



# AM02 – Műszaki áramlásan I.

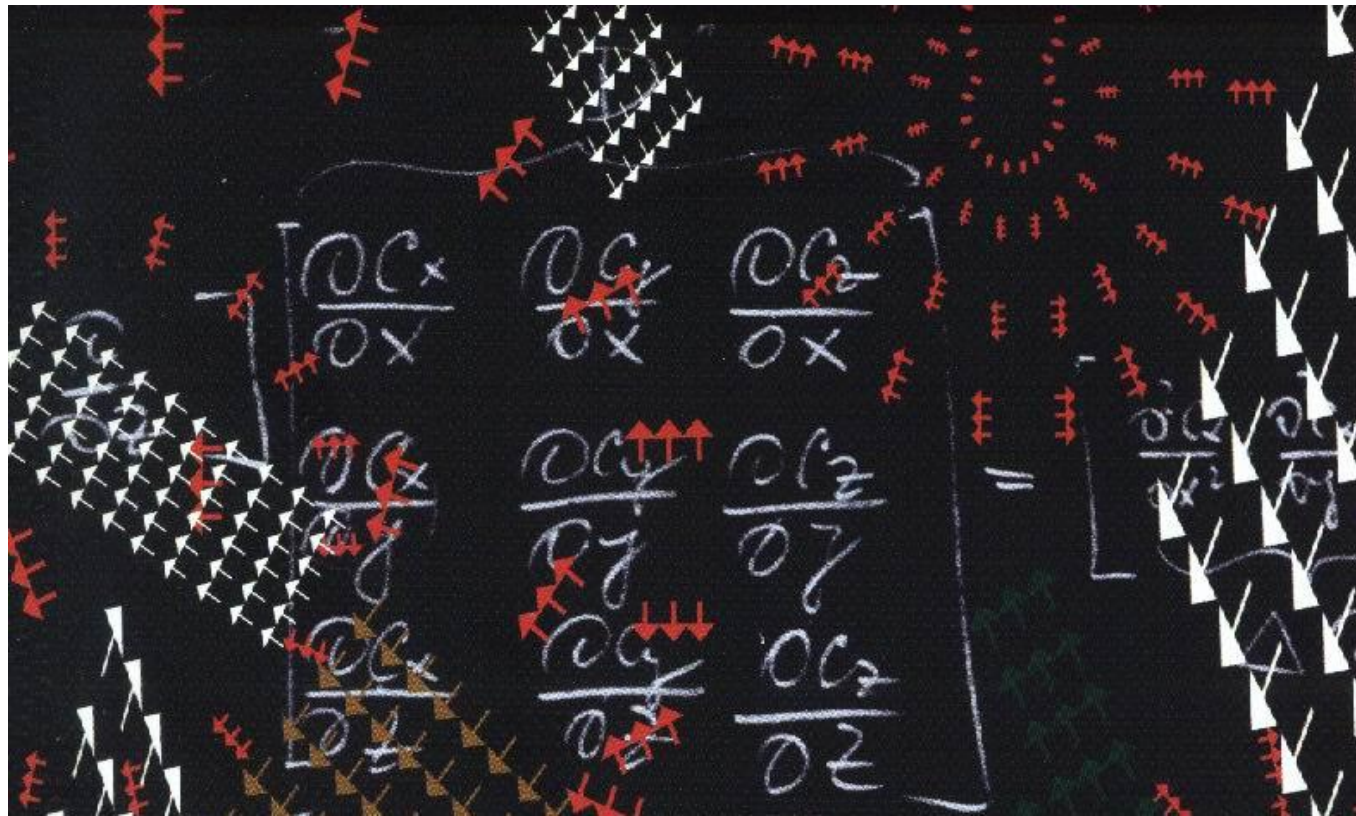
## 10.: Radiális és axiális ventilátorok

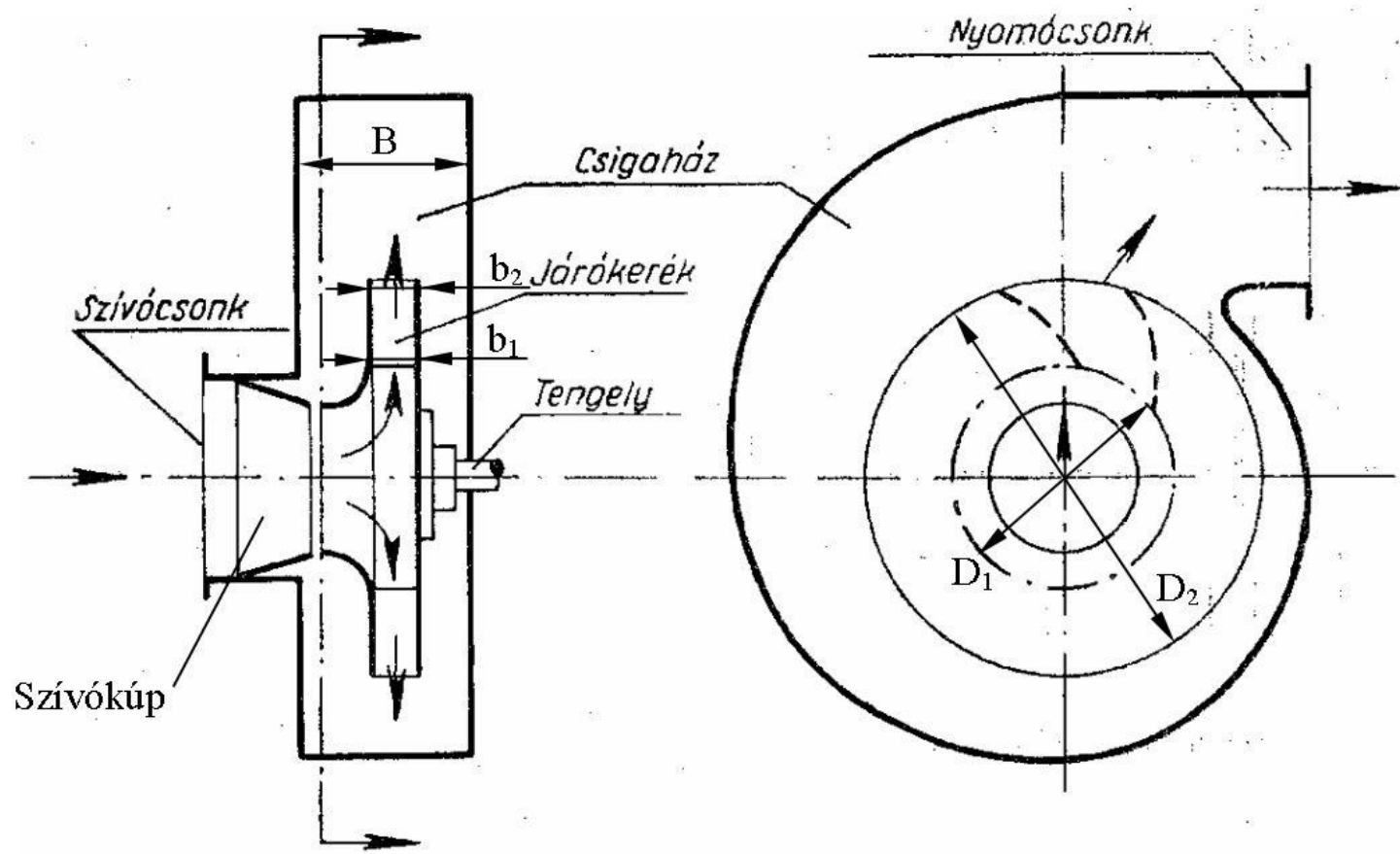
**Dr. Szente Viktor**

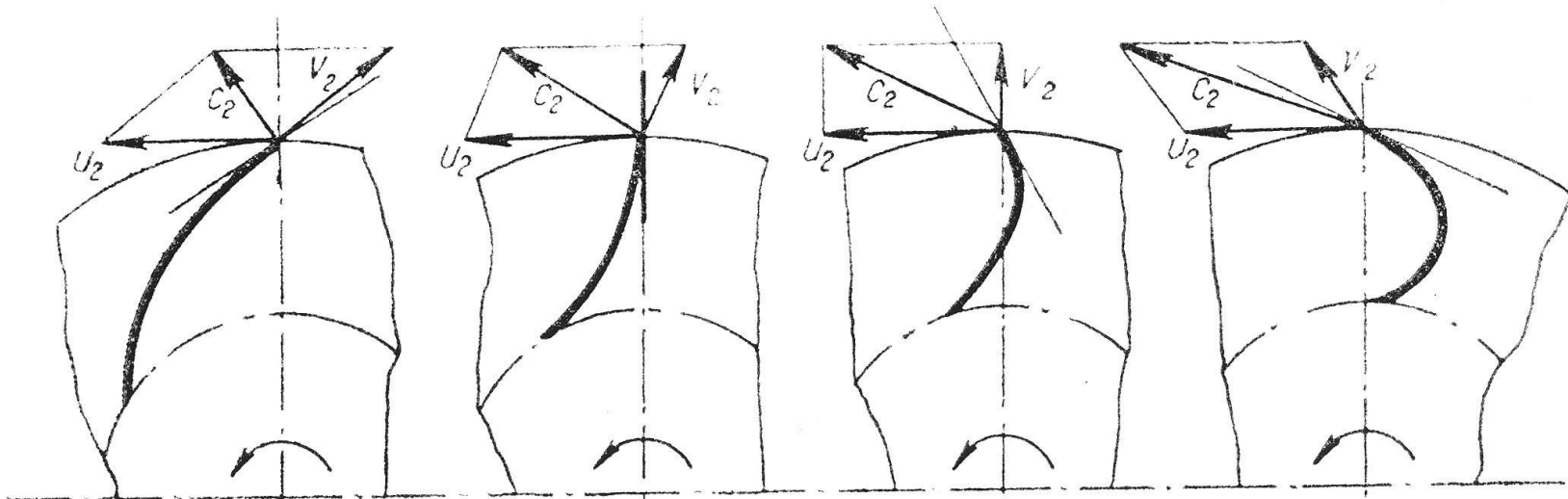
adjunktus

szente@ara.bme.hu

Budapesti Műszaki és  
Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Kar  
Áramlásan Tanszék







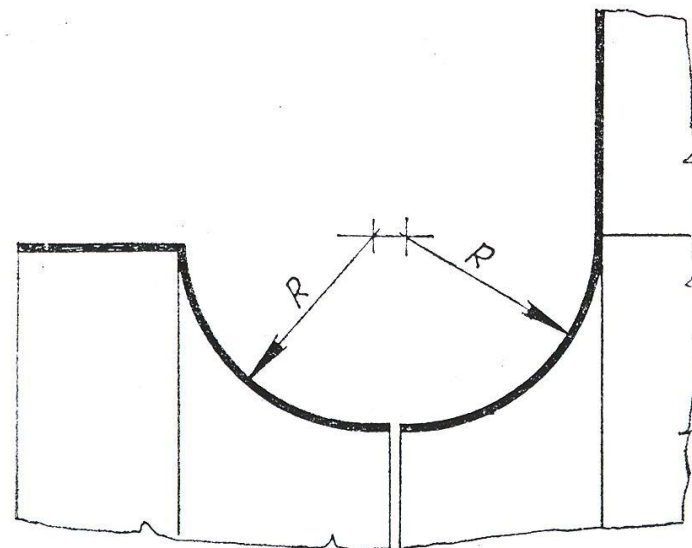
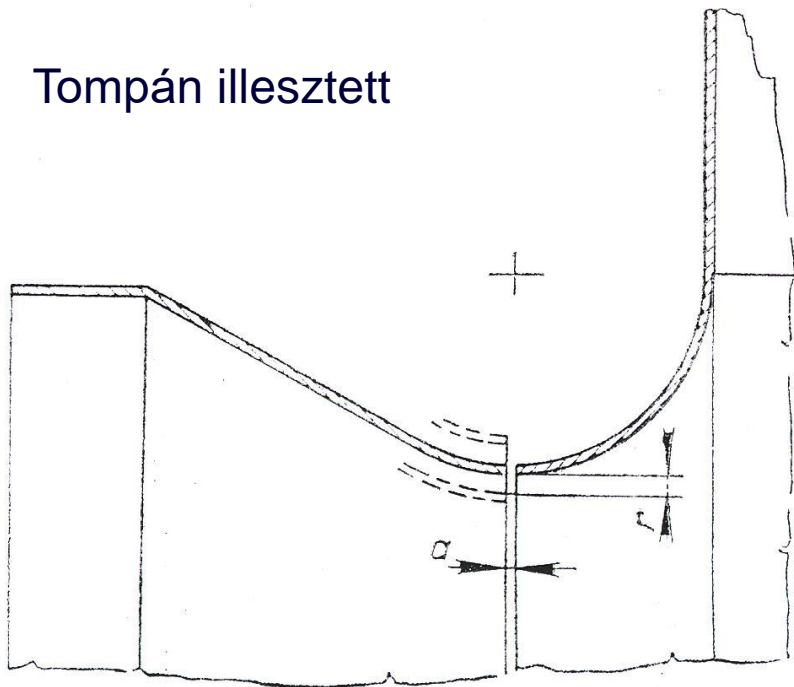
Lapátvég : Hátrahajló  
Kilépő rel seb : Hátrahajló

