



# AM02 – Műszaki áramlástan I.

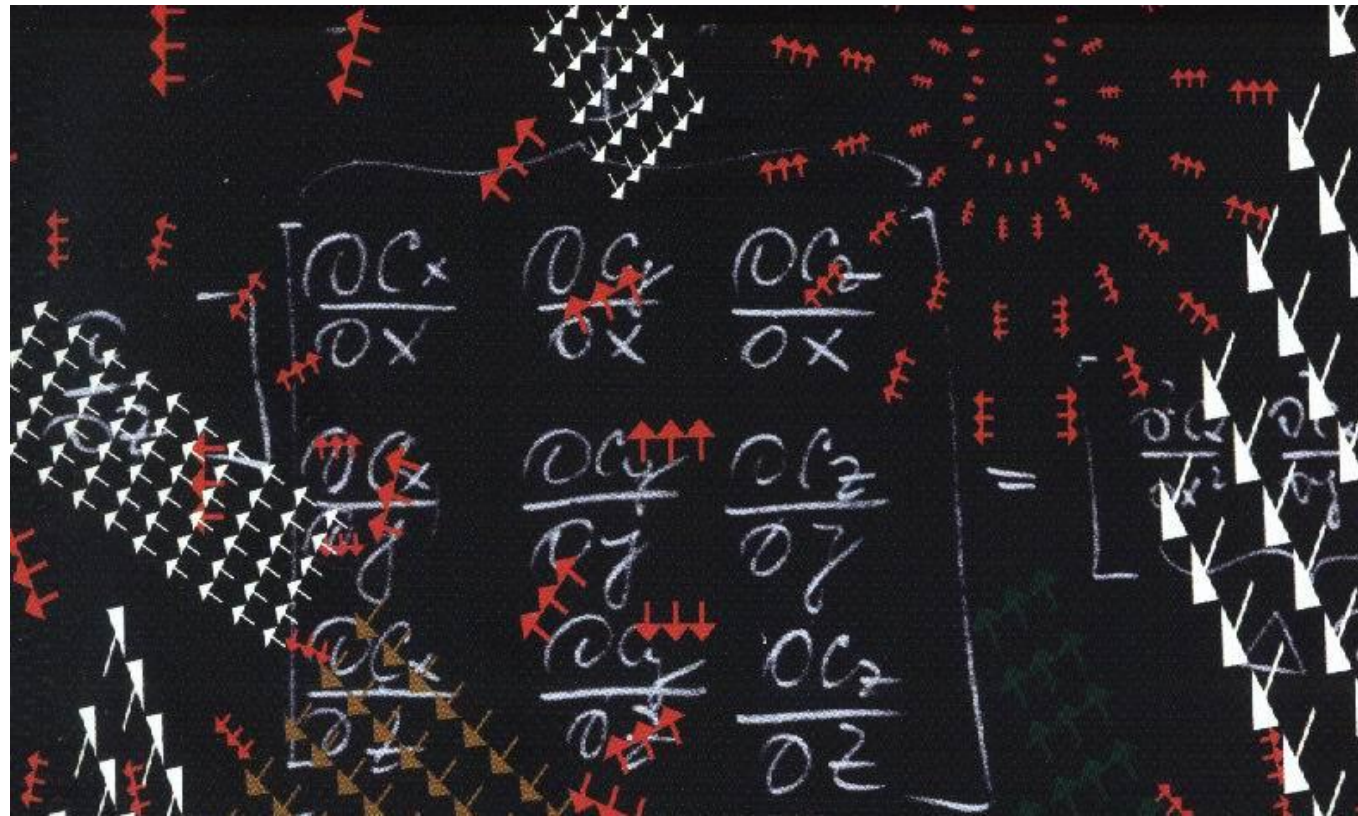
## 9.: Ventilátorok kiválasztása

**Dr. Szente Viktor**

adjunktus

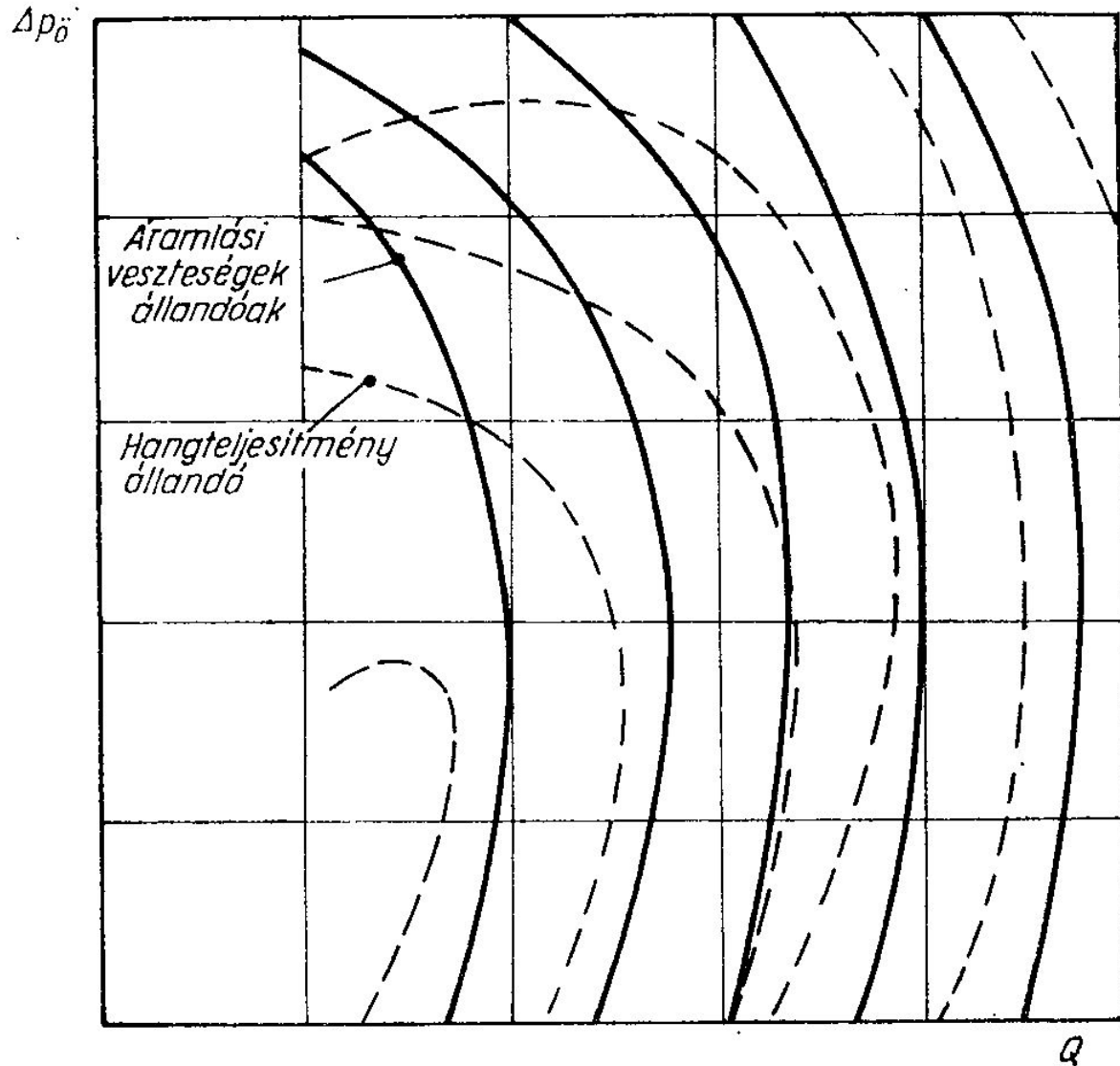
szente@ara.bme.hu

Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Kar  
Áramlástan Tanszék





- Légtechnikai üzemi követelmények: pl.  $\Delta p_{\ddot{o}}$  ,  $(\Delta p_{st})$ ,  $q_V \rightarrow$  katalógus
- Ergonómiai követelmények: pl. közvetlen vagy ékszíjhajtás  $\rightarrow$  katalógus
- Egyéb üzemeltetési követelmények: pl. áramfelvétel illeszkedjen a villamos hálózat képességeihez  $\rightarrow$  katalógus
- Ár  $\rightarrow$  katalógus
- Zajkibocsátás  $\rightarrow$  katalógus (?)
- Racionális energiafelhasználás, jó hatásfok  $\rightarrow$  katalógus (?)
- Egyéb (pl. tűzveszélyes helyen üzemeltetés)



Az áramlási zaj és a veszteségek összefüggése ventilátoroknál

# DIMENZIÓTLAN SZÁMOK ÖSSZERENDELÉSE

$$\text{Össznyomásszám: } \Psi_{\ddot{o}} = \frac{\Delta p_{\ddot{o}}}{\frac{\rho}{2} u_t^2}$$

$$\text{Mennyiségi szám: } \Phi = \frac{q_v}{A_{jell} u_t}$$

$$v_{von} = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\ddot{o}}} = \sqrt{\frac{2}{\rho} \Psi_{\ddot{o}} \frac{\rho}{2} u_t^2}$$

vonatkoztatási sebesség

$$A_{von} = \frac{D_{von}^2 \pi}{4} = \frac{q_v}{v_{von}} = \frac{\Phi A_{jell} u_t}{\sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\ddot{o}}}} = \frac{\Phi \frac{D^2 \pi}{4} u_t}{\sqrt{\frac{2}{\rho} \Psi_{\ddot{o}} \frac{\rho}{2} u_t^2}}$$

vonatkoztatási felület

$$D_{von} = D \frac{\sqrt{\Phi}}{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{q_v}{v_{von}}}$$

vonatkoztatási átmérő

$$\frac{D}{D_{von}} = \frac{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}}}{\sqrt{\Phi}} = \delta$$

