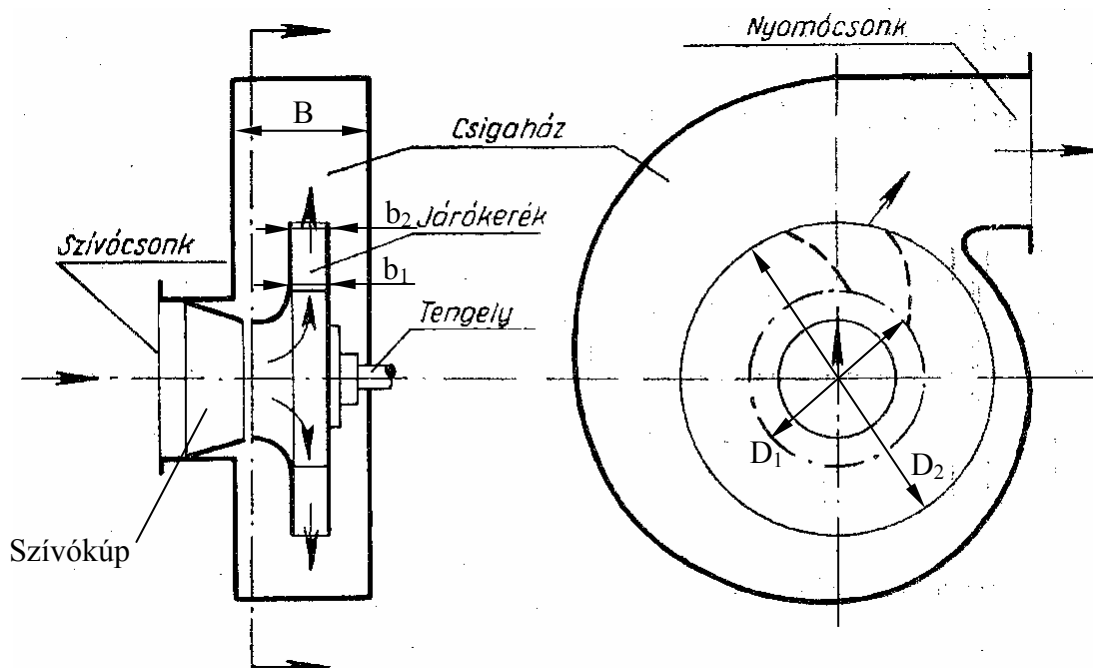


### 3. RADIÁLIS ÁTÖMLÉSŰ VENTILÁTOROK

#### 3.1. Szerkezeti elemek



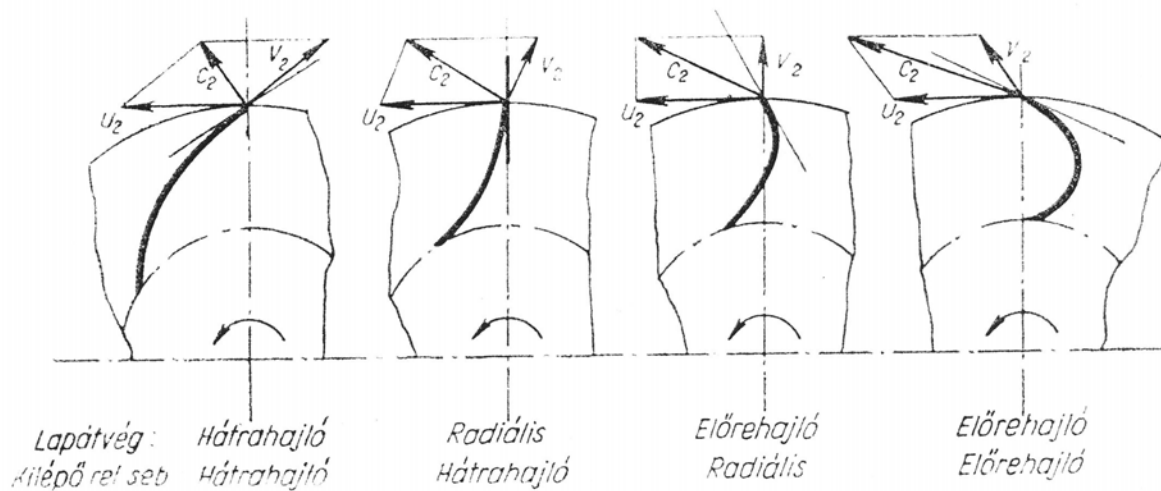
3.1. ábra. Jellegzetes elemek és méretek [2] nyomán

