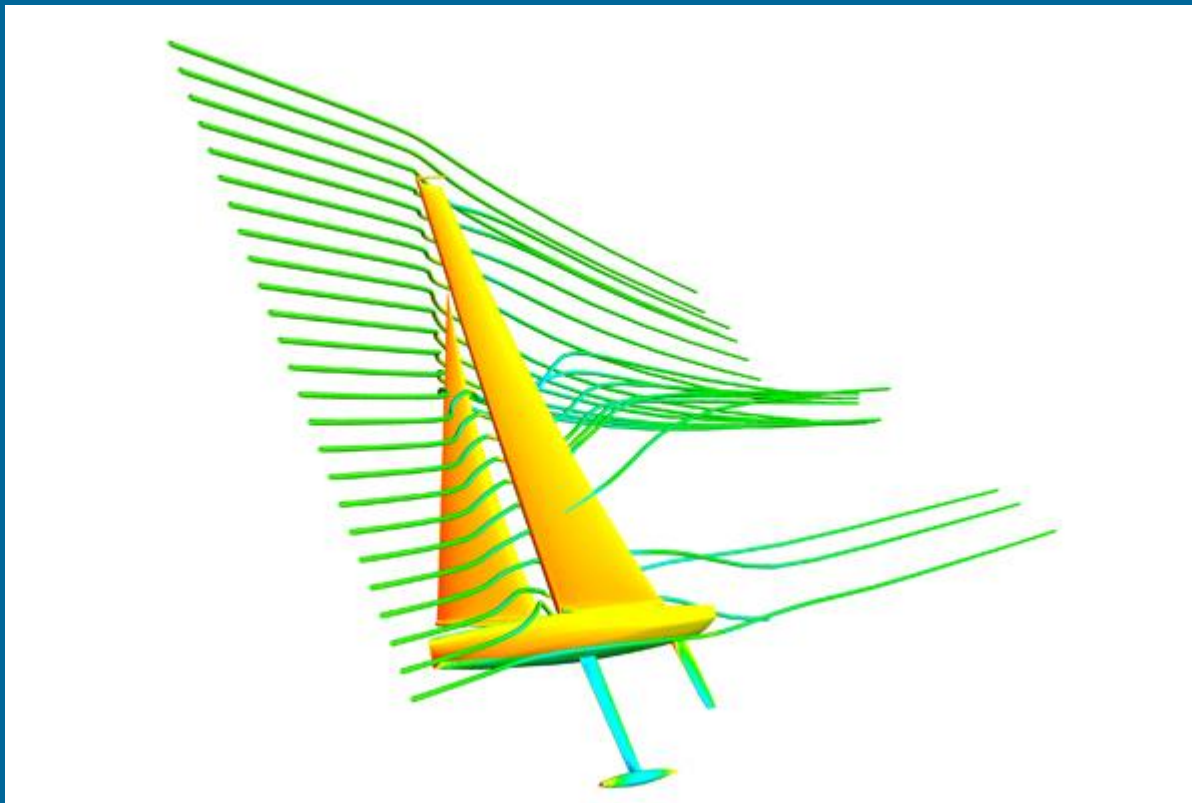


Áramlástan

Vitorlás edzők számára



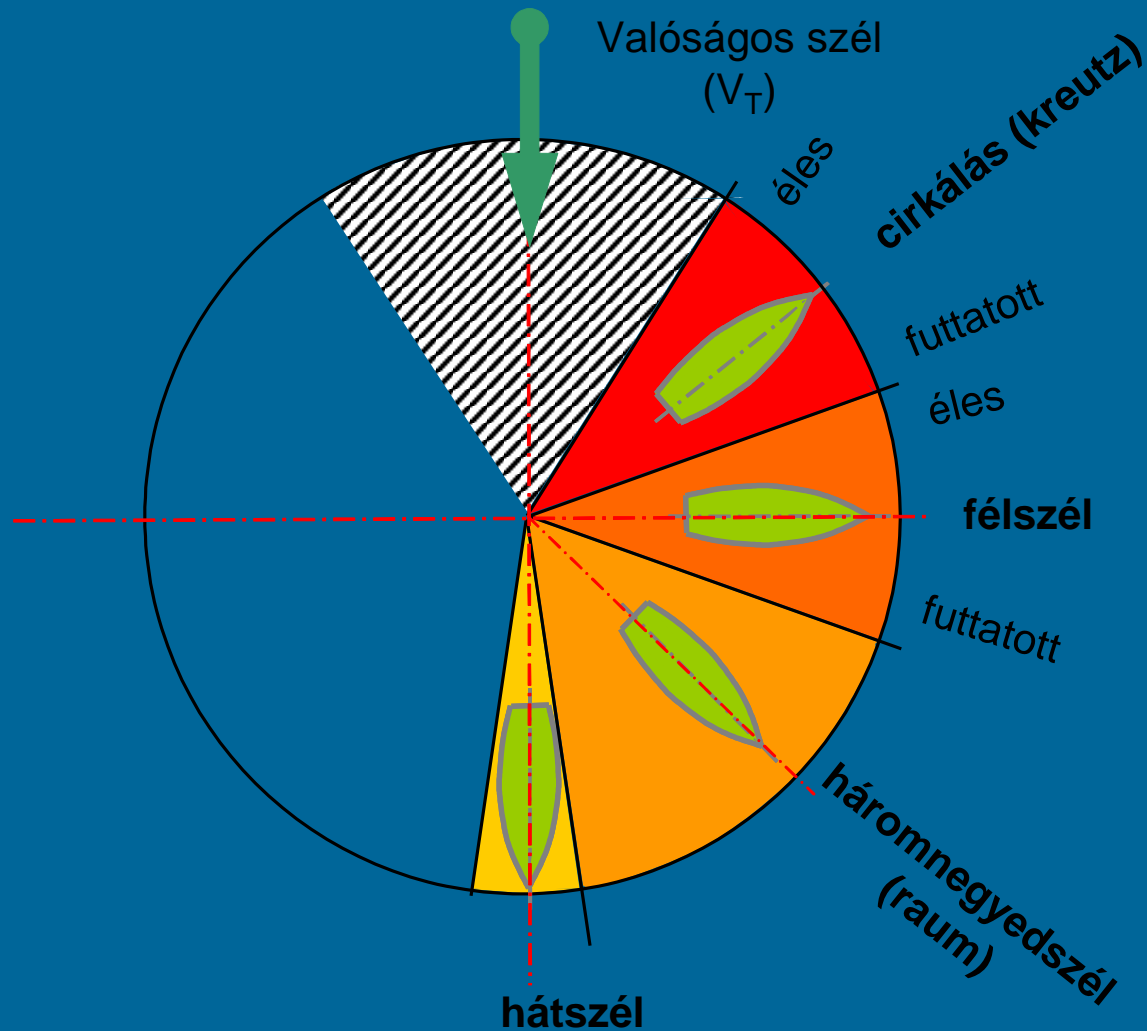
Készítette: Dr. Simongáti Győző, BME VRHT

Áramlástani alapfogalmak

Egyensúly

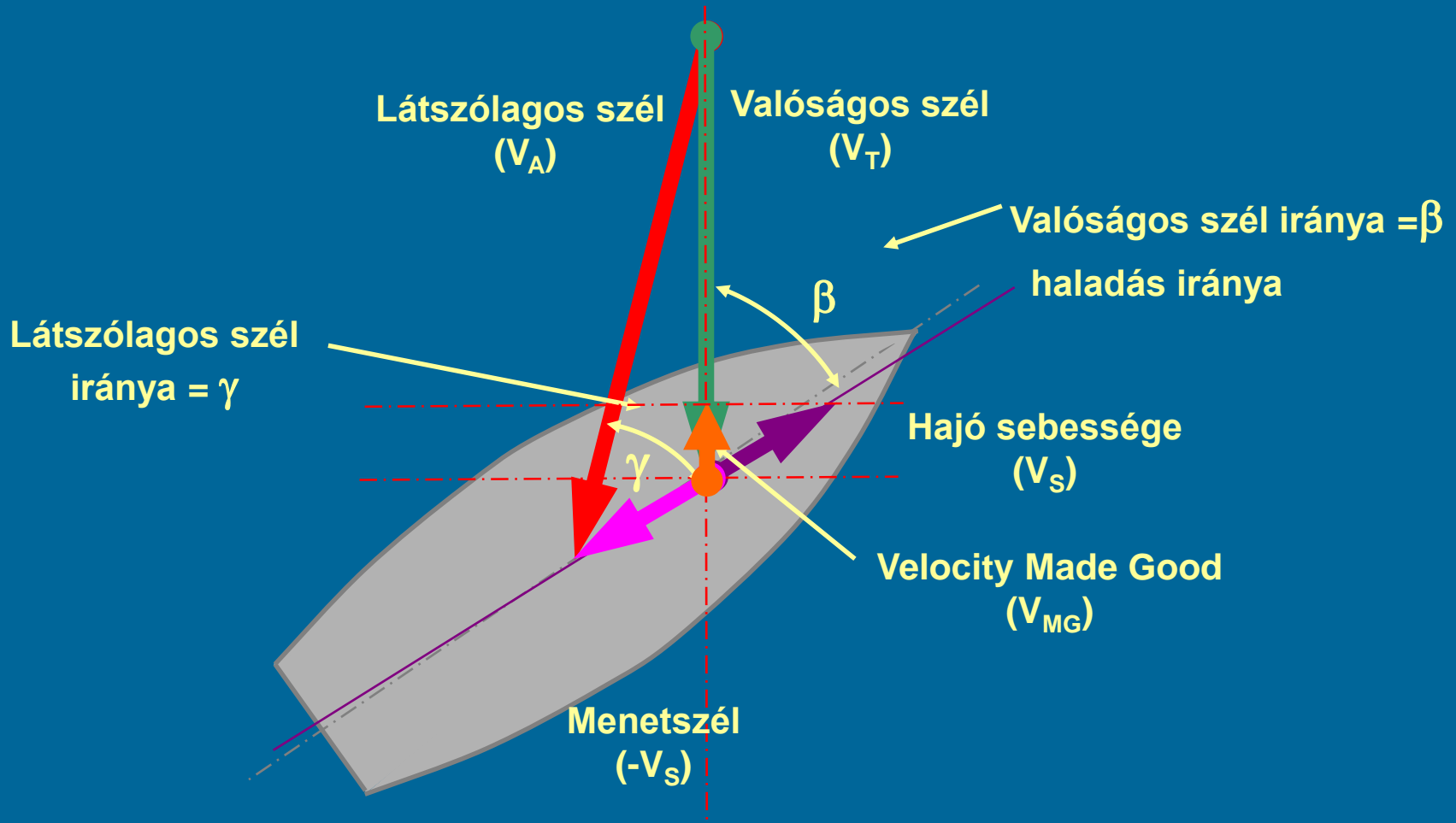
A vitorláshajó működése

valóságos szél, menetszél, látszólagos szél



A vitorlánhajó működése

valóságos szél, menetszél, látszólagos szél



A vitorlášhajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly

Newton 1. törvénye – a tehetetlenség törvénye

Minden test megtartja nyugalmi állapotát, vagy megmarad az egyenes vonalú egyenletes mozgás állapotában míg más test vagy erő mozgásállapotának megváltoztatására nem készíti.

$$\sum F=0; \sum M=0$$

Newton 2. törvénye - a dinamika törvénye

Egy pontszerű testnek a gyorsulása azonos irányú a testre ható F erővel, nagysága egyenesen arányos az erő nagyságával, és fordítottan arányos a test m tömegével.

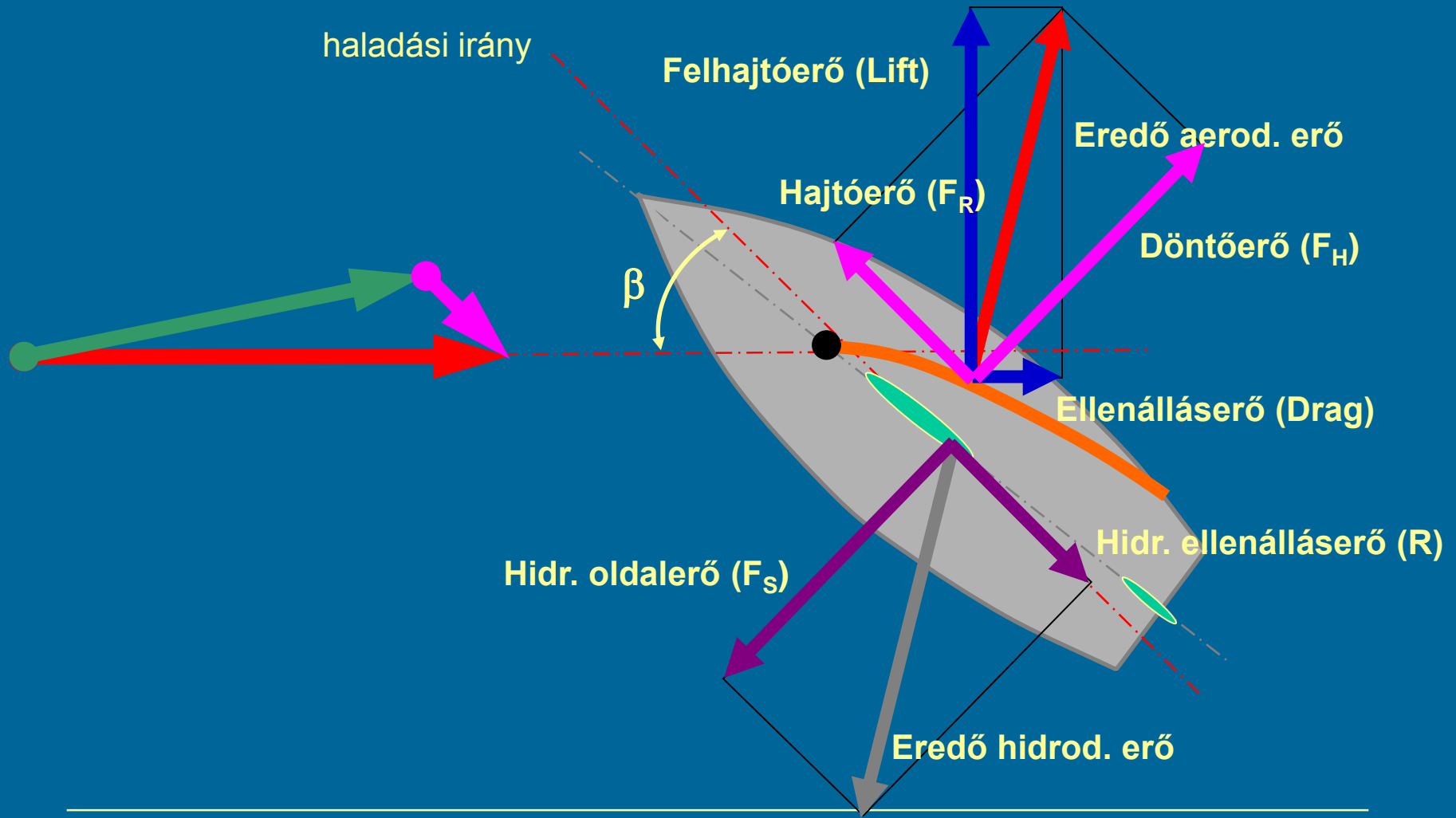
Newton 4. törvénye – az erőhatások függetlenségének elve

Más néven a szuperpozíció elve.

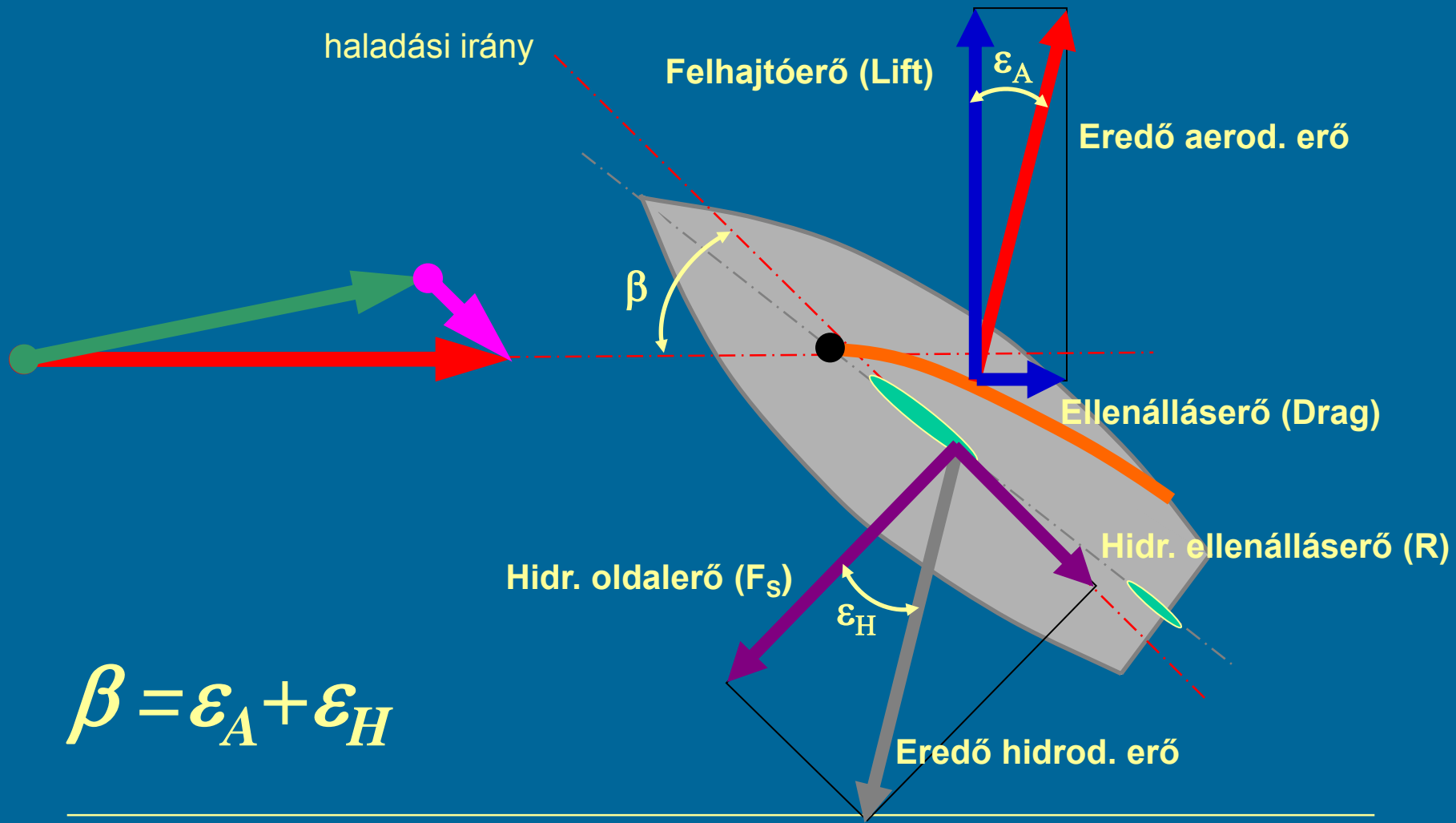
Ha egy testre egy időpillanatban több erő hat, akkor ezek együttes hatása megegyezik a vektori eredőjük hatásának vonalával.

