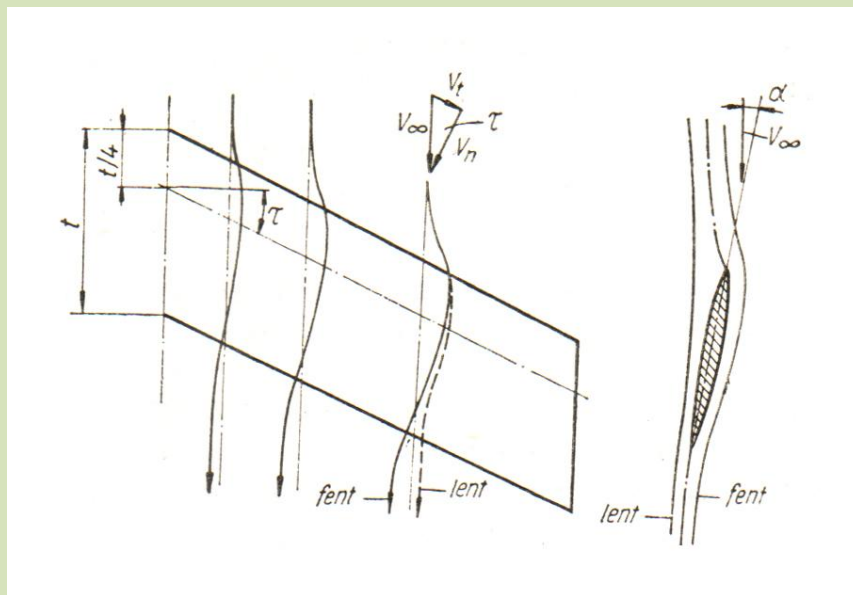


C) A SZÁRNYAS HAJÓK ELMÉLETE

e) Nyilazott szárnyak

A szárnyas hajók víz alatti felületeit gyakran nyilazva készítik el. Nyilazás alatt azt értjük, ha a szárnyszelvények húr hosszának mintegy 25%-ban levő nyomásközéppontokat összekötő *hidrodinamikai tengely* nem merőleges a szimmetria tengelyre, hanem azzal τ szöget zár be. A nyilazás megváltoztatja a felhajtóerő fesztáv menti eloszlását.

Az áramvonalak a nyilazott szárny körül nem a szimmetriasíkkal párhuzamosan haladnak, hanem erősen eltorzulnak, mintha a szárny oldalirányban csúszna (**91. ábra**). Az ábrán az áramvonalak torzulását az érthetőség kedvéért túlozva rajzoltuk meg. A jelenség okát abban kereshetjük, hogy a szárny közvetlen környezetében fellépő változó helyi sebességeket csak az áramlásnak a szárnyra merőleges komponense $v_n = v_\infty \cdot \cos \tau$ hozza létre, míg a v_t tangenciális sebesség változatlan a fesztáv mentén. Mennél közelebb futnak az áramvonalak a felülethez, és mennél nagyobb a nyilazás szöge, annál inkább eltérnek az áramlás v_∞ sebességének irányától. A torzulás a szárny felett nagyobb, mint alatta.



91. ábra.

Az áramvonalak eltérülése nyilazott szárnyon

A szimmetrikus szárnyak két oldala egyformány zavarja egymást, így az áramvonalak eltrülése annál kisebb, mennél közelebb vizsgáljuk a szimmetriasíkhhoz, ahol végül is eltűnik (**91. ábra**).

a nyilazott szárnyak effektív állásszöge az egyenes szárnyakhoz viszonyítva megváltozik: a középrészen csökken, a szárnyvégeken pedig megnő. A felhajtóerő eloszlása a fesztáv mentén ennek megfelelően alakul, és az egyenes szárnyhoz viszonyítva a középrészen kisebb, a végeken nagyobb ($c_y \cdot t$) értékeket ér el. Ezzel kapcsolatos a nyilazott szárnyak egy

kellemetlen tulajdonsága. A helyi felhajtóerőtényező a szárnyvégek felé megnő. A felület felett itt fokozódik a nyomáscsökkenés a középrészhez viszonyítva, ezért a szárny középrészén felől a határrétegen belül áramlás indul a szárnyvégek felé és ott idő előtti leválást okoz.

A szárny nyílazása az effektív állásszög és az effektív áramlási sebességek változását okozza. Ezért az egész szárnyra érvényes eredő felhajtóerő-görbe meredeksége csökken. első közelítésben $\tau = 15^\circ$ -nál nem nagyobb nyílazási szögre:

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \cos \tau$$

ahol α_0 a nyilazatlan szárny $\frac{dc_y}{d\alpha}$ értéke.