- **Beszívó kúp:**

A járókerékbe érkező áramlás egyenletesítésére. Konfúzoros áramlás, a leválási zónák lefűvátása.

- **Járókerék-lapátok:**

Lapátok pl. hegesztve vagy szegecselve az oldallapokhoz. Széles forgórészek esetén a lapátok elcsavarodásának ill. kihajlásának elkerülésére merevítés, pl. a kilépő élék összekötése gyűrűvel. Legtöbb esetben lemezlapát, különleges esetekben profilos lapátok.



3.2. ábra. Radiális ventilátor lapáttípusai [2]

- **A járókerék és beszívó kúp közötti rés:**

Általában nincs tömítve. Oka: kis nyomáskülönbségek, mérsékelt volumetrikus veszteség.

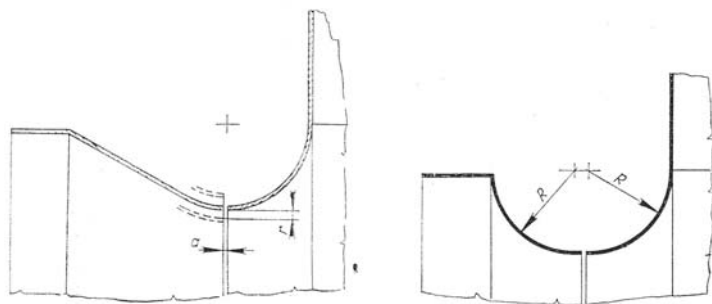
(A tengely és a csigaház hátsó fala közötti rés: általában ez sincs tömítve. Tömítések különleges alkalmazásokban: mérgező gázokat szállító ventilátor: a szivattyúknál szokásos tömítések (tömszelence vagy ajakos tömítőgyűrű). Nagyobb átmérők: labirinttömítés.)

Axiális rés (tompa illesztés)

3.3. ábra. A legegyszerűbb megoldás: a járókerék és szívókúp tompa illeszkedése. Szívókúp: lekerekítés után tengelyirányú érintővel végződik.

Problémák: a rés nem körszimmetrikus. 1/ Az élek nem esnek a tengelyre merőleges síkba, így a rés tengelyirányú mérete a szívókúp meghatározott pontjában periodikusan változik. 2/ A kör alakú élek eltérnek a pontos körtől, az átmérők különböznek, a körök excentrikusak (3.3. ábra:  $r$  méret). Ha a járókerék-előlap sajtolással készül, célszerű a hibák csökkentésére a szívókúp lekerekítését ugyanazzal a sajtolószerszámmal elkészíteni (3.3. ábra második része).

Volumetrikus hatásfok romlása ellen: nagy  $\Delta p_0$  (nagy külső átmérő): keskenyebb rés. Pl.  $D_2 = 500 \text{ mm} \Rightarrow a \approx 2 \text{ mm}$ .  $D_2 = 2000 \text{ mm} \Rightarrow a \approx 5 \text{ mm}$ . A rés szélesedésével a hatásfok csökken.