$$\sum F=m*a; \sum M=\Theta*\varepsilon$$

A vitorláshajó működése az erők keletkezése

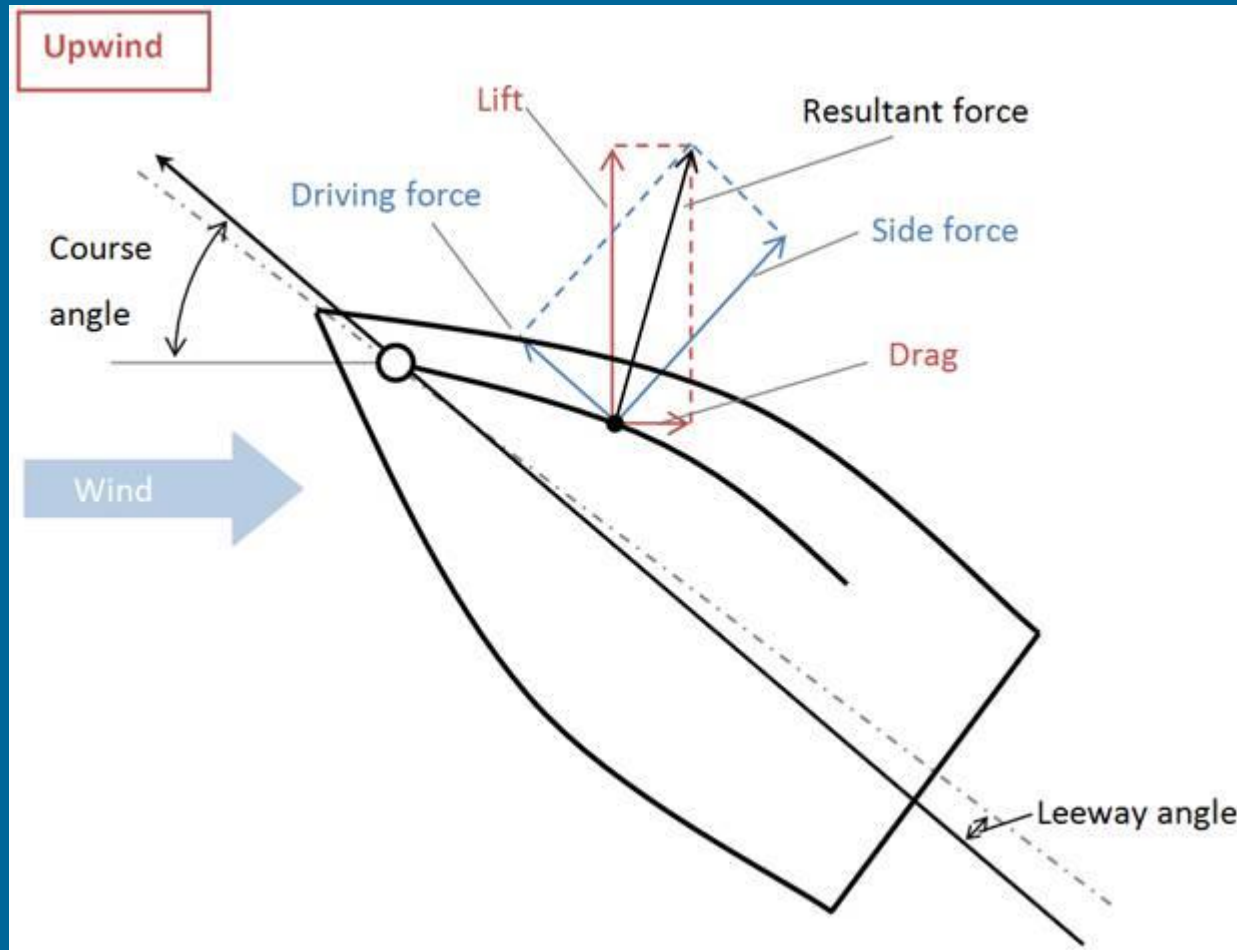


A vitorlánhajó működése az erők keletkezése



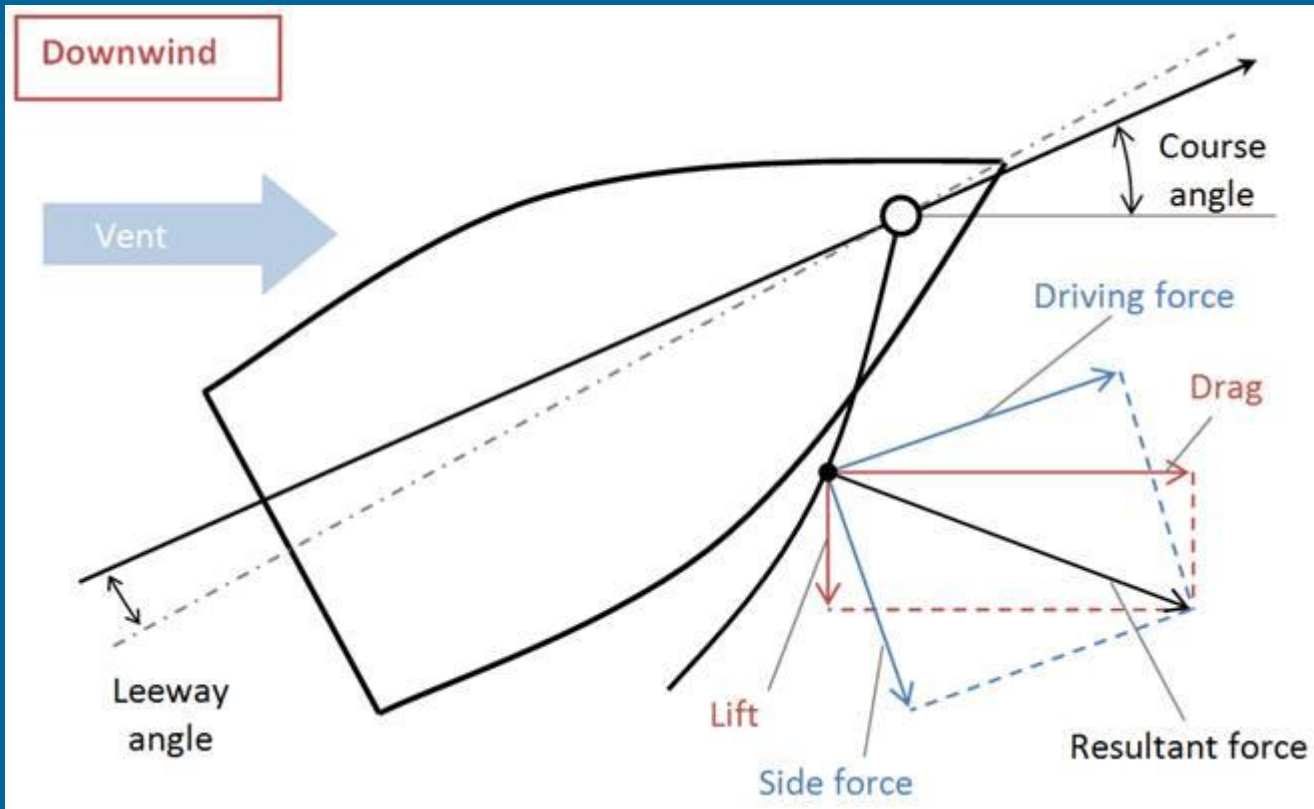
A vitorlášhajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly



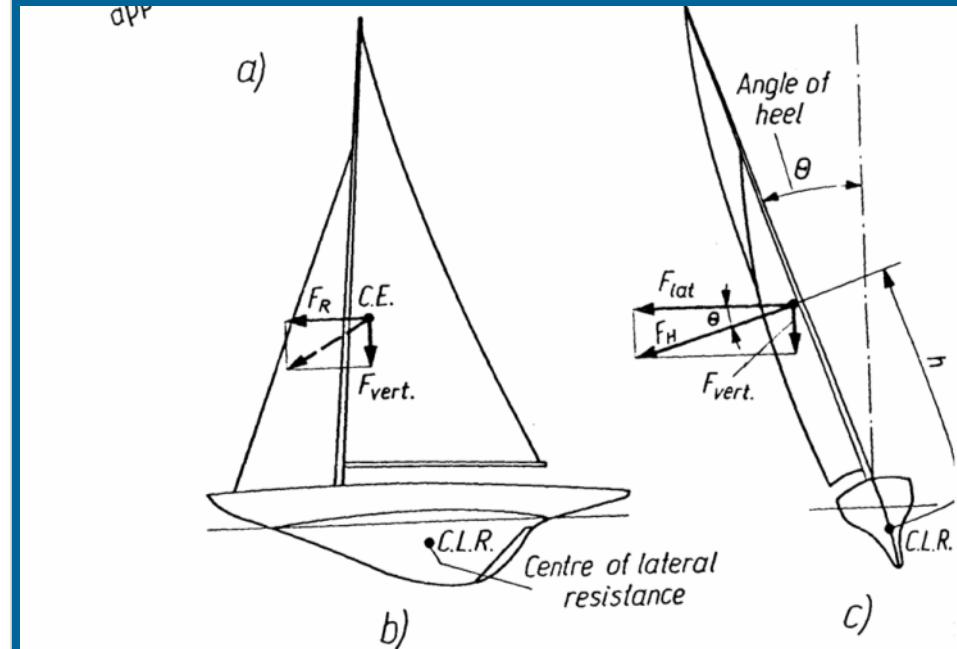
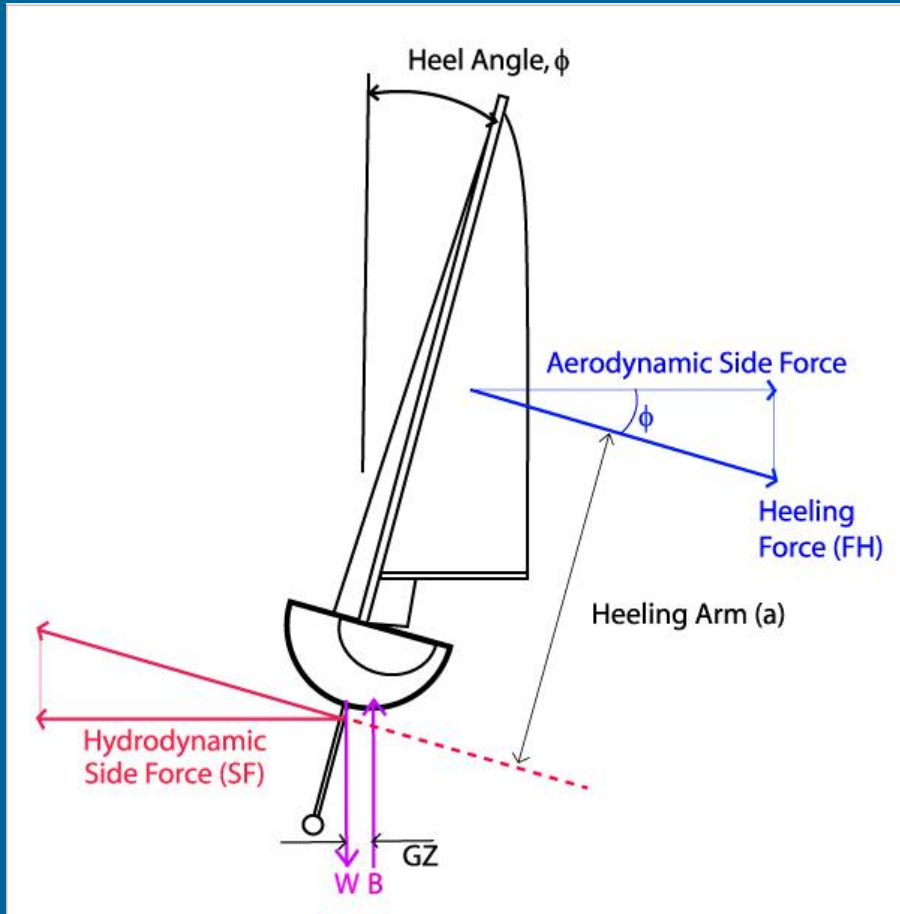
A vitorláhajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly



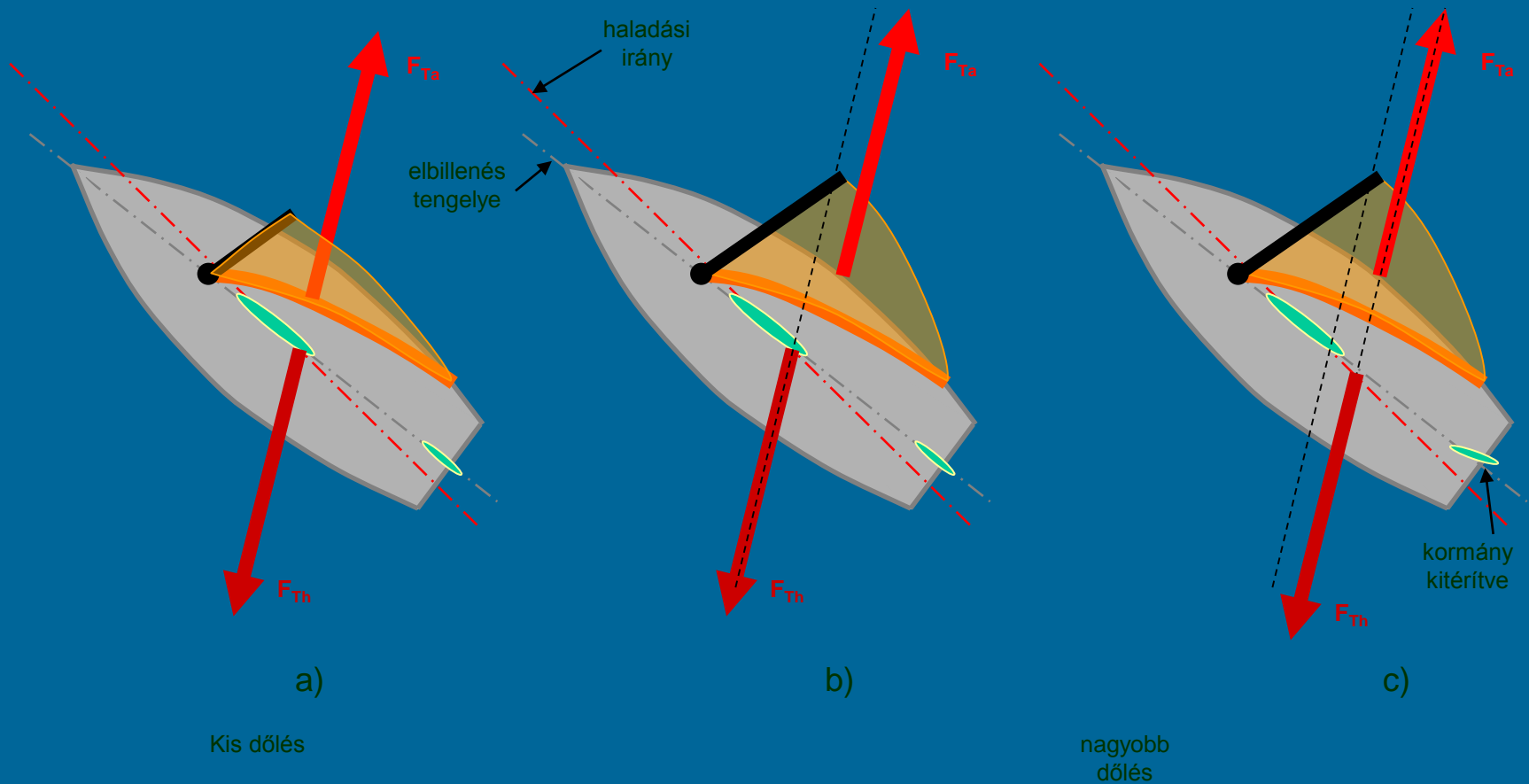
A vitorláshajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly



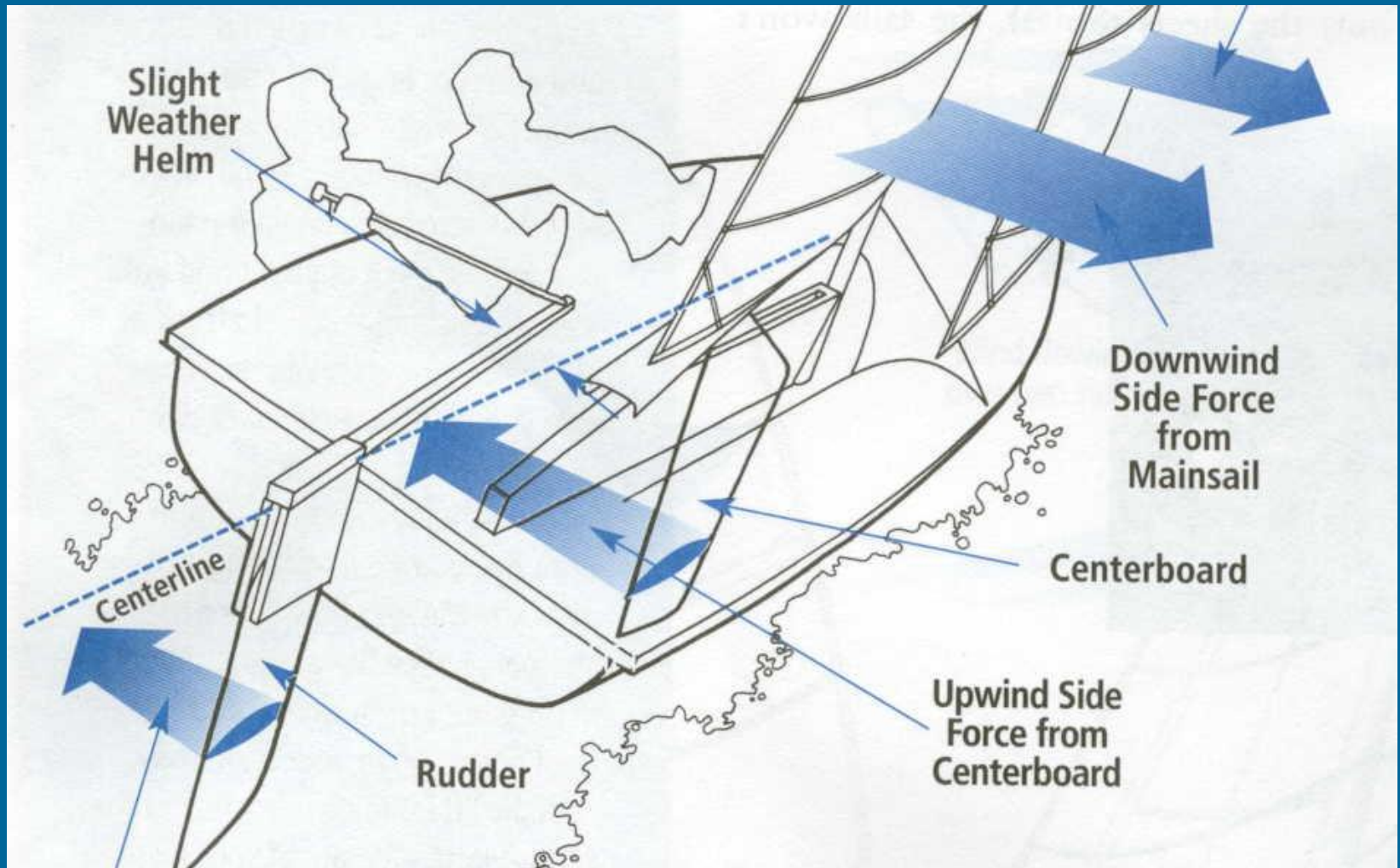
A vitorláshajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly



A vitorláshajó működése

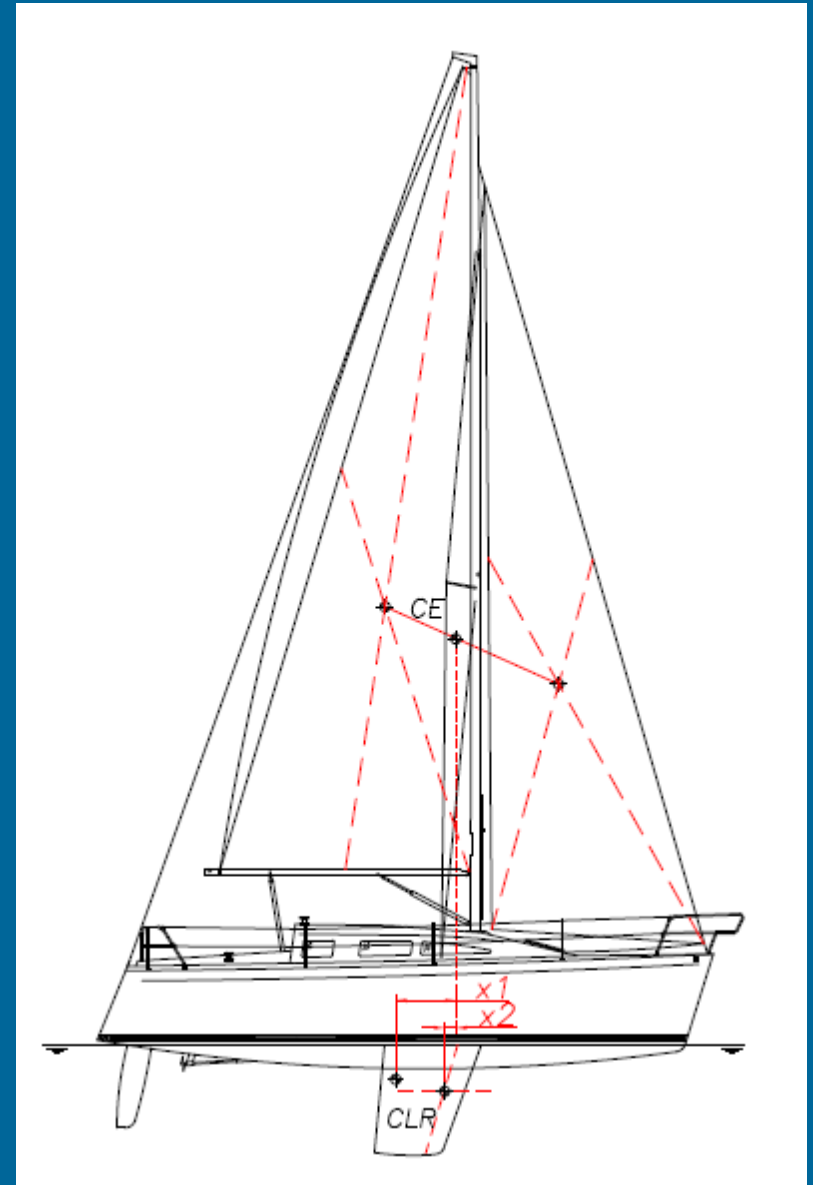
erő- és nyomatéki egyensúly



A vitorláshajó működése

erő- és nyomatéki egyensúly

- a hosszúgerinces hajóknál a geometriai súlypontok meghatározása után a „lead” (x1) legyen
 - árboccsúcsra szerelt szlup vitorlázat esetén az LWL 12-16%-a
 - frakcionális szlup rigg esetén az LWL 10-14%-a
 - ketch-eknél a LWL 11-15%-a.
- Szárny-tökesúlyos hajóknál a negyed-húrhossz-vonalas módszerrel a „lead” (x2) legyen
 - árboccsúcsra szerelt szlup vitorlázat esetén az LWL 5-9%-a
 - frakcionális szlup rigg esetén az LWL 3-7%-a



A vitorláhajó működése

mekkora lesz a hajó sebessége?

Teljesítmény (szél nagysága, iránya haladási irányhoz képest) – P_{eff}

A vitorlázat ezt alakítja át hajtóerővé és döntőerővé – bizonyos hatékonysággal, ϵ_A

Egyensúly esetén az aerodinamikai eredő erő mindig egyenlő a hidrodinamikai eredő erővel

hajtóerő mindig egyenlő a hidrodinamikai ellenálláserővel, ha nem, akkor a hajó gyorsul (vagy lassul)

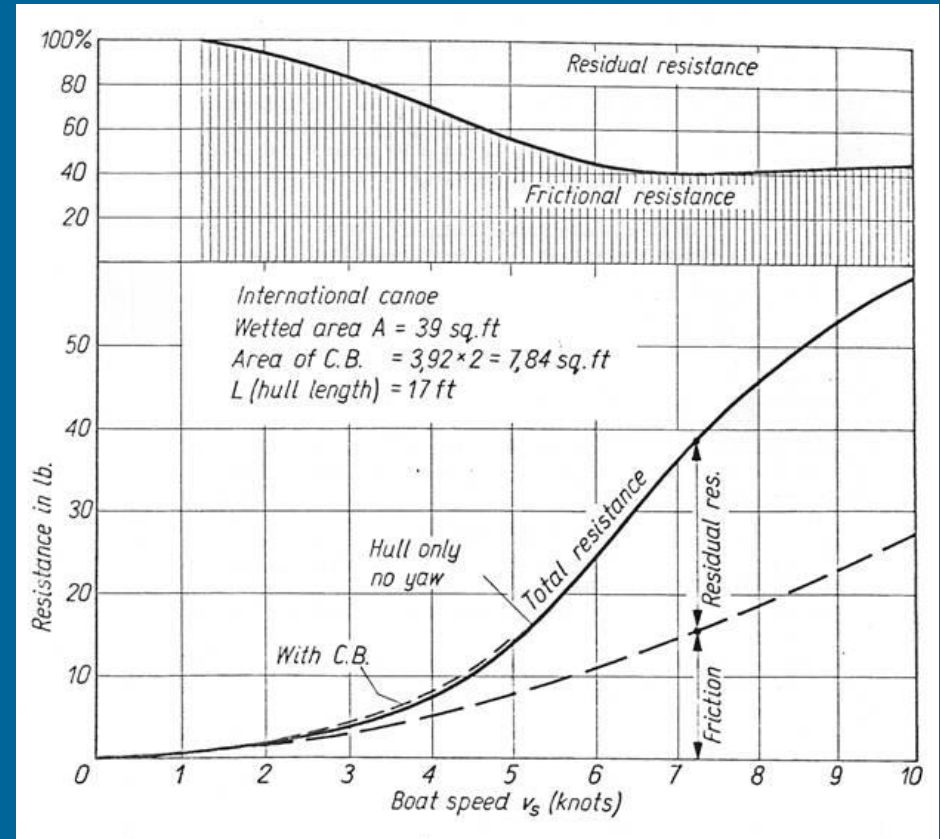
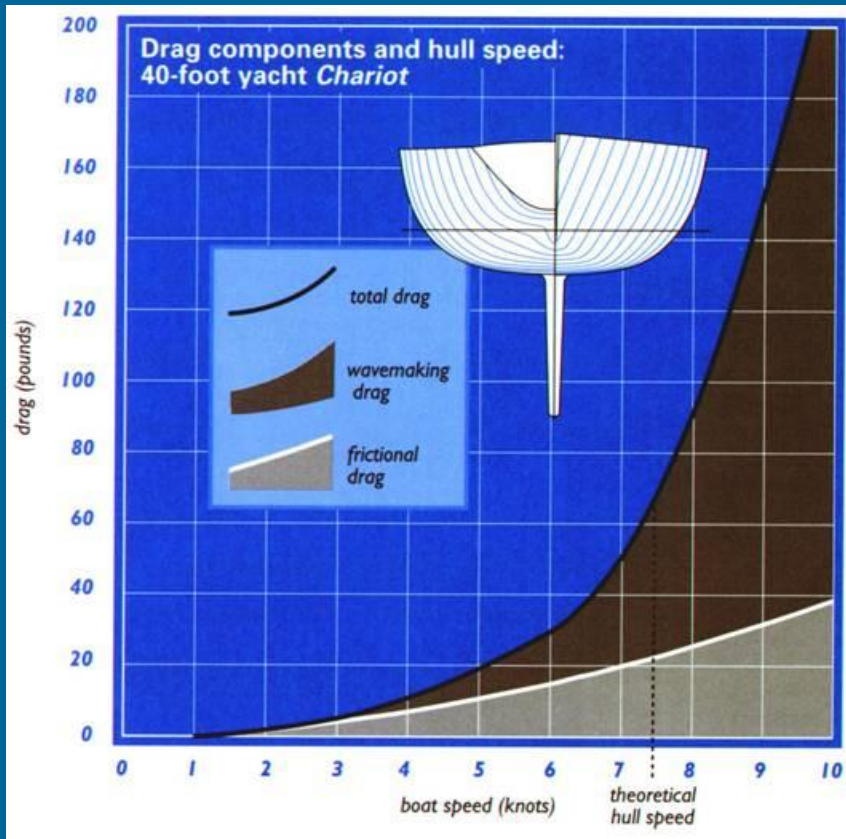
De nem mindegy, hogy az ellenálláserő mellett mekkora oldalero keletkezik – itt van a szerepe a víz alatti részek ϵ_H -jának

Ha ez nagy, akkor a hajó nagyon sodródik és dől, mely növeli az ellenálláserőt

Az ellenálláserő mindig meghatároz egy sebességet, mégpedig egy négyzetes jellegű összefüggés szerint

A vitorláshajó működése

mekkora lesz a hajó sebessége?



A hajótest ellenállása

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

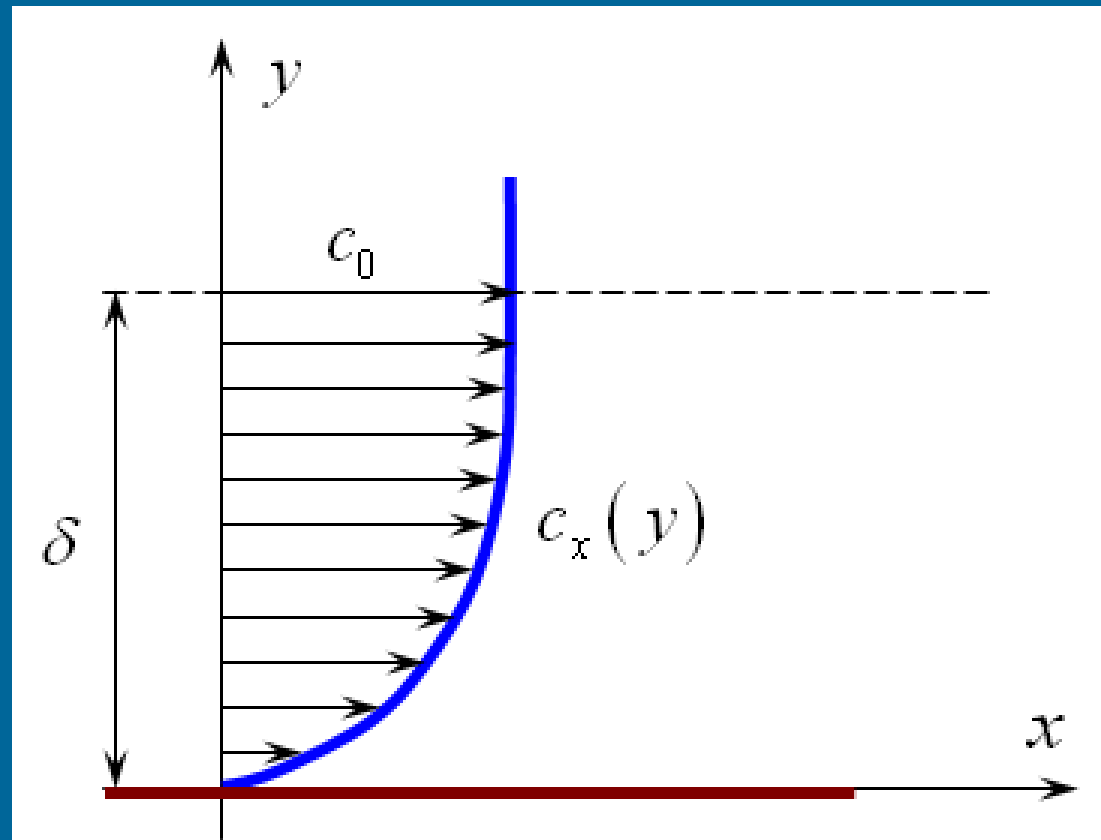
- Ideális és valóságos közeg közötti különbség
- Csúsztatófeszültségek, viszkozitás
- Közeg energiája, nyomása
- Áramvonalak
- Lamináris, turbulens áramlás
- Határréteg
- Leválás
- Áramlásba helyezett testekre ható erők – súrlódásból és nyomásból

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Határréteg

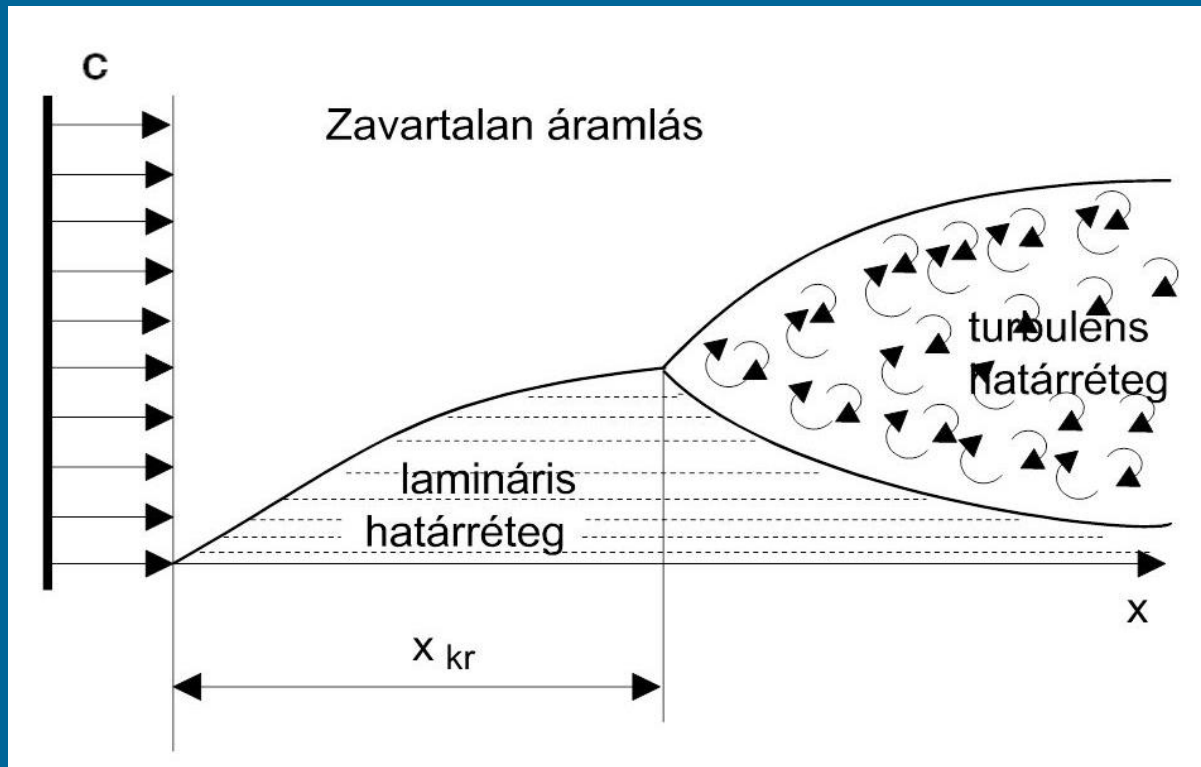


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Határréteg felépítése

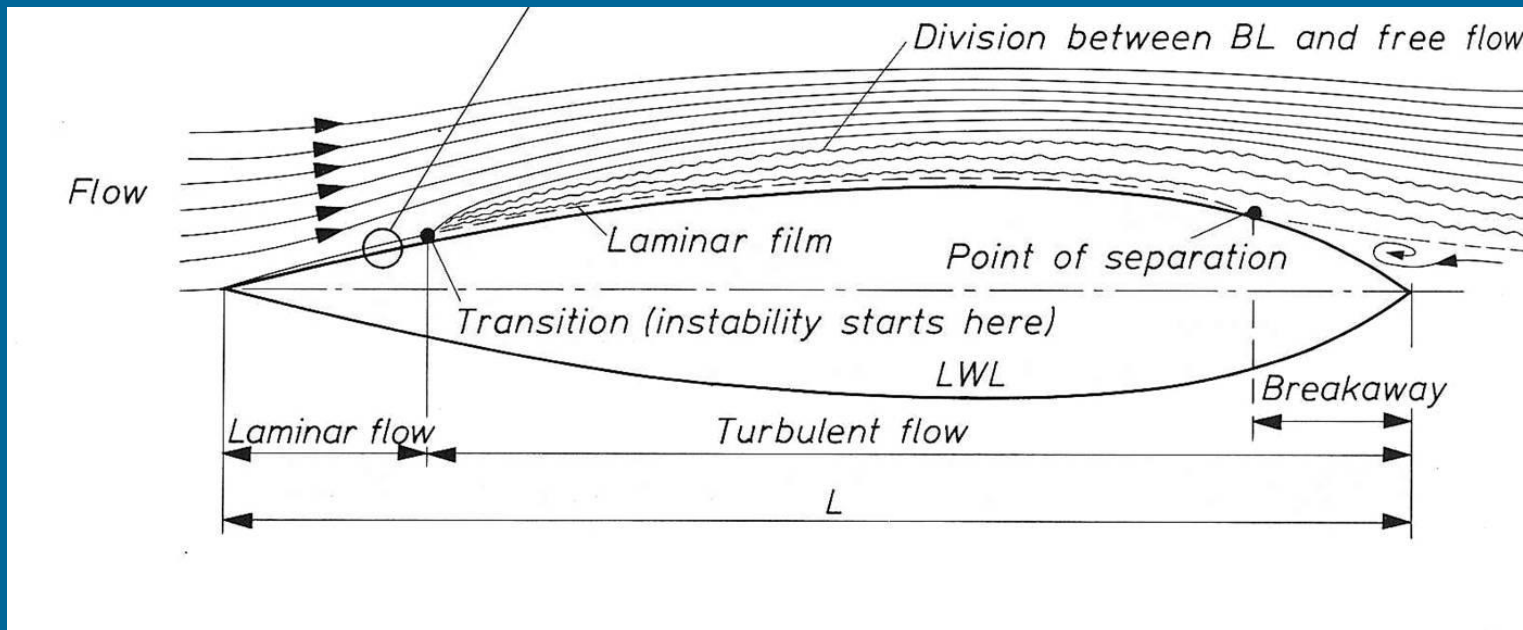
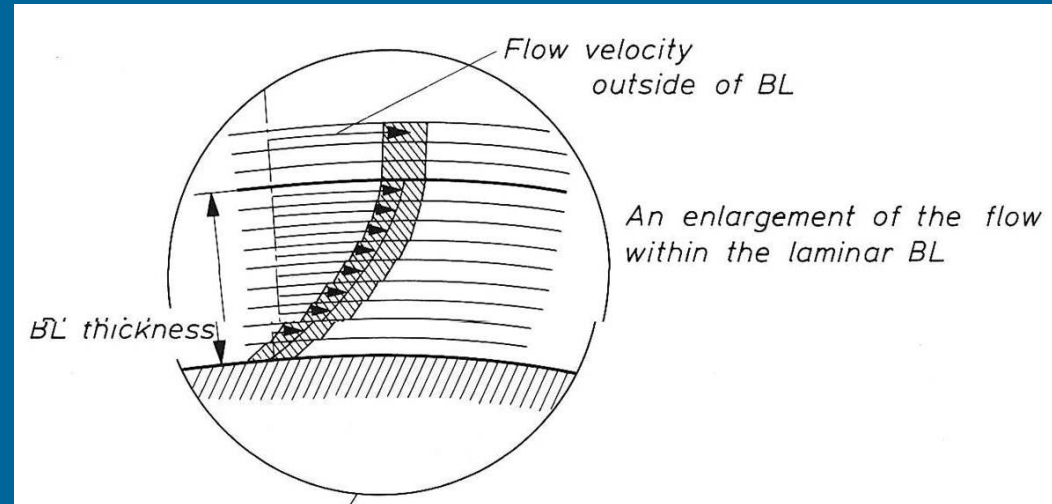