Az indukált ellenállás változása a nyílazás miatt Hoerner szerint:

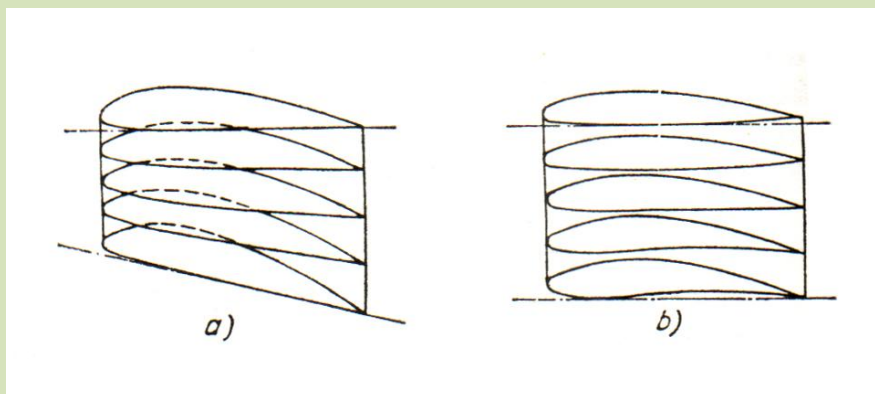
$$\Delta c_{xi\tau} = \frac{c_y^2}{\pi} \cdot \Lambda \cdot \frac{5}{10^6} \cdot |\tau^\circ|^3 \quad (44)$$

f) A felhajtóerő fesztáv menti eloszlásának szabályozási lehetőségei

A tetszőleges alaprajzú szárnyak felhajtóerő-eloszlását a legkisebb indukált ellenállást eredményező elliptikushoz közelíthetjük, vagy egyéb szempontok szerint tetszőlegesen alakíthatjuk a szárny elcsavarásával.

Az elcsavarásnak két formája ismeretes. A „geometriai” elcsavarásnál a szárny egymás melletti szelvényei azonosak, de különböző állásszögre vannak állítva. Így pl. téglalap alaprajzú szárny állásszögét a középrészen növelve, majd a végek felé fokozatosan csökkentve elliptikus felhajtóerőeloszlást érhetünk el.

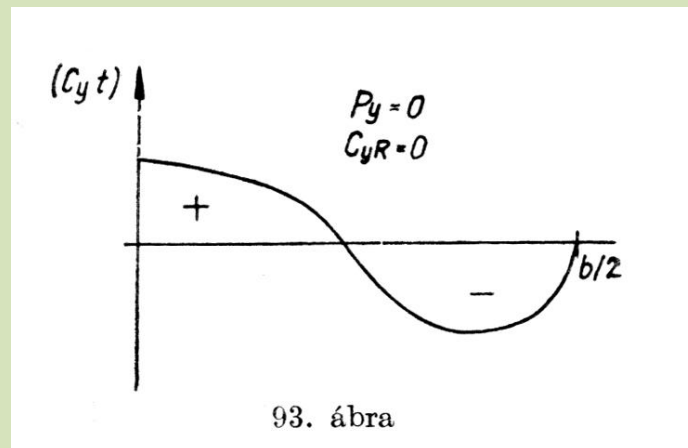
Hasonló a hatása az ún. „hidrodinamikai” elcsavarásnak, amikor a fesztáv mentén változó vastagságú vagy íveltségű szelvényeket alkalmaznak: az előbbi példákban szereplő téglalap alarajznál pl. a középrészen vastagabbakat, melyek a végek felé elvékonyodnak, ill. íveltségük csökken (**92. ábra**).



92. ábra.
Az elcsavarás kétféle módja

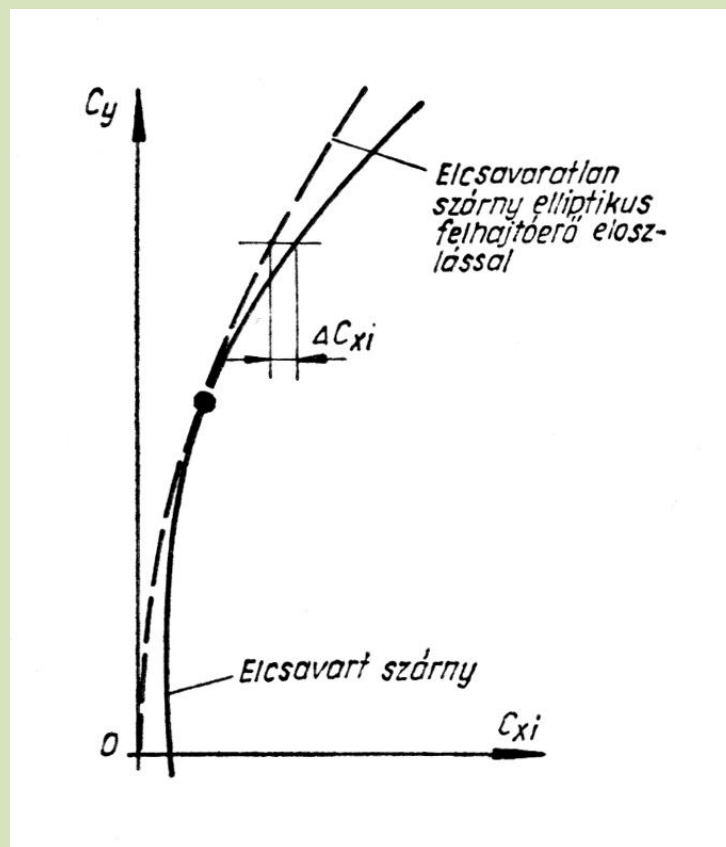
Ha a szárny el van csavarva és arra az állásszögre állítjuk, amelynél az egész szárnyon keletkező eredő felhajtóerő eltűnik, akkor a **93. ábrán** látható felhajtóerőeloszlás áll fenn. A szárny tehát nem ad felhajtóerőt, de a középrészen mégis keletkezik fel-, illetve a végeken