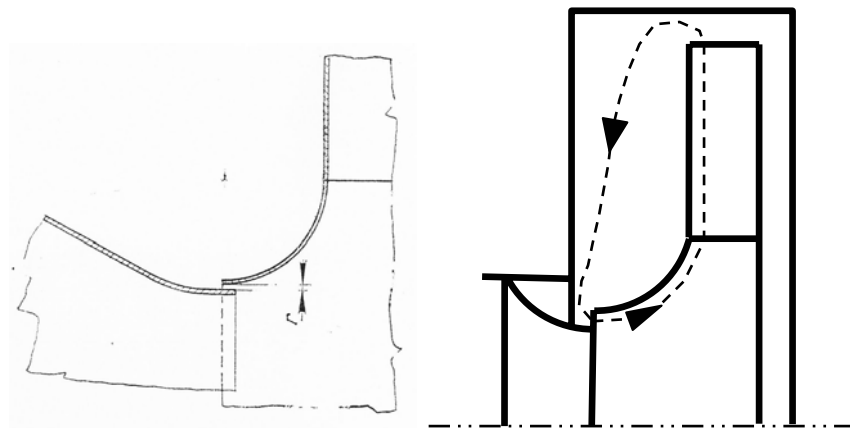


3.3. ábra. Tompán illesztett álló- és forgórész [2]

Radiális rés

3.4. ábra. Kedvező hatása: a radiális résben kialakuló (volumetrikus veszteségnek megfelelő) beáramlás nagy impulzusú légsugara frissíti a befordulásnál jelentkező, vastagodásra ill. leválásra hajlamos határreteget. (A leválás elkerülésének haszna nagyobb, mint a volumetrikus veszteség kára.) Azért is előnyös, mert nagy hőmérsékletű közeg szállításánál a tengely axiális irányú hőtágulása nem változtatja meg a rés szabad keresztmetszetét.

Elkészítése a tompa illesztésnél nagyobb pontosságot igényel.

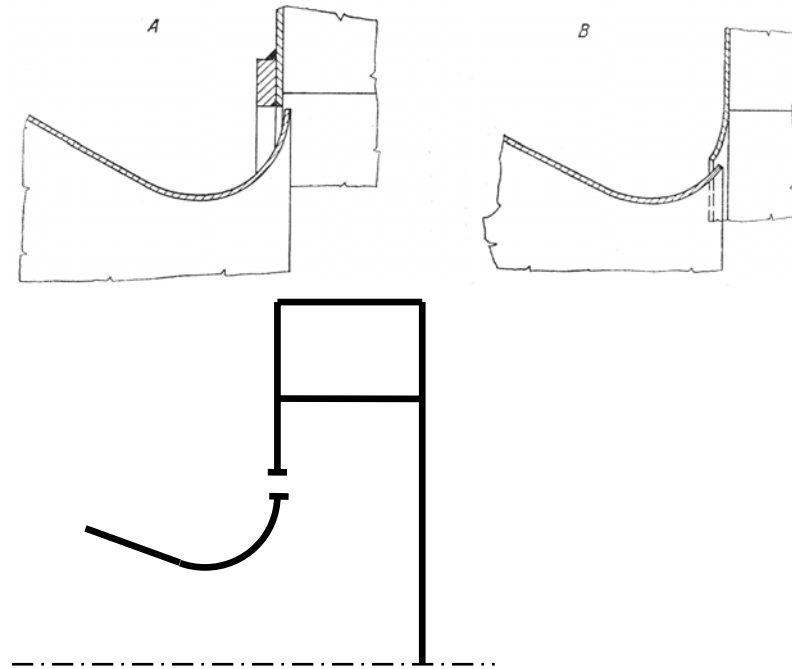


3.4. ábra. A radiális rés és kedvező hatása [2] nyomán

Axiális + radiális rés

3.5. ábra. Olyan nagy teljesítményű gépeknél, melyeknél az axiális elmozdulás (hőtágulás) jelentéktelen, a beömlési lekerekítés részben vagy egészben a szívókúpon lehet. A beáramló levegősugár határreteget frissítő hatása itt is jelentkezik.

Szélsőséges változata: előrehajló lapátosú ventilátornál a befordulás teljes mértékben a szívókúpon (álló felületen) történik.



3.5. ábra. Axiális + radiális rés kialakítások [2]

- **Elő- és hátlap:**

Sok esetben kúpos előlap:  $b_1 \approx 1.5 b_2$ , a növekvő sugár miatti lassulás ellensúlyozására. Gyártási egyszerűsítés: párhuzamos elő- és hátlap:  $b_1 = b_2$ .