átmérőtényező

# DIMENZIÓTLAN SZÁMOK ÖSSZERENDELÉSE

$$\omega_{von} = \frac{v_{von}}{D_{von}/2} = \frac{\sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p_{\ddot{o}}}}{\frac{1}{2} D \frac{\sqrt{\Phi}}{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}}}} = \omega \frac{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}^3}}{\sqrt{\Phi}}$$

$$n_{von} = \frac{v_{von}}{D_{von} \cdot \pi}$$

$$\frac{n}{n_{von}} = \frac{\omega}{\omega_{von}} = \frac{\sqrt{\Phi}}{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}^3}} = \sigma$$

**fordulatszám-tényező**

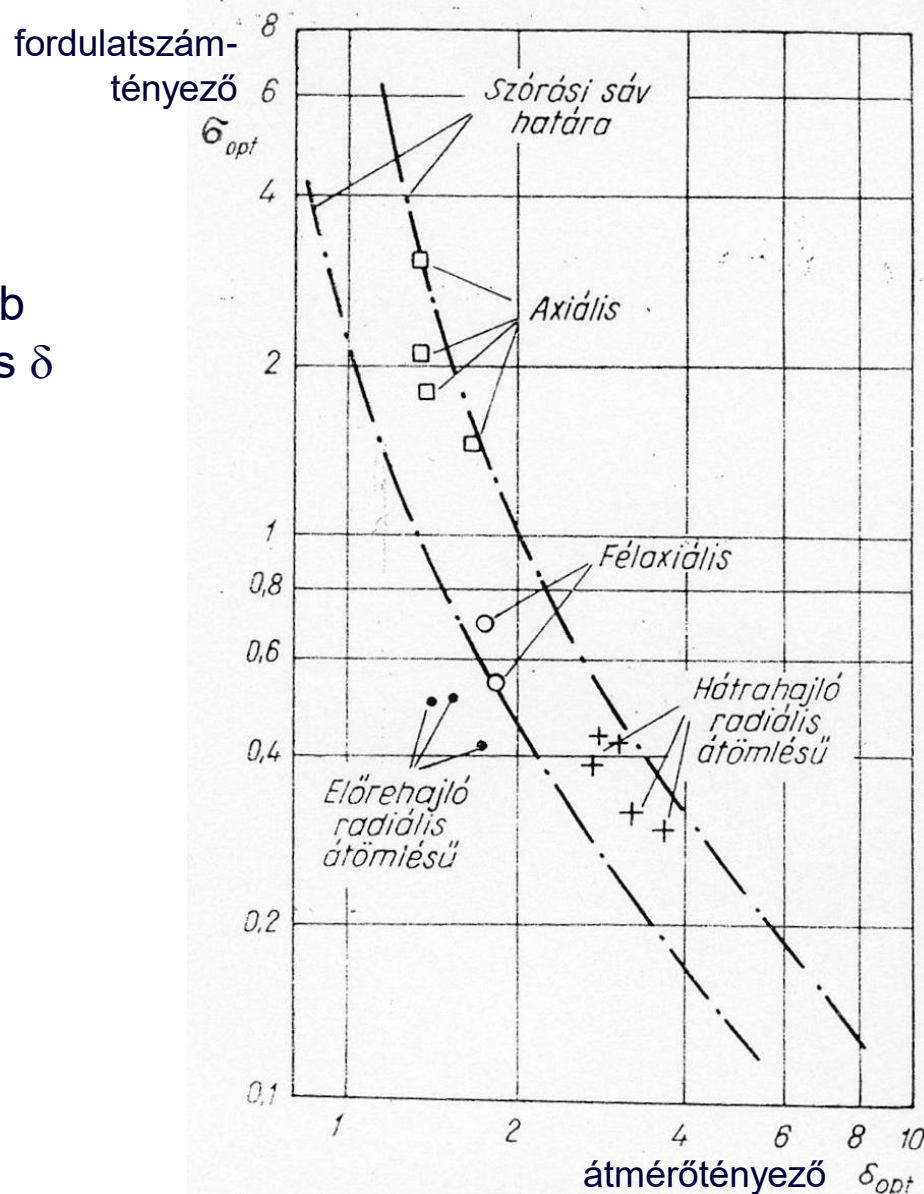
Jó hatásfok:

$\Psi_{\ddot{o}}$  és  $\Phi$  kombinációja, valamint

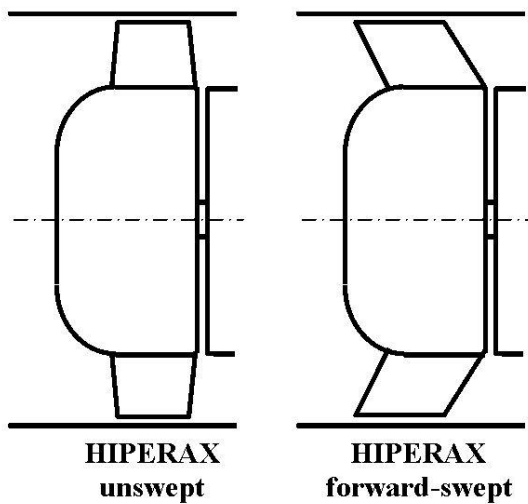
$\delta$  és  $\sigma$  kombinációja: nem tetszőleges

# CORDIER-DIAGRAM

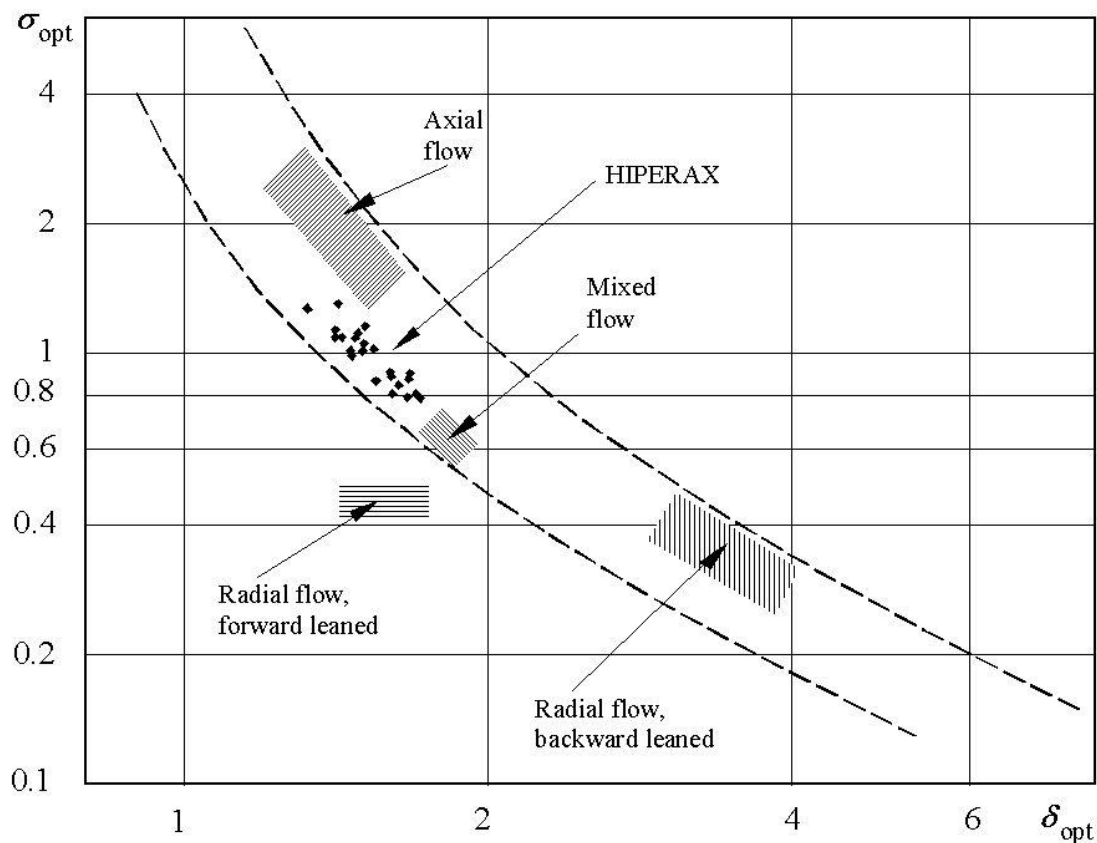
Jó hatásfokú gépek mérési tapasztalatai alapján a legjobb hatásfokú üzemállapotok  $\sigma$  és  $\delta$  értékeinek ábrázolása