„le”-hajtóerő. Ezek egymás hatását éppen megsemmisítik. De mivel a felhajtóerő keletkezését indukált ellenállás kíséri, az elcsavart szárny c_{xi} indukált ellenállási tényezője $c_{yR} = 0$ eredő felhajtóerőtényezőnél nem nulla, hanem az elcsavaratlan szárny esetével ellentétben véges értékű. Az elcsavart szárny c_{xi} tényezőjének alakulását a **94. ábrán** láthatjuk a felhajtóerő függvényében. Érdeemes megjegyezni, hogy az elcsavart szárny legkedvezőbb esetében, de csak egyetlen c_y tényezőnél egyforma c_{xi} értéket érhet el az azonos oldalviszonyú elliptikus felhajtóerő eloszlású, elcsavaratlan szárnyal. Az elcsavart szárny minden ettől eltérő c_y tényezővel kedvezőtlenebb indukált ellenállás szempontjából.



93. ábra

93. ábra.



94. ábra.

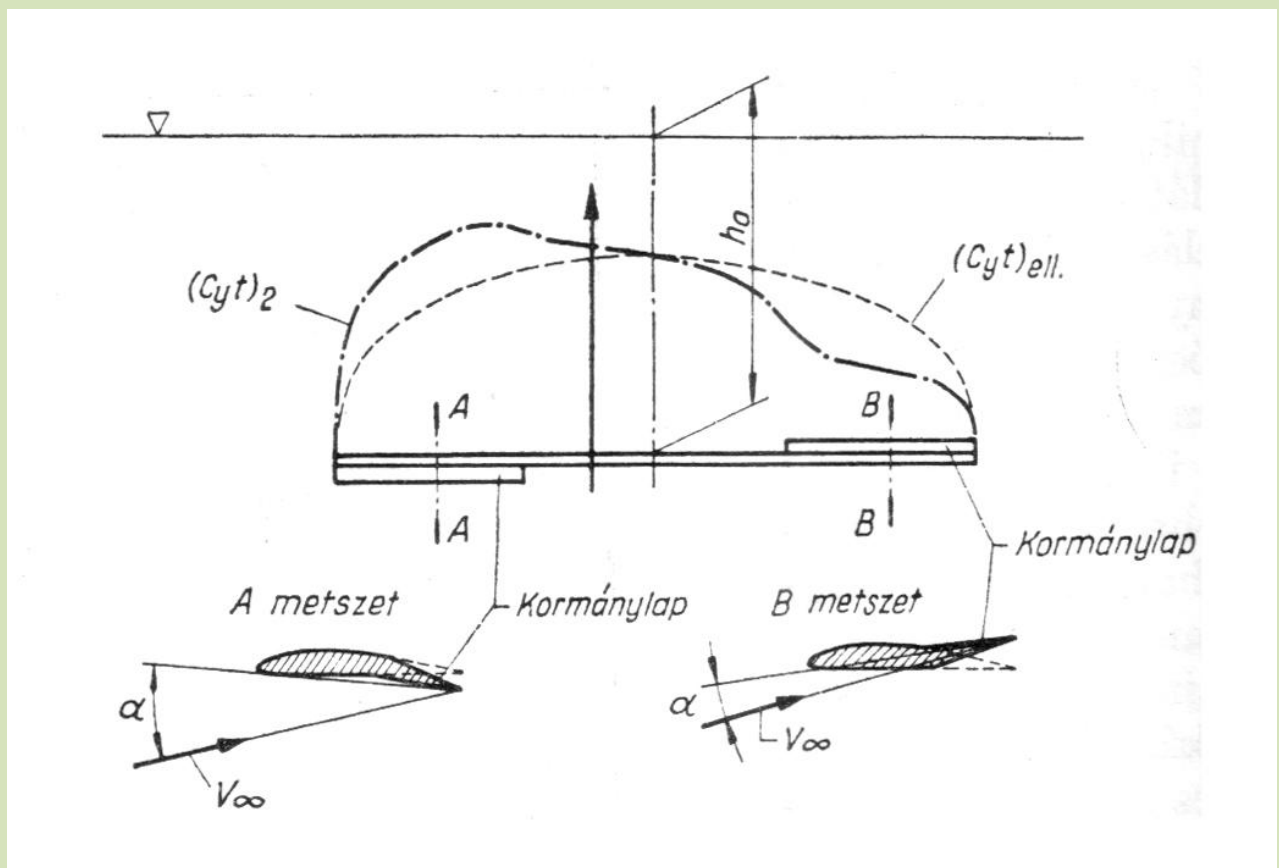
Az elcsavarást szárnyas hajóknál gyakran nem az indukált ellenállás optimumának elérésére, hanem a kedveződdstabilitási viszonyok kialakítására használják. Ugyanezzel a céllal szerelik

fel a hajókat – elsősorban a teljes merülésű szárnyakat, de néha másokat is- a repülőgépek csűrőfelületeihez hasonló állítható kormánylapocskákkal.