- **Csigaház:**

Méretezési elméleti háttére [2]:

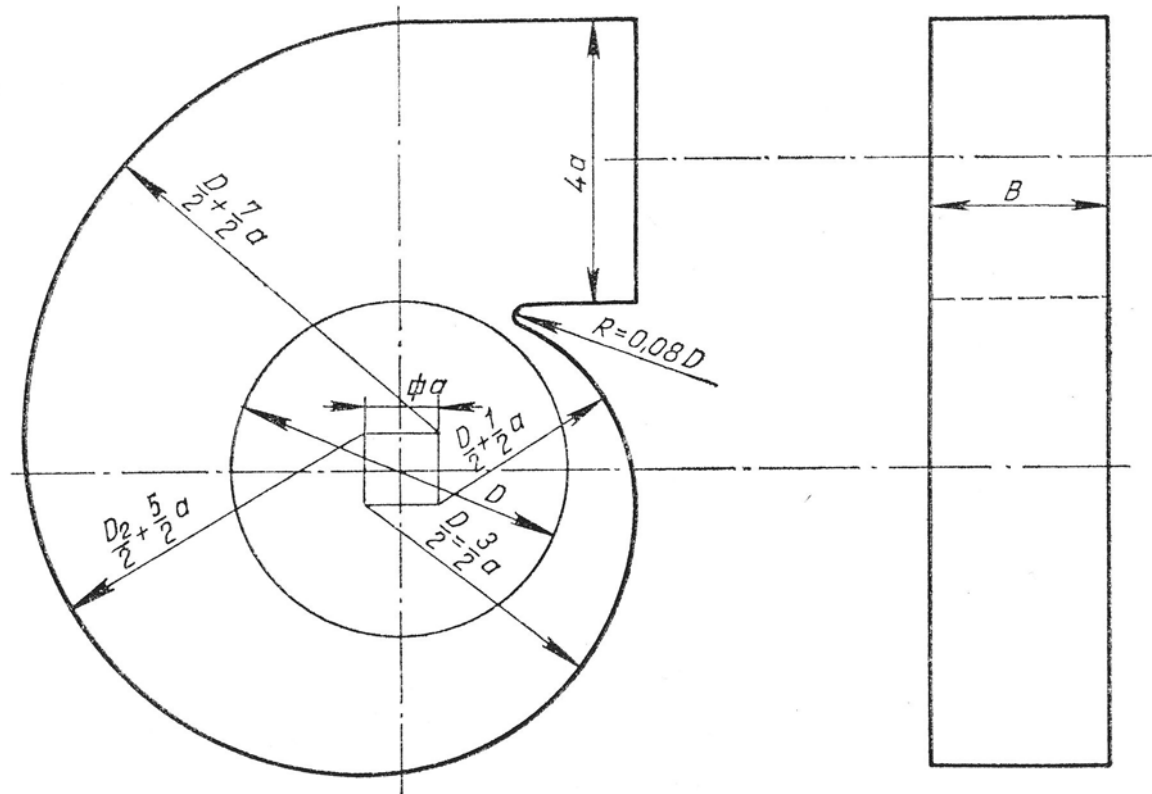
- Kontinuitás: a csigaházban haladó közeg meridiánsebessége a sugárral fordítottan arányos, mivel a csigaházak csaknem kivétel nélkül párhuzamos oldalfalúak.
- Súrlódásmentes közeget feltételezve a perdület állandó (potenciális áramlás), azaz az érintő irányú sebességkomponens is a sugárral fordítottan arányos.
- Fentiekből adódik, hogy az áramvonalak logaritmikus spirális alakúak. A csigaház kontúrjának az áramvonalak alakjához kell illeszkednie.

A kiterjedt vizsgálatok szerint bár a csigaház kedvező alakjának fő trendje valóban spirális, az optimális alak eltér a logaritmikus spirálisától. Kedvezőnek bizonyult a 3.6. ábrán bemutatott konstrukció. Itt még figyelembe veendő, hogy általában  $4 a / B \approx 1.2 \dots 1.8$ .