Radiális  
Hátrahajló

Előrehajló  
Radiális

Előrehajló  
Előrehajló

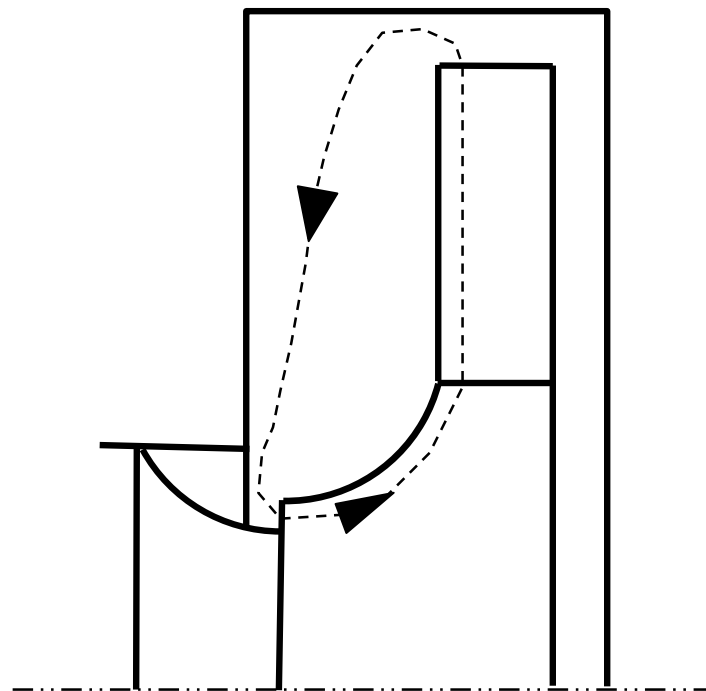
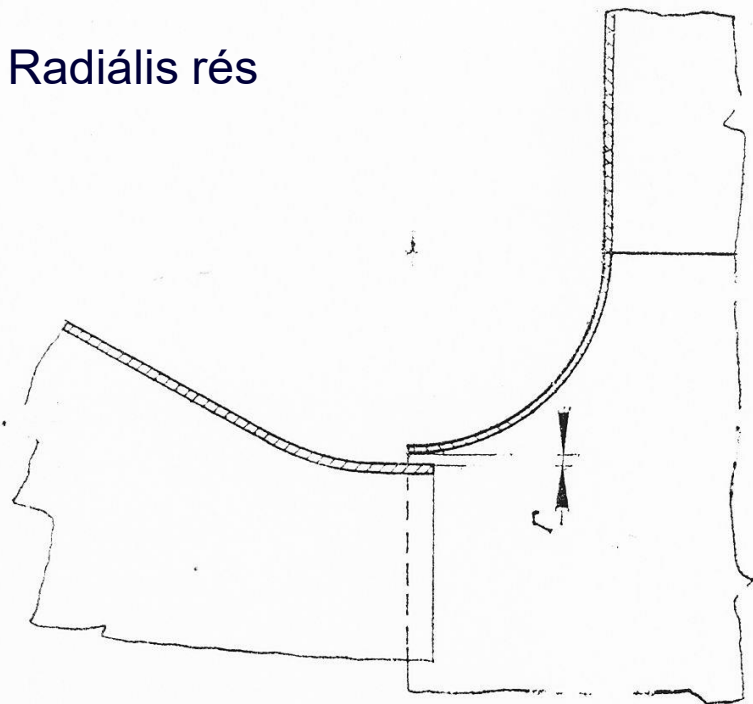
Tompán illesztett



- + Legegyszerűbb megoldás
- Problémák: ha a rés nem körszimmetrikus:
  - az élek nem esnek a tengelyre merőleges síkba
  - a kör alakú élek eltérnek a pontos körtől

# ÁLLÓ- ÉS FORGÓRÉSZ ILLESZTÉSE

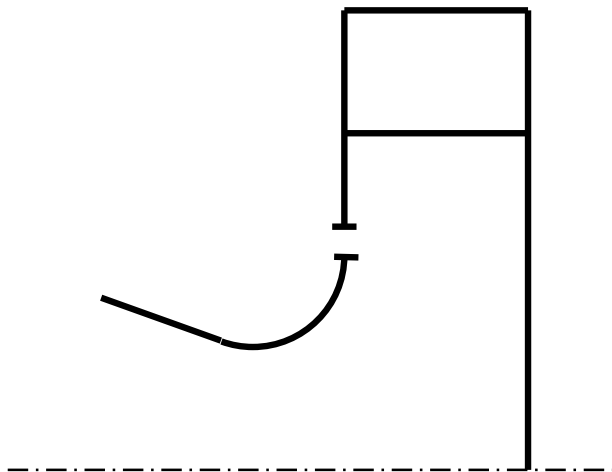
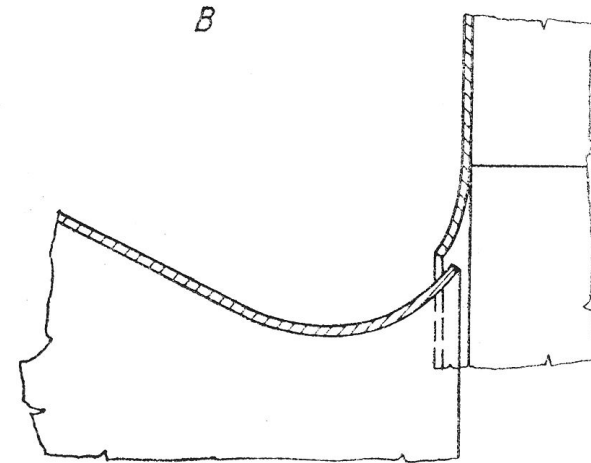
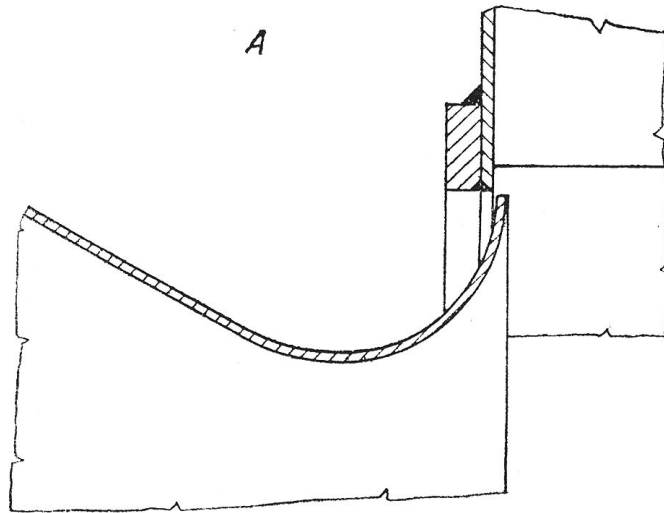
Radiális rés



- + a radiális résben kialakuló beáramlás nagy impulzusú légsugara frissíti a határréteget
- + a tengely axiális irányú hőtágulása nem változtatja meg a rés szabad keresztmetszetét
- elkészítése a tompa illesztésnél nagyobb pontosságot igényel



## Axiális + radiális rés



Ha az axiális hőtágulás minimális, a beömlési lekerekítés részben vagy egészben a szívókúpon lehet.

+ Határréteg frissítő hatás.

# ELŐ- ÉS HÁTLAG, CSIGAHÁZ

Elő- és hátlap:

- Párhuzamos
- Kúpos előlap (növekvő sugár miatti lassulás ellen)

Csigaház:

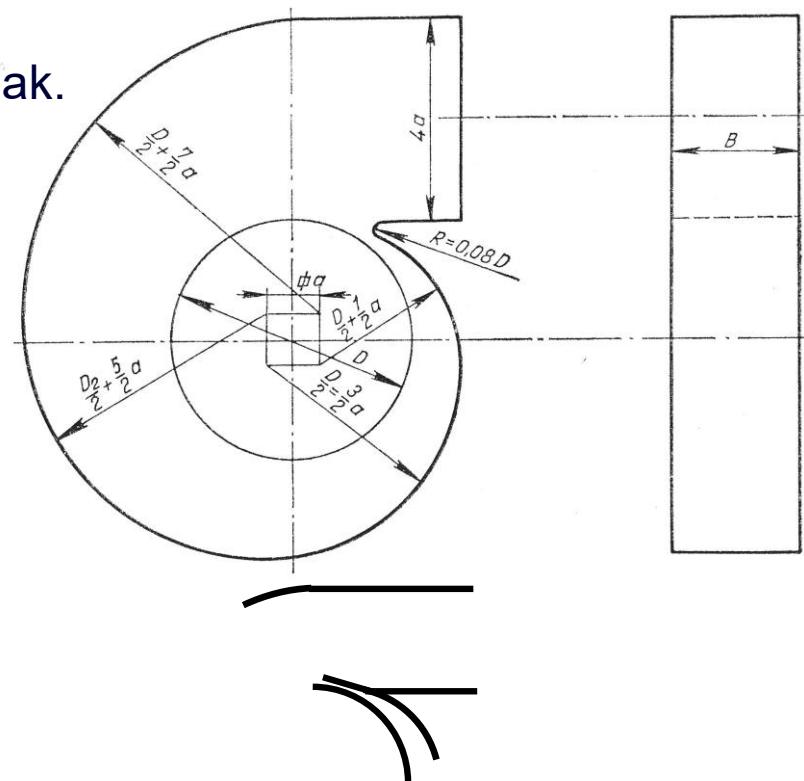
- Rendszerint  $v \sim 1/r$  (párhuzamos elő- és hátlap)
- Közelítés:  $v_u \sim 1/r$  (súrlódásmentes potenciális áramlás)

Vagyis: áramvonalak logaritmikus spirál alakúak.  
Csigaház kontúrja ehhez illeszkedjen.

De: ez csak közelítés, az optimális alak eltér.

Nyelvet beviszik a kilépő keresztmetszetbe:

- + Szándékos leválás, diffúzorhatás
- Fokozott zajkeltés



# A JÁRÓKERÉK-LAPÁTOZÁS JELLEGZETESSÉGEI

Abszolút:

- Instacionárius
- Örvénymentes (Thomson t.)

Relatív:

- Stacionárius
- Örvényes

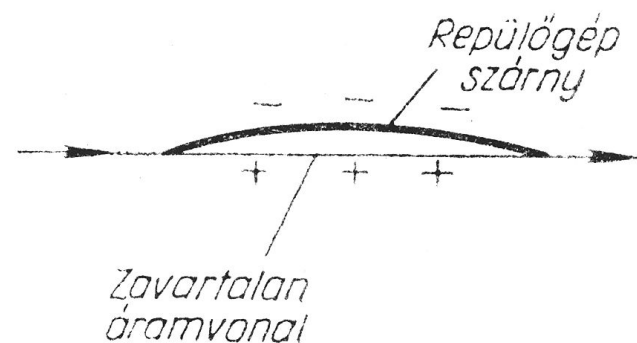
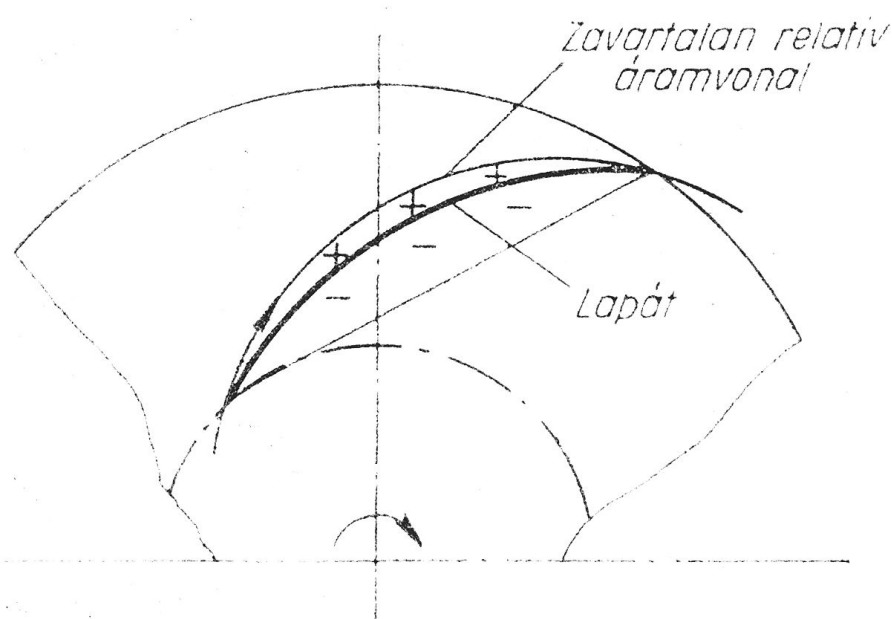
Belépő sebesség rendszerint perdületmentes (kivétel: pl. előterelő).