Általában csak a szárnyvégek közelében helyeznek el nozgatható felületeket a kilépőél előtt, melyek külön-külön vagy egyszerre állíthatók. Kitérésükor a kormányfelület fesztávolságával közelítőleg megegyező hosszúságú szakaszon megváltozik a szárny íveltsége, de ugyanakkor itt az egész szárny effektív állásszöge is.

E kettős hatás a felhajtóerő-eloszlás radikális szabályozását teszi lehetővé. A **95. ábrán** teljes merülésű, egyenesszárnyat látunk egyik oldalon felfelé, a másikon pedig lefelé kitérített kormánylapokkal. A kormánykitérés hatására a felhajtóerő-eloszlás erősen megváltozik: az eredő hatásvonalára kitolódik a szimmetriásíkból a lefelé kitérített felület oldalára.

A nyilazás, az elcsavarás és a kormánykitérés hatására létrejövő felhajtóerő-eloszlás független a szárny állásszögétől. Egy elcsavart és nyilazott szárny felhajtóerő-eloszlását kitérített kormányfelületekkel úgy kapjuk meg, ha külön-külön meghatározzuk az *alapeloszlást*, azaz az elcsavarás nélküli szárny felhajtóerő-eloszlását, célszerűen $\alpha = \frac{1}{a}$ állásszögre. ekkor az eredő felhajtóerőtényező $c_{yR} = 1$ (itt az állásszöget az egész szárnyra érvényes null-felhajtóerő-állásszögtől kell mérni).

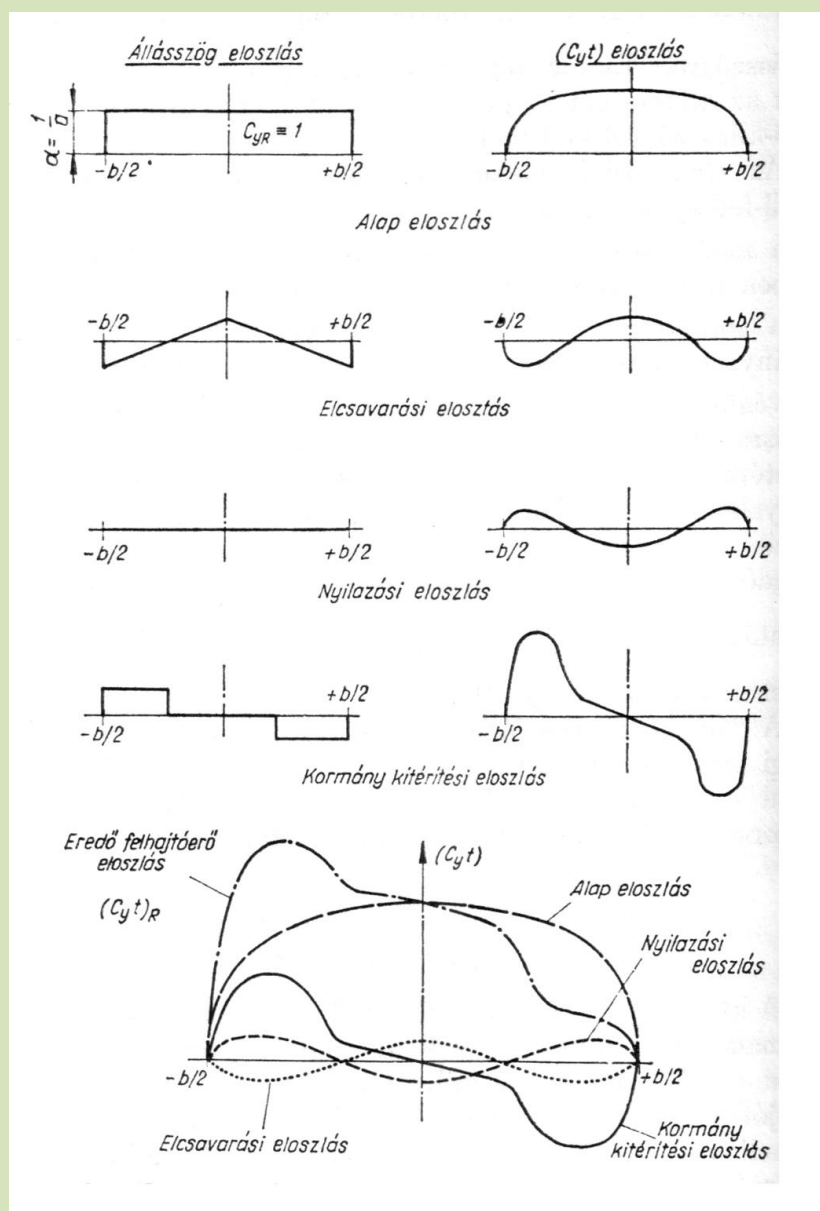


95. ábra.

