

5. AXIÁLIS ÁTÖMLÉSŰ VENTILÁTOROK

5.1. Konstrukció



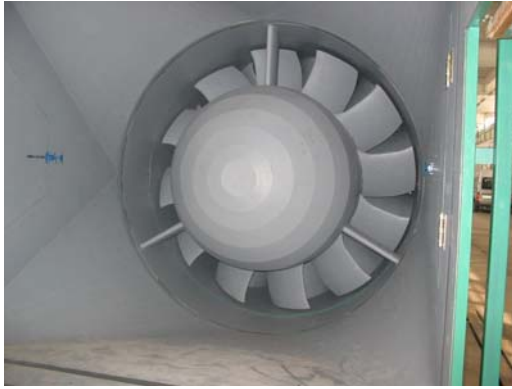
5.1. ábra. Az Áramlástan Tanszék által kifejlesztett nagy vetőtávolságú axiálventilátor prototípusa lemezlapátos járókerékkel és tompa aggyal



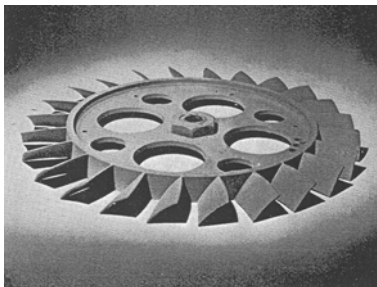
5.2. ábra. Az Áramlástan Tanszék által kifejlesztett nagy vetőtávolságú axiálventilátor prototípusa félgömb alakú orrkúppal, elől- és hátulnézetben (közvetlen hajtás, utóterelő)



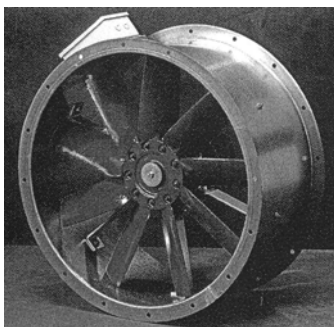
5.3. ábra. Tesztelés közben



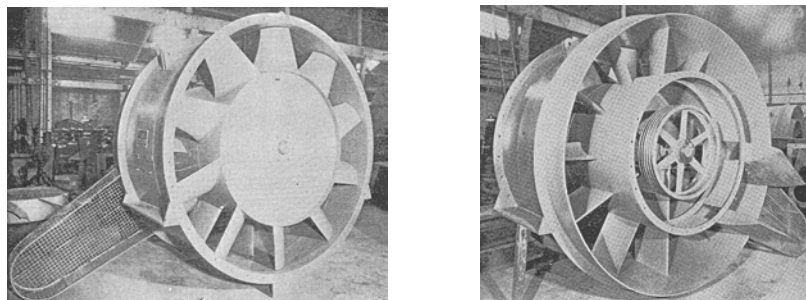
5.4. ábra. Az Áramlástan Tanszék által kifejlesztett szélcsatorna-ventilátor járókereke (félgömb orrkúp, profilos lapátozás) és utóterelő-lapátozása (profilos lapátozás); ékszíjhajtás



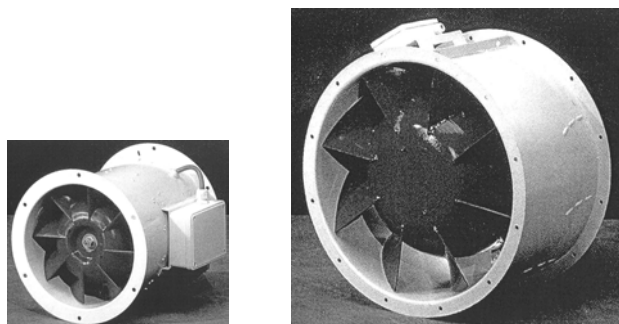
5.5. ábra. Lemezlapátos járókerék [10]



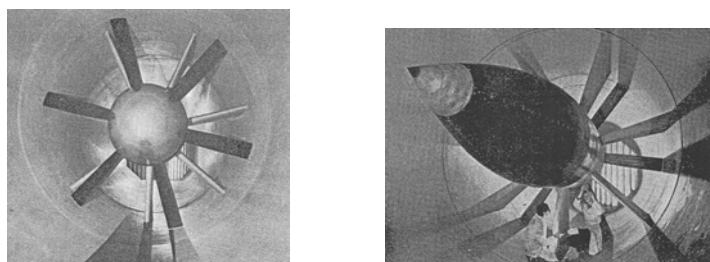
5.6. ábra. Állítható szögű profilos lapátosú terelő nélküli ventilátor [6]