Meridián (radiális) sebesség a kontinuitásból:  $q_v = D_1 \cdot \pi \cdot b_1 \cdot v_{1r} = D_2 \cdot \pi \cdot b_2 \cdot v_{2r}$

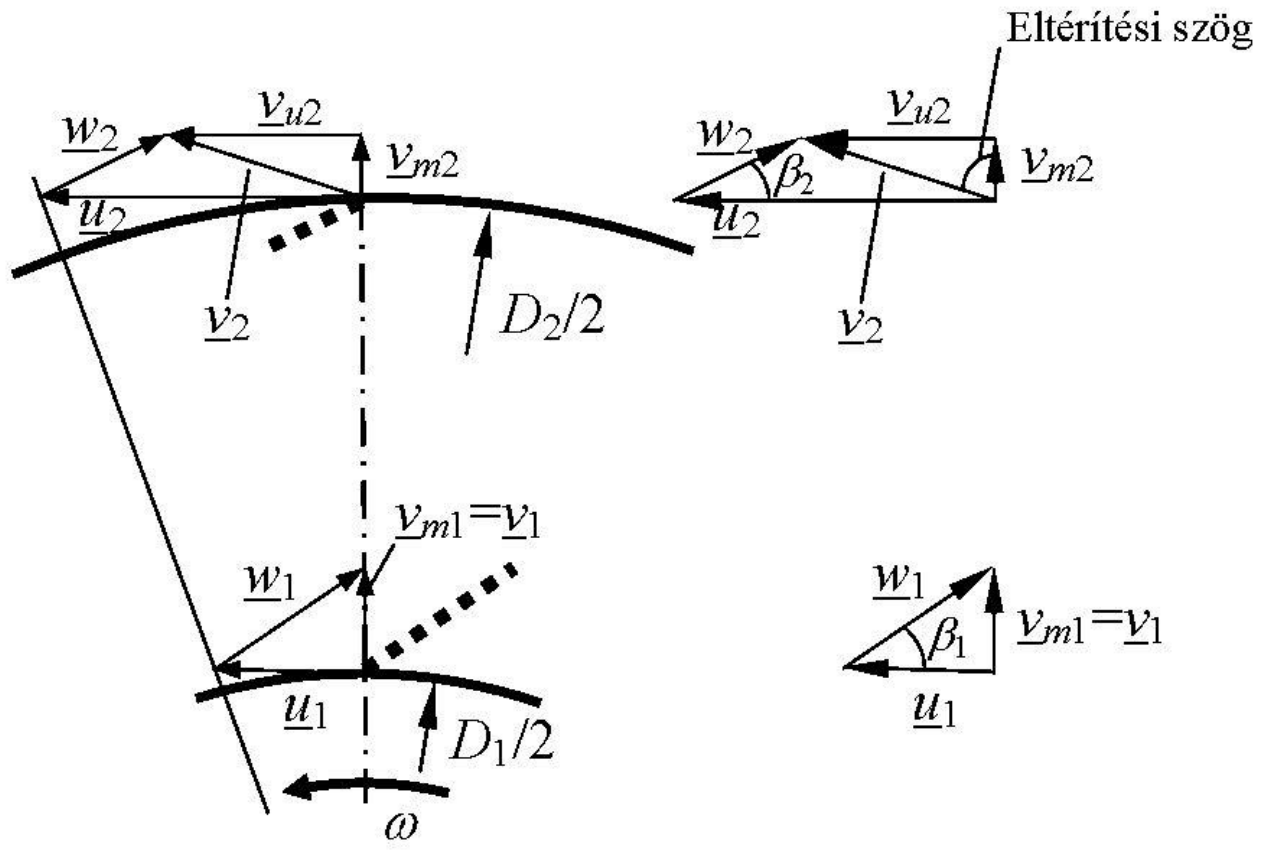
Végtelen sok, végtelen vékony lapát: áramvonalak párhuzamosak a lapáttal.

Véges  $\sim$ : nem párhuzamos.

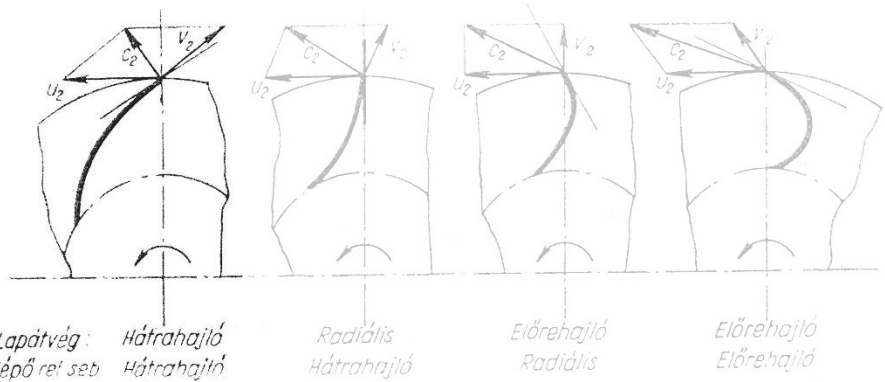
Ívelt középvonal a nyomáskülönbséghez.