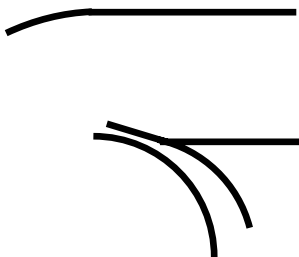
A csigaház külön figyelmet érdemlő része az ún. nyelv, amely a járókerék és a csigaház közötti legkisebb méretnél jelentkezik. Az itt jelentkező leválás elkerülésére a nyelven lekerekítést alkalmaznak.

Bizonyos konstrukciókban a nyelvet beviszik a kilépő keresztmetszetbe (3.7. ábra). Ezáltal a nyelven szándékolt leválást idéznek elő. A leválási zóna diffúzorhatást eredményez a kilépő csőszakban, amely kedvez a veszteségek csökkentésében. Azonban a zajkeltés fokozott.

Általában a nyelv és a járókerék közötti rés csökkenésével a hatásfok javítható, azonban az egymásrahatás-zaj így jelentősen fokozódik.



3.6. ábra. Javasolt csigaház-konstrukció [2]



3.7. ábra. A nyelv bevitele a kilépő keresztmetszetbe

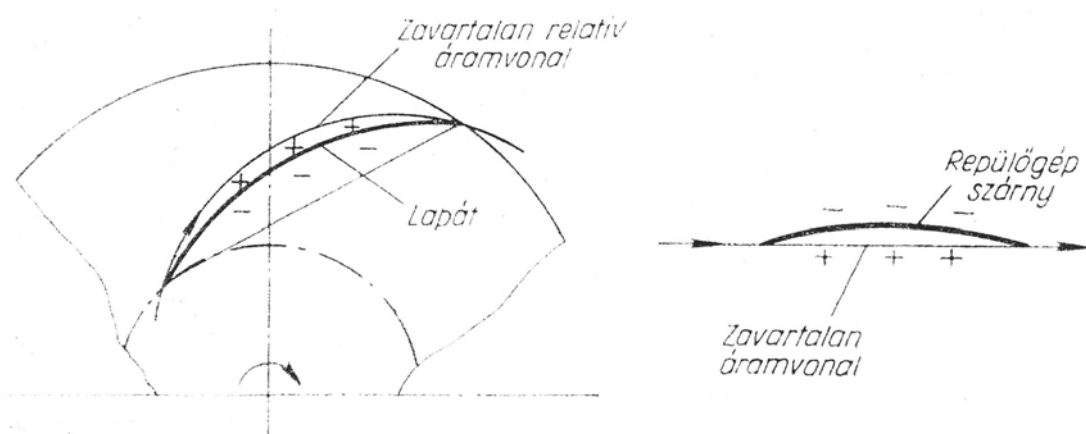
### 3.2. A járókerék-lapátozás jellegzetességei

A járókerékben kialakuló áramlás sajátosságai:

- Abszolút (álló) rendszerből figyelve az áramlás instacionárius, relatív (együttforgó) rendszerből figyelve stacionárius.
- Ideális (súrlódásmentes) esetben az abszolút áramlás örvénymentes (Thomson-tétel), a relatív áramlás örvényes.