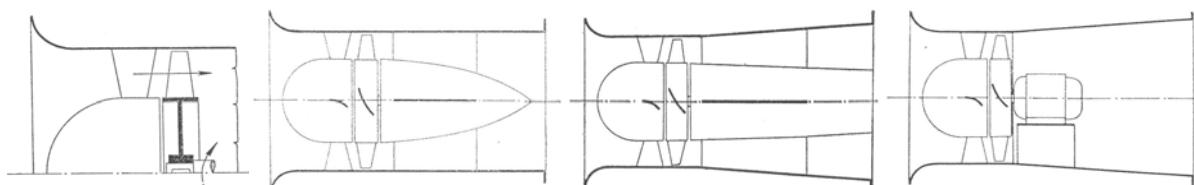
5.7. ábra. Közvetett hajtású utóterelő ipari ventilátor [10]



5.8. ábra. HELIOS RADAX VAR 400 és 1000 [6]



5.9. ábra. Szélsatorna-ventilátor speciális orrkúppal és agydiffúzorral [10]



5.10. ábra. Előterelő elrendezés diffúzor nélkül, agydiffúzorral, külső és agydiffúzorral, valamint külső diffúzorral és agydiffúzor nélkül [2]

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

Az orrkúp ideális esetben ellipszoid (gyorsuló áramlás mérsékelt leválással), de sokszor félgömb alakúra gyártják. Az álló orrkúpot az előterelő lapátok rögzítheti a csatornafalhoz. Orrkúp: 1 – 2 % hatásfok-javulás. Az előterelő lapátok kisebb méreteknél általában lemezlapátos. Az utóterelőt sok esetben a motortartó bordákból alakítják ki. Maga a

motortartó borda (dúcprofil vagy felvágott csőből szerkesztett elem) is működhet utóterelőként, ha megfelelő szög alatt építik be a járókerék mögé. Utóterelőként a lemezlapátózás alkalmazása kerülendő, ha a zaj mérséklése fontos szempont (leválik rajta az áramlás). A járókereket és a terelőlapátózást az egymáshatás miatti zaj és lüktető mechanikai terhelés mérséklése érdekében célszerű kb. 1 osztás-távolságnyira elhelyezni egymástól.

Általában: lemez helyett profilos lapátózás alkalmazása:

- áramlástechnikai okokból (különböző üzemi állapotokra a torlópont az ívelt belépő élen vándorolni tud, így a leválási veszteség csökkenthető)
- szerkezeti okokból (mechanikai teherbírás)