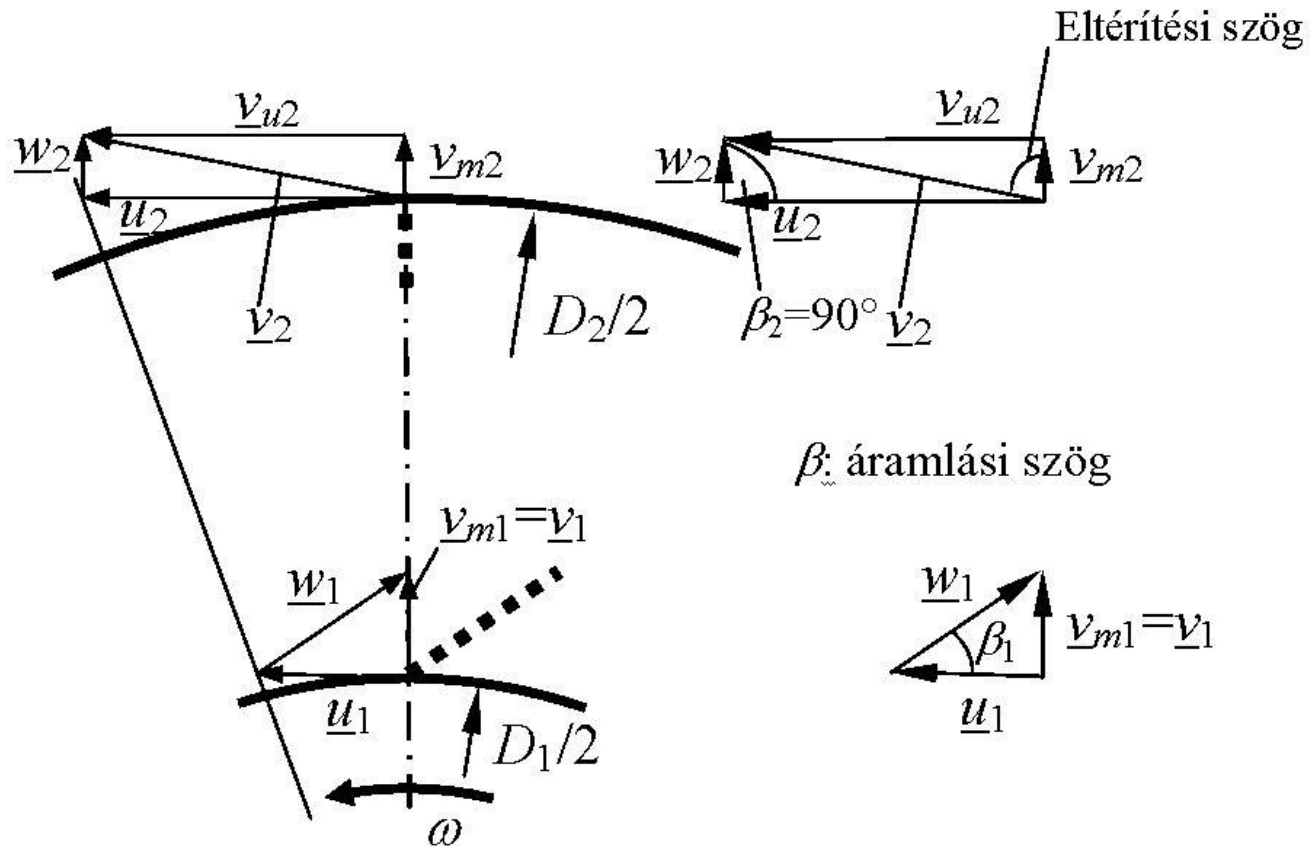




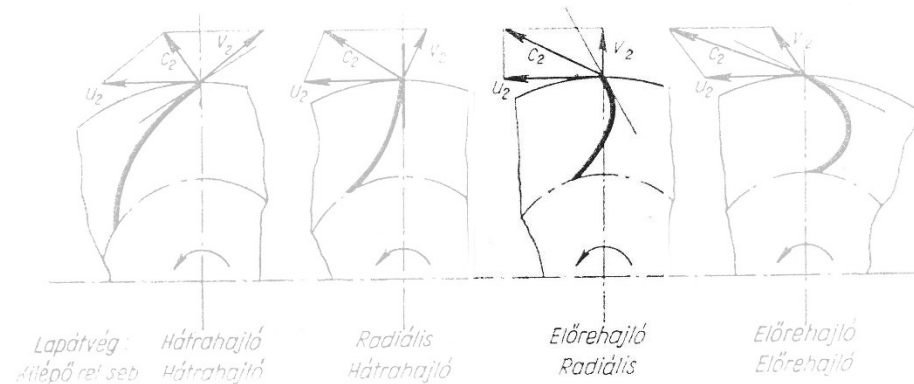


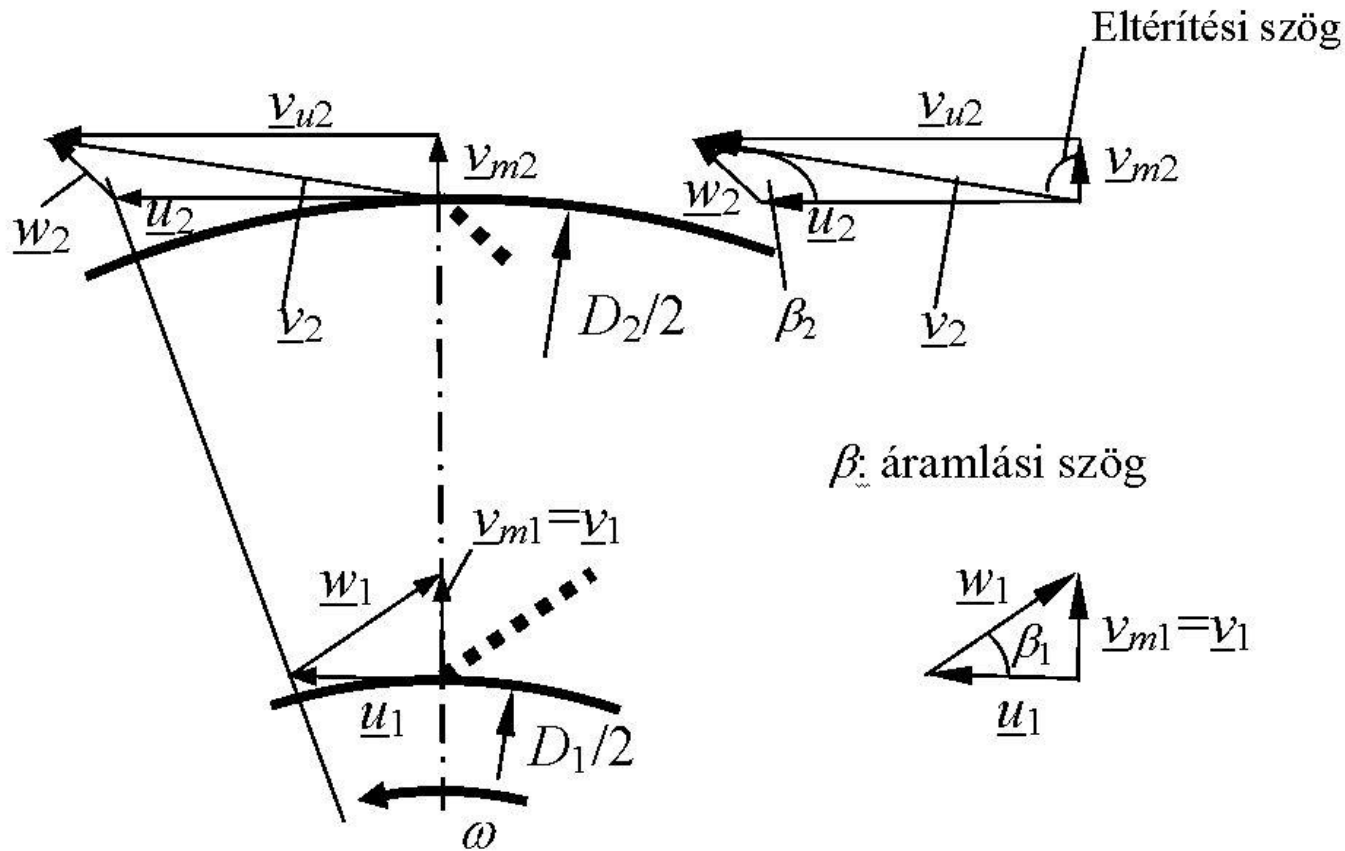
Hátrahajló



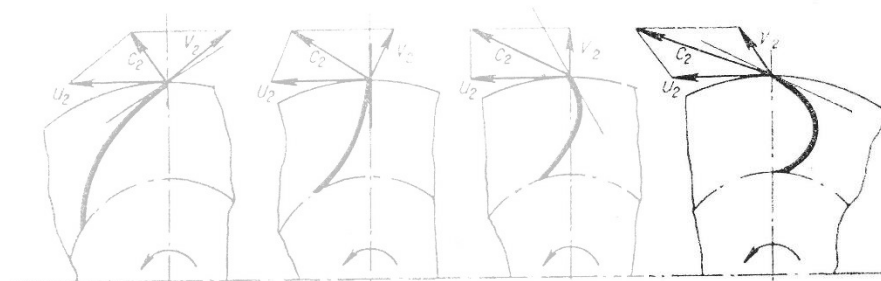


Radiális





Előrehajló

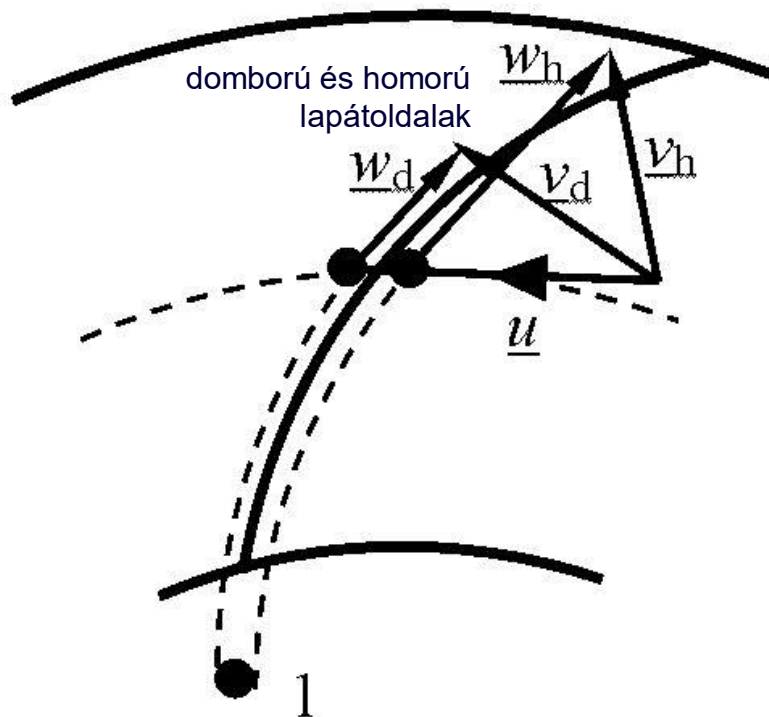


Lapátvég: Hátrahajló      Radiális      Előrehajló      Előrehajló  
 Kiépőrei seb: Hátrahajló      Hátrahajló      Radiális      Előrehajló

Hogyan dönthető el szemrevételezéssel, milyen lapátozásról van szó?

- Radiális: a házba benézve a kilépő élek alapján
- Előrehajló:
  - kisebb húr hossz
  - jelentősen nagyobb lapátszám
  - az elő- és hátlap párhuzamos
  - körív-lemezlapát

Megnevezés	Hátrahajló lapátozású járókerék	Előrehajló lapátozású járókerék
Átmérőviszony $D_2/D_1$	1.3 – 1.8	1.1 – 1.3
Lapátszám $N$	6 - 12	25 - 48
Lapátszélesség $b_1/b_2$	1.0 – 1.5	1.0



Feltételezés: végtelenül vékony lapát

$$\underline{v} = \underline{w} + \underline{u}$$

$$\underline{rot} \underline{v} = \underline{rot} \underline{w} + \underline{rot} \underline{u} = \underline{rot} \underline{w} + 2\underline{\omega}$$

Örvénymentes beszívás → a lapátcsatornában is örvénymentes:

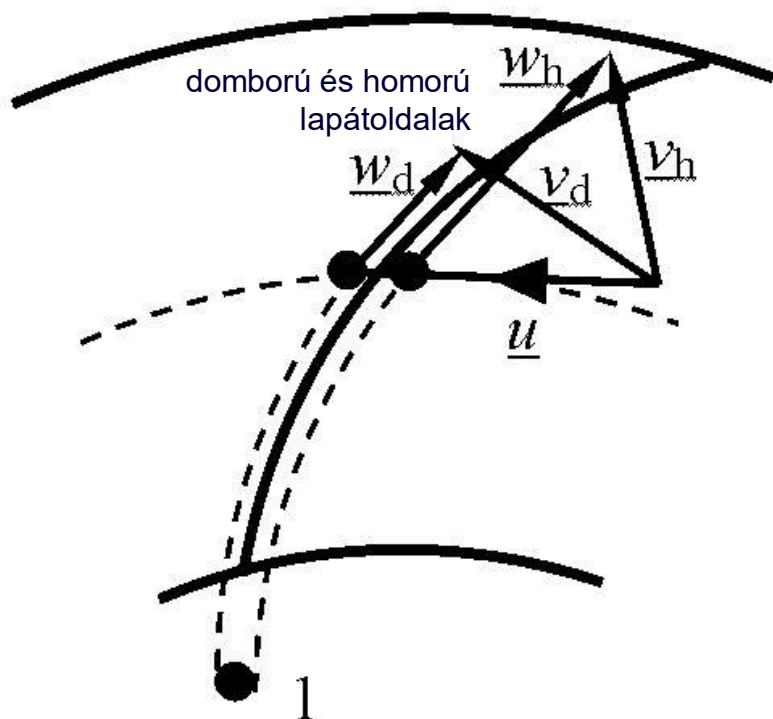
$$\underline{rot} \underline{v} = \underline{0} = \underline{rot} \underline{w} + 2\underline{\omega}$$

$$\underline{rot} \underline{w} = -2\underline{\omega}$$

Ezáltal:

$$-\underline{w} \times \underline{rot} \underline{w} = 2\underline{w} \times \underline{\omega} = \underline{g}_{Coriolis}$$

így a vonatkozó vonalintegrálok kiejtik egymást.



Bernoulli:

$$p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 + \rho U_1 = p_d + \frac{\rho}{2} w_d^2 + \rho U_d$$

$$p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 + \rho U_1 = p_h + \frac{\rho}{2} w_h^2 + \rho U_h$$

Egymásból kivonva:

$$p_d - p_h = \frac{\rho}{2} (w_h^2 - w_d^2)$$

A lapát működéséből adódóan:

$$p_d > p_h \quad \text{ezért} \quad w_h > w_d$$

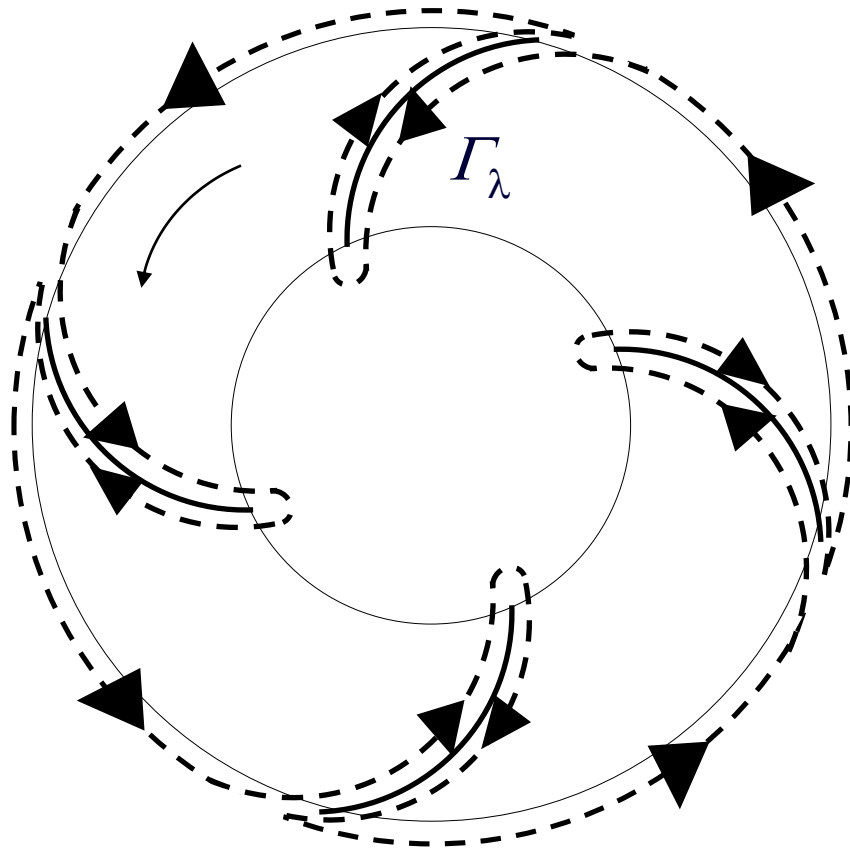
vagyis a lapát szingularitásként működik (sebességugrás).

Ezért a cirkuláció:

$$\Gamma_\ell = \oint \underline{v} ds \neq 0$$



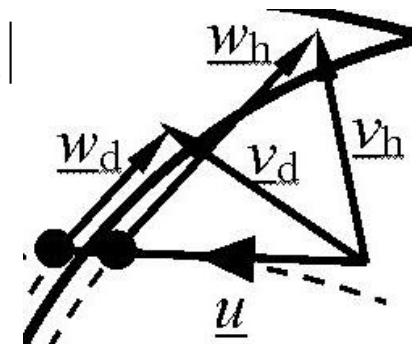
$$\Delta p_{\text{oid}} = \rho(v_{2u}u_2 - v_{1u}u_1)$$



Stokes alapján:  $\oint \underline{w} ds = \int \underline{\text{rot}} \underline{w} dA$

$$-|w_{2u}|2r_2\pi - N\Gamma_\ell = -2\omega(r_2^2\pi - NA_\ell)$$

mivel  $|w_{2u}| = |u_2 - v_{2u}|$



+ Lapátvastagság elhanyagolása

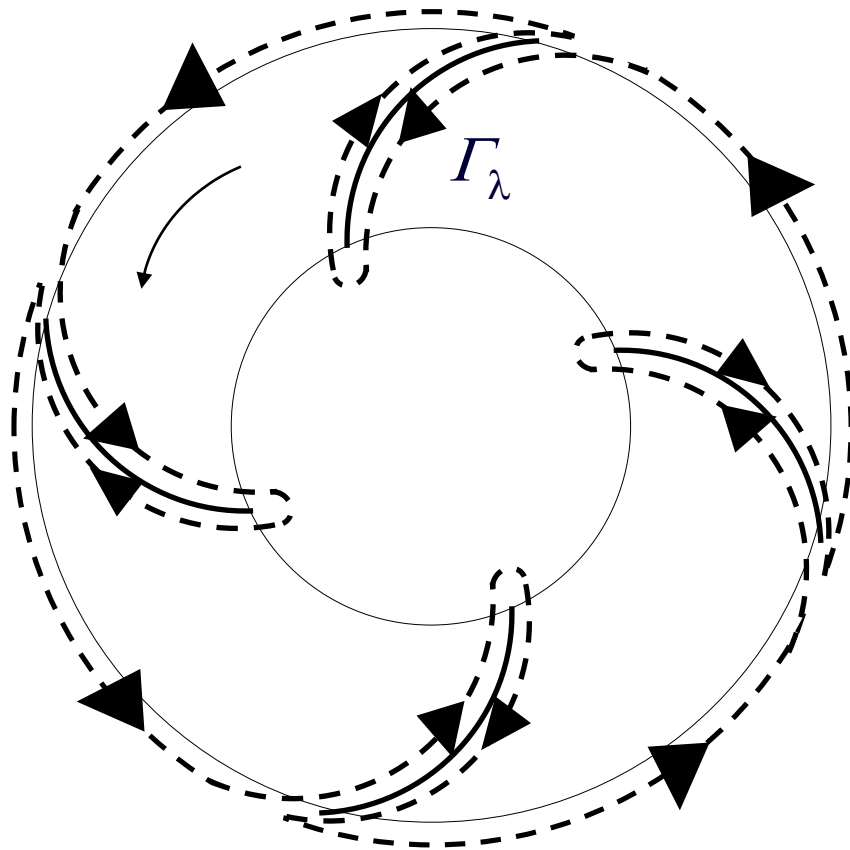
$$u_2 2r_2\pi - v_{2u} 2r_2\pi + N\Gamma_\ell = 2\omega r_2^2\pi$$

mivel  $u_2 = \omega r_2$

$$v_{2u} 2r_2\pi = N\Gamma_\ell$$



$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho(v_{2u}u_2 - v_{1u}u_1)$$



$$v_{2u} 2r_2 \pi = N\Gamma_\ell \quad / \cdot \rho\omega/2\pi$$

$$\rho v_{2u} u_2 = \frac{\rho\omega}{2\pi} N\Gamma_\ell$$

$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho v_{2u} u_2 = \frac{\rho\omega}{2\pi} N\Gamma_\ell$$

Vagyis ahhoz, hogy a lapátozás össznyomás-növekedést hozzon létre, a lapátok körül cirkulációnak kell megvalósulnia.