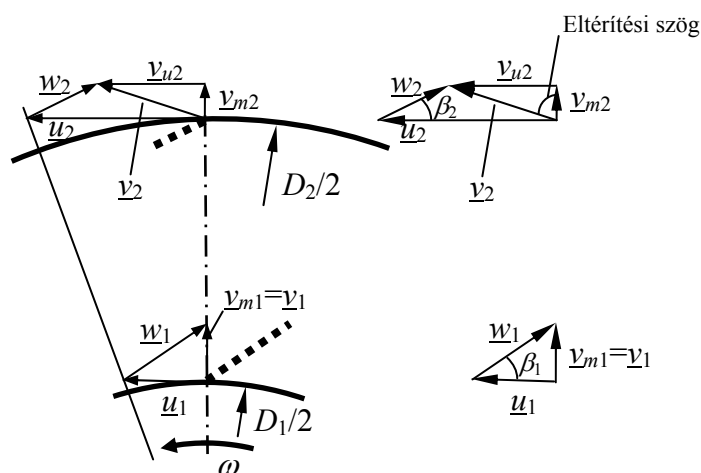
- Végtesen sok, végtesen vékony lapátot feltételezve az áramvonalak párhuzamosak a lapátok vonalával. Véges lapátszám esetén az áramvonalak alakja eltér a lapátok alakjától. Ez azonban a lapátműködés szükségszerű következménye. Csak akkor lesz a lapát két oldalán nyomáskülönbség, ha a lapátok középvonala ívelt az átlagos (zavartalan) áramvonalhoz képest, mint ahogy a repülőgépszárny középvonala is ívelt a relatív légáramlás egyenes áramvonalaihoz képest (3.8. ábra).
- A belépő sebesség perdületmentesnek tekinthető (előperditő hiányában).
- A meridiánsebességet (radiális sebesség) a kontinuitás szabja meg:

$$q_V = D_1 \pi b_1 v_{1r} = D_2 \pi b_2 v_{2r} \quad (3.1)$$

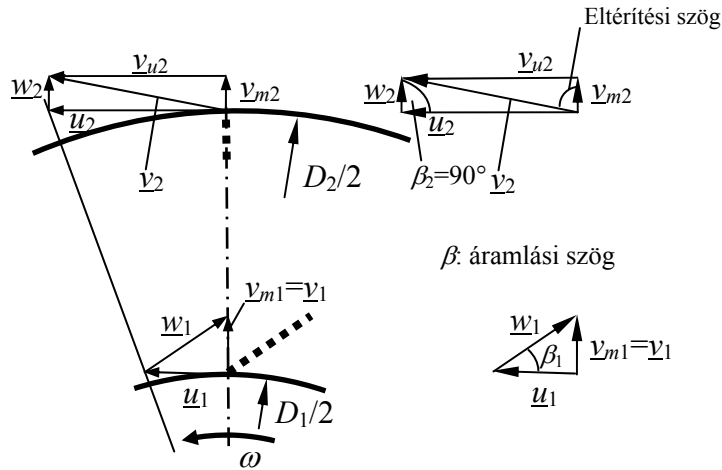


3.8. ábra. Radiális ventilátor lapátjának íveltsége [2]

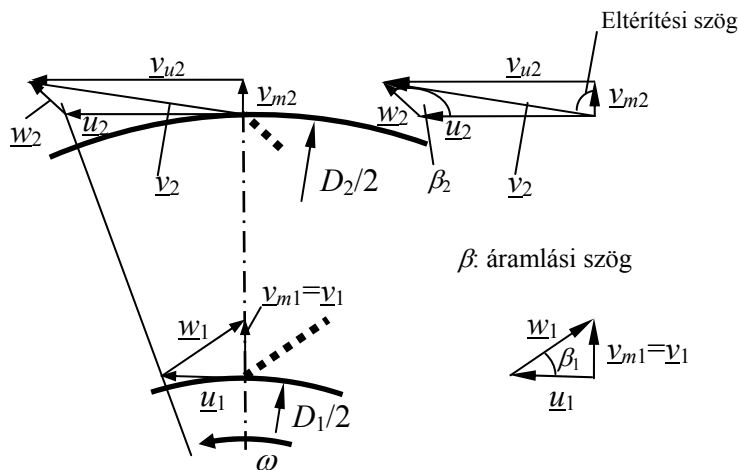
### 3.3. A lapátozás típusai



3.9. ábra. Sebességi háromszögek hátrahajló lapátozásnál



3.10. ábra. Sebességi háromszögek radiális lapátózásnál



3.11. ábra. Sebességi háromszögek előrehajló lapátózásnál

Hogyan dönthető el szemrevételezéssel, milyen lapátózásról van szó?