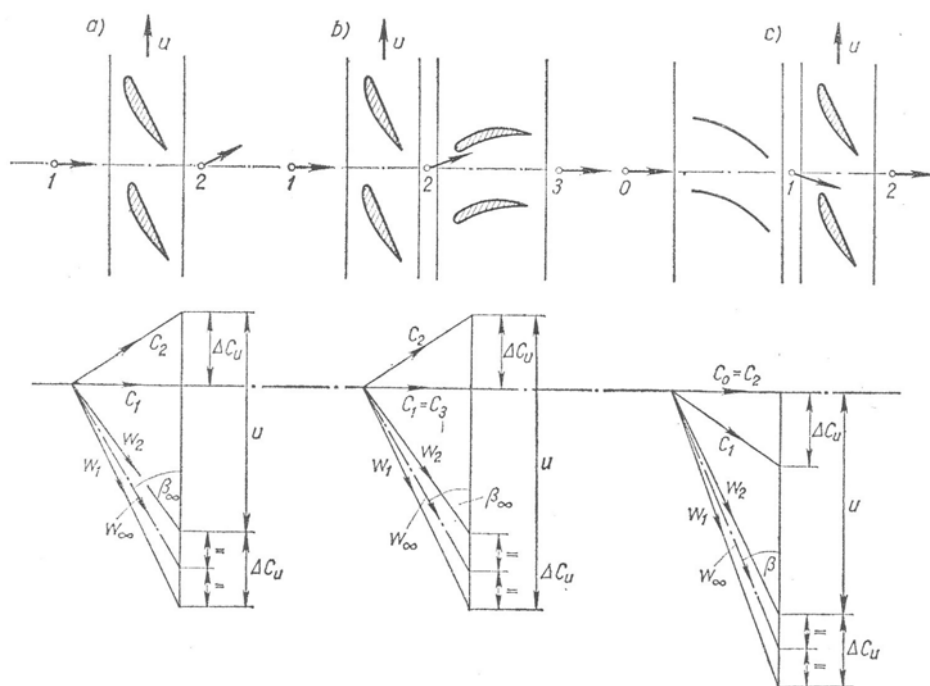
5.2. Különböző elrendezések működése

Euler-turbinaegyenlet:

$$\Delta p_{oid} = \rho(c_2 u_2 - c_1 u_1) \quad (1.9)$$

Itt $r_1 \approx r_2$, $u_1 \approx u_2$, és így

$$\Delta p_{oid} = \rho u (c_{2u} - c_{1u}) = \rho u \Delta c_u \quad (5.1)$$



5.11. ábra. a/ Terelő nélküli, b/ Utóterelős, c/ Előterelős elrendezés sebességi ábrái [2]

Terelőlapát nélküli ventilátorok hátránya: a levegő forogva hagyja el a gépet és így veszendőbe menő mozgási energiát tartalmaz (a hasznos teljesítmény 10 %-át is kiteheti). A terelőlapátózás szintén veszteségforrás, de ha ez a veszteség jelentősen kisebb, mint a forgási veszteség, alkalmazása megfontolandó. Nagyobb teljesítménynél ill. ha az alkalmazás megköveteli (pl. kismértékben szétartó levegősugár létrehozása), érdemes terelőlapátózást alkalmazni.

Az, hogy elő- vagy utóterelős lapátózást alkalmaznak, attól függ, hogy az adott üzemállapotra melyik terelőlapátózást lehet megbízhatóan (leválásmentes üzemre) tervezni.

A járókerék sebességi háromszögei a terelőlapátózástól függően különböznek (11. ábra).

Terelőlapát nélküli (a/) és utóterelős (b/) esetre:

$$w_{\infty}^2 = c_a^2 + \left(u - \frac{\Delta c_u}{2} \right)^2 \quad (5.2a)$$

és

$$\beta_{\infty} = \text{arc tg} \frac{c_a}{u - \frac{\Delta c_u}{2}} \quad (5.2b)$$

Előterelős (c/) esetre:

$$w_{\infty}^2 = c_a^2 + \left(u + \frac{\Delta c_u}{2} \right)^2 \quad (5.3a)$$

és

$$\beta_{\infty} = \text{arc tg} \frac{c_a}{u + \frac{\Delta c_u}{2}} \quad (5.3b)$$

w_{∞} : zavartalan áramlás relatív sebessége

β_{∞} : zavartalan áramlás szöge

A járókerék-lapátózás lassító rács: a kilépő relatív sebesség kisebb, mint a belépő. Ebben a diffúzoros áramlásban a lapátózás méretezésekor figyelemmel kell lenni a leválás veszélyére.

Utóterelős lapátózásnál az utóterelő is lassító rács: a kilépő abszolút sebesség kisebb, mint a belépő. (A forgás által képviselt dinamikus nyomás-többletet diffúzoros áramlás révén statikus nyomásnövekedéssé alakítja.) Emiatt leválás szempontjából ellenőrizendő. A járókerékre viszont kisebb statikus nyomásnövekedés esik. A reakciófok:

$$\tau = \Delta p_{st} / \Delta p_{\delta} \quad (4.3)$$

Mivel a terelőlapát megszünteti a perdületet, továbbá a be- és kilépő gyűrűkeresztmetszetek azonossága miatt a be- és kilépő axiálssebességek azonosak, az össznyomás-növekedés megegyezik a statikus nyomásnövekedéssel.

Utóterelős lapátózásra

$$\tau = (\Delta p_{st} \text{ járókerék} + \Delta p_{st} \text{ utóterelő}) / \Delta p_{st} \text{ összes} \quad (5.3)$$

Amelyből látható, hogy utóterelő esetén a járókerék reakciófoka 1-nél kisebb.