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Határréteg leválás

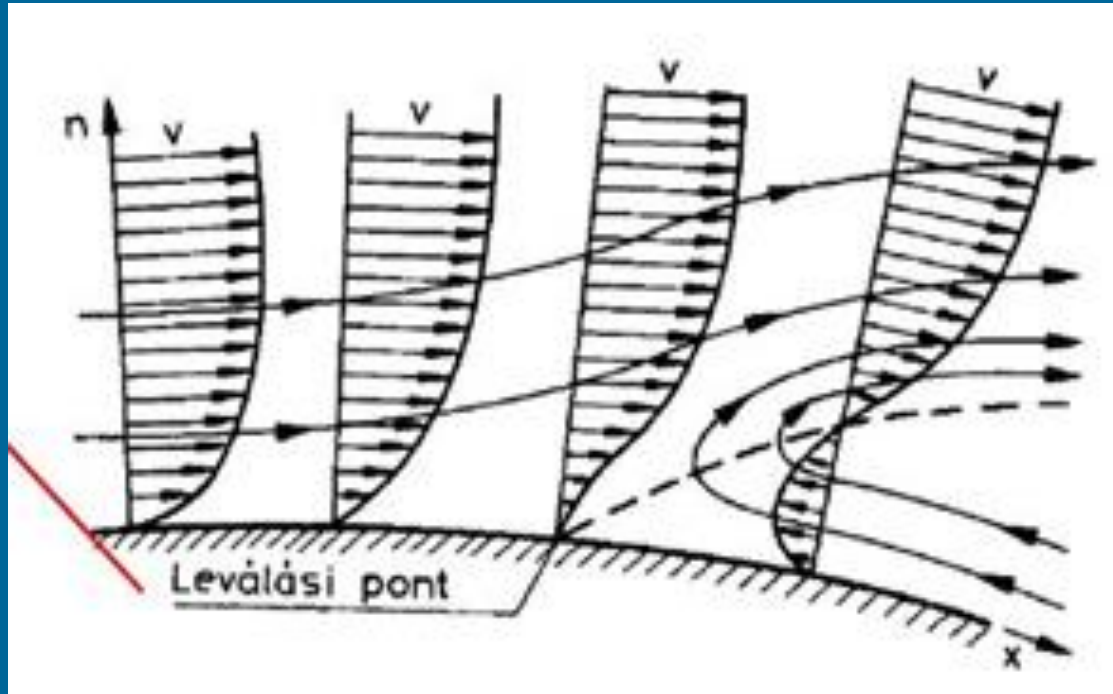


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Határréteg leválás

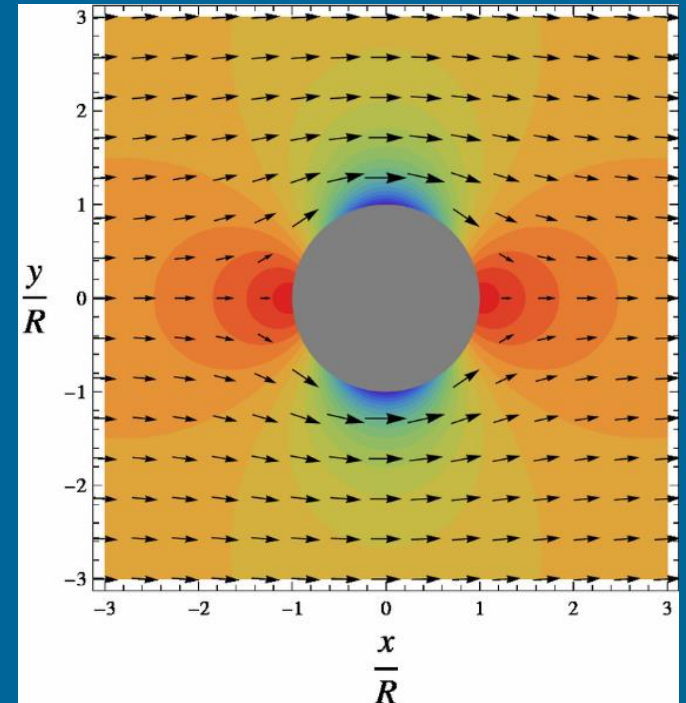
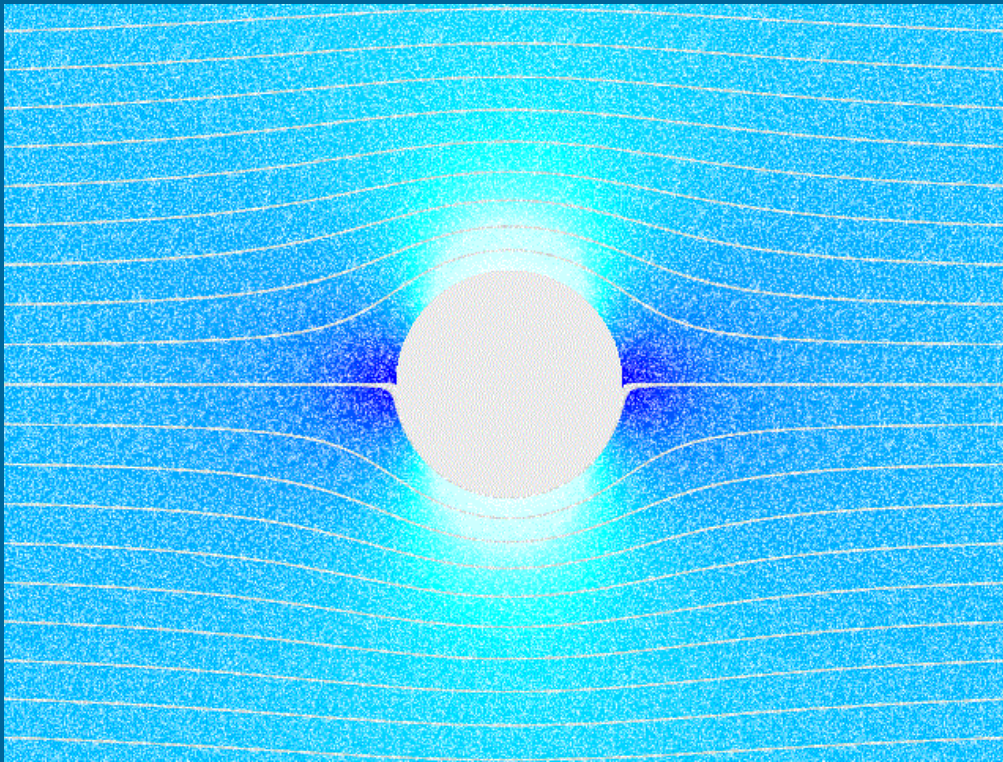


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Ideális közeg áramlása henger körül

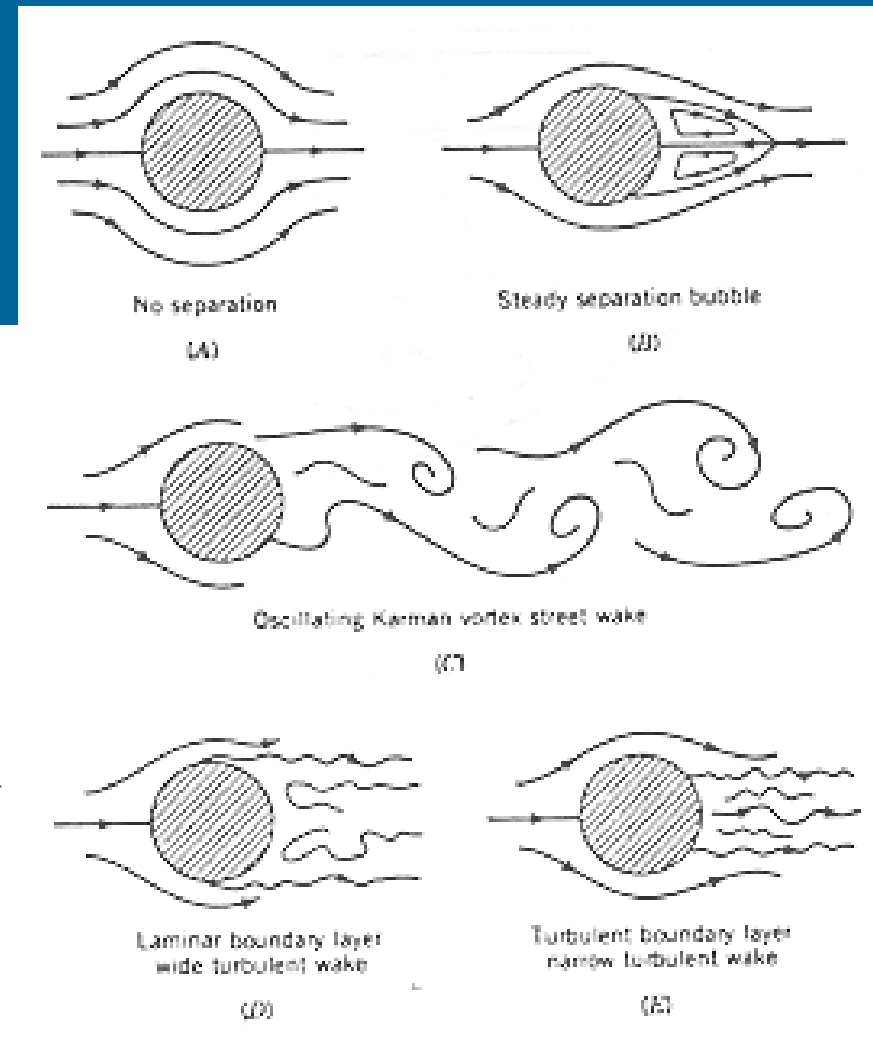
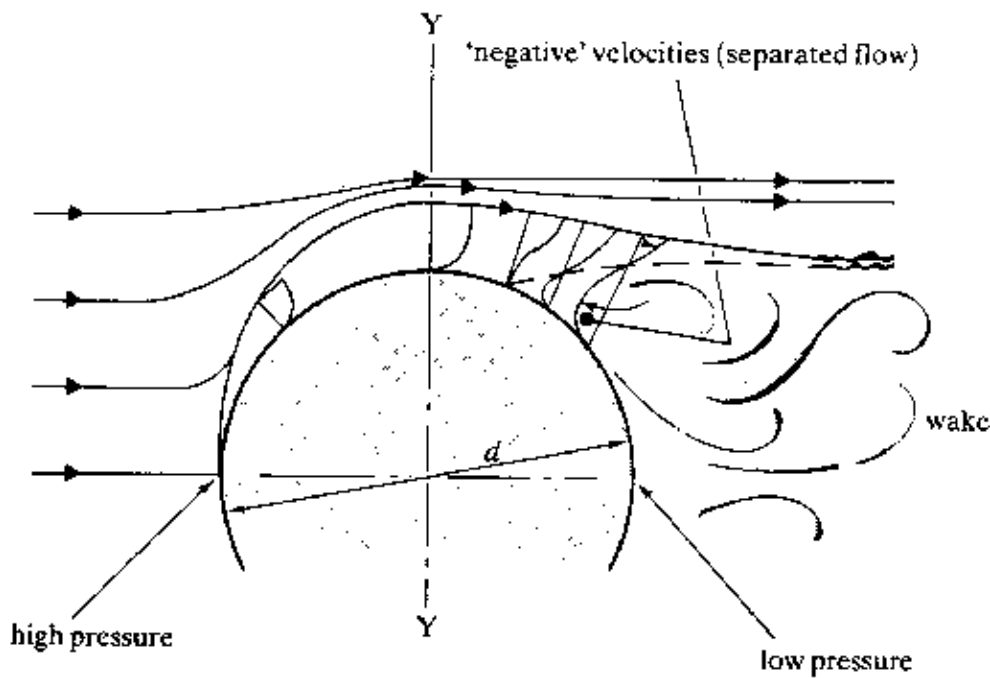


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Áramlástan alapok

- Valóságos közeg áramlása henger körül



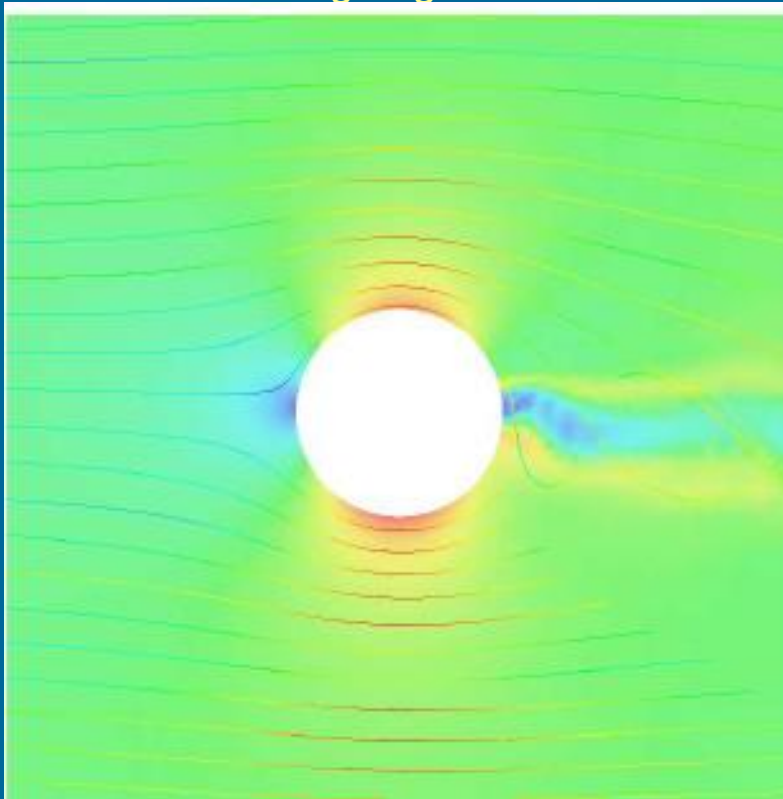
A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

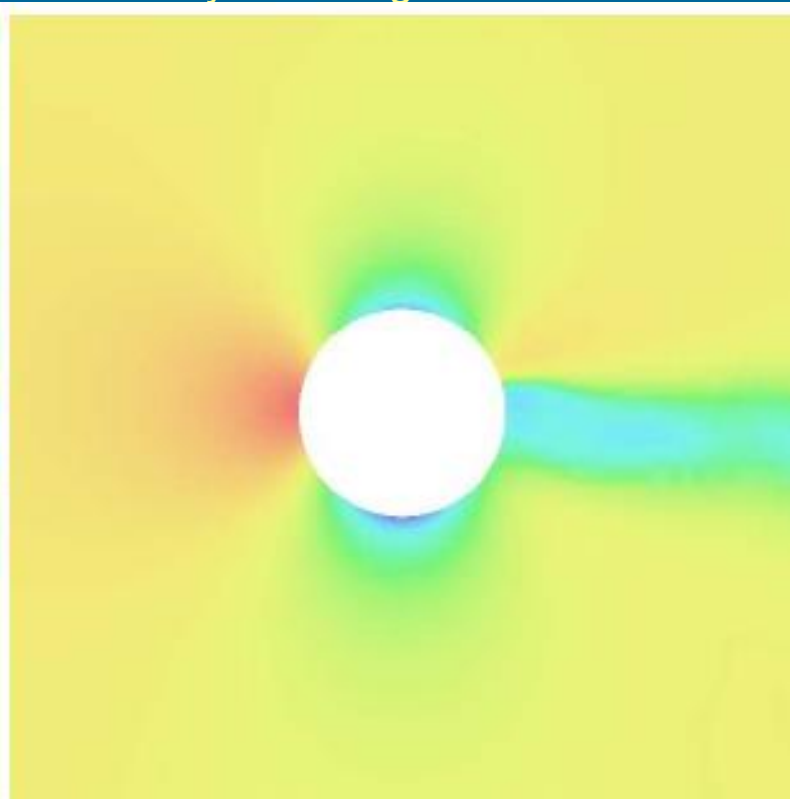
Áramlástan alapok

- Valóságos közeg áramlása henger körül

sebességmegoszlás



nyomásmegoszlás



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

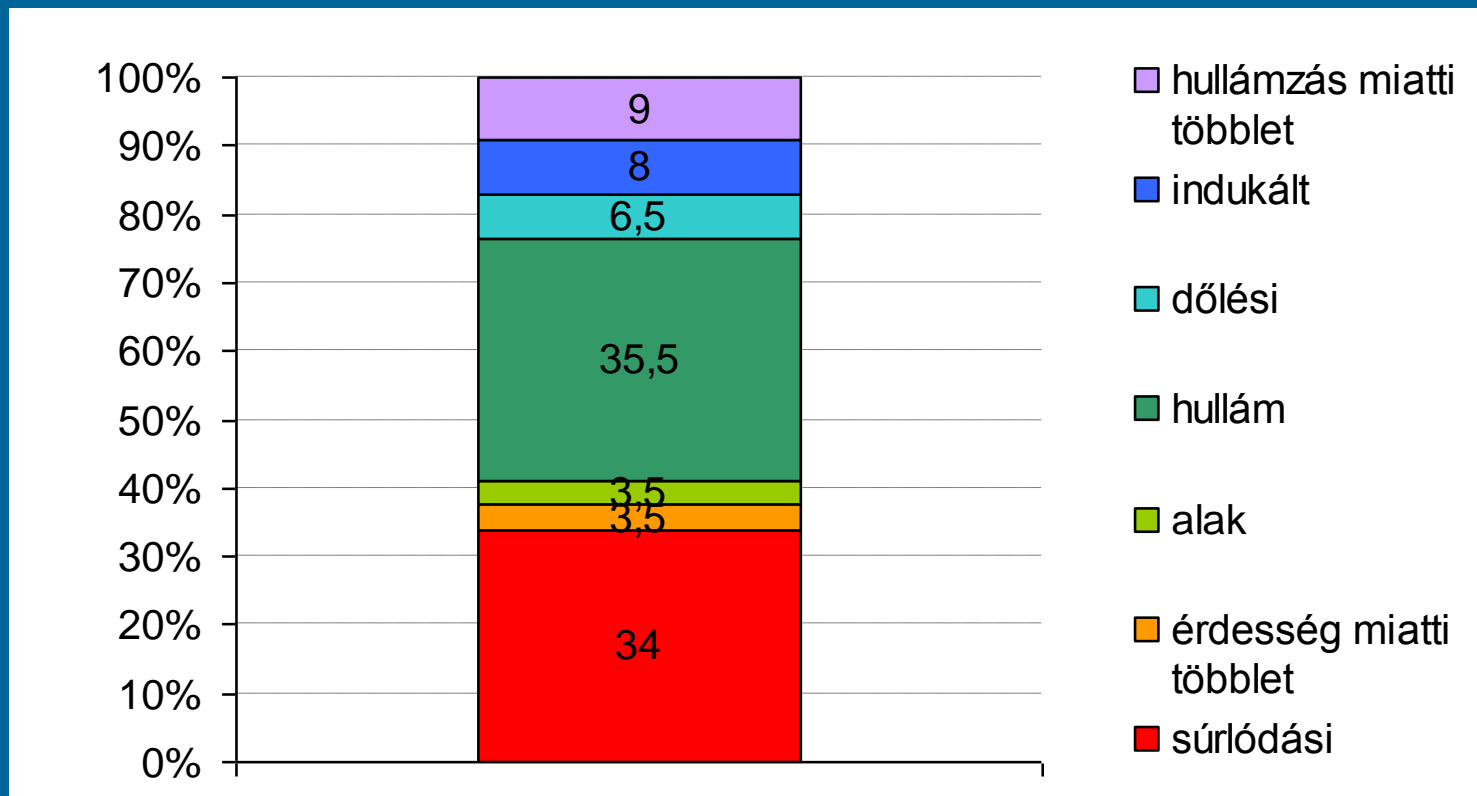
$$R_T = R_F + R_{Form} + R_W + R_I + R_H$$