Aszimmetrikus felhajtóerő-eloszlás kormánykitérés esetén

Az *elcsavarási eloszlást* az egész szárnyra érvényes α_0 null-felhajtóerő-állásszögnél, a *nyilazási eloszlást*, amely pusztán a nyilazás következtében létrejövő eltéréseket veszi figyelembe, a *kormánykitérítés eloszlását*, amely szintén csak a kormánykitérítéssel okozott járulékos eloszlást tartalmazza, végül az egyes részeloszlásokat és az alapeloszlást egymásra szuperponáljuk. Ezzel az eljárással megkaptuk $c_{yR} = 1$ esetére az eredő felhajtóerő-eloszlást. Természetesen itt figyelmen kívül hagytuk a felhajtóerő-változás nagyobb állásszögeknél tapasztalható eltérését a lineáristól. A szárny eredő felhajtóerő-eloszlását valamely kívánt állásszögre ezután a kapott görbe $\alpha = \frac{c_y}{a}$ -val helyről helyre való beszorzásával kapjuk (96. ábra).

A felhajtóerő-eloszlás pontos ismeretére általában szilárdsági méretezéseknél van szükség, de különösen teljes merülésű és kormánylappal vezérelt szárnyaknál a stabilitási viszonyok tisztázásához is nélkülözhetetlen.



96. ábra.

A felhajtóerő fesztáv menti eloszlása

g) A vízfelszínhez viszonyítva ferde helyzetű szárnyak felhajtóereje

A különféle kialakítású szárnyak között fontos helyet foglalnak el az előlnézetben V alakban megtört és csak részben a víz alá merült szárnyak, melyek két végemég a hajótest teljesen vízbemerült helyzeténél is a felszín fölé emelkedik. Ezt a szárnyformát kedvező önstabilitási tulajdonságai miatt alkalmazzák.

Az egyenes szárnyakra érvényes összefüggéseket itt csak első közelítésben használhatjuk. Bár egy szárny síkjára merőlegesen ébredő P_{yN} normál felhajtóerő nagysága csupán a szárny geometriai kialakításától és a haladás irányával bezárt állásszögtől függ, -és így a szárny térbeli helyzetétől lényegében független,- a szárnyas hajózás szempontjából a felületeken keletkező felhajtóerők függőleges irányú összetevője elsőrendűen fontos. A vízfelszint ferdén, vagy V alakban áttörő szárnyak állásszöge a függőleges síkban nem azonos a felületre merőleges normál síkban mérhetővel. Egy általános helyzetű, tehát a függőlegeshez képest β szögben megdőlt szimmetriasíkú V-szárny valóságos α^* állásszöge ezután:

$$\alpha^* = \arcsin \left(\frac{\tan \alpha \cdot \cos(\delta + \beta)}{\sqrt{\tan^2 \alpha + (\cos \beta - \tan \delta \cdot \sin \beta)^2}} \right)$$

Ha a szárny szimmetrikusan halad, azaz $\beta = 0^\circ$, akkor *Sottorf* szerint:

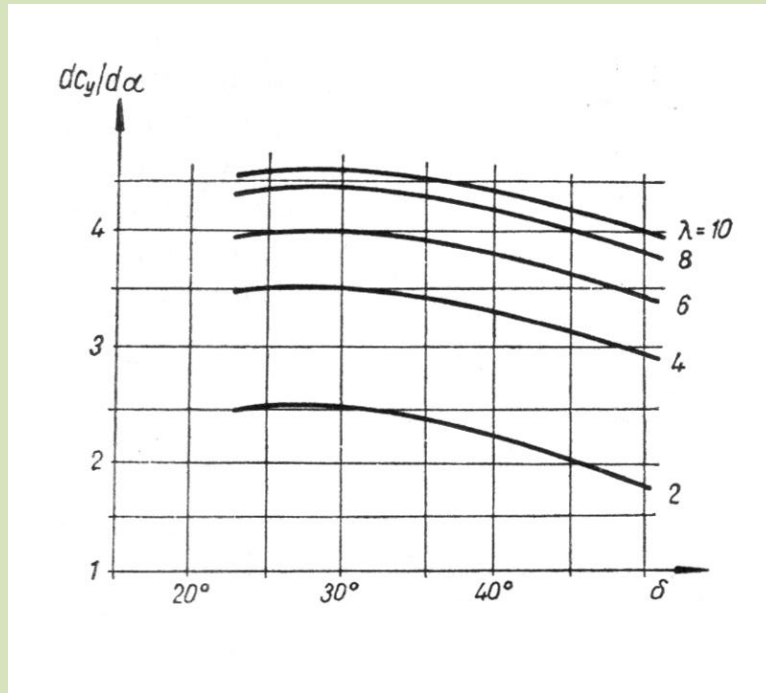
$$\sin \alpha^* = \sin \alpha \cdot \cos \delta$$

és ha az állásszög elég kicsi, akkor:

$$\alpha^* = \alpha \cdot \cos \delta$$

vagyis a β dőlésszögnek nincs többé szerepe.