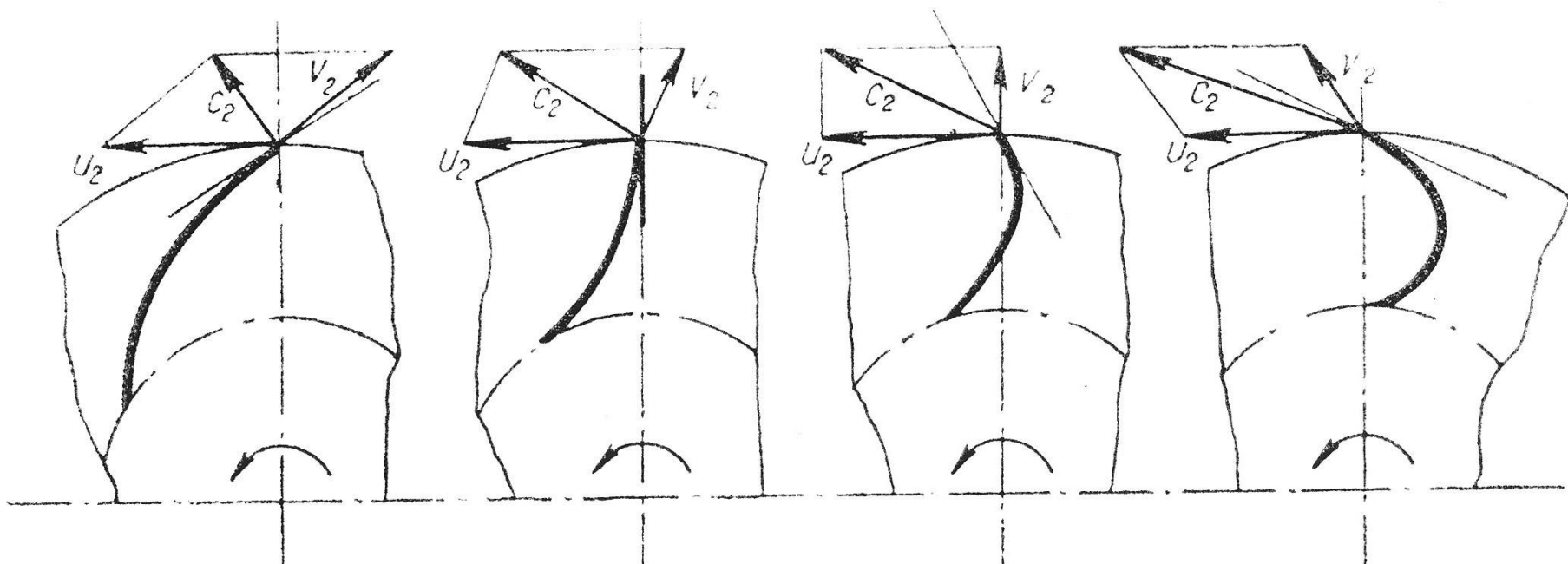


# CORDIER-DIAGRAM



Nagy fajlagos teljesítményű, speciális tervezésű axiálgépek pontjai a Cordier-diagramban





Lapátvég: hátrahajló

radiális

előrehajló

előrehajló

Kilépő rel. seb.: hátrahajló

hátrahajló

radiális

előrehajló

Hátrahajló lapátozás: a lapát kilépő éle a forgásiránnyal ellentétes irányba hajlik.

Radiális lapátozás: a lapát kilépő éle sugárirányú.

Előrehajló lapátozás: a lapát kilépő éle a forgásirányba hajlik.





70 % vagy annál jobb hatásfokra:

**Radiálgép – hátrahajló lapátozás:**

$$\sigma \approx \frac{1}{\delta} \quad 2 \leq \delta \leq 4$$

$$\sigma\delta = \frac{1}{\sqrt{\Psi_{\delta}}} \quad \Psi_{\delta} \approx 1 \quad \Phi \approx \frac{1}{\delta^2} \quad (0.25 \dots 0.063)$$

**Radiálgép - előrehajló lapátozás:**

a jó hatásfokú zónán kívül; összefüggéssel nem jellemezhető tartomány.  
Kis hatásfok, nagy fajlagos teljesítmény.

$$\delta \approx 1.5 \dots 1.8 \quad \sigma \approx 0.4 \dots 0.5$$

$$\Psi_{\delta} \approx 1.2 \dots 2.8 \quad \Phi \approx 0.5$$



Axiálgép:  $\sigma \approx 5,2 \delta^{-3,28} \quad 1 \leq \delta \leq 2$

$$\delta = \frac{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}}}{\sqrt{\Phi}} \quad \sigma = \frac{\sqrt{\Phi}}{\sqrt[4]{\Psi_{\ddot{o}}^3}} \quad \sigma \delta = \frac{1}{\sqrt{\Psi_{\ddot{o}}}} \quad \frac{1}{\sqrt{\Psi_{\ddot{o}}}} \approx 5,2 \delta^{-2,28}$$

$$\delta = 1: \Psi_{\ddot{o}} = 0.04 \quad \Phi = 0.2$$

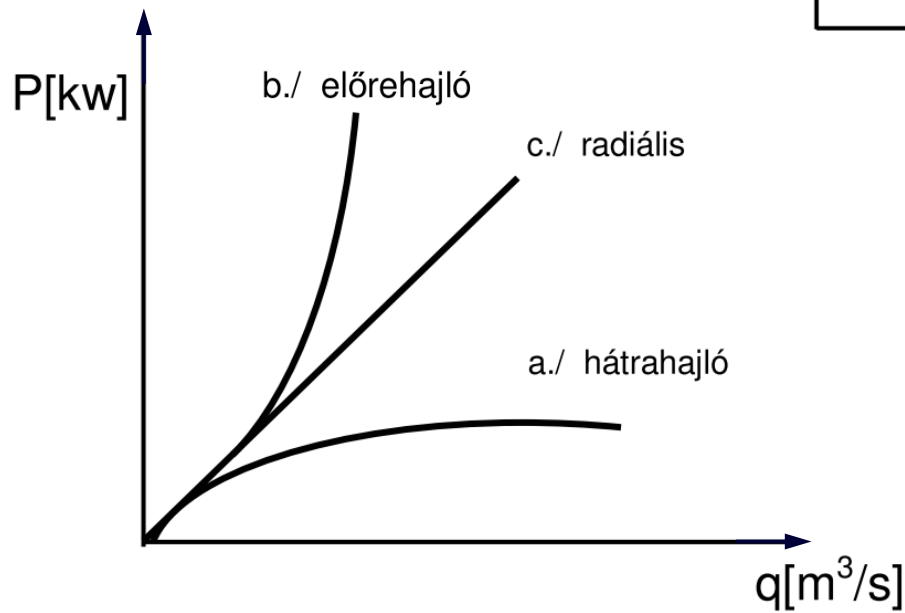
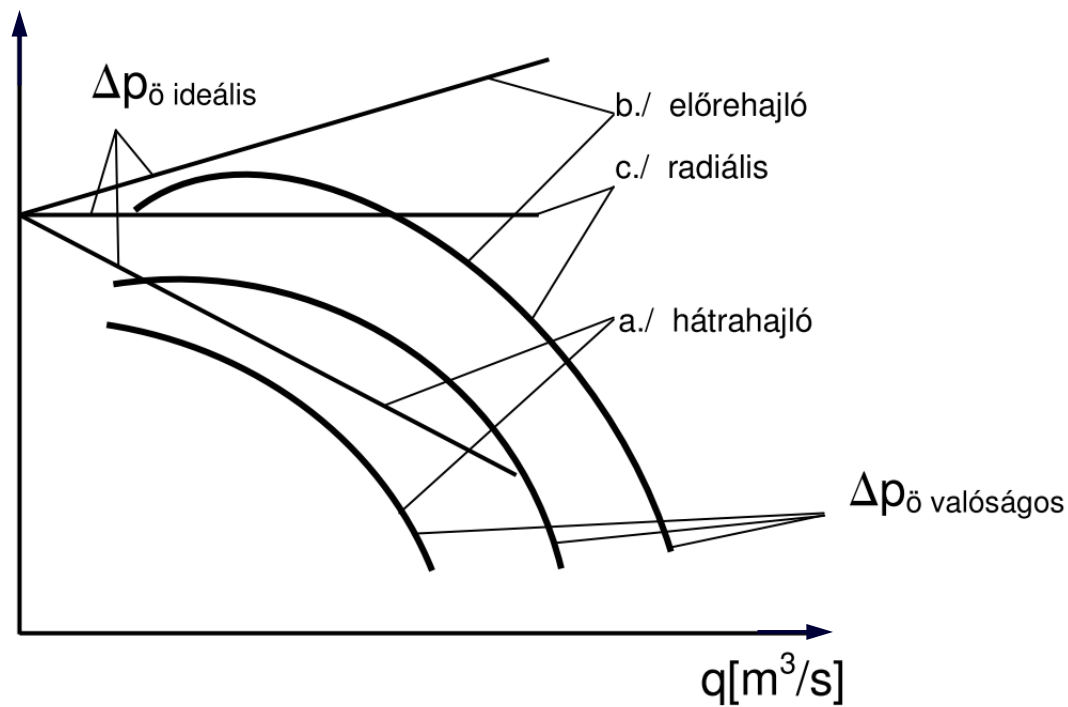
$$\delta = 2: \Psi_{\ddot{o}} = 0.87 \quad \Phi = 0.23 \text{ (már félaxiális ventilátorok tartománya)}$$



Ideális jelleggörbe:  
Sebességi háromszögek  
elemzéséből szerkeszthető.

Valóságos jelleggörbe:  
Méréssel.

$\Delta p_{\text{ö}}$  [Pa]



Teljesítményfelvétel

# VENTILÁTOROK SZABÁLYZÁSA

A légtechnikai rendszerek légszállítását a ventilátor és a csőhálózat jelleggörbéje együttesen határozza meg.

A csőhálózat jelleggörbéje többnyire a térfogatáram függvényében négyzetes parabola.

A terhelőgörbe metszéspontja a ventilátor jelleggörbéjével a munkapont.

Akkor gazdaságos, ha a ventilátor névleges üzemi pontjára vagy annak közelébe esik.