- Súrlódási ellenállás (R_F)
- Alakellenállás (R_{Form})
- Hullámképző ellenállás (R_W)
- Indukált ellenállás a sodródás miatt (R_I)
- Dőlési ellenállás (R_H)

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

40 lábás vitorlás ellenállásának összetevői, cirkáláskor 6.8 csomónál



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Súrlódási ellenállás (R_F)

$$R_f = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * A_{nedv} * C_f$$

ahol

R_f – súrl. ellenállás

ρ – víz sűrűsége

v – hajó sebessége

A_{nedv} – nedvesített felület

C_f – egyenértékű síklap súrlódási tényező

A hajó hosszával azonos hosszúságú és nedvesített felületű síklap súrl. tényezője

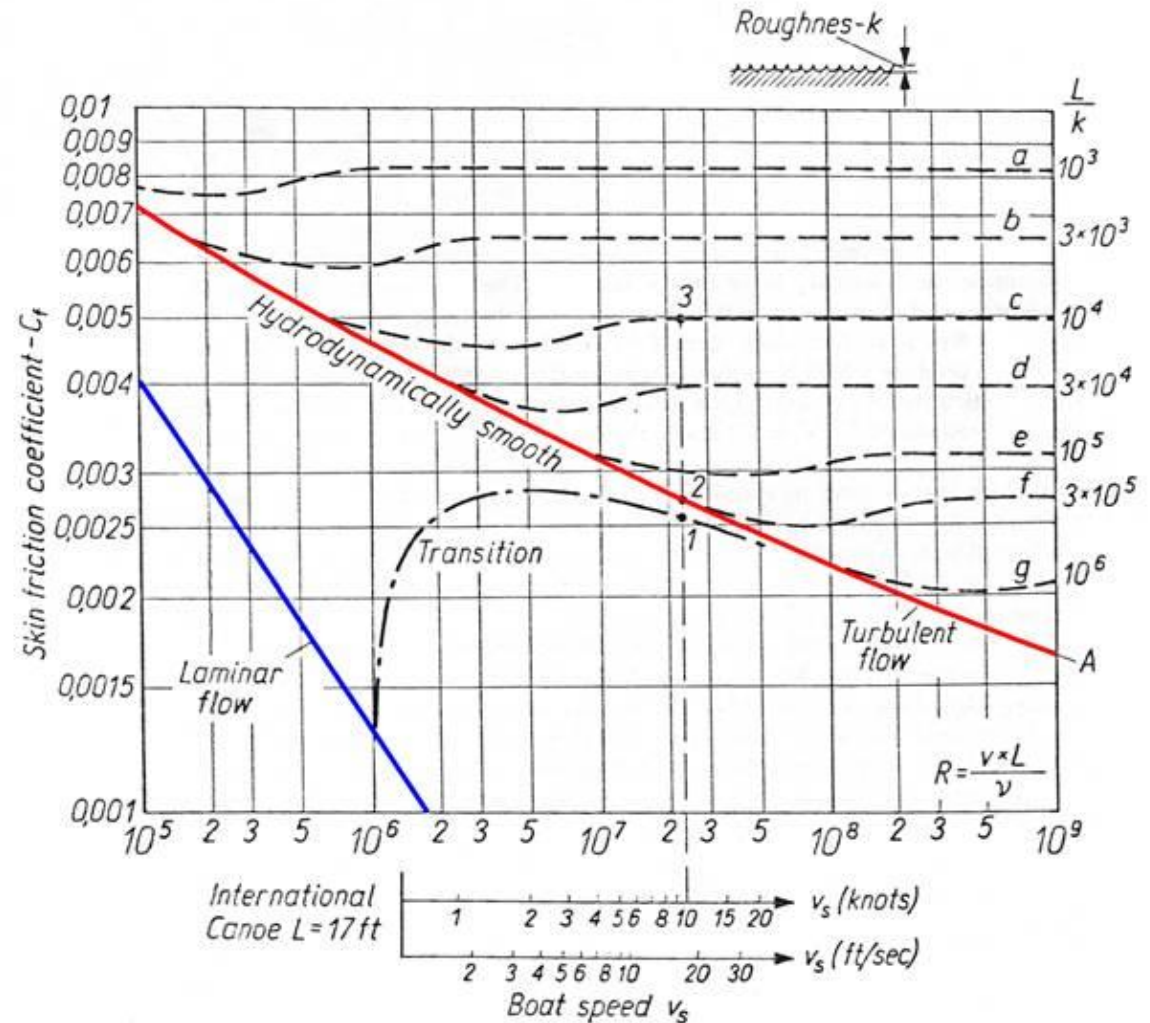
A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Súrlódási ellenállás (R_F)

C_f – egyenértékű síklap
súrlódási tényező

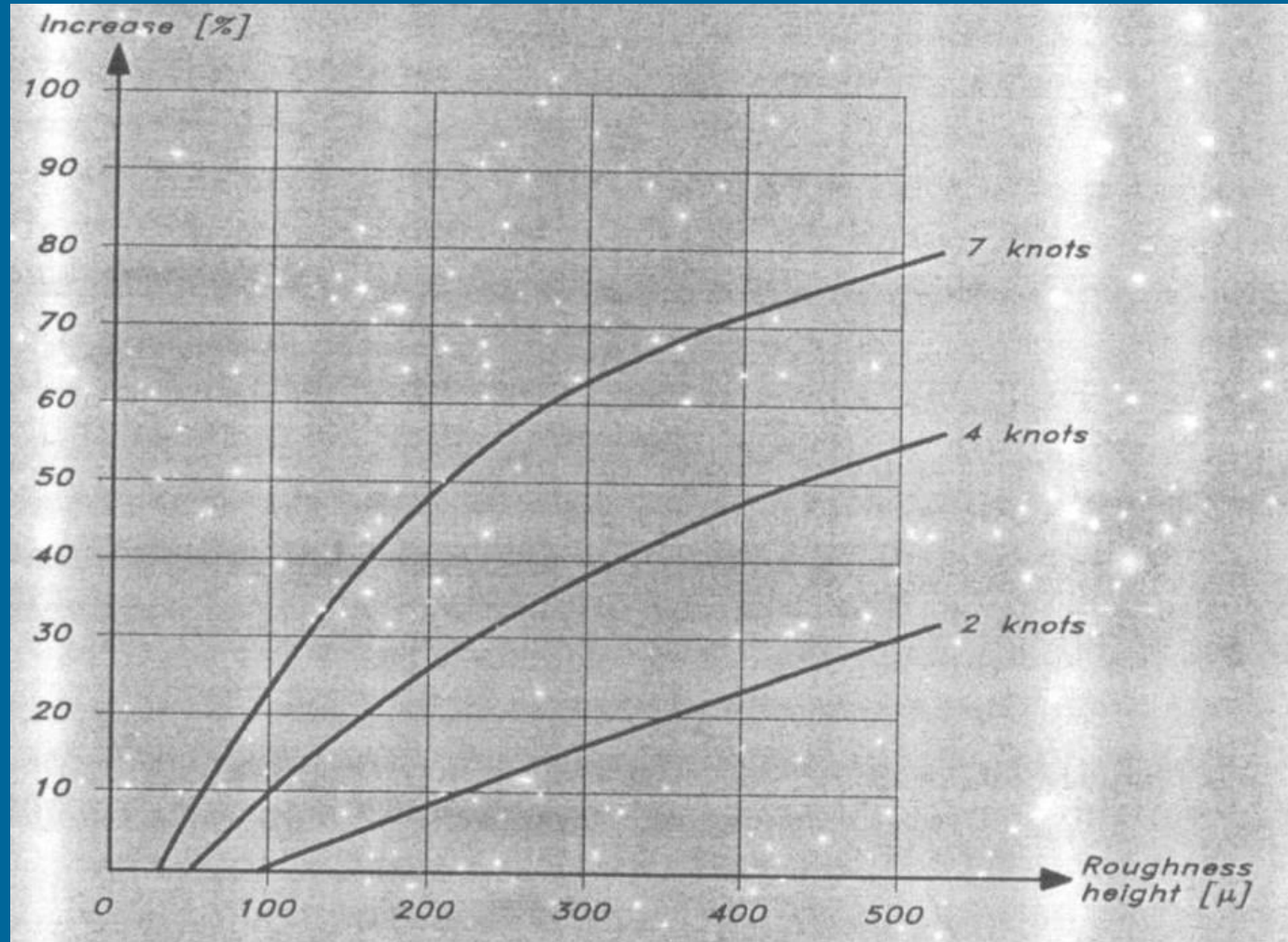
Felület	k [mm]
Polírozott műanyag	0,001 – 0,005
Frissen festett felület	0,01 – 0,10
Festetlen új acéllemez	0,08 – 0,15
Rozsdás acéllemez	0,30 – 1,00
Csiszolt deszka	0,05 – 0,10
Mérsékelt égövi lerakódással	0,50 – 2,00
Trópusi lerakódással	1,00 – 4,00



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

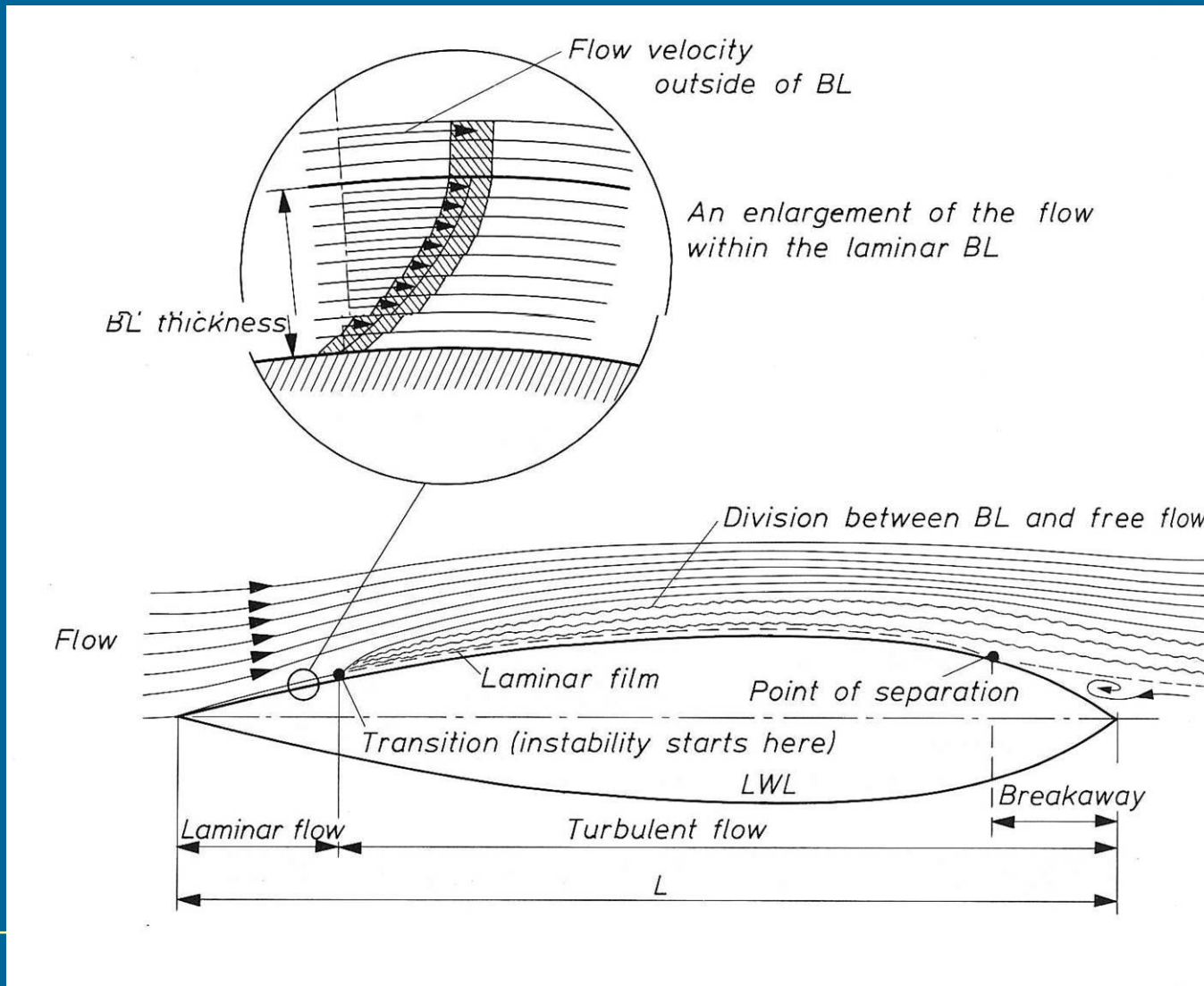
Súrlódási ellenállás (R_F)



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

Fontos, hogy ne változzon hirtelen a hajótest alakja!

Főleg a gerinc és a hosszmetszetek, valamint a vízvonalak vizsgálatával lehet elemezni (vonalterv) – attól függően, hogy hogyan áramolja körül a víz a hajót

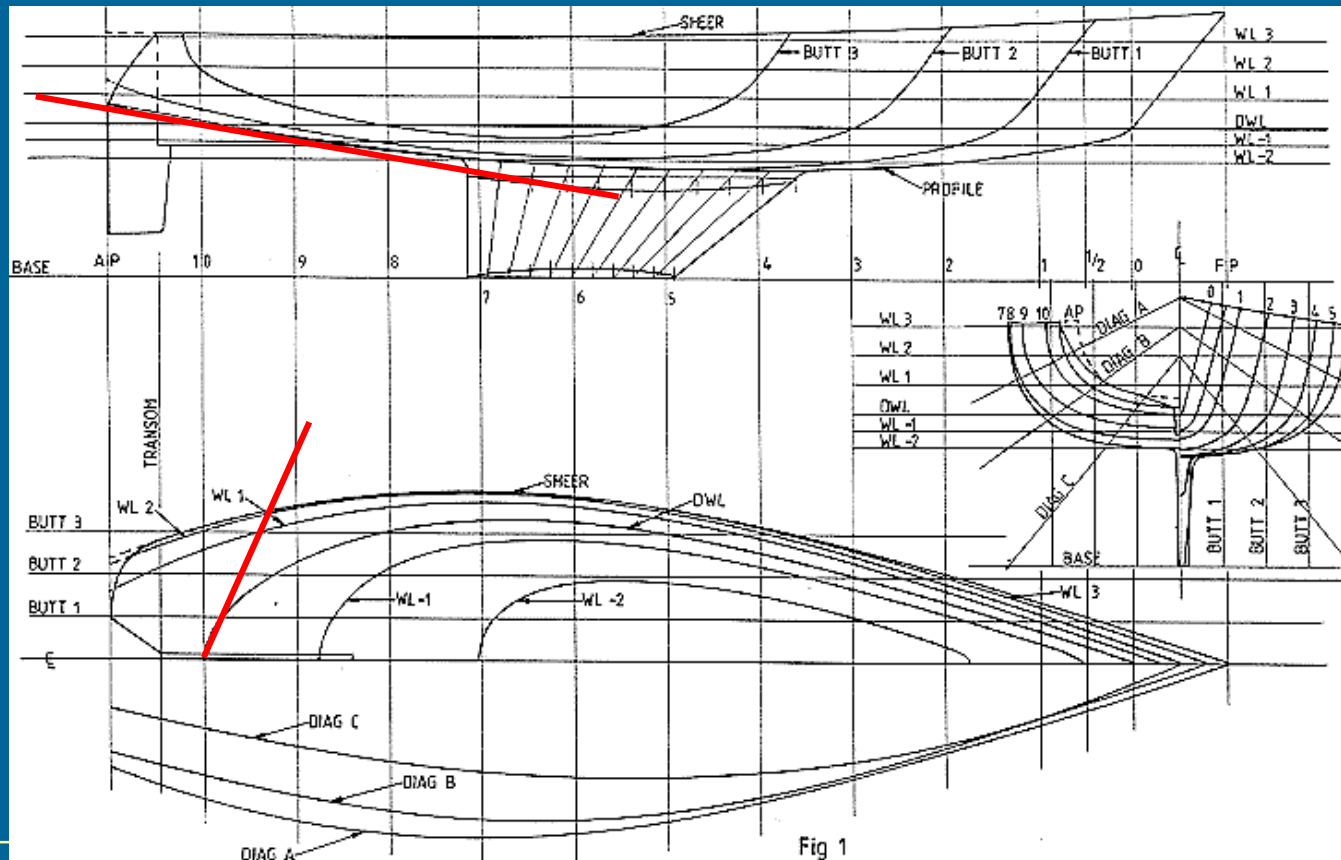


Fig 1

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

Fontos, hogy ne változzon hirtelen a hajótest alakja!