## A lapáttervezés fejlődésének lépései

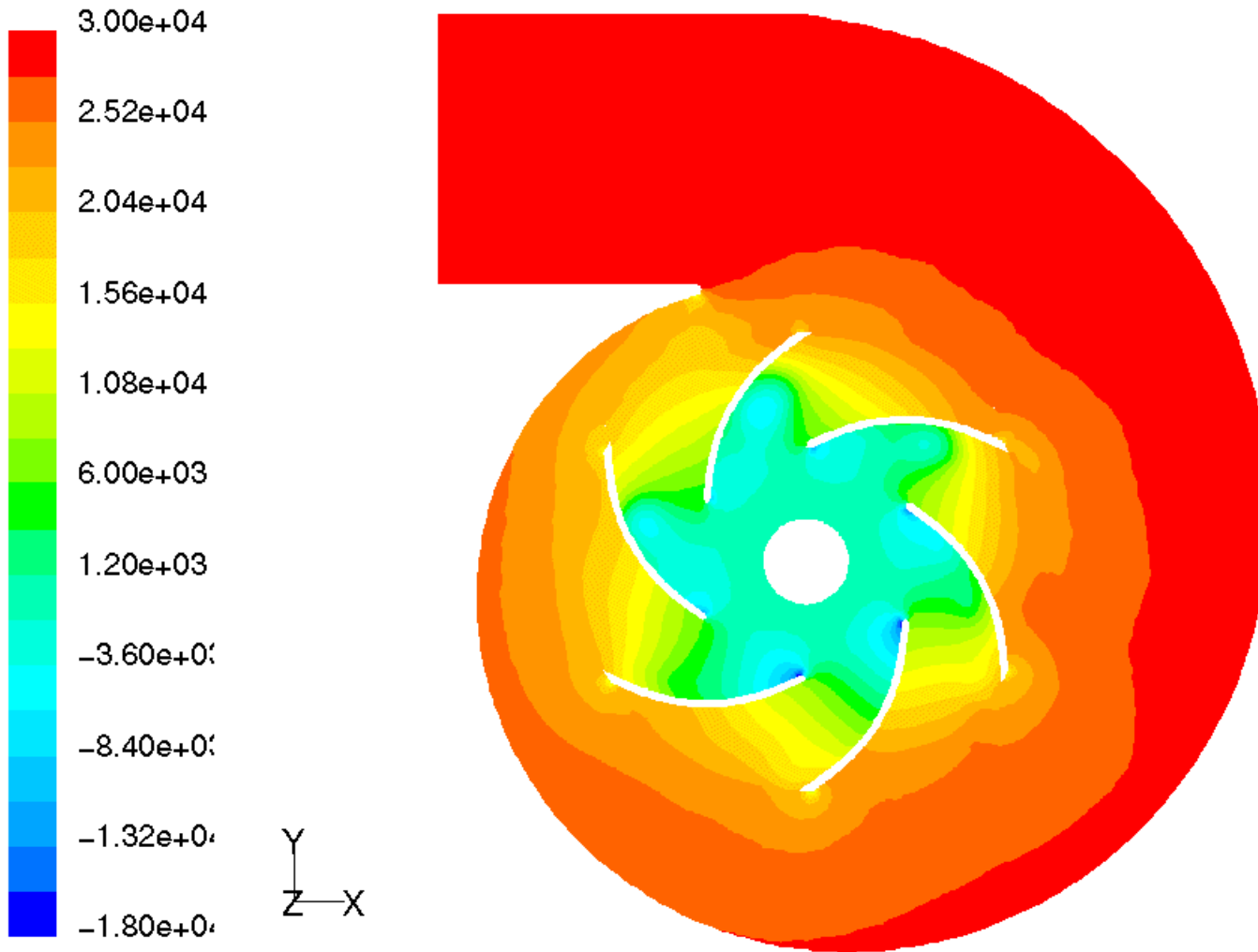
A/ Alaptervezés

B/ + Tapasztalati korrekciók

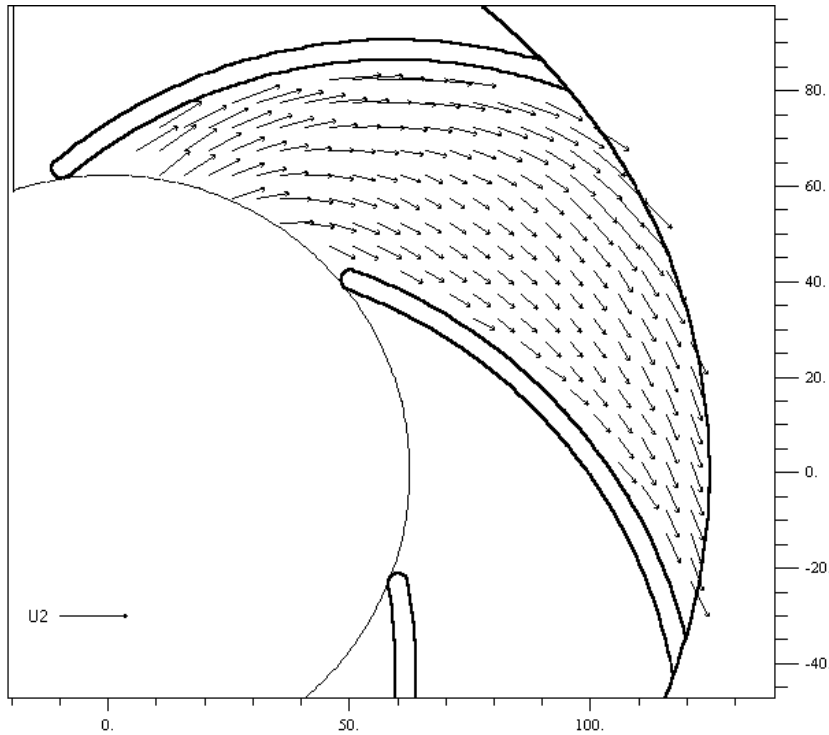
C/ Szingularitások módszere

D/ + A súrlódás hatásának figyelembe vétele

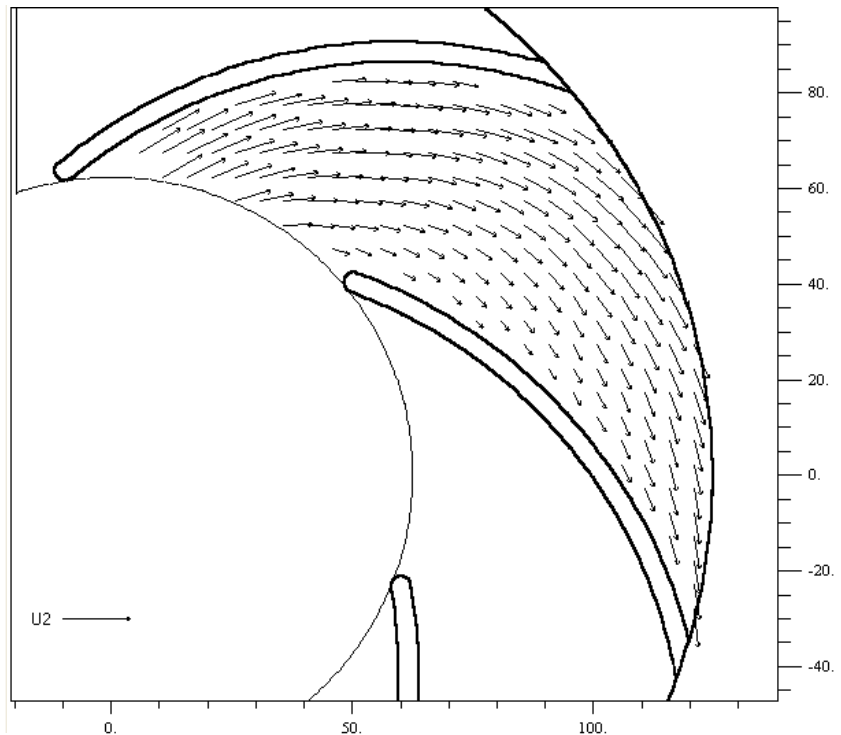
E/ Jelenlegi gyakorlat: CFD alapú tervezés



Contours of Static Pressure (pascal) (Time=1.5000e-01)



**PIV mérés**



**FLUENT szimuláció**



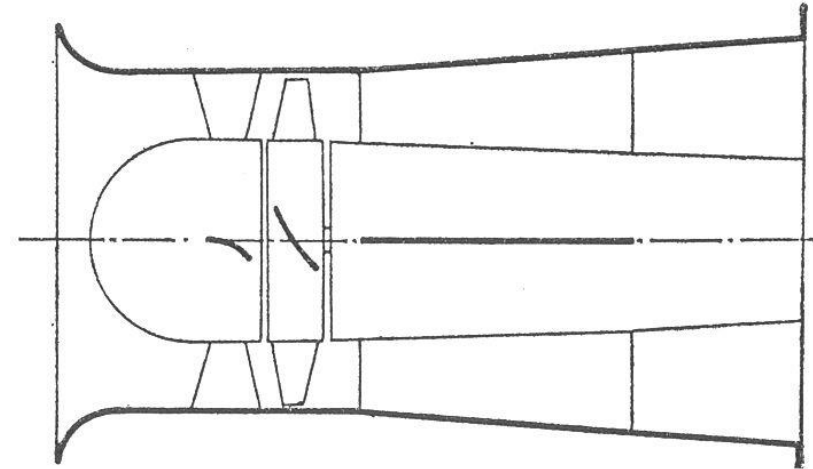
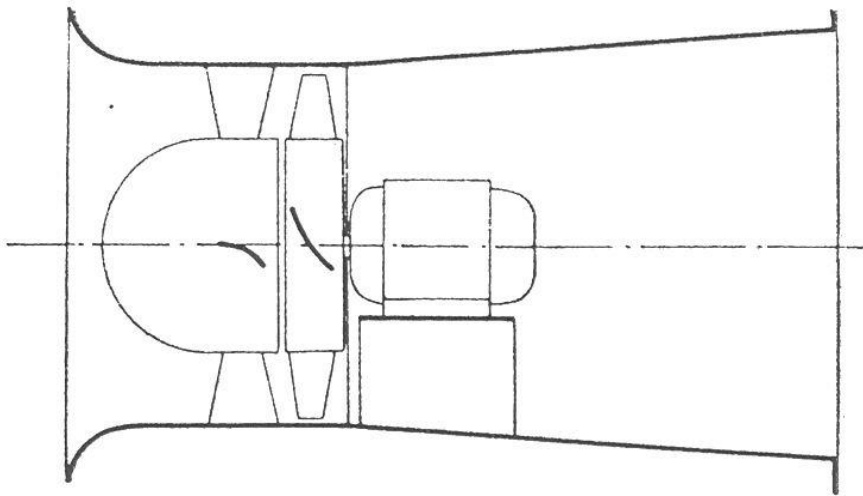
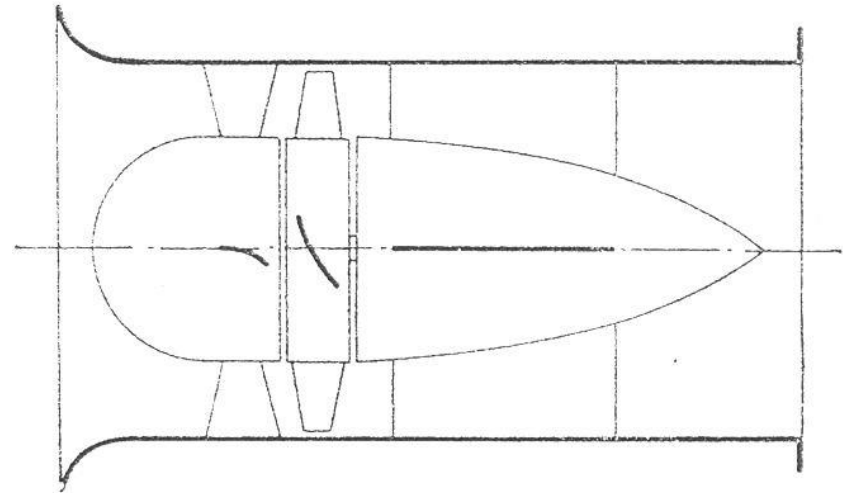
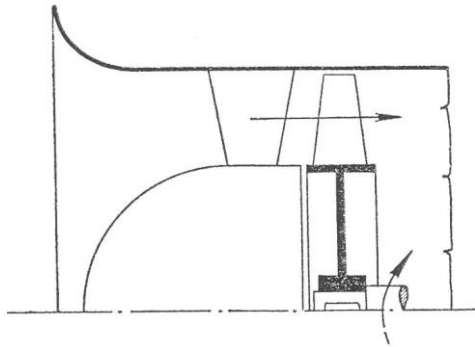
## Konstrukciók

- Lemezlapátos – Profilos lapátos
- Terelő nélküli – Elő- vagy utóterelős
- Orrkúppal (forgó vagy álló) – Orrkúp nélkül
- Légréssel – légrés nélkül
- Közvetlen – közvetett hajtású
- Diffúzor nélkül – agydiffúzorral és / vagy külső diffúzorral