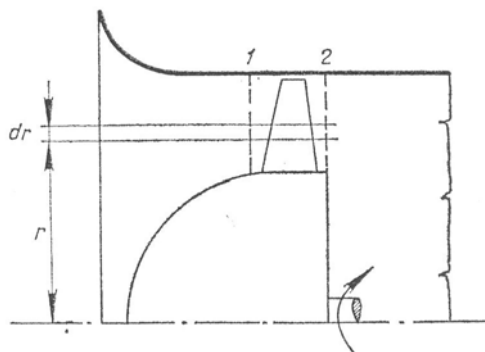
Előterelős lapátózásnál a terelőlapátózás gyorsító lapátózás: a kilépő abszolút sebesség kisebb, mint a belépő. Így itt leválási veszély nincsen (ezért is elégedhetünk meg kisebb méreteknél a lemezlapátózással). A gyorsítás azonban nyomáscsökkenéssel jár és így a járókeréken a statikus nyomás növekedése nagyobb, mint az össznyomás-növekedés.

Előterelős lapátózásra

$$\tau = (\Delta p_{st} \text{ járókerék} - \Delta p_{st} \text{ előterelő}) / \Delta p_{st} \text{ összes} \quad (5.4)$$

Amelyből látható, hogy előterelő esetén a járókerék reakciófoka 1-nél nagyobb. Ugyanakkor w_∞ értéke is megnövekszik, ami miatt adott kerületi sebességgel nagyobb össznyomás-növekedés állítható elő. (Bár a járókeréken fokozott a statikus nyomásnövekedés, a megnövekedett relatív sebesség miatt az ennek megfelelő diffúzorhatás mérsékelte.)

5.3. A lapátmetszetek működése. Az elemi lapátrács munkaegyenlete.



5.12. ábra. Elemi rész-kerék kijelölése terelő nélküli járókeréken [2]

Feltételezzük, hogy az áramcsövek a járókerékben hengeresek. Kijelölünk egy elemi áramcsövet (5.12. ábra) és a benne foglaltatott elemi rész-járókereket.

Felírjuk az impulzusnyomatéki tételt az „1” (belépő) síkban lévő valamint a „2” (kilépő) síkban lévő, r sugarú, dr szélességű körgyűrűk valamint a szélükön áthaladó hengerfelületek által határolt levegőtömegekre. Elhanyagoljuk a palástfelületeken a súrlódásból származó nyomatékot. A kapott eredmény:

$$dq_m r \Delta c_u = \rho 2 \pi r dr c_a r \Delta c_u = dM \quad (5.5)$$

Vagyis az elemi tömegáram és a perdület megváltozásának szorzata megegyezik a lapátok által a vizsgált levegőtömegnek átadott elemi nyomatékkal.

Másfelől felírhatjuk a dM nyomatékot az elemi lapátokra ható erők segítségével is. **5.13. ábra.** Megszerkesztjük a relatív sebességeket, valamint a lapát előtti és mögötti relatív sebesség vektori átlagát, amely rácselrendezésben lévő lapátoknál az egyedülálló szárny megfúvási sebességének felel meg. A lapátelemet a w_∞ sebességgel jellemzett irányhoz képest kell a megfelelő α állásszög (megfúvási szög) alatt elhelyezni ahhoz, hogy rajta az előállítandó Δp_θ -höz szükséges dF_f felhajtóerő keletkezzék.

A lapátelemen keletkező dF_f erőnek w_∞ -re merőleges dF_e összetevője a fejhajtóerő, azzal párhuzamos összetevője a dF_e ellenállás-erő, és e kettő viszonya

$$\frac{dF_e}{dF_f} = \frac{c_e}{c_f} = \operatorname{tg} \delta \quad (5.6)$$

a siklószám reciprok értéke. A c_e és c_f a lapátmetszet ellenállás- illetve felhajtóerő-tényezői, amelyekkel pl. a felhajtóerő

$$dF_f = \frac{\rho}{2} w_\infty^2 \ell dr c_f \quad (5.7)$$

Miután a dF_e ellenállásereő a dF_f felhajtóerőhöz képest kicsiny, $|dF_f| \approx |dF_r|$, a lapátelemekre ható nyomaték

$$dM = N r dF_f \sin(\beta_\infty + \delta) \approx N r \frac{\rho}{2} w_\infty^2 \ell dr c_f \sin(\beta_\infty + \delta) \quad (5.8)$$

Ahol N a lapátok és így a lapátelemek száma.