A hatásos állásszög megváltozása a felhajtóerő-görbe laposodását okozza. A **97. ábrán** különféle oldalviszonyú, körszelet szelvényű és téglalap alaprajzú szárnyak $\frac{dc_y}{d\alpha}$ -inak csökkenését ábrázoltuk a V-állás δ szögének függvényében. Érdemes figyelni arra a tényre, hogy a görbék 25-30°-ig csaknem változatlan értékeket mutatnak és erős letörésük csak ezután következik be. Ez a szögérték tehát a felhajtóerő és a stabilitási viszonyok szempontjából optimális.

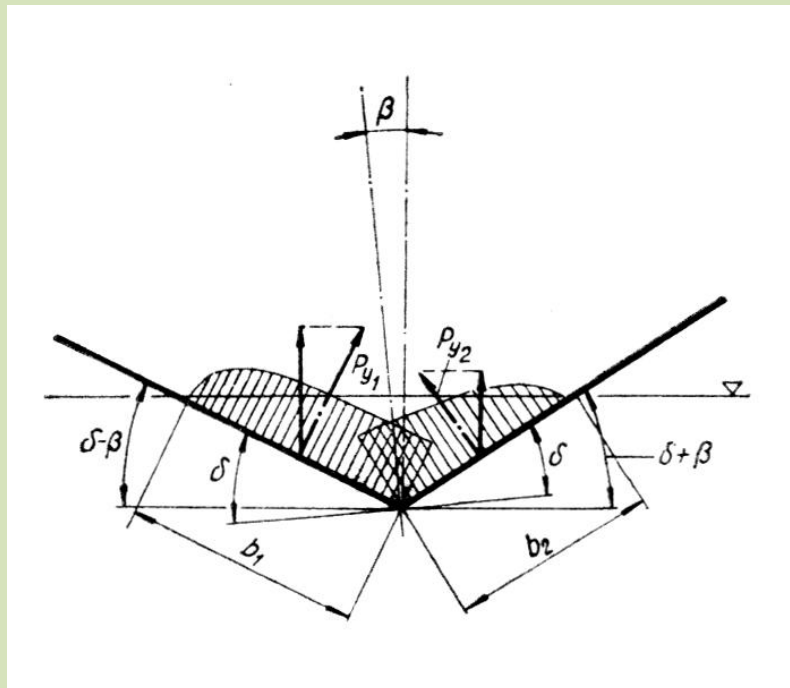


97. ábra.

A felhajtóerő görbe meredksége a V-állás szögének figyelembevételével

$$\alpha = \frac{2 \cdot \eta \cdot \pi}{1 + \frac{z \cdot \eta}{\lambda}} \quad (45)$$

ahol $z = f(\delta)$ és 2-nél mindig nagyobb szám.



98. ábra.

Általános helyzetű V alakú szárny felhajtóereje

A V alakban megtört szárnyak összfelhajtóereje a két b_1 , illetve b_2 nedvesített hosszúságú szárnydarabon ébredő P_{y1} , illetve P_{y2} normál felhajtóerő függőleges vetületeinek összege. A **98. ábra** szerint tehát általános helyzetű, β szöggel megdőlt szárnyra:

$$\begin{aligned} P_{yR} &= P_{y1} \cos(\delta - \beta) + P_{y2} \cos(\delta + \beta) \\ &= (P_{y1} + P_{y2}) \cos \delta \cdot \cos \beta + (P_{y1} + P_{y2}) \sin \delta \\ &\quad \cdot \sin \beta \end{aligned} \quad (46)$$

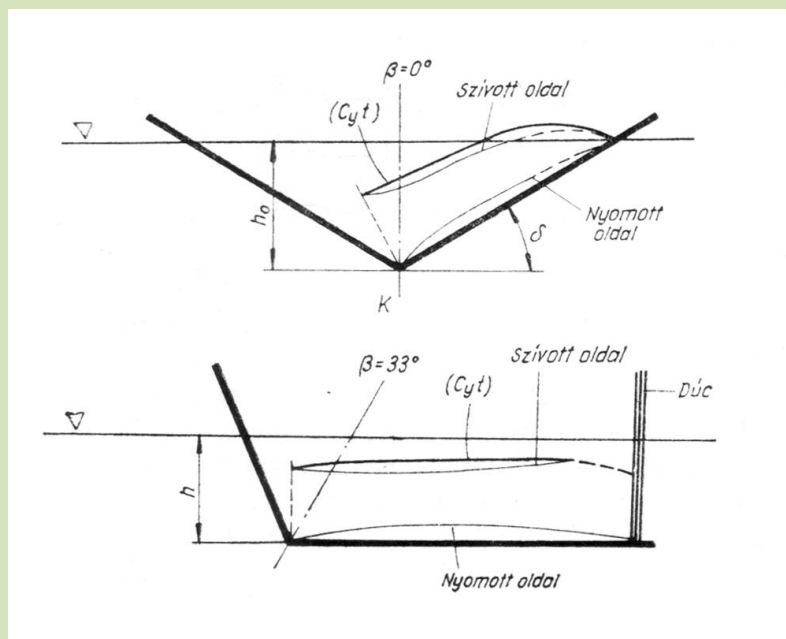
A két szárnyfélre merőleges normál felhajtóerő azonban:

$$P_{y1} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \int_0^{b_1} (c_y \cdot t)_{b_1} db \quad (47)$$

illetve:

$$P_{y2} = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \int_0^{b_2} (c_y \cdot t)_{b_2} db \quad (48)$$

