedésének hatására bekövetkező nyomásemelkedés (a csatornarendszer jelleggörbéje feljebb tolódik) miatt a munkapont felfelé mozdul el a nyomásgörbén. A munkapont még mindig a legjobb hatásfokú szakaszban marad, és a ventilátor csak alig nagyobb teljesítményt vesz fel.



3.sz. ábra

Ha a munkapont eltolódása túl nagy, akkor leromlik a ventilátor hatásfoka és a teljesítményfelvétel megnő.

Ugyanez a jelenség játszódik le, amikor a légpárnás terhe megnő (pl. egy utast is szállít). Elkülönülő emelőventilátorral rendelkező hajó esetén ez a probléma könnyen legyőzhető a ventilátor fordulatszámának emelésével.

Integrált rendszer esetén a teljesítmény az emelésre és a tolóerő kifejtésére fordítódik. Főleg versenyhajóknál a szeparált ventilátorok úgy vannak beállítva, hogy azok a legnagyobb sebesség esetén a maximális teljesítményt veszik fel. Integrált hajtásnál ezért az emelés teljesítményigényének növekedése kedvezőtlenül hat a tolóerő nagyságára.

TERVEZÉSI KÖVETELMÉNYEK

A példánkban természetesen csak egy olyan ventilátort mutattunk be, amely alkalmas a feladatra. Rengeteg olyan ventilátor van, amely más fordulatszámmal és teljesítményigénnyel ugyanúgy megfelelő lehet.

Egy ugyanolyan 6 lapátos ventilátor egység 20°-os lapátszöggel ugyanúgy 4m³/s mennyiségű, 580Pa nyomású légmennyiséget biztosít, csak éppen 3600f/perc-es fordulatszámon és 6.67LE teljesítményigénnyel. A ventilátor azonban csak a jelleggörbe 58%-os hatásfokú tartományában üzemel. A magasabb működési fordulatszám eredménye a magasabb zajszint. Ugyanezen ventilátor hatásfoka nagyobb lapátszög esetén eléri a 64%-os értéket, azonban a szállított légmennyiség nagyobb, mint a szükséges és mindez magasabb teljesítményigénnyel párosul.

A fentiek alapján kijelenthető, hogy sajnos nincsen olyan egyszerű módszer, amellyel a gyártók műszaki ismertetőiből könnyen kiválasztható lenne a legmegfelelőbb ventilátor. A gyártók adatai a villamos motorral üzemeltetett ventilátorok jellemzőire vonatkoznak. Célszerű először a gyártóhoz vagy egy, a témában jártas, szakemberhez fordulni és meggyőződni arról, hogy milyen ventilátortípusok felelhetnek meg a magasabb fordulatszámú üzemnek.

Néhány gyártó nem rendelkezik a normál működési tartományon kívüli üzemi adatokkal. Ebben az esetben a legvalószínűbb méretű, legnagyobb fordulatszámhoz tartozó, lehetőleg különféle lapátszámú ventilátor jelleggörbéknek az előzőekben tárgyalt módon történő módosításával megtalálhatjuk a legmegfelelőbb megoldást.

HASZNOS INFORMÁCIÓK

Mértékegységek átváltása

Térfogatáram

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 2118.88 \text{ ft}^3/\text{min (cfm)}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 35.314 \text{ ft}^3/\text{sec (cfs)}$$

Sebesség

$$1 \text{ m/s} = 3.28084 \text{ ft/s}$$

$$1 \text{ m/s} = 196.85 \text{ ft/min}$$

Nyomás

$$1 \text{ Pa} = 0.0208854 \text{ lbf/ft}^2$$

$$1 \text{ lbf/ft}^2 = 47.8803 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

Sűrűség

$$1 \text{ lb/ft}^3 = 16.0185 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ kg/m}^3 = 0.0624280 \text{ lb/ft}^3$$