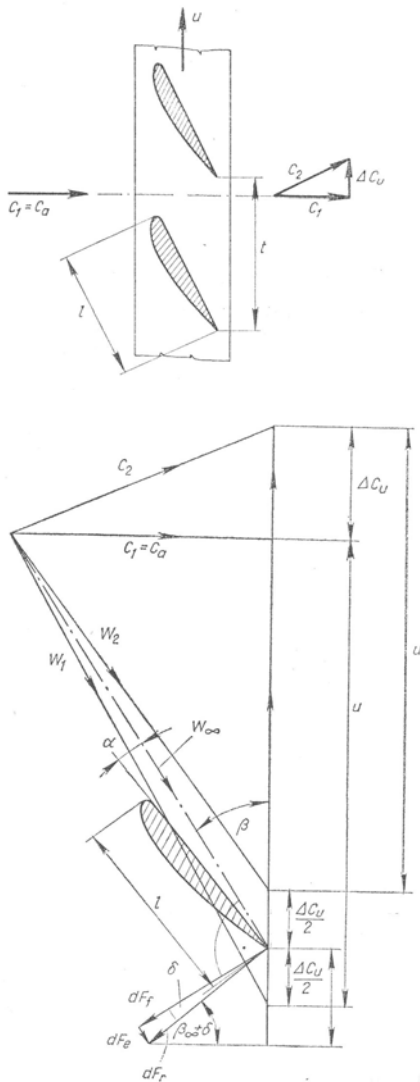
Az (5.5) és (5.8) egyenleteket egyenlővé téve, valamint bevezetve a

$$t = \frac{2 \pi r}{N} \quad (5.9)$$

lapátosztást, a szárnyrácsoknál szokásos $\frac{\ell}{t} c_f$ **erőtényező** adódik:

$$\frac{\ell}{t} c_f = \frac{2 c_a \Delta c_u}{w_\infty^2 \sin(\beta_\infty + \delta)} \quad (5.10)$$

Ez az elemi lapátrács **munkaegyenlete**.



5.13. ábra. Lapátmetszet aerodinamikai viszonyai [2]

Jelen tárgyalásmód szintjén fogadjuk el az alábbi közelítést, felhasználva, hogy $\delta \ll \beta_\infty$:

$$\frac{\ell}{t} c_f \approx \frac{2 c_a \Delta c_u}{w_\infty^2 \sin \beta_\infty} = \frac{2 \Delta c_u}{w_\infty} \quad (5.11)$$

Jól látható, hogy a munkaegyenlet megfogalmazza: előírt üzemi követelményeket ($\Delta c_u, w_\infty$) milyen jellemzőjű részkerékkel ($c_f, \frac{\ell}{t}$ ún. lapátsűrűség) lehet megvalósítani.

Pl. klasszikus tervezési módszer: sugár mentén állandó Δp_δ össznyomás-növekedésre történő tervezés. Ez sugár mentén állandó c_a axiálsebességet is eredményez.

Megválasztott u kerületi sebesség esetén Δc_u az üzemileg megkövetelt tervezési Δp_δ össznyomás-növekedésből az Euler-turbinaegyenlettel számítható, a hidraulikai hatások becslése mellett:

$$\Delta c_u = \frac{\Delta p_\delta}{\eta_h \rho u} \quad (5.12)$$

A c_a axiálsebességet megválasztott csatorna- és agyátmérő esetén az üzemileg megkövetelt tervezési q_V térfogatáramból származtathatjuk:

$$c_a = \frac{4 q_V}{(D^2 - d^2) \pi} \quad (5.13)$$

Fentiek ismeretében w_∞ számítható:

$$w_\infty = \sqrt{c_a^2 + \left(u - \frac{\Delta c_u}{2}\right)^2} \quad (5.14)$$

Így az erőtenyező számításához a szükséges adatok rendelkezésre állnak.