Alakellenállás szempontjából az elől telt, hátul áramvonalasan elvékonyodó testforma az ideális (mint a halak általában) – de nem csak az alakra kell figyelni, van más is: hullámellenállás



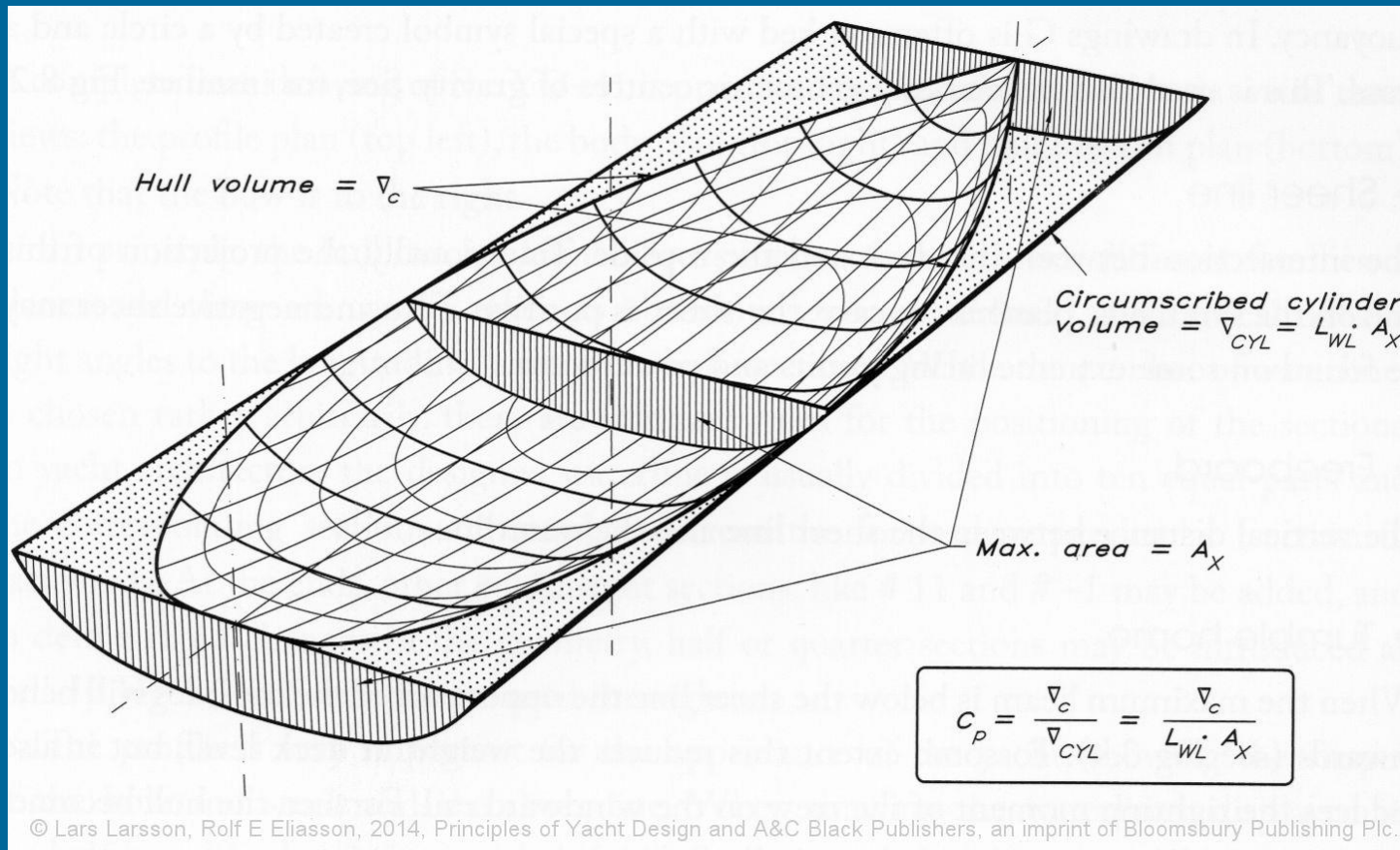
A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

Teltséget meghatározó jellemzők

Hengeres teltség - Minél nagyobb a hajó hengeres teltsége, annál teltebbek a hajó végei



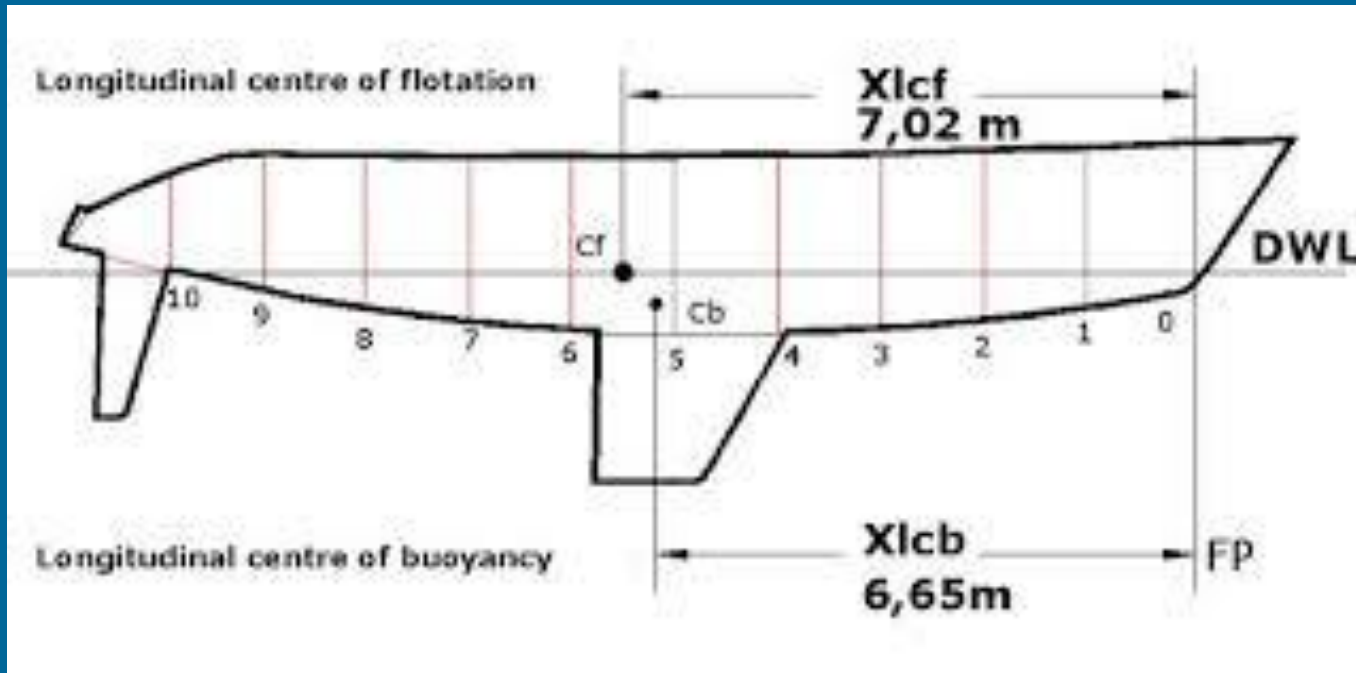
A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

Teltséget meghatározó jellemzők

Víz kiszorítás hosszirányú súlypontja - minél hátrébb van a víz kiszorítás súlypontja, annál teltebb a hajó fara

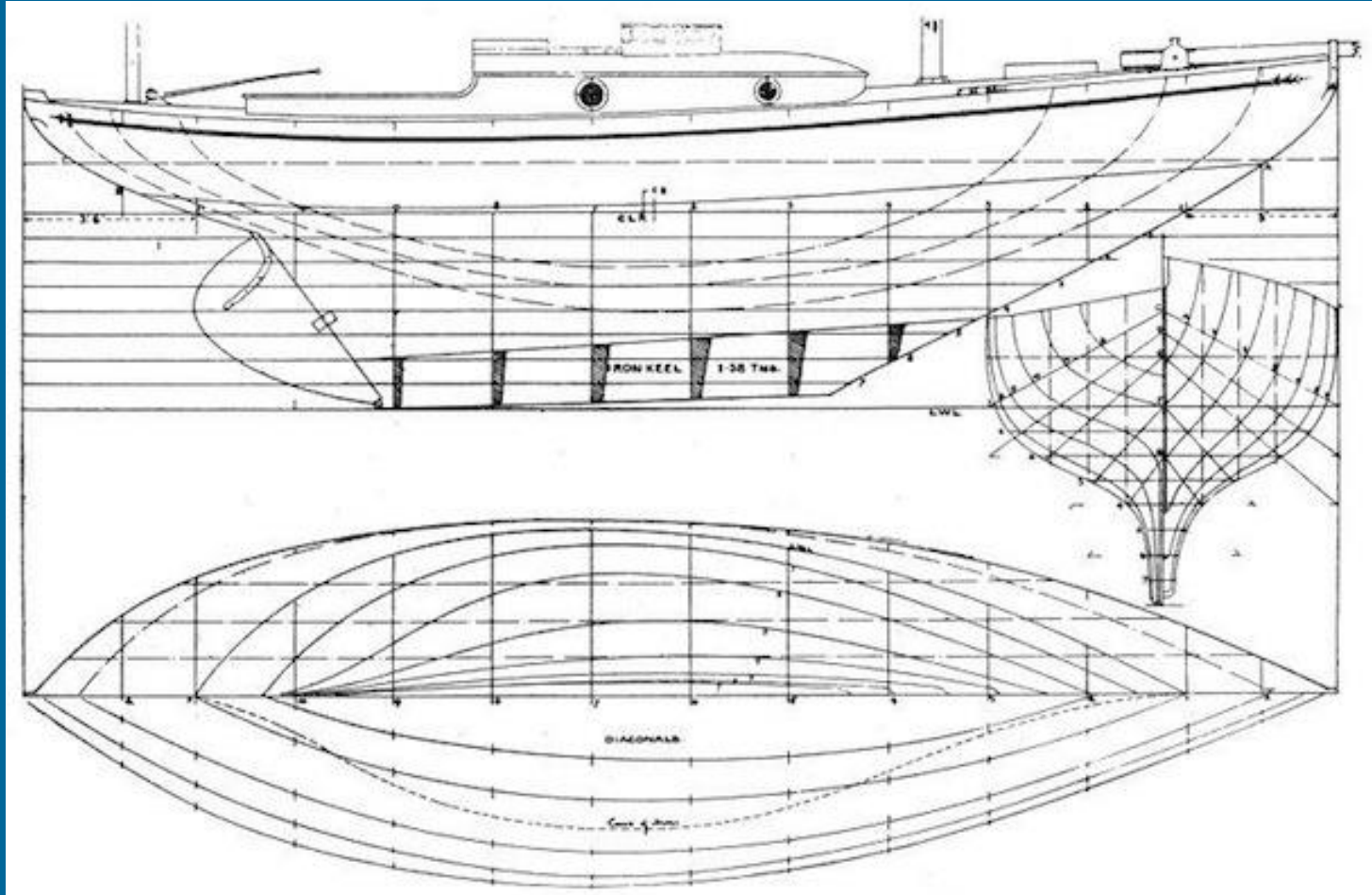


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

néhány jellegzetes vonalterv – klasszikus túrahajó

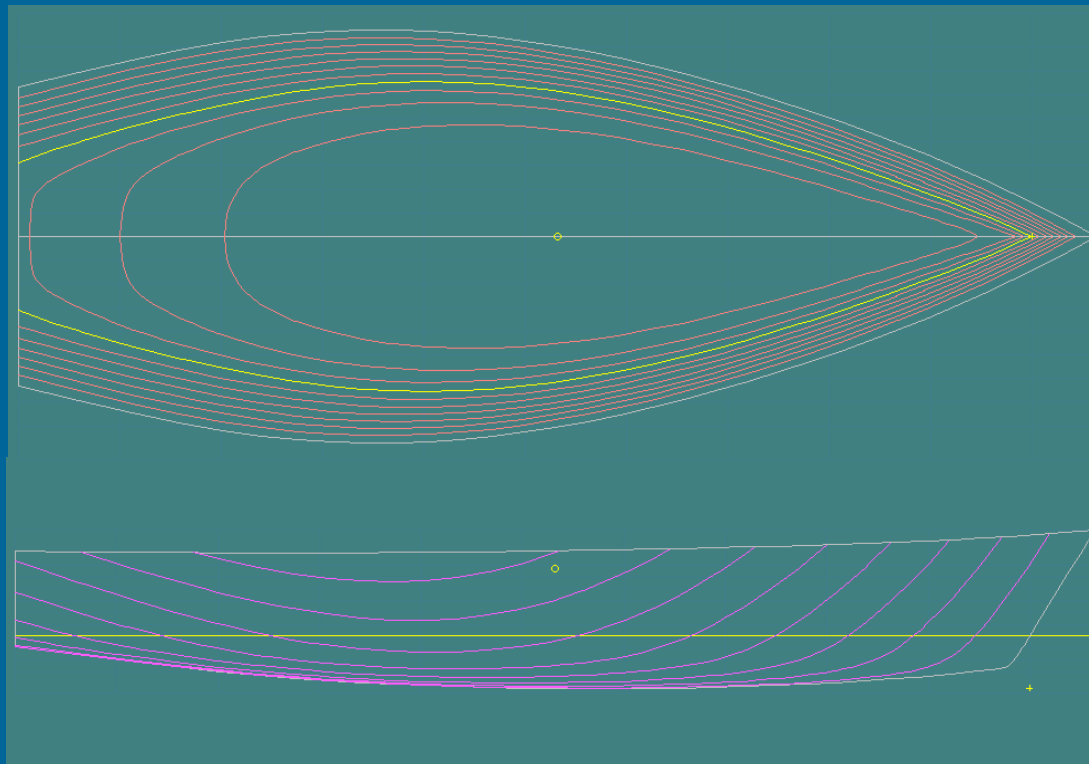


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

néhány jellegzetes vonalterv – ORC hajó

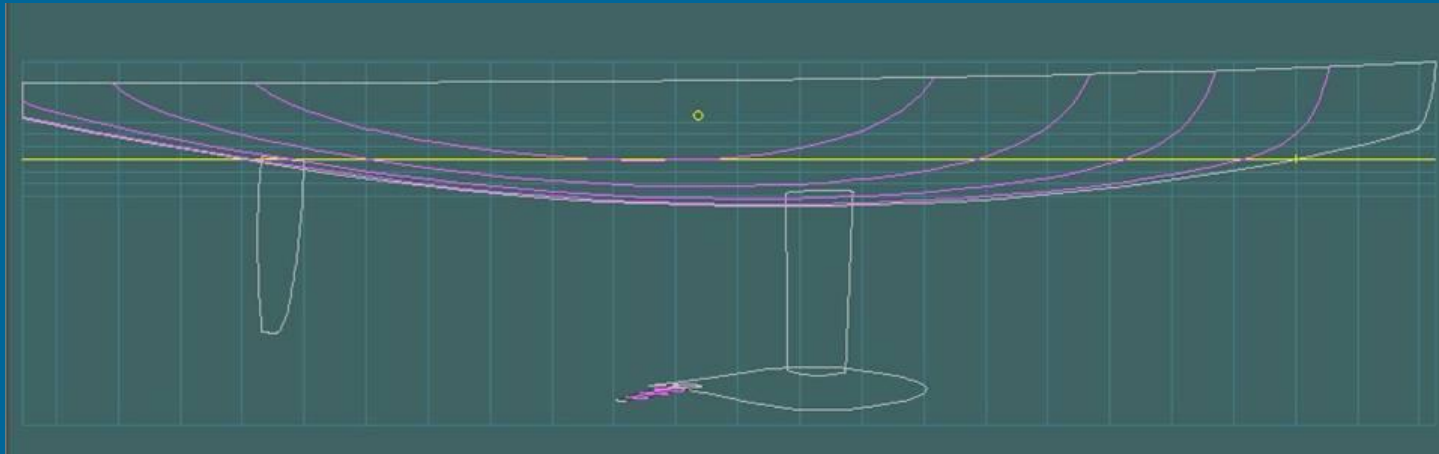
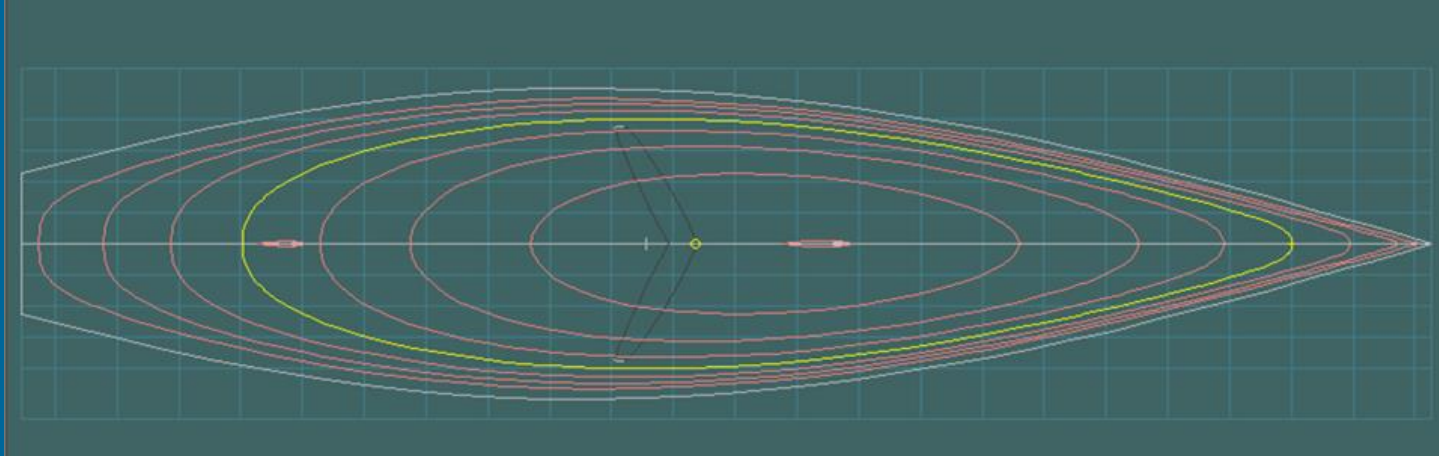