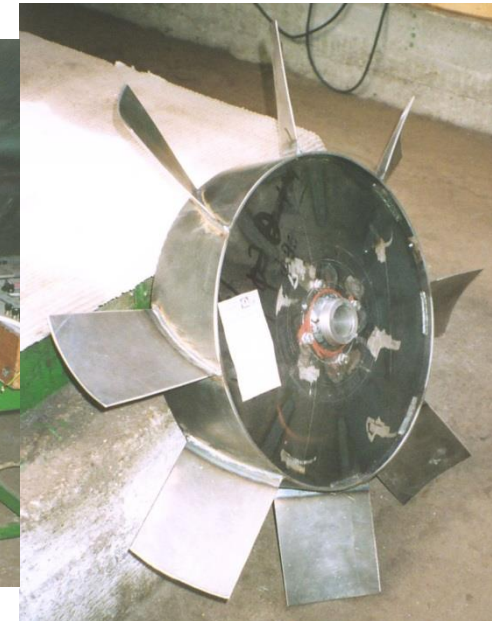
$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho(v_{2u}u_2 - v_{1u}u_1)$$

$$r_1 \approx r_2, u_1 \approx u_2$$

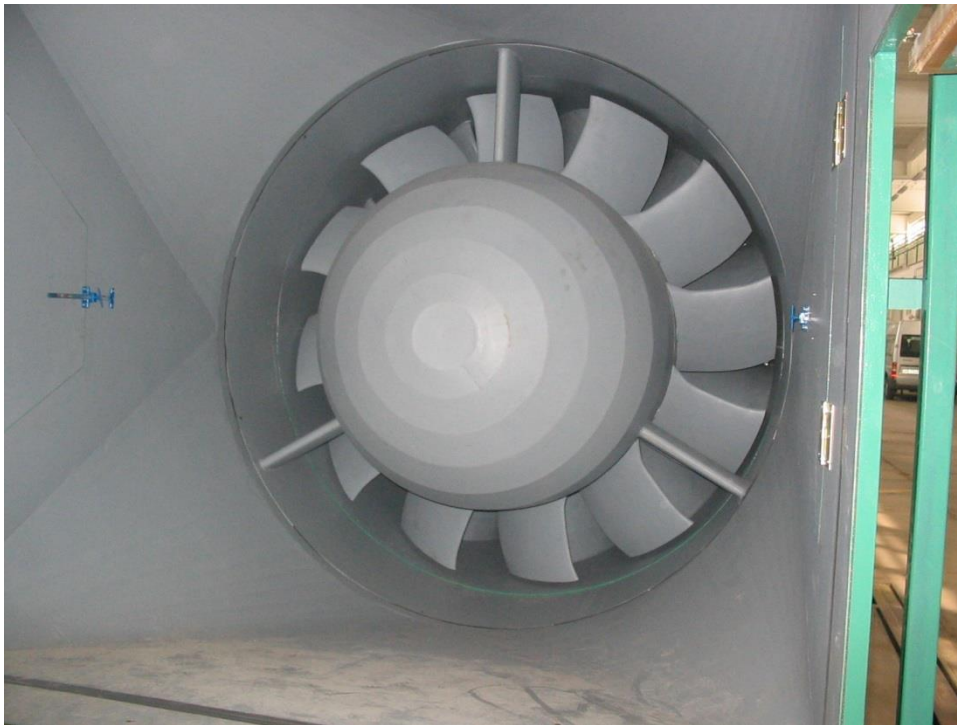
$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho u(v_{2u} - v_{1u}) = \rho u \Delta v_u$$



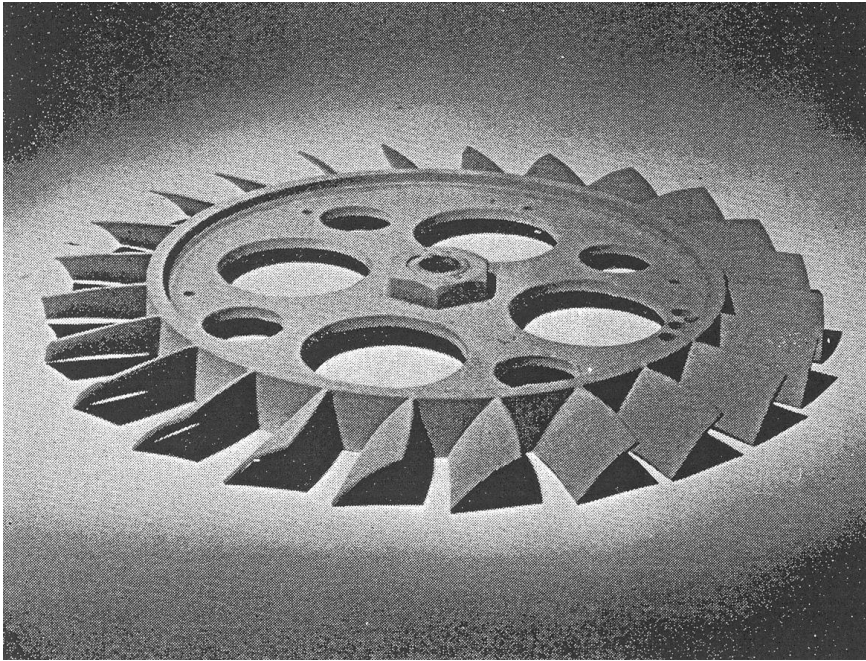
Előterelő elrendezés diffúzor nélkül, agydiffúzorral, külső diffúzorral és agydiffúzor nélkül, külső- és agydiffúzorral.



Lemezlapátos járókerék orrkúppal és orrkúp nélkül, közvetlen hajtás, utóterelő

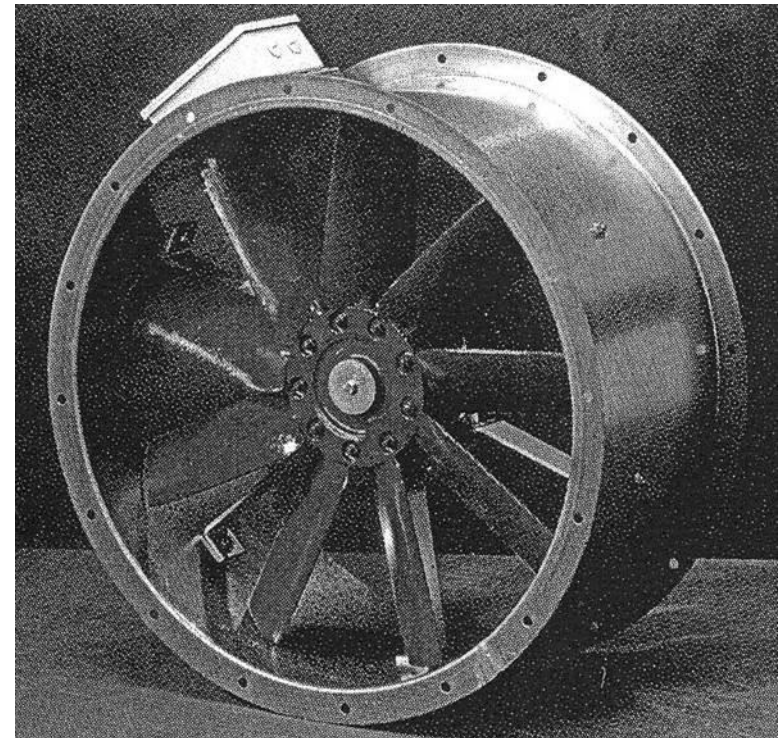


Profilos lapátoszású járókerék orrkúppal,  
közvetett hajtás, profilos lapátoszású utóterelő

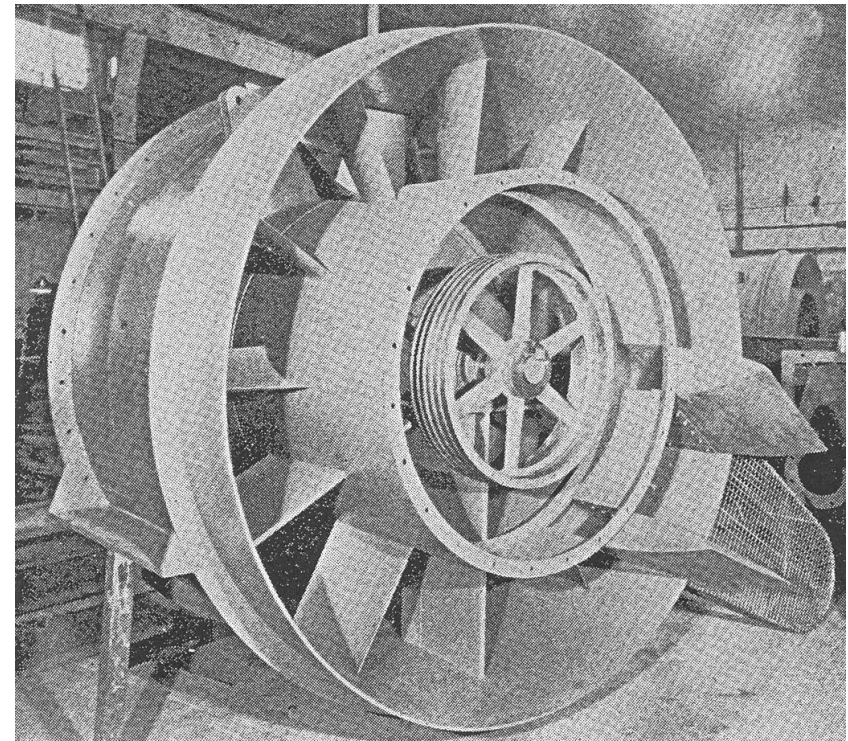
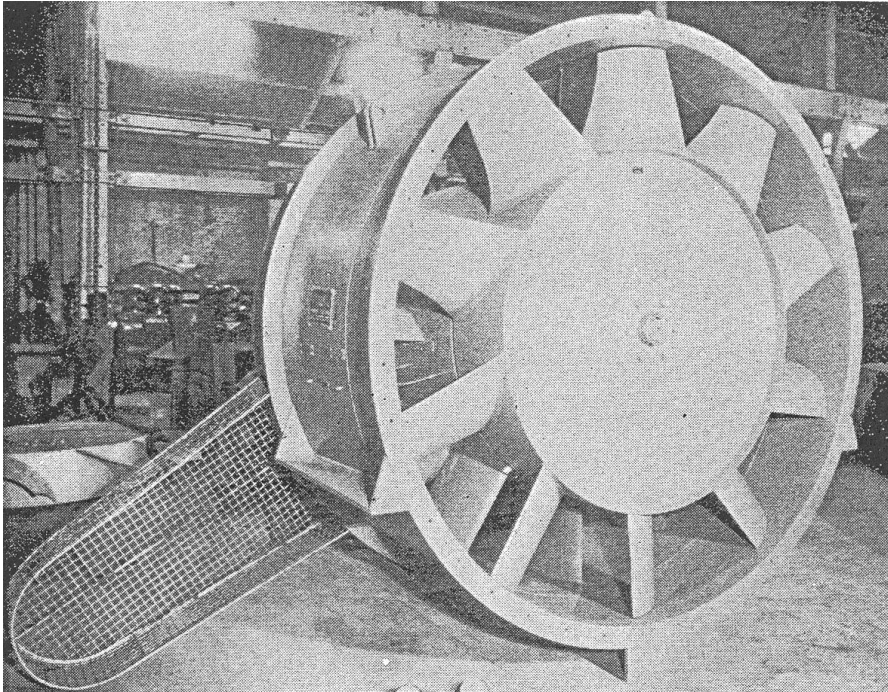


Lemezlapátos járókerék

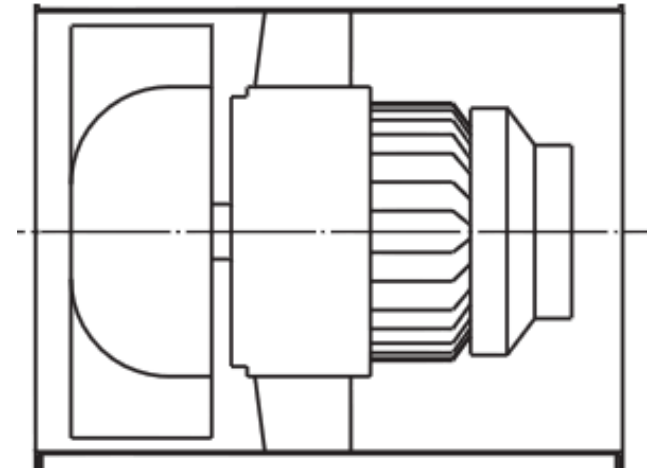
Állítható szögű profilos lapátosú járókerék