5.4. A méretezés elvi alapjai

Az alábbi példa egy lehetséges (a BME Áramlástan Tanszéken elterjedt, a brit hagyományokat követő) elv, pl. terelő nélküli járókerék tervezésére. Világszerte számos, esetenként egyedi tervezési módszer terjedt el, függően a rendelkezésre álló empirikus adatbázistól stb. Pl. amerikai tervezési módszer: NACA szárnyrácsmérések alapján stb.

- 1/ Adottak a tervezési üzemi körülmények: átlagos $\Delta p_\delta, q_V$.
- 2/ Tapasztalati úton, pl. a Cordier-diagram vagy korábbi tervezési tapasztalatok alapján ezekhez megválasztjuk a járókerék külső átmérőjét, az agyviszonyt, a fordulatszámot.
- 3/ Előírjuk, hogy a lapát magassága mentén milyen ideális össznyomás-növekedési eloszlást valósítson meg. Ez a később ismertetett elvek szerint meghatározza az axiális sebesség sugár menti eloszlását is. Ezen eloszlásoknak olyanoknak kell lenniük, hogy a hidraulikai hatások becslése mellett kiadják az átlagos tervezési üzemi előírásokat: $\Delta p_\delta, q_V$

Pl. Klasszikus, sugár mentén állandó ideális össznyomás-növekedésre történő tervezés (nincs előperditő, $\Delta c_u = c_{u2}$):

$$\Delta p_{\delta}(r) = \text{állandó} = \rho u \Delta c_u(r) = \rho u c_{u2}(r) \quad (5.15)$$

Mivel u a sugár mentén lineárisan növekszik, c_{u2} -nek sugárral hiperbolikusan csökkennie kell:

$$c_{u2}(r) = \frac{\Delta p_{\delta}}{\rho \omega} \cdot \frac{1}{r} \quad (5.16)$$

A sugárral hiperbolikusan csökkenő tangenciális sebesség egy potenciális örvény sebességterének felel meg (Free Vortex Design).

Megmutatható (a későbbiekben meg is mutatjuk), hogy sugár mentén állandó ideális össznyomás-növekedésre tervezés esetén elméletileg az axiálssebesség is állandó a gyűrűkeresztmetszetben a sugár mentén.

$$c_a = \frac{4 q_V}{(D^2 - d^2)\pi} \quad (5.13)$$

4/ A lapátózást részkerekre bontjuk és az egyes részkerekre a helyileg érvényes u kerületi sebesség, valamint a c_{u2} és c_a alapján, (5.14) és (5.11) segítségével számítjuk a $\frac{\ell}{t} c_f$ erőtenyezőt.