- A házba benézve a kilépő élek alapján rögtön eldönthető, ha radiális lapátózásról van szó.
- A forgásiránytól függően a lapátózás lehet hátrahajló vagy előrehajló!

Háromfázisú motort rendellenesség, bekötési hiba folytán két fázissal táplálva forgásirányváltás lép fel a tervezetthez képest. Ettől még az előrehajló lapátózású gép a normálisnak

megfelelő irányba fog szállítani, de az elvártnál kisebb össznyomás-növekedést és térfogatáramot produkál.

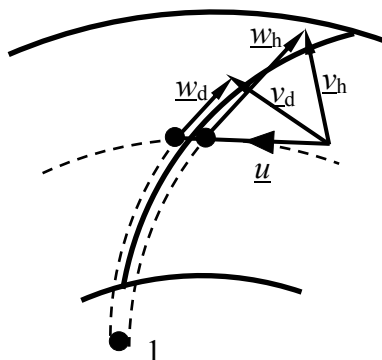
További információt a lapátozásról – normális forgásirány mellett – geometriai ismérvek szolgáltatnak:

- EH lapátozás: kisebb húr hossz
- EH lapátozás: jelentősen nagyobb lapátszám
- EH: az elő- és hátlap mindig párhuzamos
- EH: mindig körív-lemezlapát. Optimalizálható, de gyártástechnológiai egyszerűsítés.

Megnevezés	Hátrahajló lapátozású járókerék	Előrehajló lapátozású járókerék
Átmérvizonyy $D_2/D_1$	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

### 3.4. Lapátműködés

Végtelen vékony lapát feltételezése. Domború és homorú lapátoldalak: 3.12 ábra.



#### 3.12. ábra.

$$\underline{v} = \underline{w} + \underline{u} \quad (3.2a)$$

$$\underline{rot} \underline{v} = \underline{rot} \underline{w} + \underline{rot} \underline{u} = \underline{rot} \underline{w} + 2\underline{\omega} \quad (3.2b)$$

Bernoulli-egyenletek a belépés előtti „1” pont valamint a domború és homorú lapátoldali pontok közötti áramvonalon:

$$p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 + \rho U_1 = p_d + \frac{\rho}{2} w_d^2 + \rho U_d \quad (3.3a)$$

$$p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 + \rho U_1 = p_h + \frac{\rho}{2} w_h^2 + \rho U_h \quad (3.3b)$$

Itt kihasználtuk a Thomson-tételt, miszerint ha nyugvó légtérből szív a gép, az abszolút áramlás a sűrűdés elhanyagolása esetén a lapátsatornában is potenciális (örvénymentes) marad:

$$\underline{rot} \underline{v} = \underline{0} = \underline{rot} \underline{w} + 2\underline{\omega} \Rightarrow \underline{rot} \underline{w} = -2\underline{\omega} \quad (3.4a)$$

$$\text{Ezáltal } -\underline{w} \times \underline{rot} \underline{v} = 2\underline{w} \times \underline{\omega} = \underline{g}_{Coriolis} \quad (3.4b)$$

És így a vonatkozó vonalintegrálok kiejtik egymást.

A (3.3) egyenleteket kivonva egymásból és figyelembe véve, hogy az  $U_d$  és  $U_h$  centrifugális erőter-potenciálok a megegyező sugár miatt kiejtik egymást, átrendezés után a következőt kapjuk:

$$p_d - p_h = \frac{\rho}{2} (w_h^2 - w_d^2) \quad (3.5)$$

A lapát működéséből adódóan a domború (nyomott) oldalon a nyomás nagyobb, mint a homorú (szívott oldalon):  $p_d > p_h$ , amelyből következik, hogy  $w_h > w_d$ . Vagyis a lapát sebességugrást hoz létre – szingularitásként viselkedik –, és ez a sebességugrás megjelenik az abszolút sebességtérben is. Következésképpen a lapát körüli cirkuláció