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

néhány jellegzetes vonalterv – régebbi AC hajó

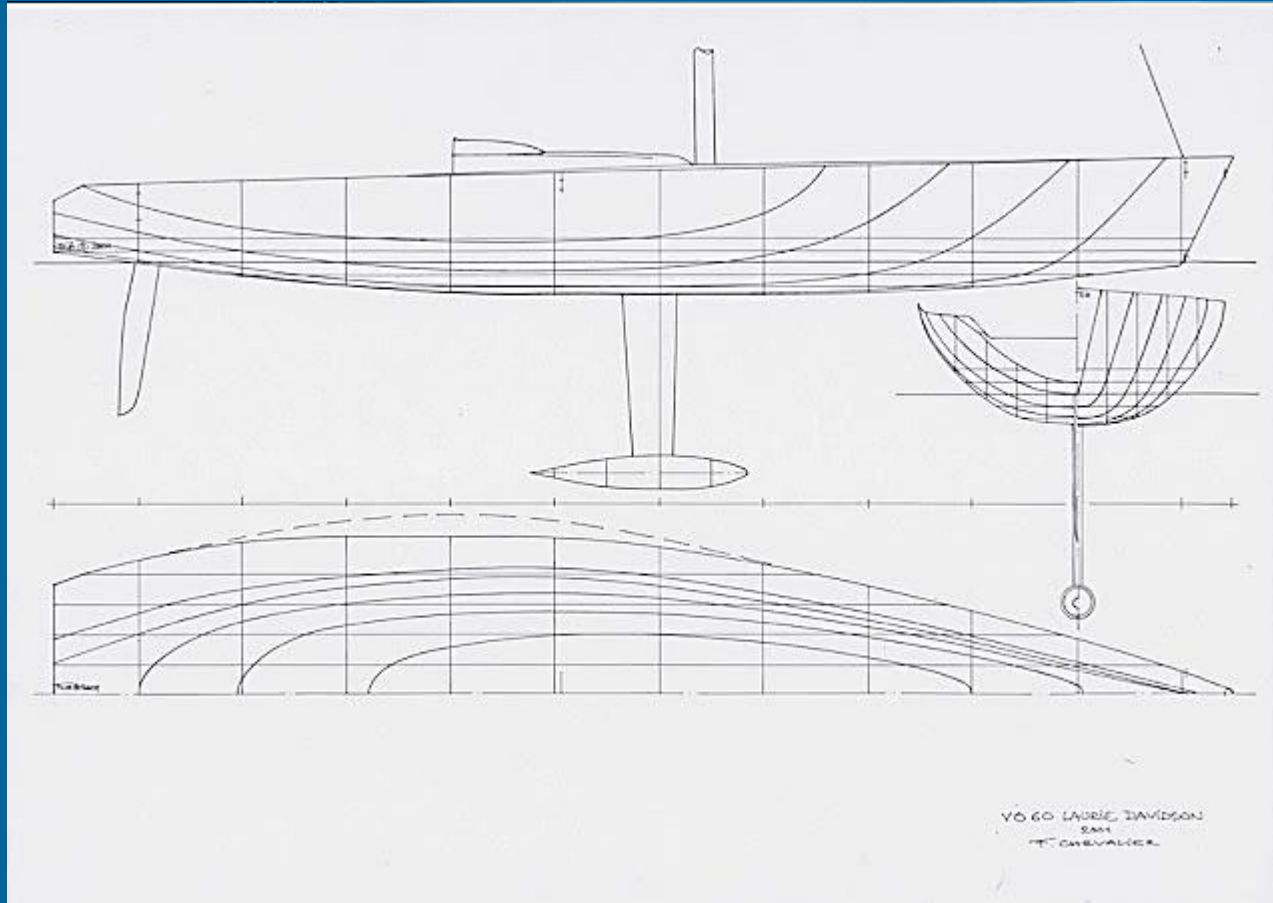


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

néhány jellegzetes vonalterv – Volvo hajó 2001-02-ből

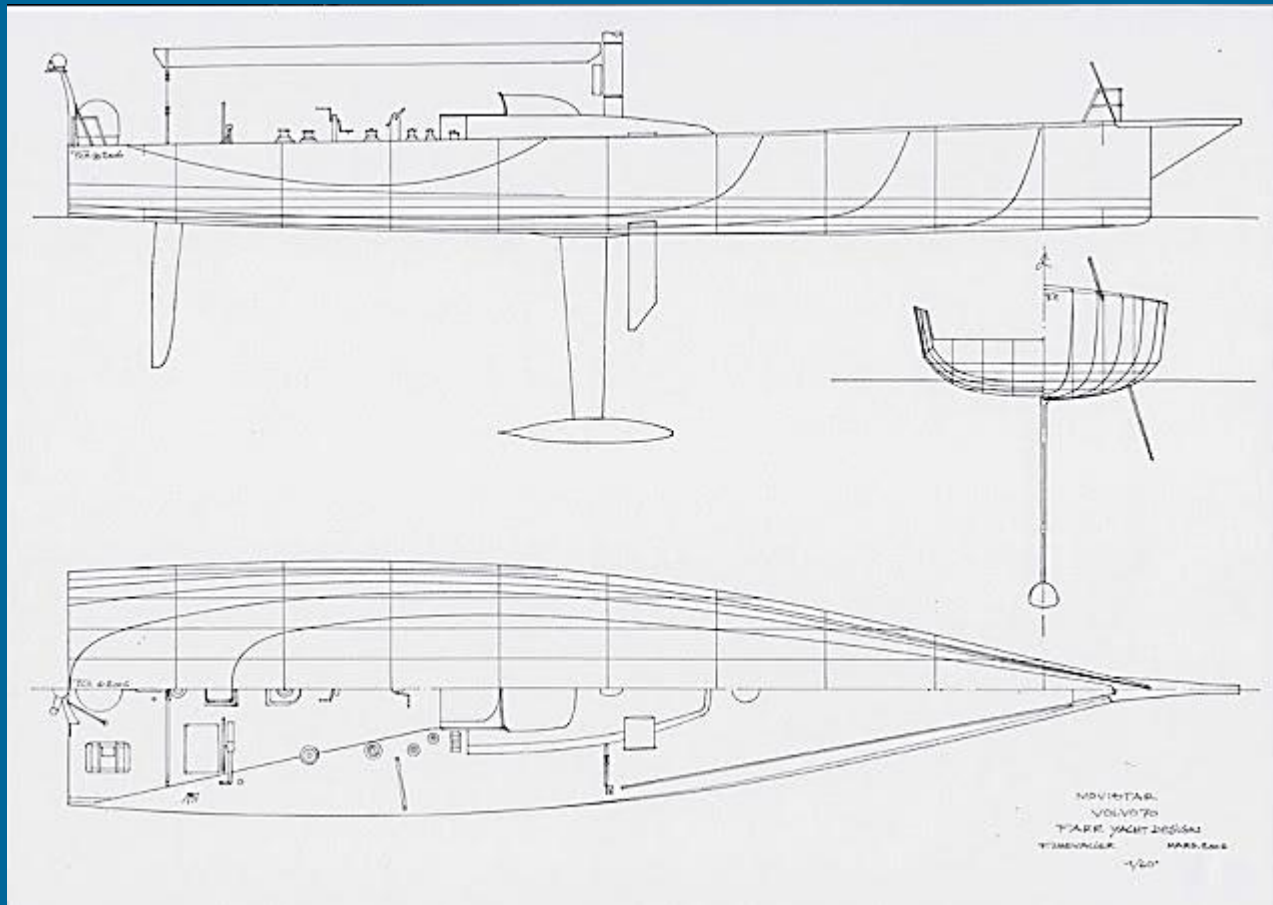


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

néhány jellegzetes vonalterv – Volvo hajó 2005-06-ból

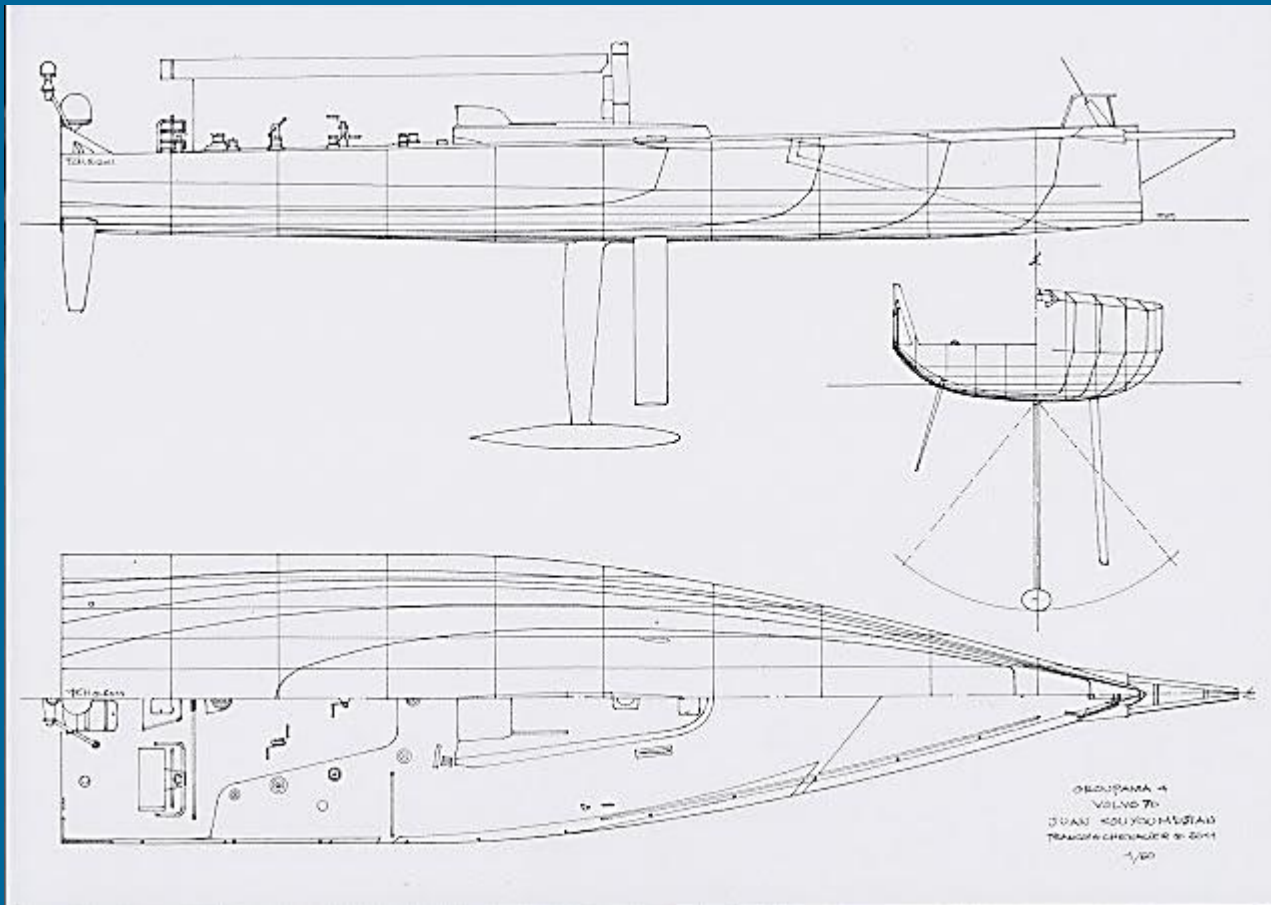


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Alakellenállás (R_{Form})

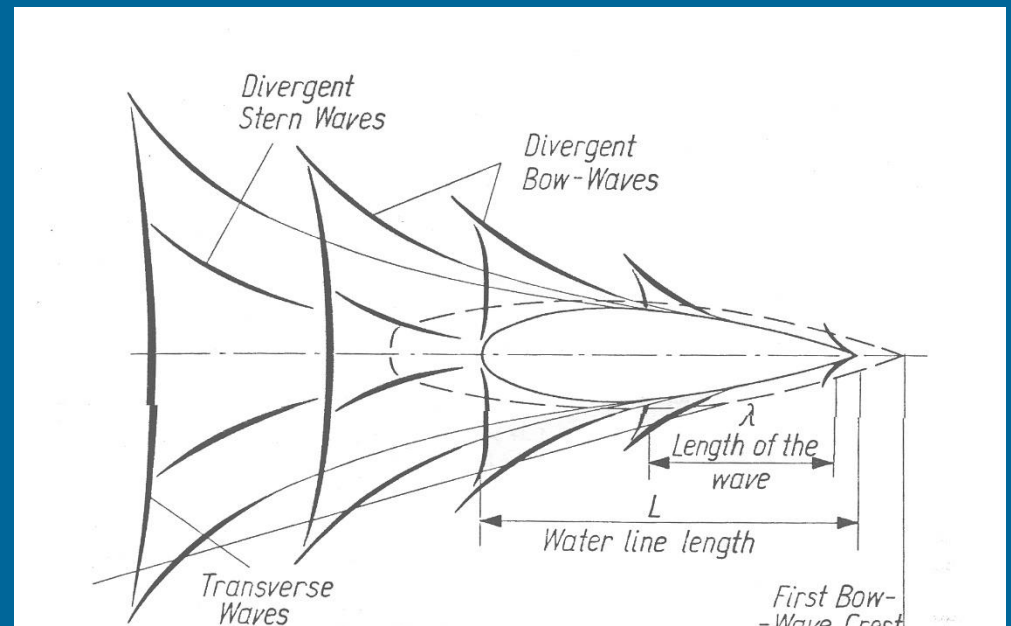
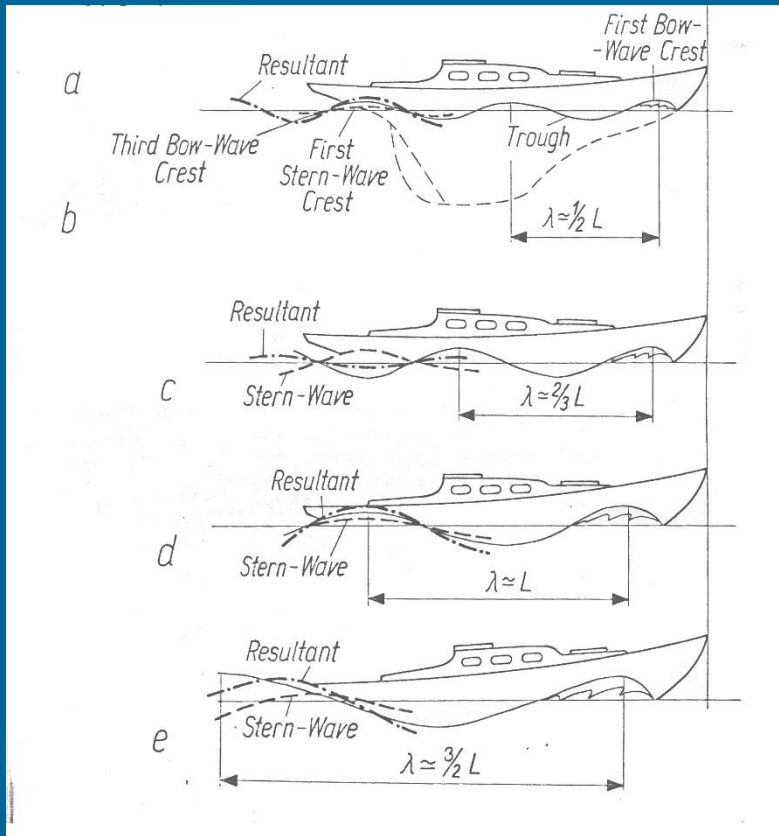
néhány jellegzetes vonalterv – Volvo hajó 20011-12-ből



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

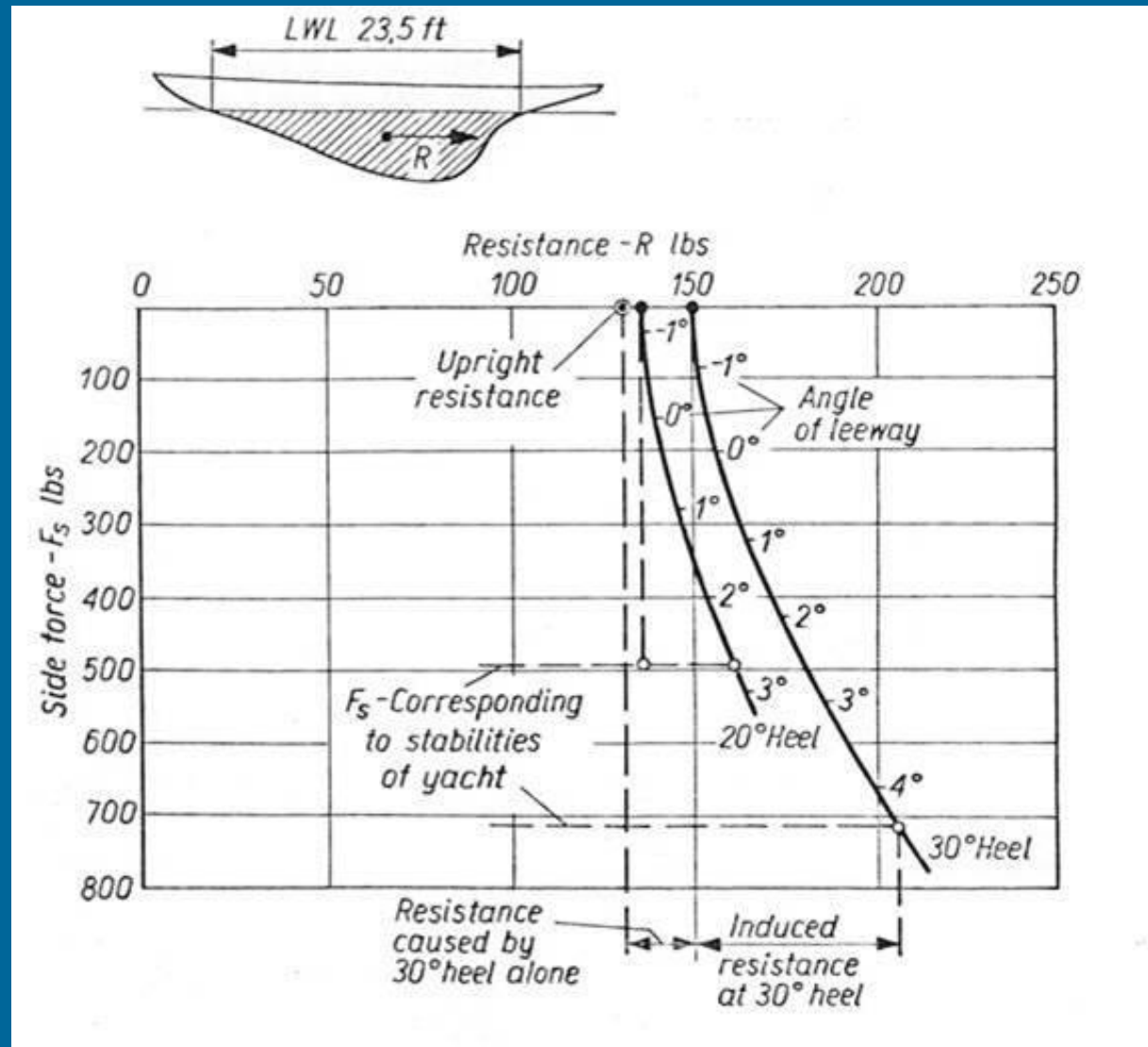
Hullámellenállás (R_W)