Ezekben az egyenletekben $(c_y \cdot t)_{b_1}$, illetve $(c_y \cdot t)_{b_2}$ a két szárnyfélen keletkező felhajtóerő fesztáv menti eloszlásának függvénye. A számításban egyedül ezek meghatározása okoz nehézséget. Nyilvánvaló, hogy felszínhez viszonyítva ferdén elhelyezkedő szárny felhajtóereje az áttörési pontban 0, és innen lefelé a K gyökpontban elért legnagyobb értékéig a \bar{h} relatív merüléssel változik. Schuster és Schwanecke mérései szerint a két szárnyfél egymásra hatása is jelentős és legerősebben ebben a pontban észlelhető. Az egymásra hatás következtében a szívott oldal részaránya megnő az összfelhajtóerőben, a nyomott oldalé viszont csökken. A helyi felhajtóerőtényező azonban éppen ezért itt közelítőleg változatlan marad. A kísérletek $\delta = 33^\circ$ V-állású szárnyal végezték, és ugyanezt tapasztalták $\beta = 33^\circ$ -ra megdőlt -tehát vízszintes- szárnyfél dűcfelöli végén is (**99. ábra**).



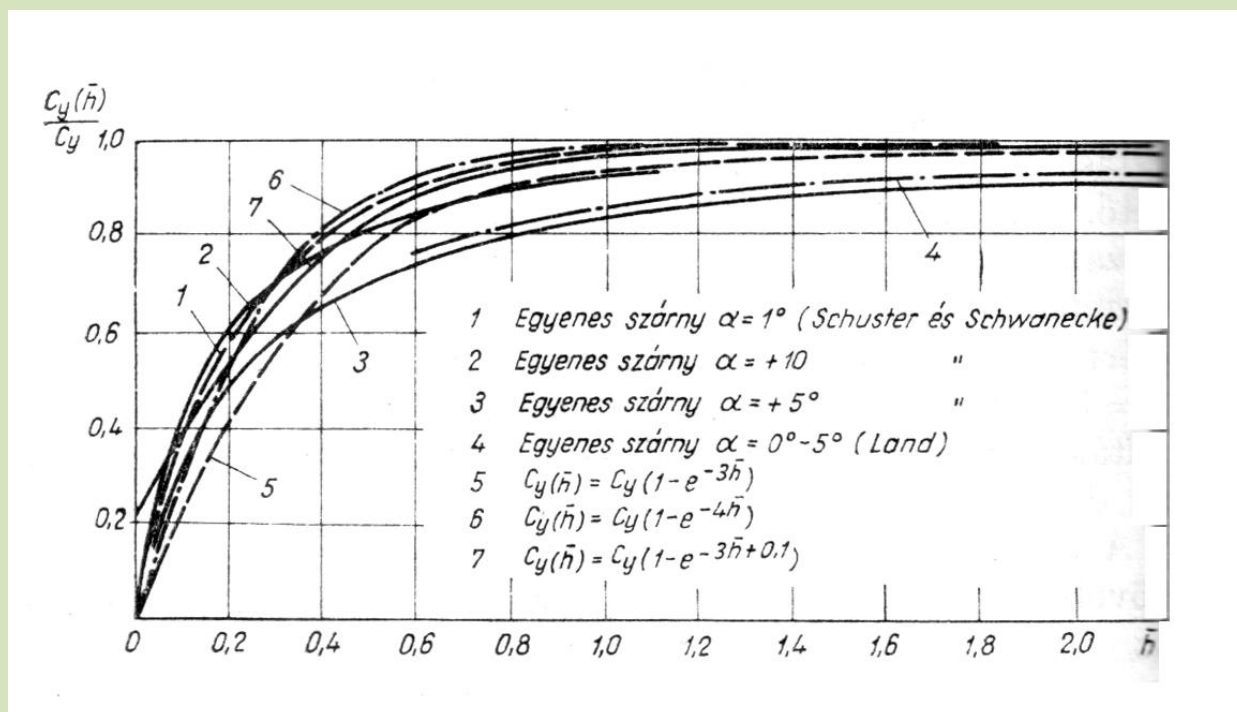
99. ábra.
A felhajtóerőtényező eloszlása V-szárnyon

A szárnyvégeket lezáró támaszdúc jelenléte tehát megnöveli közelében a helyi felhajtóerőtényezőt és ezzel az egész szárny felhajtóerejét is. Itt jelezzük meg, hogy a szárnyvégen elhelyezett zárólapok alkalmazása növeli az effektív oldalviszonyt, és az indukált ellenállást csökkenti. Ugyanígy szerepet töltenek be a kismérüléssű szárnyak támasztódúcai is, amelyeket rendszerint úgy helyeznek el, hogy szabad szárnyvégződés ne legyen.