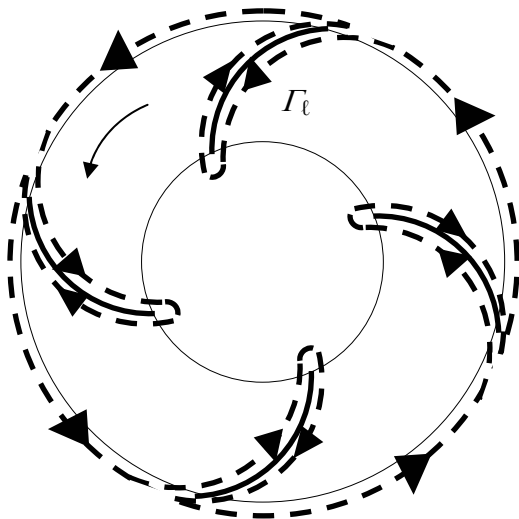
$$\Gamma_\ell = \oint \underline{v} ds \quad (3.6)$$

zérustól különböző kell hogy legyen.

Az Euler-turbinaegyenlet értelmében az ideális össznyomás-növekedés [3]:

$$\Delta p_{oid} = \rho(\underline{v}_2 \underline{u}_2 - \underline{v}_1 \underline{u}_1) \quad (1.9)$$

A lapátcirkuláció és az ideális össznyomás-növekedés között szoros kapcsolat áll fenn.



### 3.13. ábra.

Járjuk körbe a lapátokat és a külső kerületet a 3.13 ábra szerinti zárt görbével. A felületelemvektorok irányítását és a görbe ábra szerinti körüljárását a jobbkéz-szabály rendeli össze. A Stokes-tétel értelmében



$$\oint \underline{w} ds = \int \underline{rot} \underline{w} dA \quad (3.7)$$

Azaz

$$-|w_{2u}|2r_2\pi - N\Gamma_\ell = -2\omega(r_2^2\pi - NA_\ell) \quad (3.8)$$

Vegyük figyelembe, hogy  $|w_{2u}| = |u_2 - v_{2u}|$ , és hanyagoljuk el a lapátok vastagságát a külső kör területéhez képest. Így a (3.8) egyenletből

$$-u_2 2r_2\pi + v_{2u} 2r_2\pi - N\Gamma_\ell = -2\omega r_2^2\pi \quad (3.9a)$$

Adódik, de a bal oldal első tagja és a jobb oldal kiejti egymást, így

$$v_{2u} 2r_2\pi = N\Gamma_\ell \quad (3.9b)$$

Szorozva mindkét oldalt  $\rho\omega/2\pi$ -vel:

$$\Delta p_{oid} = \rho u_2 v_{2u} = \frac{\rho\omega}{2\pi} N\Gamma_\ell \quad (3.10)$$

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

### 3.5. A lapáttervezés fejlődésének lépései

A/ Alaptervezés: 2 feltételből kiindulva:

- A kontinuitásnak teljesülnie kell, ez megszabja a meridiánsebességeket előírt térfogatáram, átmérők és járókerék-szélesség esetén
- Az Euler-turbinaegyenlet és feltételezett hidraulikai hatásfok alapján választott fordulatszám és átmérők esetén számítható, hogy az előírt össznyomás-növekedés milyen tangenciális sebességek mellett valósul meg
- Fentiekből a be- és kilépő sebességi háromszögek szerkeszthetőek, és a be- és kilépő relatív sebességekkel párhuzamosan előírható a lapátok be- és kilépő élének érintője

B/ Az alaptervezés közelítő jellege és a véges lapátszám miatt tapasztalati korrekciókat alkalmaztak

C/ A lapátokat szingularitásokként felfogva, kísérletekkel alátámasztva optimalizálható a cirkuláció a lapát húrja mentén is, előírt  $\Gamma_\ell$  és maximális hatásfok érdekében („szingularitások módszere”). A korábbiakhoz képest kb. 10 % hatásfok-javulás volt elérhető.

D/ A súrlódás hatásának figyelembe vétele határréteg-modellekkel

E/ Jelenlegi gyakorlat: CFD alapú tervezés