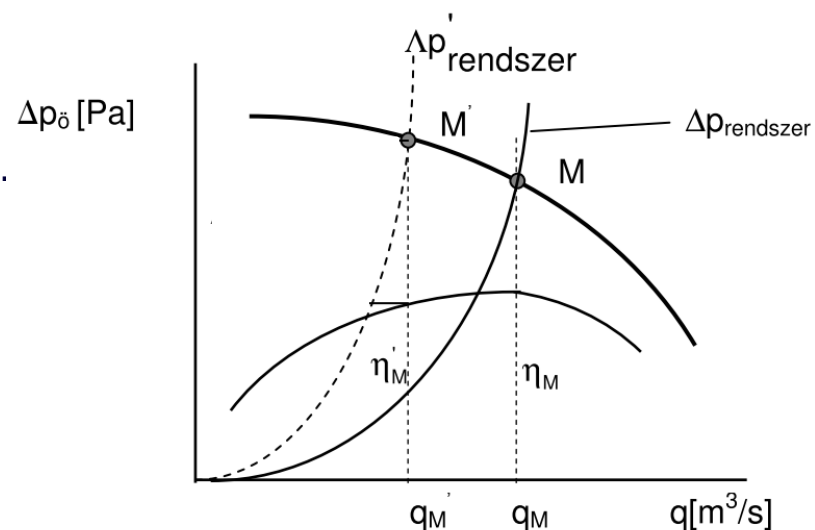
Akkor stabil, ha a munkapontban a csővezeték jelleggörbéje meredekebben emelkedik, mint a ventilátor jelleggörbéje.

Ha a névleges térfogatáramtól eltérő mennyiségre van szükség, akkor a csővezeték vagy a ventilátor jelleggörbéjét (esetleg mindkettőt) módosítani kell.

**Fojtás:** A beavatkozó elem zárásával a rendszer ellenállását növelve a munkapont (M) a jelleggörbén balra tolódik el (M').

A befektetett teljesítmény megoszlik a rendszer hasznos teljesítménye és a fojtás vesztesége között.

Roszbabb hatásfokú pont.

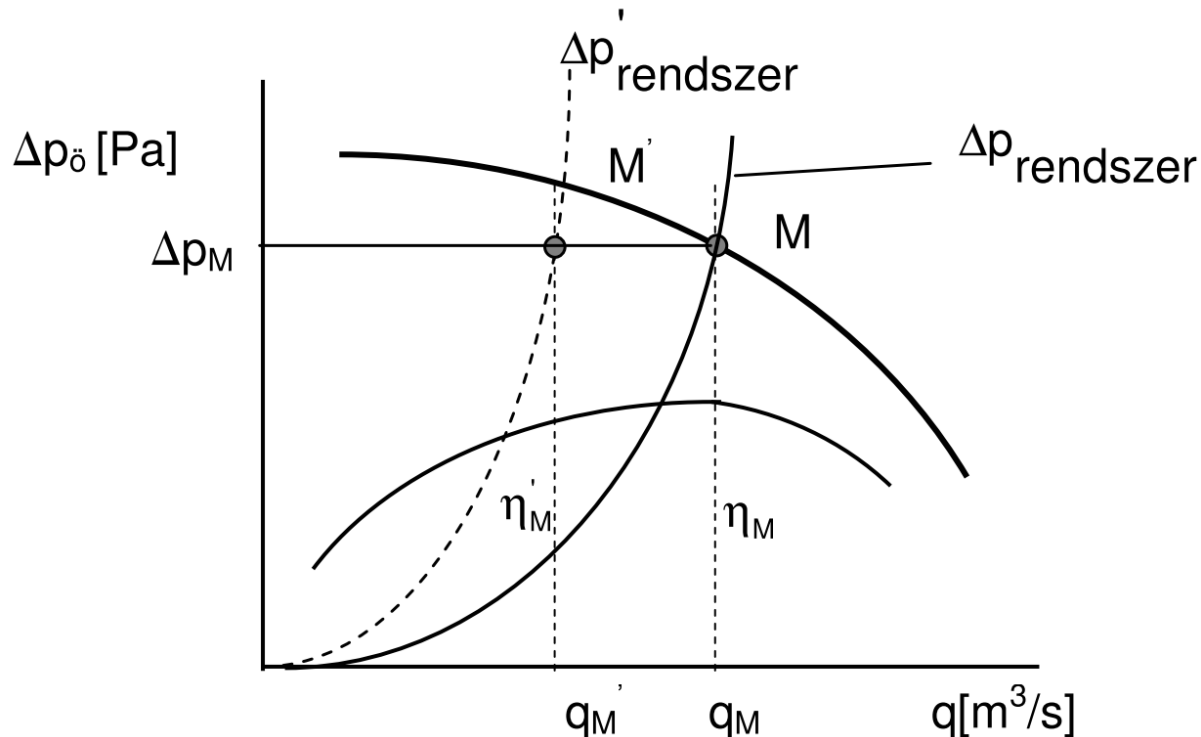




**Megkerülő vezeték (bypass):** a ventilátor szívó- és nyomócsonkja egy külön vezetékkel összekötve.

A ventilátor teljesítményének egy része a rendszeren, másik része a megkerülő vezetéken tartja fenn az áramlást.

A fojtáshoz hasonlóan csak a térfogatáram pontos beállítására javasolt, a névleges értékhez képest max. 10-15%-os eltérés esetén.



# VENTILÁTOROK SZABÁLYZÁSA

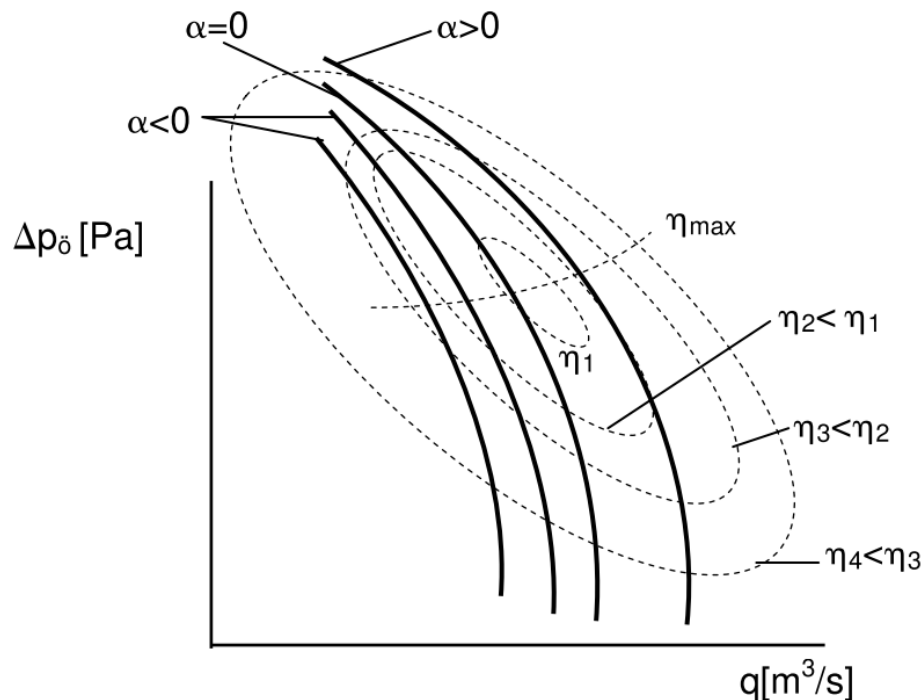
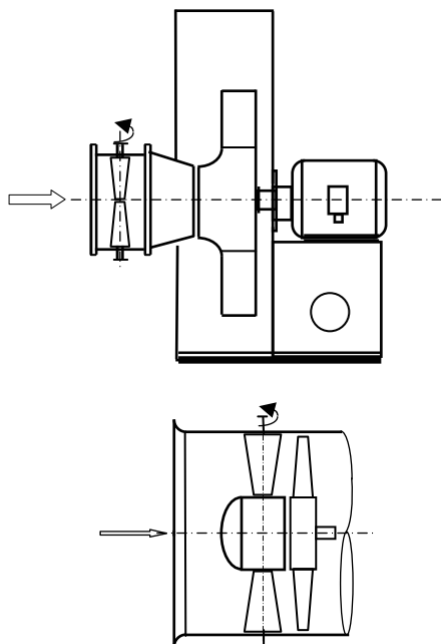
**Perdület szabályozás:** a járókerék előtt elhelyezett állítható lapátokkal a belépő abszolút sebesség iránya, nagysága változtatható meg úgy, hogy a belépési veszteségek csökkenjenek.

Viszonylag kedvező hatásfok.

Ha a kerületi sebesség irányába történik az eltérítés, a jelleggörbék balra lefelé tolódnak el, ellentétes esetben jobbra fölfelé.

Nagy eltérítés esetén az előperdületet adó rács fojtásként működik.