Schuster és Schwanecke, valamint Land kísérletei alapján Presia állította fel a felhajtóerő feszítáv menti eloszlásának egyenletét:

$$\begin{aligned} c_{y(\bar{h})}/c_y &= k_1(1 - e^{-4\bar{h}}) \\ c_{y(\bar{h})}/c_y &= k_1(1 - e^{-3\bar{h}}) \\ c_{y(\bar{h})}/c_y &= k_1(1 - e^{-3\bar{h}+0,3}) \end{aligned} \quad (49)$$

A három egyenlet közül az utolsó egyezik meg leginkább a mérési eredményekkel, bár a $\bar{h} = 0$ relatív merülésnél az elméletileg is helyes $c_y = 0$ helyett véges értéket ad. Ennek ellenére a függvény menete a gyakorlati alkalmazás szempontjából kisebb hibát mutat, mint a másik kettő. Az egyenletek csak téglalap alaprajzú, végig azonos szelvényű és elcsavaratlan szárnyra érvényesek. A képletben c_y a végtelen oldalviszonyú szárny ismert felhajtóerőtényezője tetszőleges állásszög mellett. A véges oldalviszonyt és a V-állás hatását a k_1 tényező veszi figyelembe és értékét 0,94-0,98 között kell felvenni. A kisebb szám kisebb oldalviszonyt és nagyobb V-állást jellemez. A 100. ábrán a mérési eredmények mellett Presia nyomán feltüntetjük a fenti összefüggésekkel kapott \bar{h} relatív merülés menti felhajtóerő-eloszlásokat is.

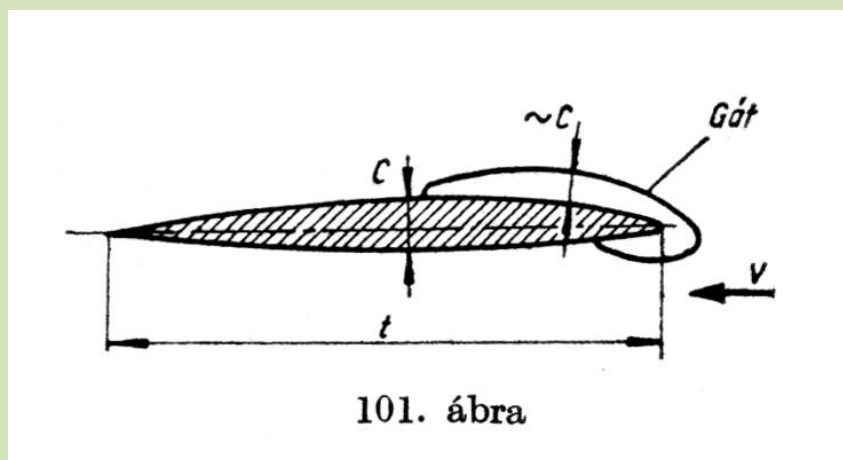


100. ábra.

Nem egyedül a V-szárnyak problémája, de a felszint áttörő felületek miatt itt jelentkezik leghamarabb a levegőbetörés vagy levegőleszívás jelensége.

A szárny feletti nyomáscsökkenés következtében a víz a felszín közelében gyakran már a kavitációs sebesség elérése előtt leválik a felületről és helyébe levegő tör be. A leválás könnyen terjed feszítáv irányban és a levegőleszívás miatt a nedvesített felület erősen lecsökkenhet. Ennek természetesen a felhajtóerő csökkenése a következménye, és ezért mindenképpen kerülendő.

A jelenség az áramlás irányával párhuzamosan elhelyezett lapocskákkal könnyen szabályozható és kiterjedése megakadályozható. E lapocskáknak nem kell az egész szelvényhosszon végigérniük, elég ha a szívott oldal mellső részén, a kritikus alacsony nyomású szakaszon húzódnak. Közepes magasságuk közelítőleg a szelvényvastagsággal egyezik meg (**101. ábra**). Rendszerint több ilyen gátat is elhelyeznek a szárnyon, sőt gyakran a szárnyat tartó dúcokon is. A levegőbetörést mindig a felszínhez legközelebbi gát akadályozza meg. Ha ez kiemelkedik a vízből, akkor a leválás a következő lapocskáig terjed.



101. ábra

101. ábra.

Ez a jelenség a teljesen víz alá merült, de a felszínhez igen közel haladó szárnyakkal is előfordul, és igen kis üzemi \bar{h} értékeknél az alkalmazható c_y felhajtóerőtényező nagyságát erősen befolyásolja. A szívott oldalon elhelyezett kis lapocskák itt a levegőbetörés feszítávirányú kiterjedését akadályozzák meg, ugyanis egyenes szárnyaknál közelítőleg az egész feszítáv mentén azonos nyomásviszonyok uralkodnak, ami a leválás tovaterjedését megkönnyíti.