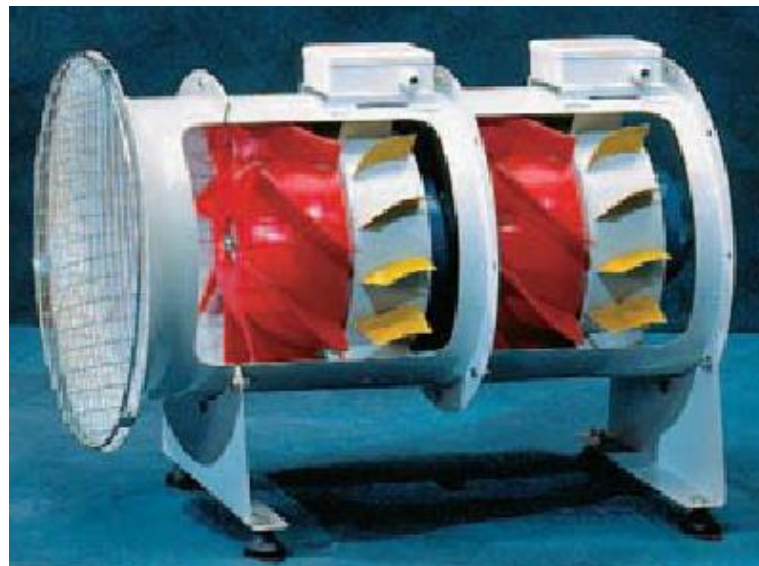


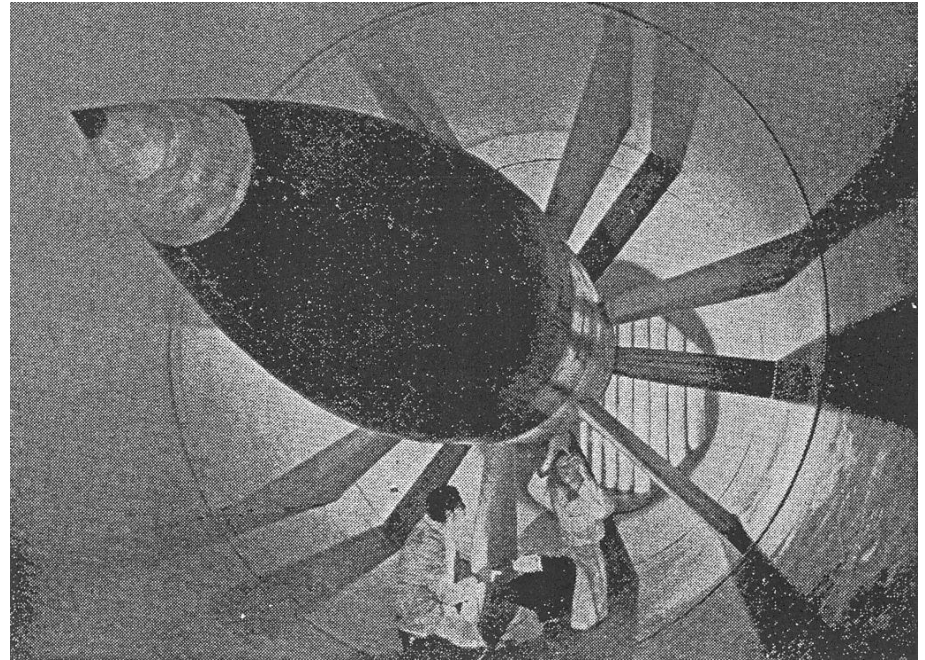
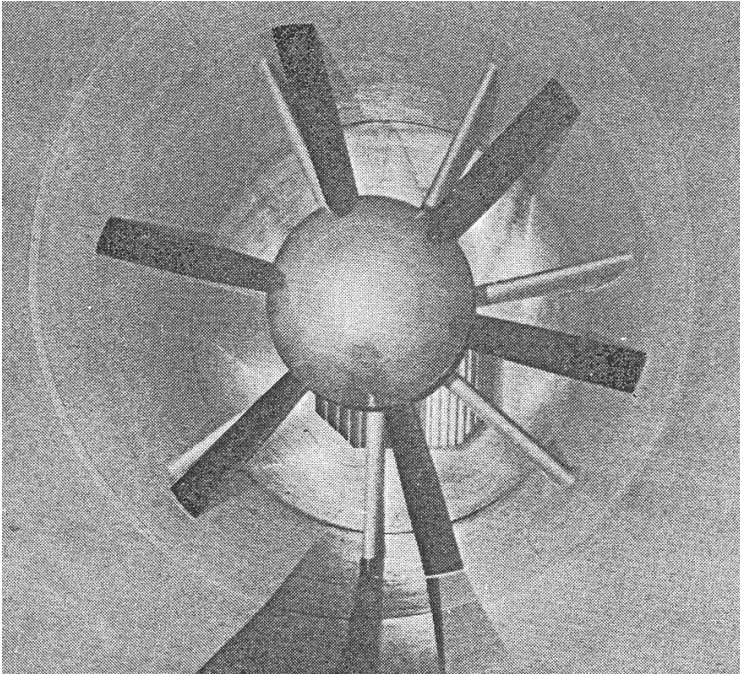


Közvetett hajtású utóterelős ipari ventilátor



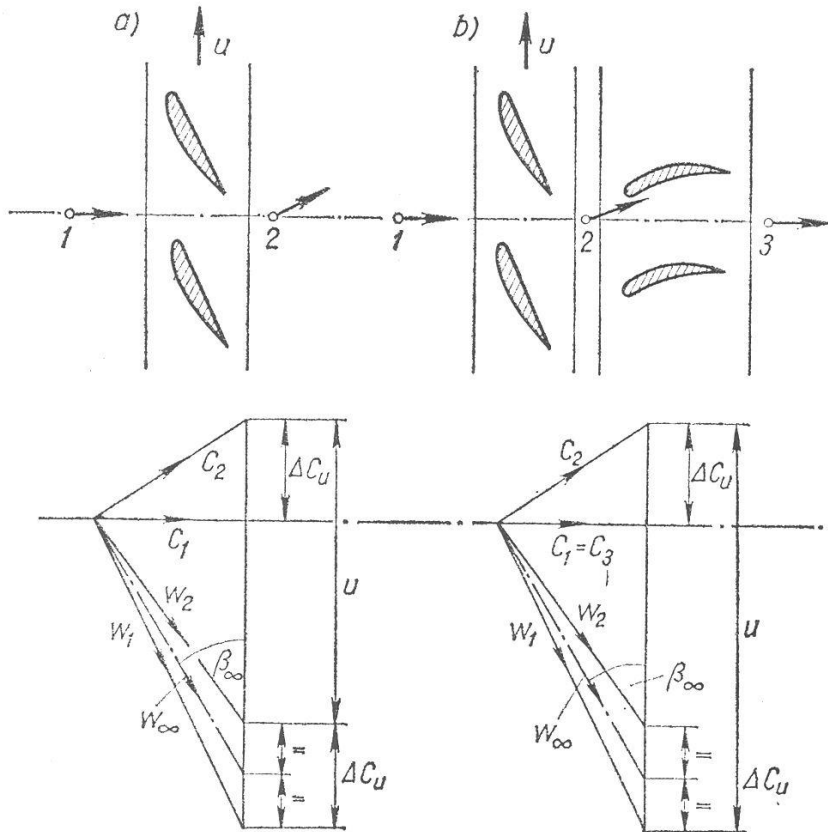
Közvetlen hajtású utóterelő félaxiális ventilátor, egy- és többfokozatú





Közvetlen hajtású szélcsatorna-ventilátor agydiffúzorral

# LAPÁTRÁCS SEBESSÉGI VEKTOROK

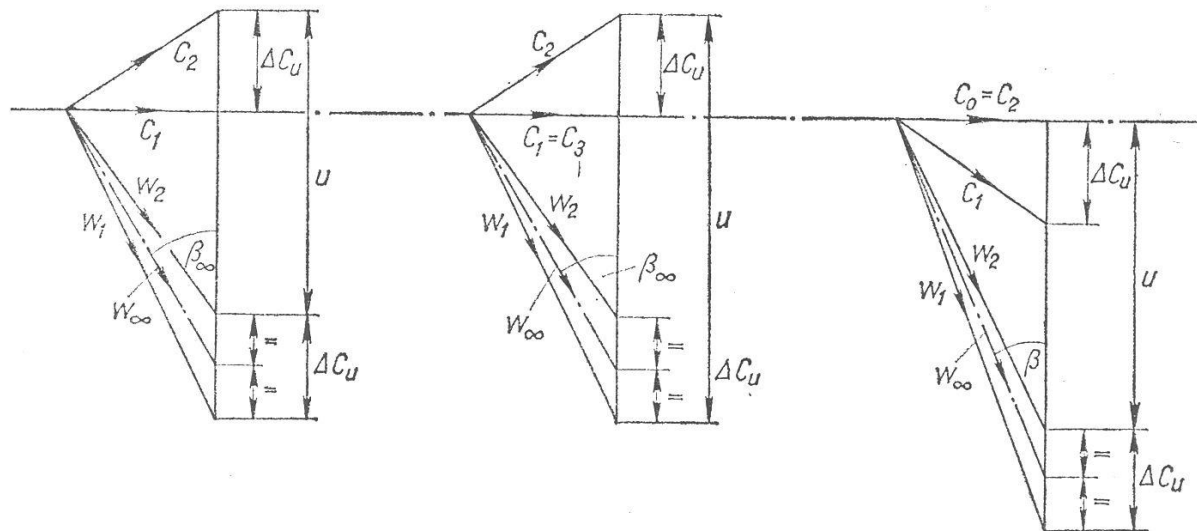
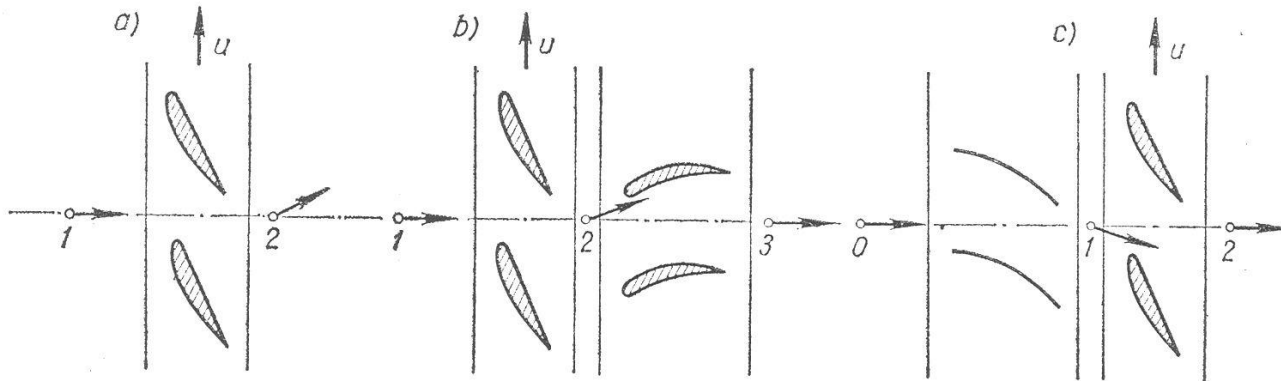


Járókerék lapátrács  
lassító:  $w_2 < w_1$

Utóterelő lapátrács  
lassító:  $c_3 < c_2$

$$w_\infty^2 = c_1^2 + \left( u - \frac{\Delta c_u}{2} \right)^2 \quad \beta_\infty = \arctg \frac{c_1}{u - \frac{\Delta c_u}{2}}$$

# LAPÁTRÁCS SEBESSÉGI VEKTOROK



$$w_{\infty}^2 = c_0^2 + \left( u + \frac{\Delta c_u}{2} \right)^2$$

$$\beta_{\infty} = \arctan \frac{c_0}{u + \frac{\Delta c_u}{2}}$$

Előterelő lapátrács  
gyorsító:  $c_1 > c_0$

Reakciófok:  $\tau = \Delta p_{st} / \Delta p_{\ddot{o}}$

Utóterelős elrendezésre

$$\tau = (\Delta p_{st \text{ járókerék}} + \Delta p_{st \text{ utóterelő}}) / \Delta p_{st \text{ összes}}$$

$$\tau_{jk} < 1$$

Előterelős elrendezésre

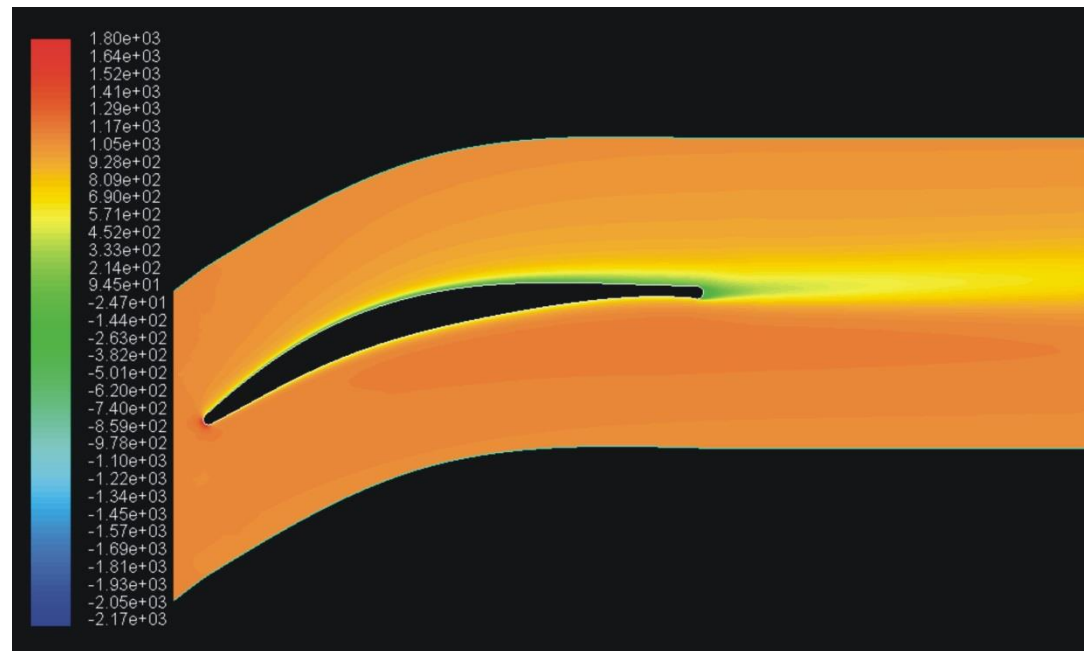
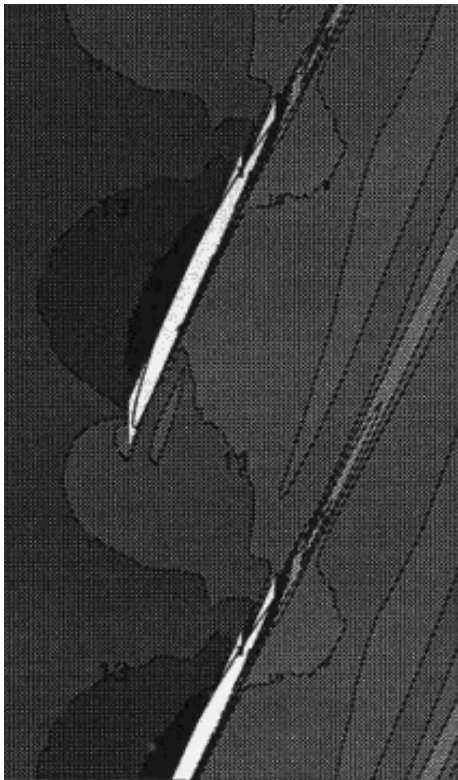
$$\tau = (\Delta p_{st \text{ járókerék}} - \Delta p_{st \text{ előterelő}}) / \Delta p_{st \text{ összes}}$$

$$\tau_{jk} > 1$$

De:  $w_{\infty}$  nagyobb  $\rightarrow$  adott  $u$ -val nagyobb  $\Delta p_{\ddot{o}}$