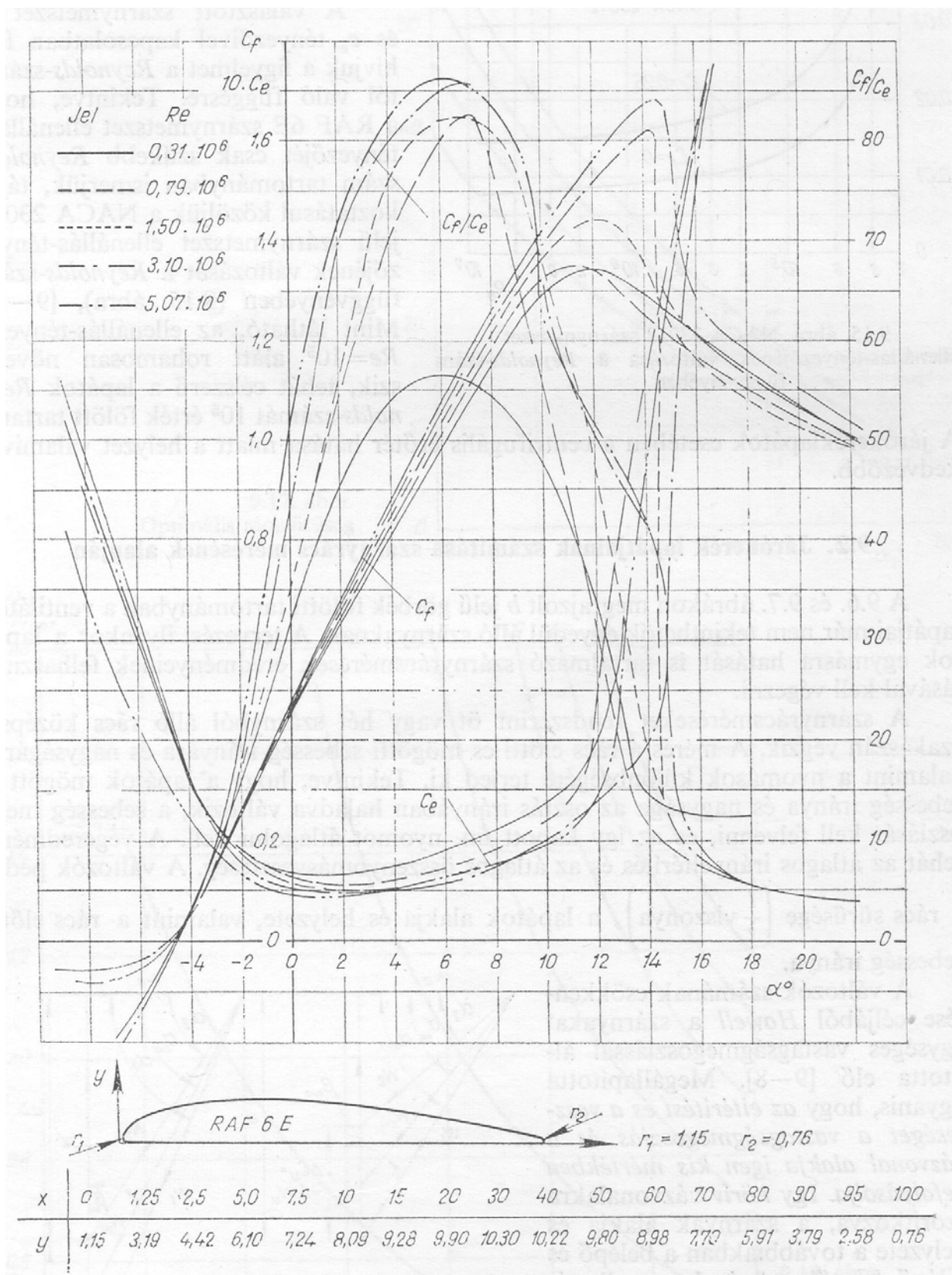
5/ Empirikus adatbázist választunk, amely alapján az egyes részkerek lapátmetszeteinek alakját optimalizálhatjuk. Pl. RAF 6 profil egyedülálló 2D szárny-mérési eredményei, 5.14. ábra. (Lehet még: ívelt lemez, egyéb profilok, szárnyrács-mérések stb.)

6/ Úgy választjuk meg c_f „optimális” értékét minden részkerekre, hogy az energetikailag kedvező legyen: a gép a legjobb hatásfokot adja. Megmutatható, hogy az energetikai optimum a maximális siklószám esetén adódik. Ez meghatározza az α megfúvási szöveget is, amelyre a lapátmetszetet be kell állítanunk adott sugáron az ott számított zavartalan megfúvási irányhoz képest.

7/ Az optimális c_f és az $\frac{\ell}{t} c_f$ erőtenyező értékekből optimális $\frac{\ell}{t}$ lapátsűrűséget számítunk. Ellenőriznünk kell, hogy ez az adat összhangban áll-e a választott empirikus adatbázissal. Pl. a RAF 6 mérés esetén ha $\frac{\ell}{t}$ „túl nagy” (kb. 0.7 feletti), a lapátok már jelentősen egymásra hatnak és nem igaz, hogy az egyedülálló szárny mérési eredménye mérvadó lesz. Ezesetben kompromisszumot kell kötnünk: módosítanunk kell c_f értékét vagy más empirikus adatbázishoz kell folyamodnunk (szárnyrács-mérési adatok).

8/ N lapátszámot választunk. Kis számú, nagy húrhosszú lapát kedvezőbb (nagyobb Reynolds-szám).

9/ Az optimális $\frac{\ell}{t}$ értékből a lapátszám ismeretében számítjuk az adott sugáron szükséges ℓ húrhosszat.



5.14. ábra. RAF 6E szárnymetszet erőtenyezői és koordinátái (egyedülálló szárny) [2]