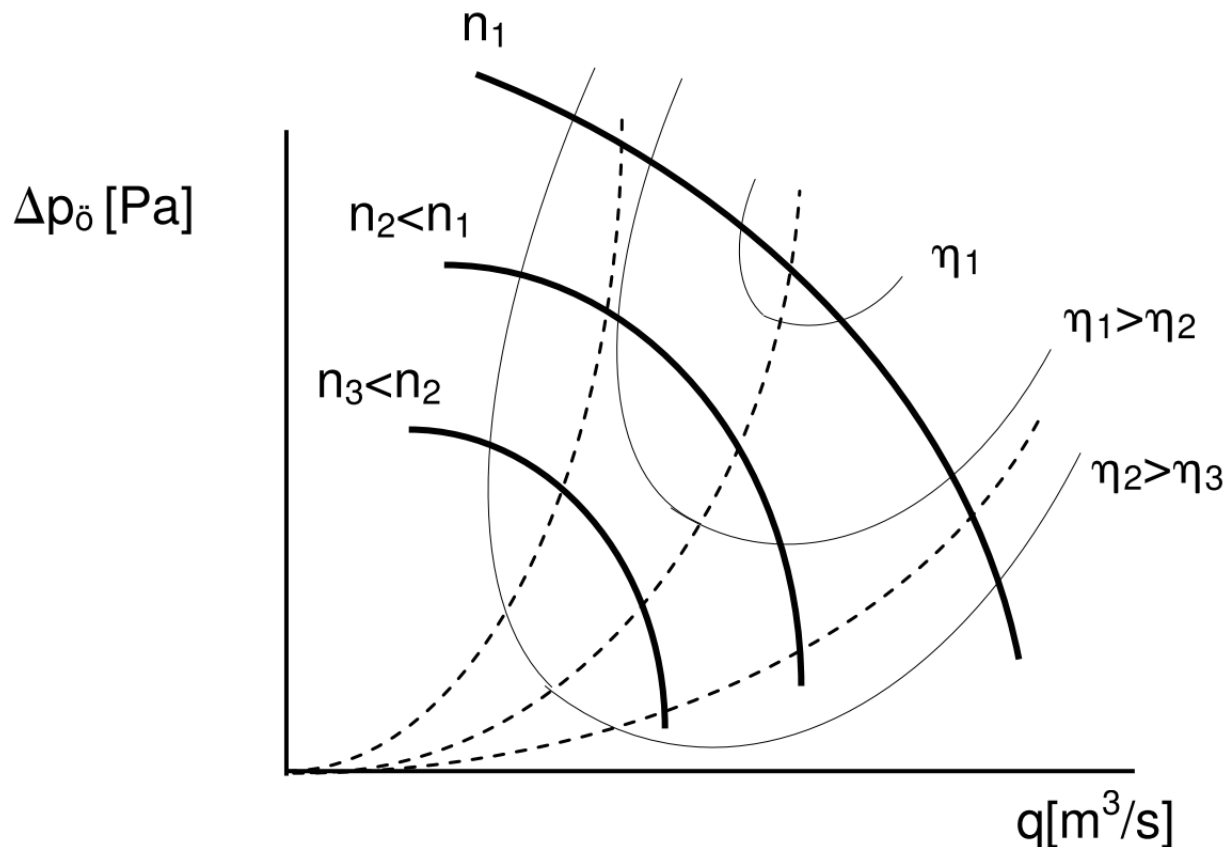
A módosult jelleggörbék csak méréssel határozhatók meg.



**Fordulatszám változtatás:** a ventilátor jelleggörbe pontok a térfogatáram négyzetével arányos parabolán mozdnak el.

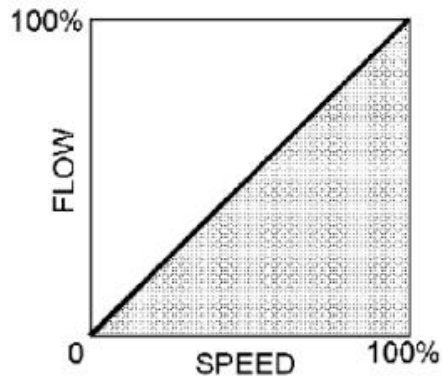
A ventilátor hatásfoka - a Reynolds-szám hatásától eltekintve - változatlan marad.

Ha a terhelő rendszer görbéje is négyzetes parabola (többnyire az), akkor a ventilátor változatlan hatásfoka mellett, azaz a leggazdaságosabb módon változtatható a térfogatáram.

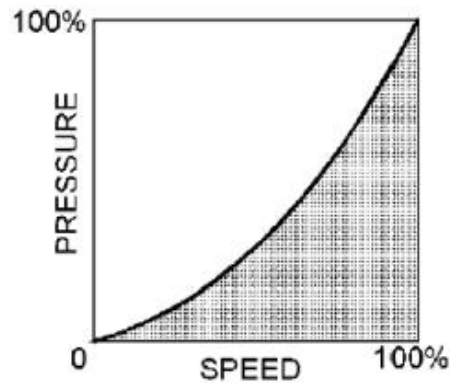




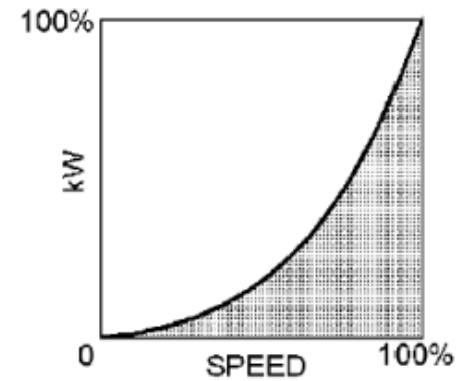
Fordulatszám változtatás eredménye



$$\frac{Q_{v1}}{Q_{v2}} = \frac{N_1}{N_2}$$



$$\frac{\Delta p_{stat1}}{\Delta p_{stat2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$



$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$





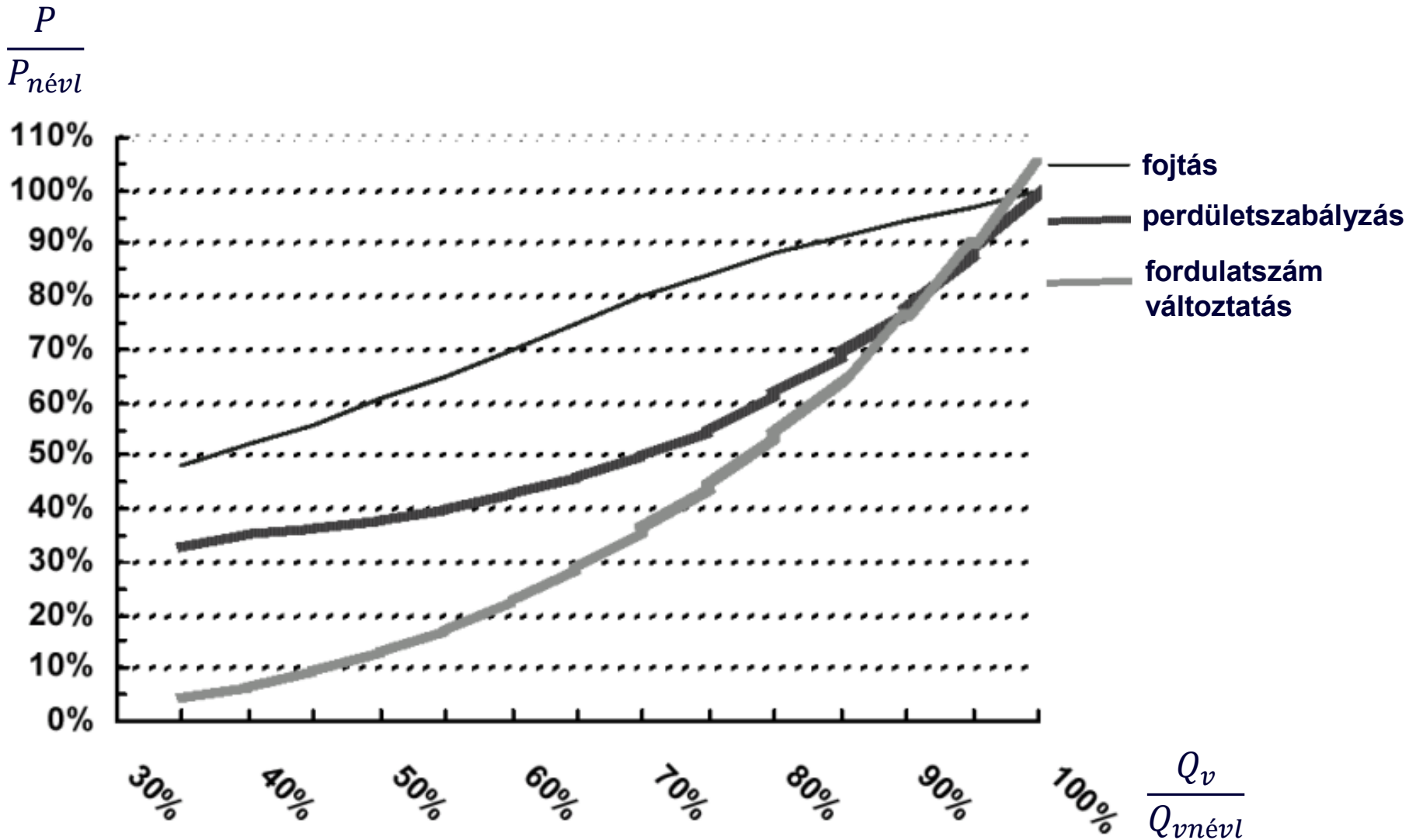
**Lapátszög állítás:** Elsősorban axiális ventilátoroknál.

A lapát beállítási szögét növelve jobbra, csökkentve balra mozdul a jelleggörbe. Általában  $\pm 10^\circ$  tartományban kedvező hatásfok mellett.

**Lapátszám változtatás:** A lapátszámmal közel arányos a nyomásnövekedés, a térfogatáram változatlan.

A jelleggörbék függőlegesen tolódnak el.

A jelleggörbék mindkét esetben csak méréssel határozhatók meg.



# VENTILÁTOROK SOROS ÉS PÁRHUZAMOS KAPCSOLÁSA

**Soros kapcsolásnál** a nagyobb nyomásnövekedés elérése a cél.

Az eredő jelleggörbe az egyes gépek azonos térfogatáramához tartozó nyomásmetszékeinek összegzésével áll elő.

Az új jelleggörbe meredekebb lesz, így nagyobb nyomásváltozáshoz csak kisebb mértékű térfogatáram változás tartozik.