Járókerék súrlódási vesztesége: elsősorban a szívott lapátoldal lassuló szakaszán, a határrétegben.  
Többnyire 5% alatt



## Járókerék súrlódási vesztesége (profilveszteség)

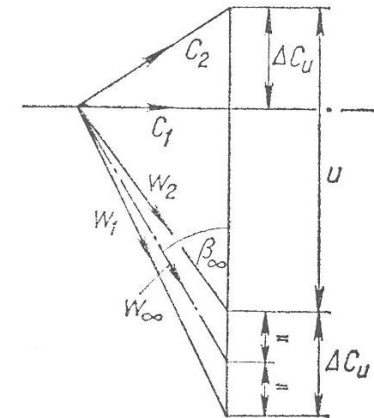
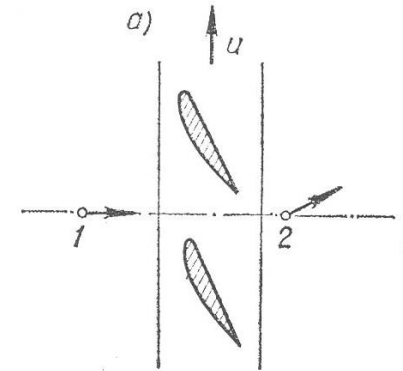
$$\Delta p_{\text{öid}} = \rho u (v_{2u} - v_{1u}) = \rho u \Delta v_u$$

$$\frac{\Delta p'_{jk}}{\Delta p_{\text{öid}}} = \frac{w_{\infty m}}{u_m} \frac{1}{\sin(\beta_{\infty m} + \delta)} \frac{c_{em}}{c_{fm}}$$

$c_e$  : ellenállástényező

$c_f$  : felhajtóerő-tényező

Veszteségek számítása a középsugáron (közelítés)

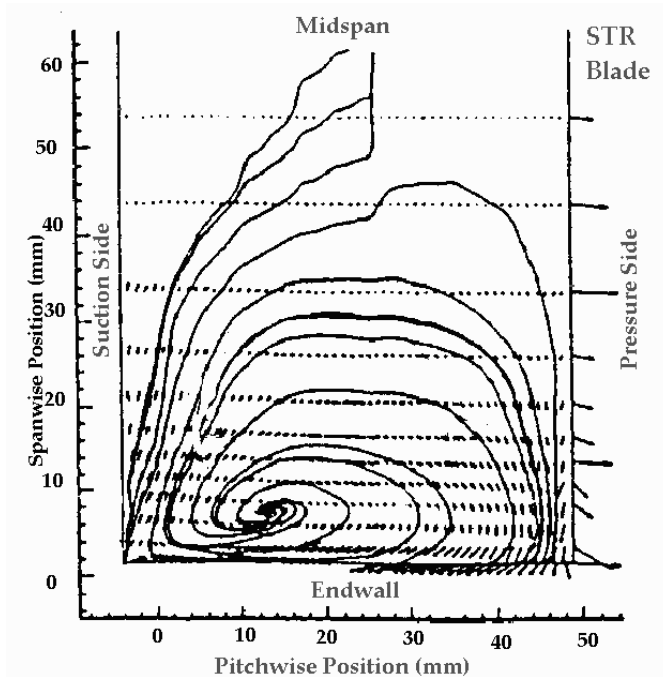


$$\delta = \frac{D}{D_{\text{von}}} = \frac{4\sqrt{\Psi_{\text{ö}}}}{\sqrt{\Phi}}$$

átmérőtényező



Szekunder veszteség  
Klasszikus szemlélet:



Kompresszor-lapátrácsban a gyűrűfal közelében kimért szekunder örvény

Korszerűbb szemlélet: a teljes áramlás 3D, a „szekunder áramlások” nincsenek elkülönítve.

Profilos lapátozásnál

$$c_{esz} = 0.018 c_f^2$$

Ívelt lemezlapátozásnál

$$c_{esz} = 0.025 c_f^2$$

$C_{em}$ -hez hozzáadva



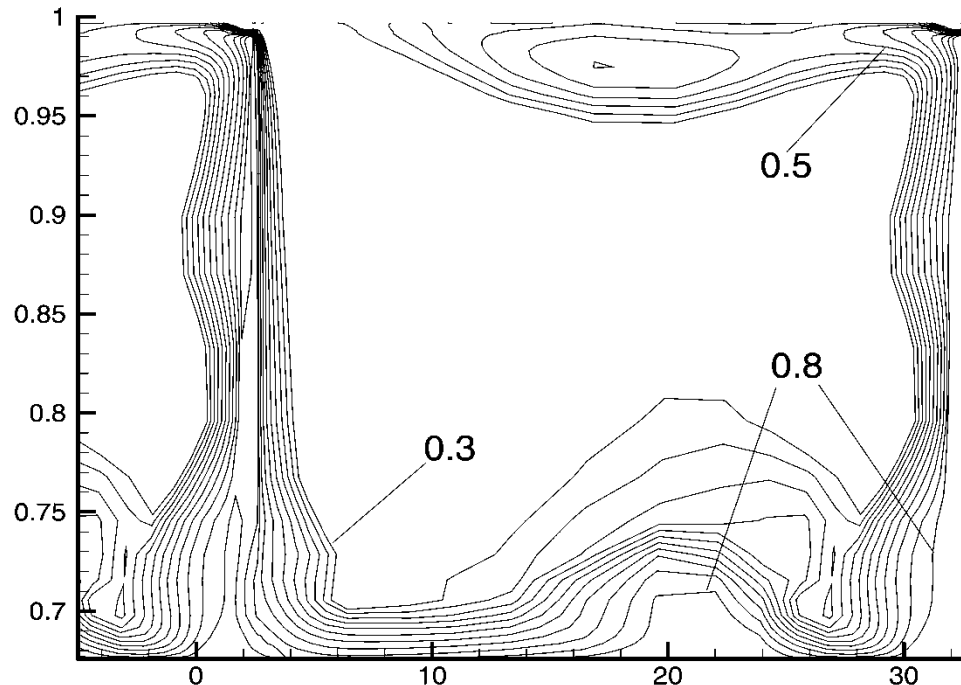
Gyűrűellenállás: agy+burkolat palástján súrlódás.  
Tapasztalati, konstans tényezők.

Profilos lapátozásnál

$$\frac{\Delta p_{gy}}{\Delta p_{oid}} = 0.02$$

Ívelt lemezlapátozásnál

$$\frac{\Delta p_{gy}}{\Delta p_{oid}} = 0.03$$

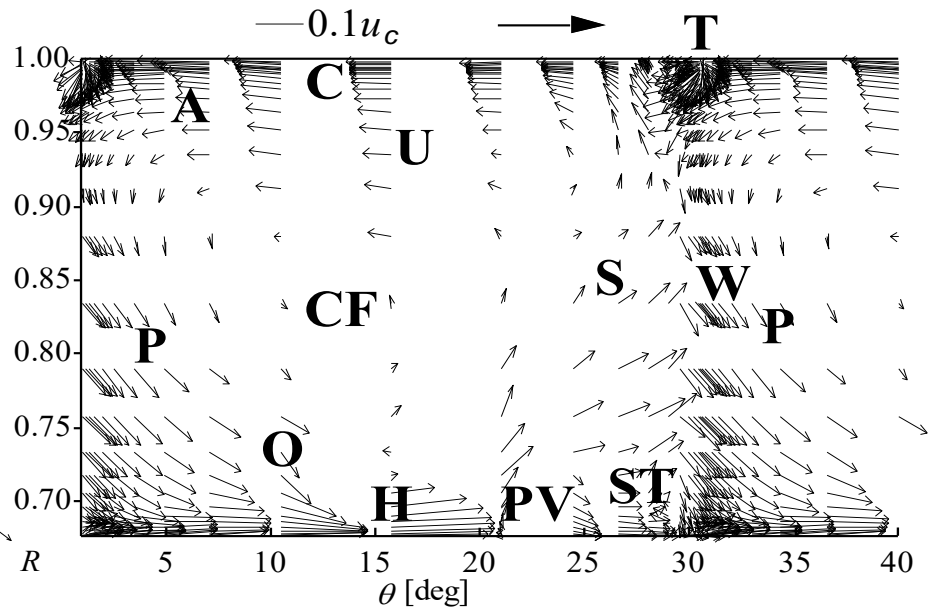
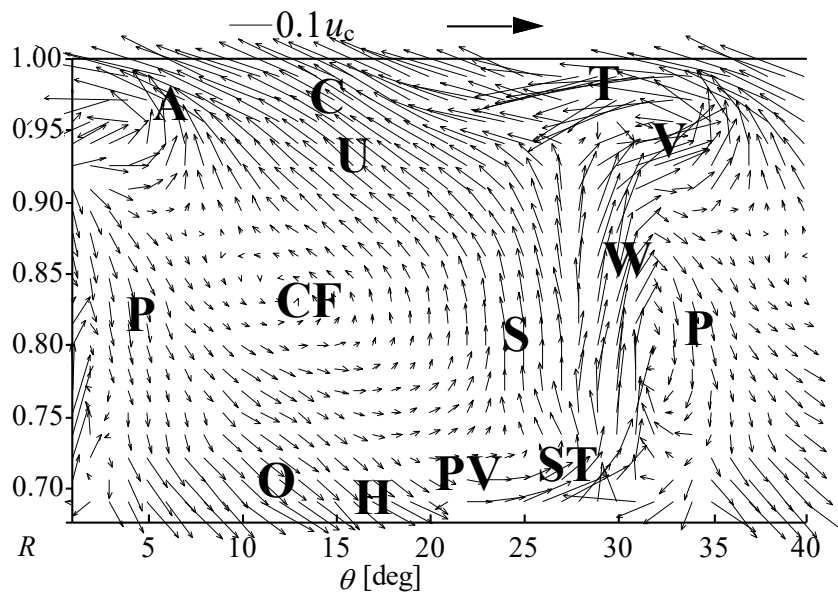


Járókerék-lapátcsatorna mögötti számított  
össznyomásveszteség-tényező eloszlás

# VESZTESÉGFORRÁSOK

Résvesztés: kb. 1 % lapátmagasságnyi légrés veszteségét a szekunder és a gyűrűvesztés már tartalmazza, a további:

$$\frac{\Delta p_{rés}}{\Delta p_{öid}} = 2.5 \left( \frac{s}{h} - 0.01 \right) \quad (\text{s: résméret, h: lapátmagasság})$$



Járókerék lapátcsatornája mögötti szekunder áramlás vektordiagramja (LDA és CFD)

Elő- és utóterelő rács vesztesége: rel. seb. kisebb mint a járókeréken, így a veszteség is kisebb, kb. 3%

$$c_e = 0.016 \quad \text{Súrlódási}$$

$$c_{esz} = 0.018 c_f^2 \quad \text{Szekunder}$$

Forgási veszteség: csak terelőlapát nélküliben, vagy ha nem a tervezési pontban dolgozik. Érintőirányú seb. komp. négyzetéből, kb. 10%.

Elkerülése: elő/utóterelő, 2 szembeforgó járókerék.

Diffúzorveszteség:

Csőbe: lapátgyűrű és a csőkeresztmetszet eltér, diffúzor vagy Borda-Carnot

Szabadba: kilépési veszteség, diffúzor a sebességcsökkentésre

Veszteségek összegzése (profilos lapát; szekunder-, gyűrű-, résveszteség):

$$\frac{\Delta p'}{\Delta p_{\text{öid}}} = \frac{w_{\infty m}}{u_m} \frac{1}{\sin(\beta_{\infty m} + \delta)} \frac{c_{em} + c_{esz}}{c_{fm}} + 0.02 + 2.5 \left( \frac{s}{h} - 0.01 \right)$$