**Párhuzamos kapcsolásnál** a nagyobb térfogatáram elérése a cél.

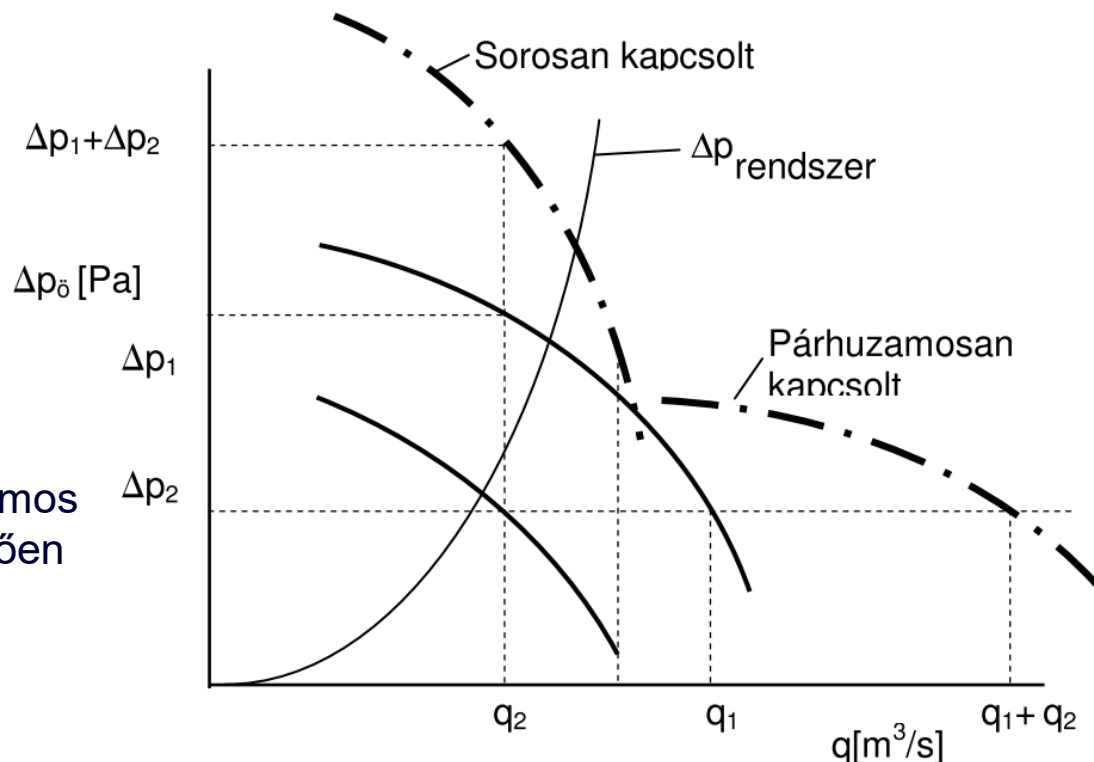
Az eredő jelleggörbe az egyes gépek azonos nyomásához tartozó térfogatáramainak összegzésével áll elő.

Az új jelleggörbe laposabb lesz, így kis nyomásváltozáshoz is nagyobb mértékű térfogatáram változás tartozik.

A párhuzamosan üzemelő ventilátorokat egyszerre kell indítani.

Célszerű azonos nagyságú gépeket párhuzamosan működtetni.

Különböző nagyságú gépek párhuzamos kapcsolásakor a jelleggörbétől függően a kisebb ventilátoron visszaáramlás is létrejöhet.

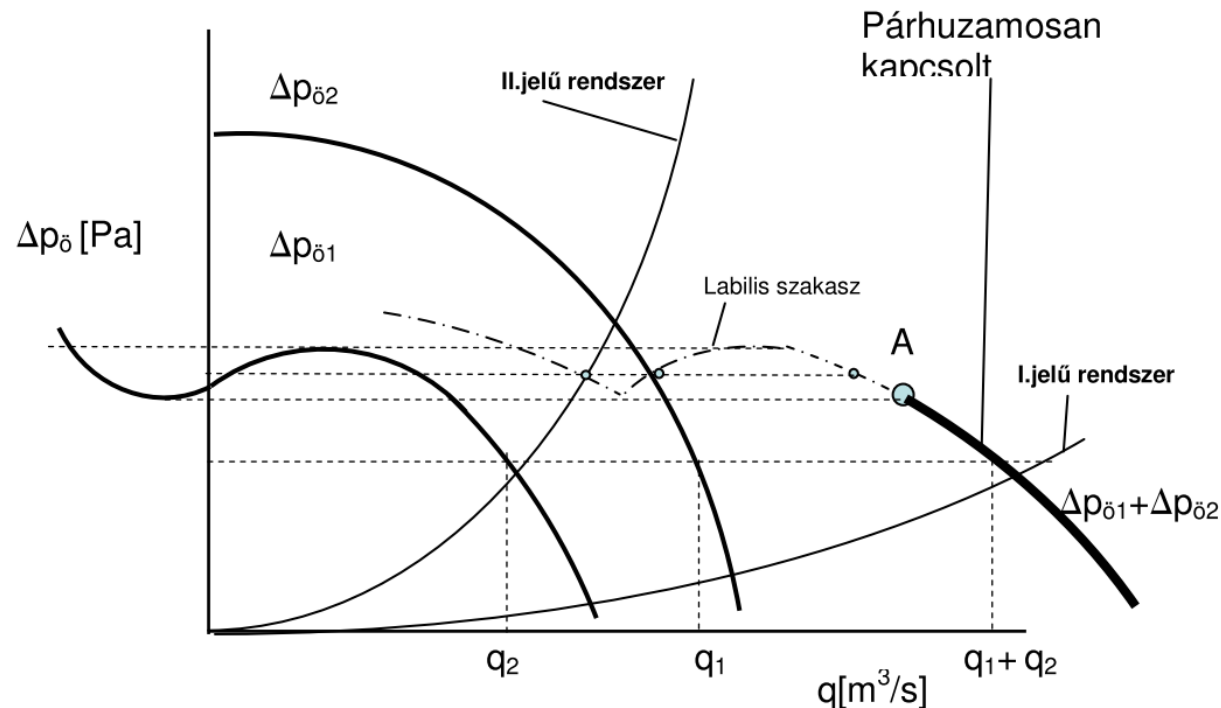


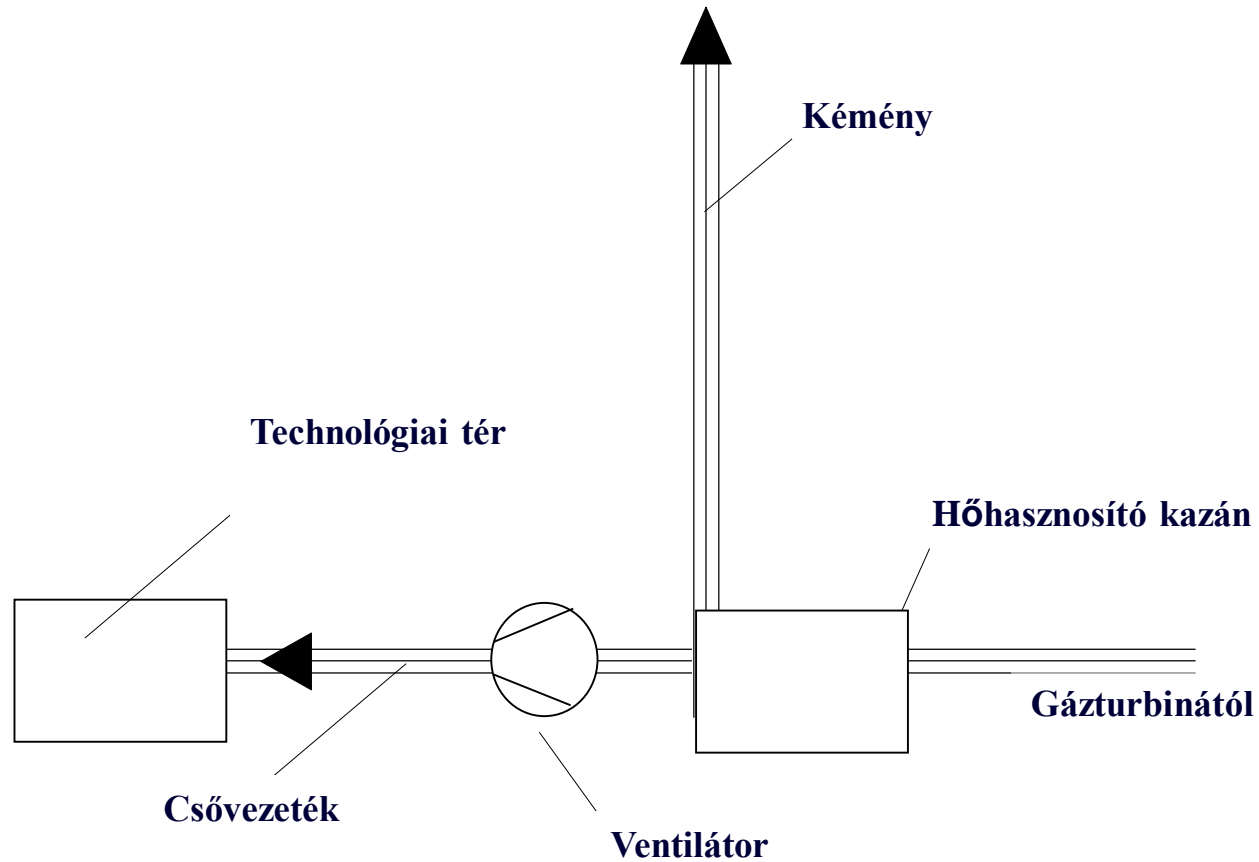
# VENTILÁTOROK SOROS ÉS PÁRHUZAMOS KAPCSOLÁSA

Párhuzamos kapcsolásnál ha az egyik gép jelleggörbéjének inflexiós pontja van, akkor az eredő jelleggörbe és a rendszer jelleggörbe együttes vizsgálatára van szükség a munkapont stabil helyzetének megítélésére.

A II. jelű rendszer karakterisztikája az A pont fölött metszi az együttes jelleggörbét: a kis ventilátoron visszaáramlás jön létre.

A párhuzamos kapcsolás ebben az esetben csak akkor növeli a térfogatáramot, ha a munkapont az A pont alatt van.





# GYAKORLÓ SZÁMÍTÁS

$\Sigma q_{Vn} = 100\,000 \text{ nm}^3 / \text{h} \Rightarrow$  további hasznosításra  $q_{Vn} = 50\,000 \text{ nm}^3 / \text{h}$

A maradék  $D_k = 2 \text{ m}$ ,  $L_k = 20 \text{ m}$  kéményen távozik, falı érdessége  $k_k = 2 \text{ mm}$  (beton)

Elszívott füstgáz:  $D_f = 1000 \text{ mm}$ ,  $L_f = 100 \text{ m}$  csövön lesz továbbvezetve, falı érdessége  $k_f = 0.5 \text{ mm}$  (acél)

A szerelvények összevont veszteségtényezıje  $\xi_{\ddot{o}} = 10$

Füstgáz hımérséklete:  $T_f = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , összetétele: 77 % nitrogén, 17 % oxigén, + vízgı, szén-dioxid, egyéb – igen hasonló a levegıhöz.

Ezért:  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ,  $\mu = 1.81 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms} \Rightarrow \rho_f = 0.75 \text{ kg/m}^3$

Környezet:  $p_0 = p_n$ ;  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$

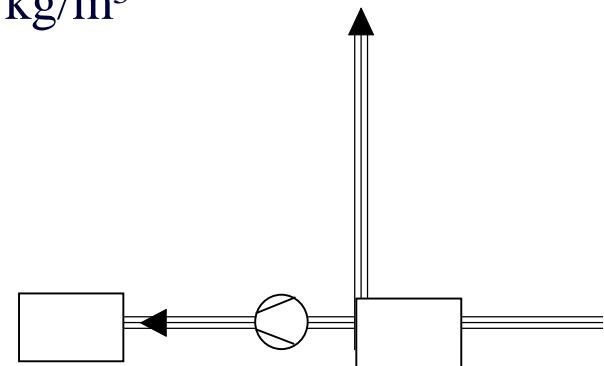
Technológiai tér nyomása:  $p_t = p_0$

**Ventilátor választás, csıbıl-csıbe típusú.**

**a/ üzemi jellemzık ?**

**b/ ventilátor típusa, jellemzı mérete és fordulatszámı ?**

**c/ motor teljesítménye ?**



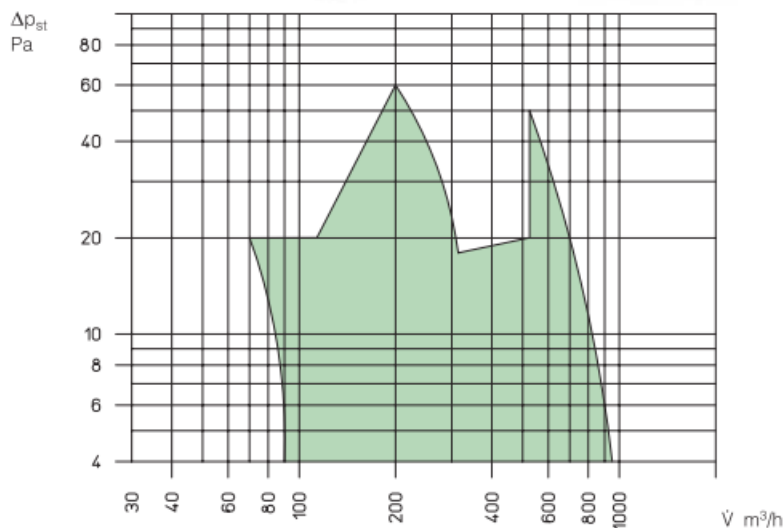
# EZ VAJON MEGFELEL?

$$\Delta p_{\text{ö}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

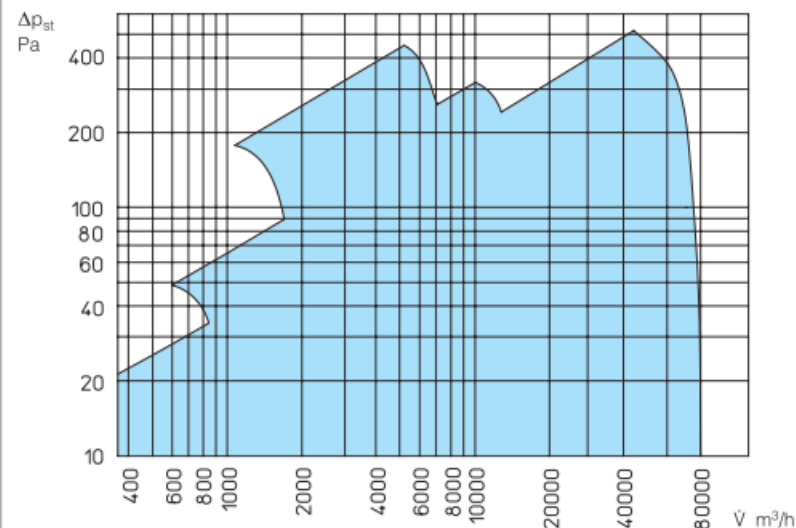
## Axiál-ventilátorok kisebb teljesítményekkel

HR 90, HV, REW, GX családok



## Ipari axiális ventilátorok (alacsony nyomásnövekedéssel)

Ø 200 – 1000 mm, HQ, HW, HS, HRF, AVD családok

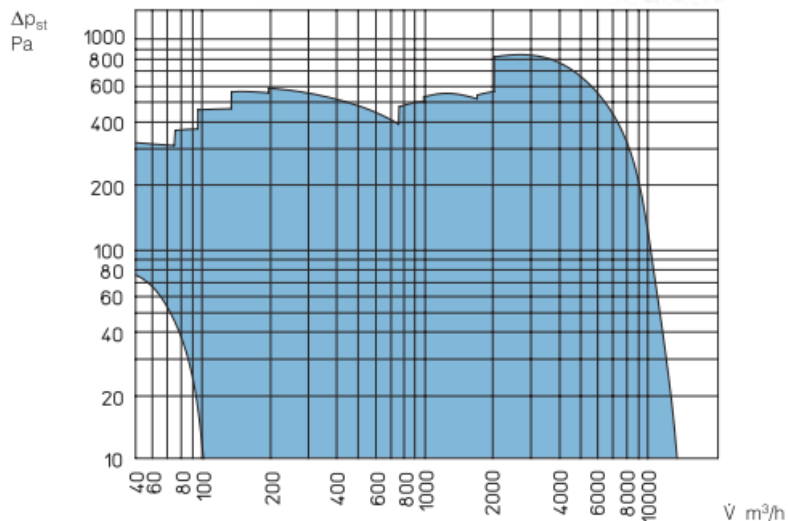


# EZ VAJON MEGFELEL?

$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa}$$

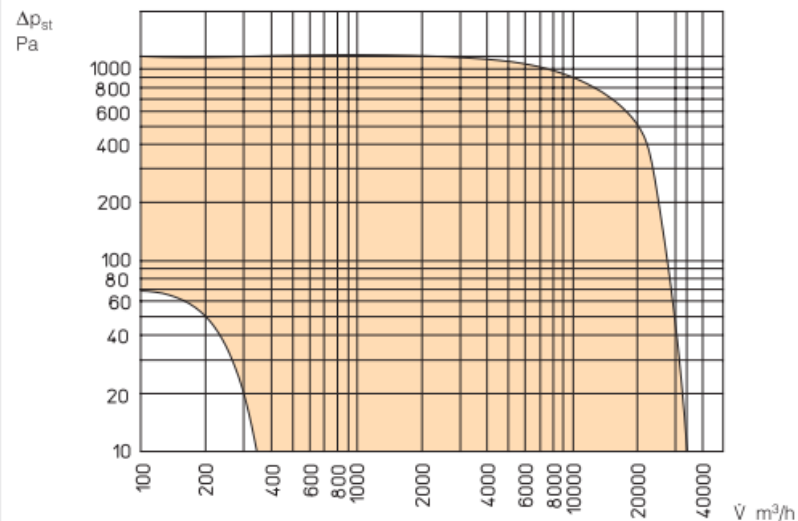
$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Radiális cső- és csatornaventilátorok**, ALB, DX, RR., SB, KD/KW, KS., MV.. SKL családok



**Radiális tetőventilátorok**

VD, VDR, RD, DVEC családok

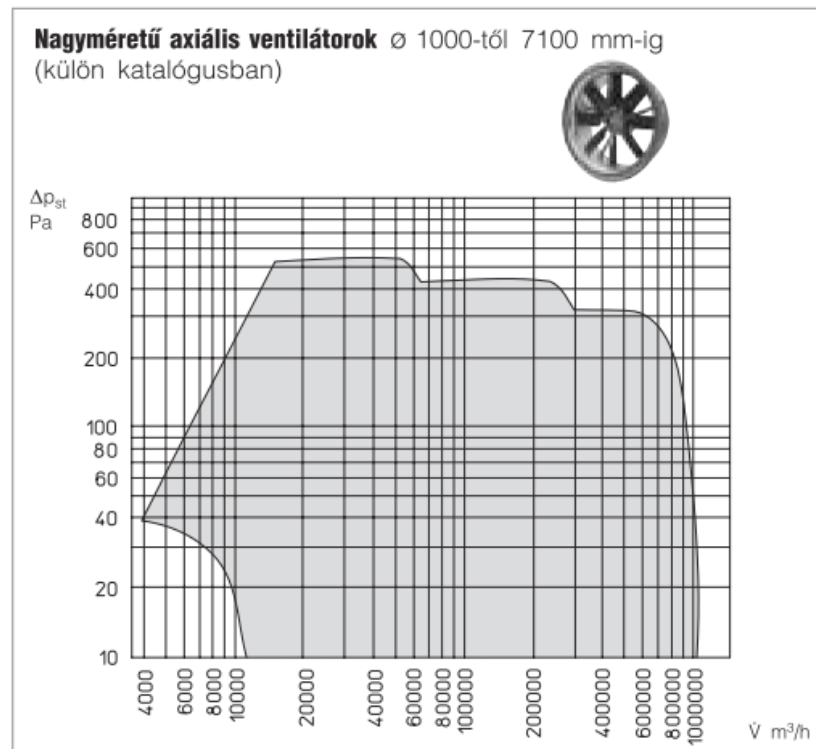
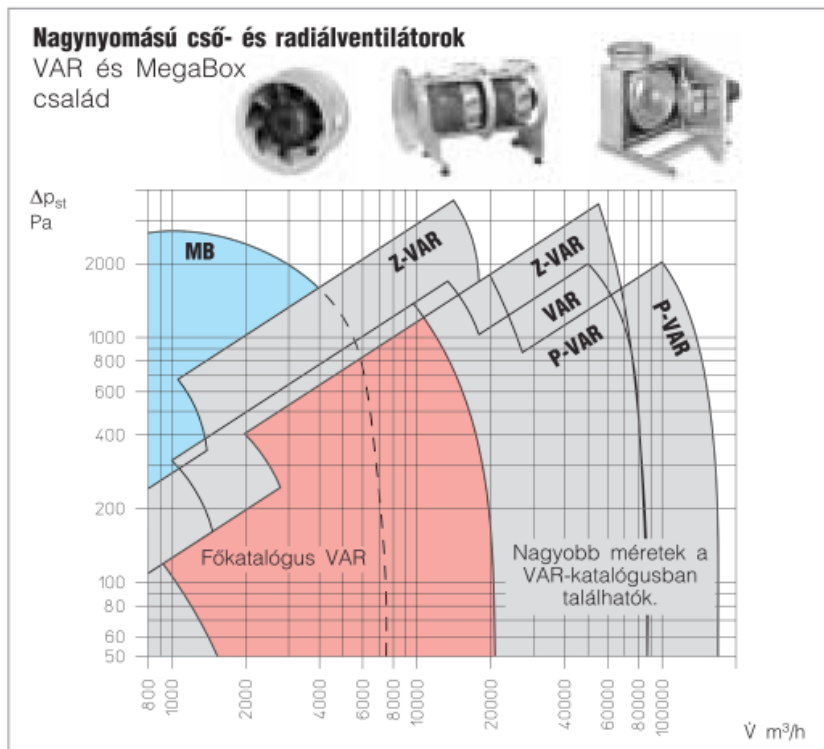




## EZ VAJON MEGFELEL?

$$\Delta p_{\text{ö}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$





$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v_{von} = \sqrt{\frac{2}{\rho_f} \Delta p_{\ddot{o}}} = 105 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D_{von} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{q_v}{v_{von}}} = 0,54 \text{ m}$$

$$n_{von} = \frac{v_{von}}{D_{von} \cdot \pi} = 62 \frac{1}{\text{s}} = 3720 \frac{1}{\text{min}}$$



$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa} \quad v_{von} = 105 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad D_{von} = 0,54 \text{ m} \quad n_{von} = 3720 \frac{1}{\text{min}}$$
$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Axiálgép jó hatásfokú tartomány:  $1 \leq \delta \leq 2$       Legyen a középérték:  $\delta := 1,5$

$$\sigma \approx 5,2 \cdot \delta^{-3,28} = 1,38$$

$$n = \sigma \cdot n_{von} = 5130 \frac{1}{\text{min}}$$

$$D = \delta \cdot D_{von} = 0,81 \text{ m}$$

$$u_t = D \cdot \pi \cdot n = 217,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$A_{jell} = \frac{D^2 \pi}{4} = 0,515 \text{ m}^2$$

$$\Phi = \frac{q_v}{A_{jell} u_t} = 0,21$$

$$\Psi_{\ddot{o}} = \frac{\Delta p_{\ddot{o}}}{\frac{\rho_f}{2} u_t^2} = 0,23$$



$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

	AXIÁLIS	RADIÁLIS (HH)	RADIÁLIS (EH)
$\delta$ [-] (középérték)	1.5	3	1.8
$\sigma$ [-] (számított)	1.38	0.33	0.4
$n$ [1/min]	5130	1230	1490
$u$ [m/s]	217.5	104.3	75.6
$D$ [m]	0.81	1.62	0.97
$\Phi$	0.21	0.11	0.43
$\Psi_{\ddot{o}}$	0.23	1	1.93



$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

	AXIÁLIS	RADIÁLIS (HH)	RADIÁLIS (EH)
$\delta$ [-] (középérték)	1.5	3	1.8
$\sigma$ [-] (számított)	1.38	0.33	0.4
$n$ [1/min]	5130	1230	1490
$u$ [m/s]	217.5	104.3	75.6
$D$ [m]	0.81	1.62	0.97
$\Phi$	0.21	0.11	0.43
$\Psi_{\ddot{o}}$	0.23	1	1.93



$$\Delta p_{\ddot{o}} = 4100 \text{ Pa}$$

$$q_V = 86\,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

	AXIÁLIS	RADIÁLIS (HH)	RADIÁLIS (EH)
$\delta$ [-] (középérték)	1.5	3	<b>1.8</b>
$\sigma$ [-] (számított)	1.38	0.33	<b>0.4</b>
$n$ [1/min]	<b>5130</b>	1230	<b>1490</b>
$u$ [m/s]	<b>217.5</b>	104.3	<b>75.6</b>
$D$ [m]	0.81	<b>1.62</b>	<b>0.97</b>
$\Phi$	0.21	0.11	<b>0.43</b>
$\Psi_{\ddot{o}}$	0.23	1	<b>1.93</b>



A katalógusokban általában  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$  sűrűsége (normál állapot) vonatkoznak a megadott jelleggörbék (füstgázelszívó ventilátor esetén is).

Mi a teendő a ventilátor választásakor?

- A szállított térfogatáram a sűrűségtől független.
- Az össznyomás-növekedési igény jó közelítéssel a dinamikus nyomással arányos.
- A dinamikus nyomás egyenesen arányos a sűrűséggel.

Hidegindítás:  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

Ekkor: össznyomás-növekedési igény  $\Delta p_{\text{öh}} = 4100 \cdot (1.2/0.75) = 6600 \text{ Pa}$ .

Ventilátorteljesítmény üzemi állapotban:  $P_n = \Delta p_{\text{ö}} \cdot q_v = 98 \text{ kW}$

Ventilátorteljesítmény hidegindításkor:  $P_h = \Delta p_{\text{öh}} \cdot q_v = 158 \text{ kW}$

$P_h / P_n = 1.6 \rightarrow$  **60%-al nagyobb teljesítményigény!**

A motor hidegindításkor történő leégése elkerülhető, ha a ventilátor a  $\Delta p_{\text{ö}} = 6600 \text{ Pa}$ ,  $q_v = 86000 \text{ m}^3/\text{h}$  értékre van választva. Üzemi állapotban ( $\rho = 0.75 \text{ kg/m}^3$ ) már nem abban a munkapontban fog dolgozni, de a kívánt üzemállapot pl. frekvenciaváltós fordulatszám-szabályzással beállítható

Radiális:

Megnevezés	Radiális lapátozású járókerék	Hátrahajló lapátozású járókerék	Előrehajló lapátozású járókerék
$\Phi$	0.1 – 0.2	0.05 – 0.2	0.3 – 0.7
$\Psi_{\text{ö}}$	1.0 – 1.8	0.7 – 1.0	2.1 – 2.9
Hidraulikai hatásfok $\eta_{\text{hmax}}$	0.7 – 0.75	0.8 – 0.85	0.65 – 0.7
Átmérőviszony $D_2/ D_1$	1.5 – 1.8	1.3 – 1.8	1.1 – 1.3
Lapátszám $N$	8 - 16	6 - 12	25 - 48
Lapátszélesség $b_1/ b_2$	1.0 – 1.7	1.0 – 1.5	1.0



Axiális:

Megnevezés	Fali	Terelő nélküli	Utóterelős	Előterelős	Ellen- forgó
$\Phi$	0.1 – 0.3	0.2 – 0.35	0.4 – 0.6	0.4 – 0.6	0.4 – 0.6
$\Psi_{\dot{O}}$	0.1 – 0.15	0.2 – 0.3	0.3 – 0.4	0.35 – 0.4	0.6 – 0.9
Hidr. hatásfok $\eta_{hmax}$	0.4	0.7	0.8 – 0.85	0.8	0.8
Átmérőviszony $D_B / D_k$	0.3 – 0.4	0.4 – 0.5	0.5 – 0.7	0.5 – 0.7	0.5 – 0.7
Lapátszám $N$	2 - 6	2 - 12	6 - 16	6 - 16	6 - 16