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

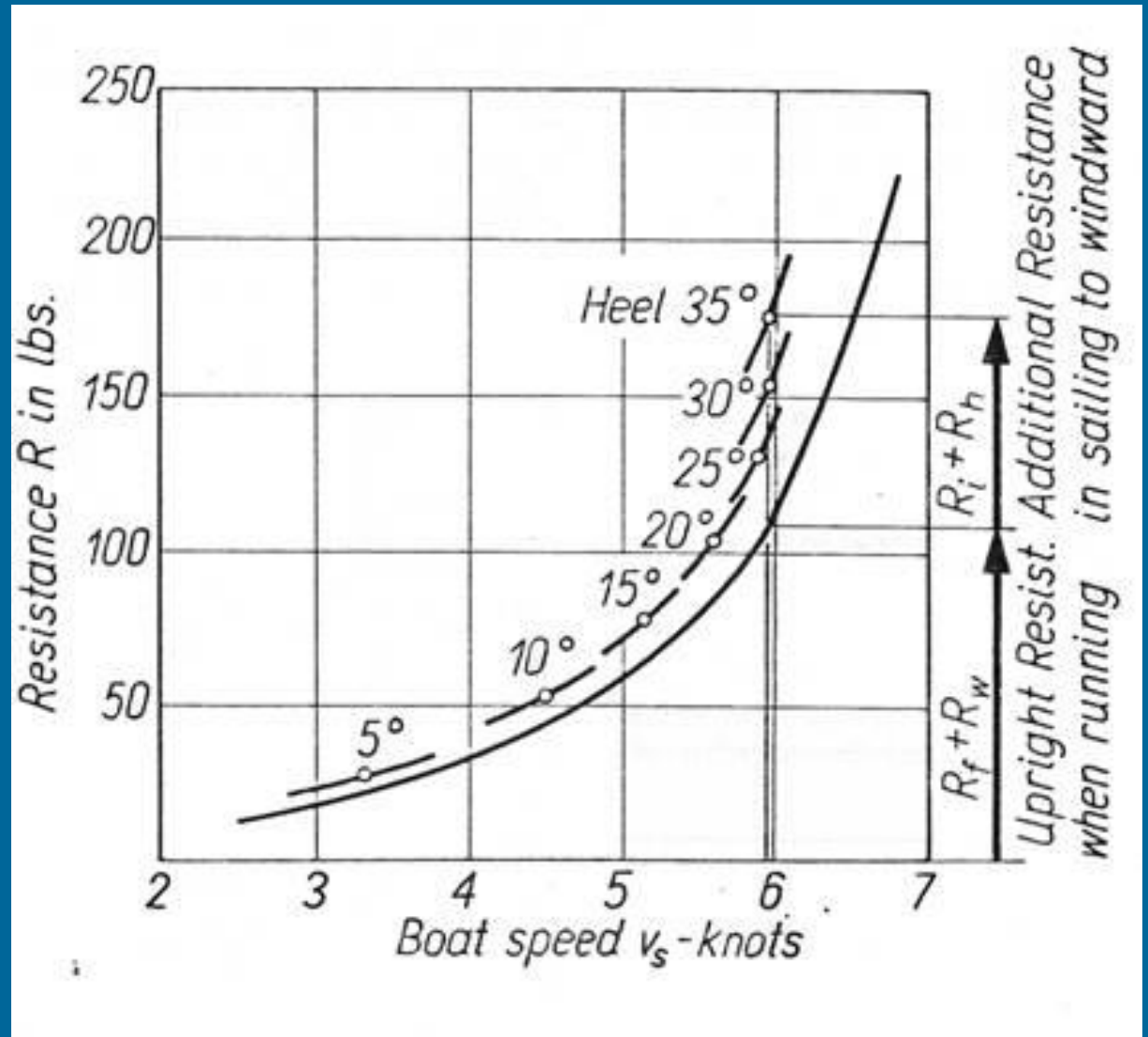
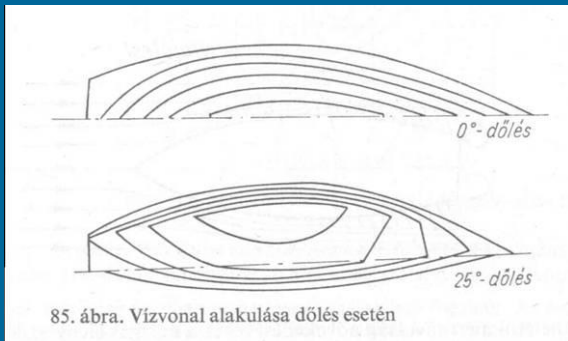
Indukált ellenállás (R_i)



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek ellenállása

Dőlési ellenállás (R_H)



Az ellenállást befolyásoló tényezők

Vitorlások

víz kiszorítás
hossz-víz kiszorítás arány
vízvonal szélesség-testmerülés arány
tőkesúly
hengeres teltség és LCB

ezek a tervezés/gyártás során beépülnek a hajóba
később már nem lehet rajta változtatni!!!

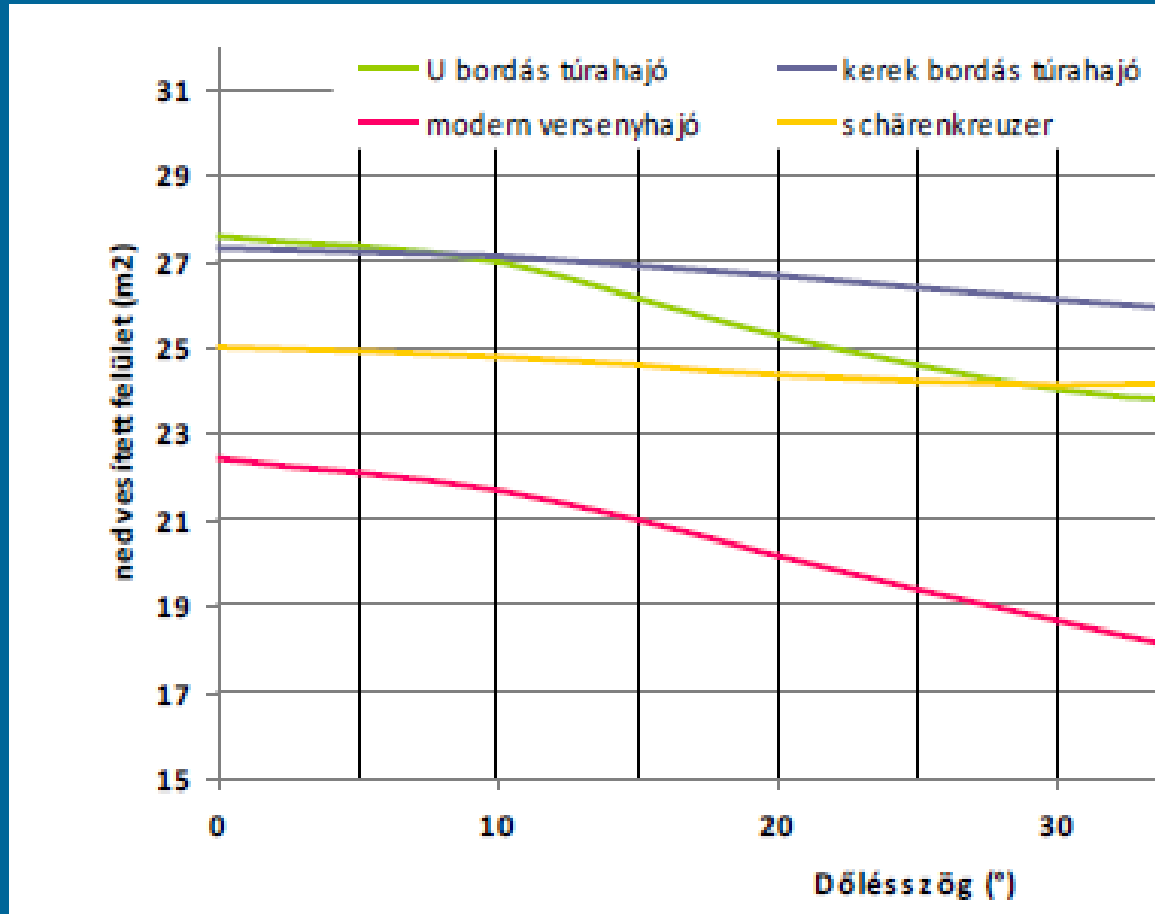
felületi érdesség
megdőlt hajó alakja

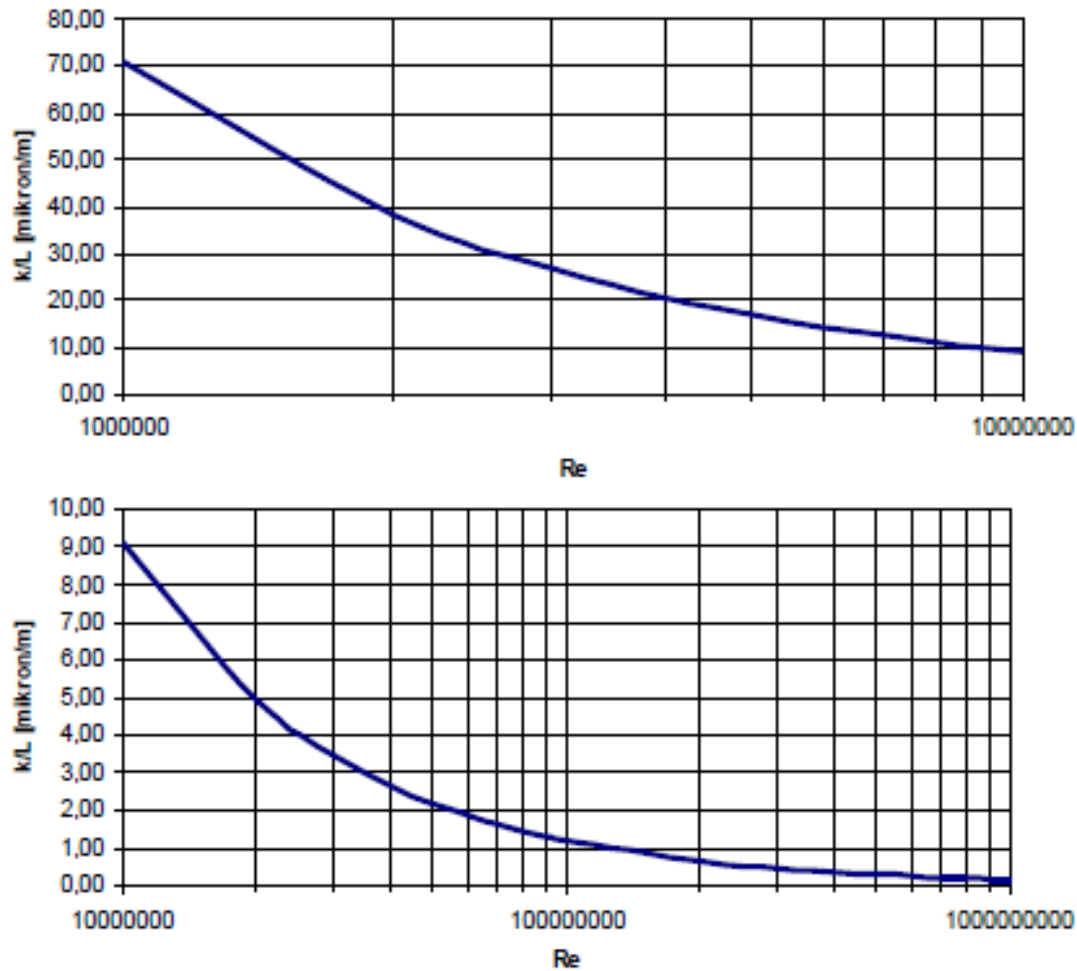
ezek a vitorlázó „kezében” vannak,
de kicsit összefüggnek az előzőkkel is

Az ellenállást befolyásoló tényezők

dőlés - nedvesített felület

Vitorlások





4.3.7. ábra: A hidraulikailag sima felülethez megengedhető legnagyobb relatív felületi érdesség

Az ellenállást befolyásoló tényezők felületi érdesség

Vitorlások

Példa:

$L=LWL=10\text{m}$

$v=6$ csomó = 3 m/s

$$Re = v * LWL * 70\% / \nu = 3 * 10 * 0.7 / 1.01 * 10^{-6} = 20\,792\,000 \implies k/L = 5 \text{ mikron/m}$$

$$k_{\max} = 5 * 10 = 50 \text{ mikron} = 0.05 \text{ mm}$$

$L=LWL=10\text{m}$

$v=12$ csomó = 6 m/s

$$Re = v * LWL * 70\% / \nu = 6 * 10 * 0.7 / 1.01 * 10^{-6} = 41\,500\,000 \implies k/L = 2,2 \text{ mikron/m}$$

$$k_{\max} = 2,2 * 10 = 22 \text{ mikron} = 0.022 \text{ mm}$$

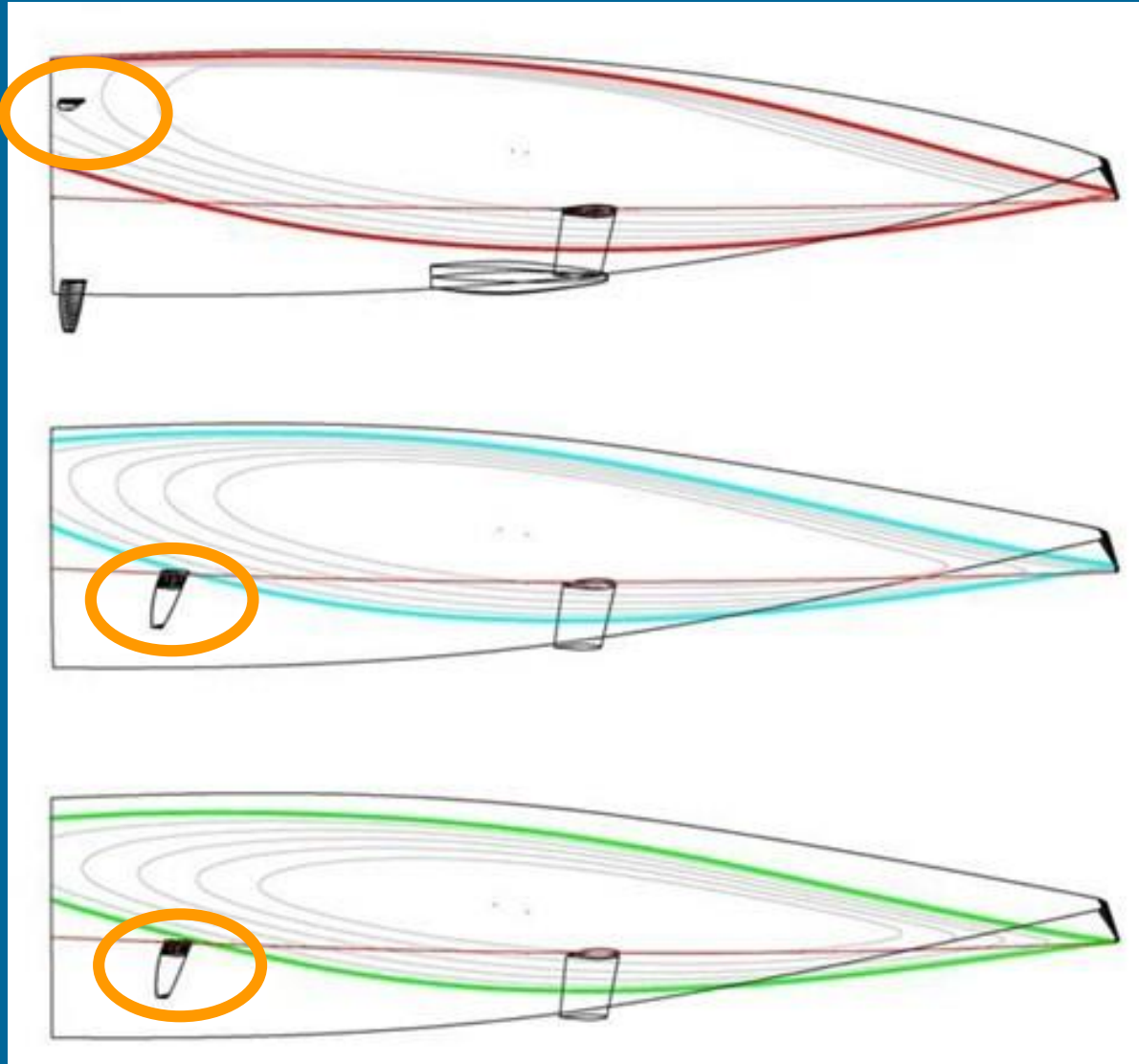
Az ellenállást befolyásoló tényezők

Vitorlások

dőlés - a megdőlt hajó vízbemerült részének alakja



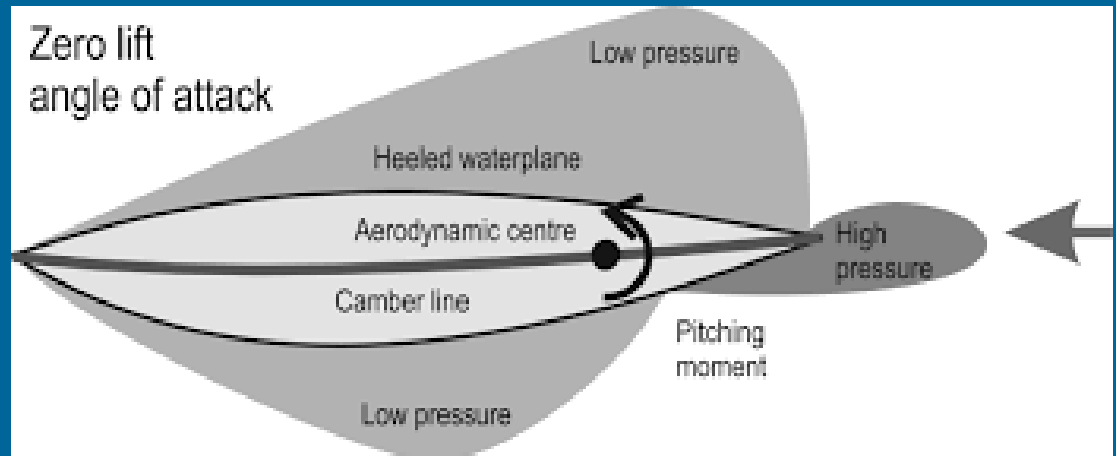
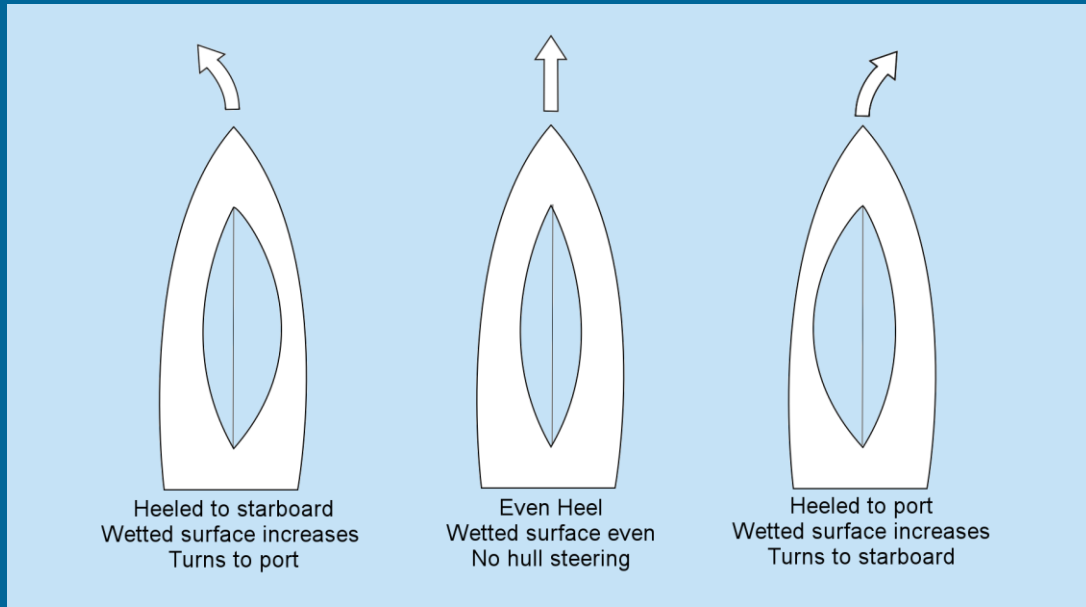
Az ellenállást befolyásoló tényezők Vitorlások
dőlés - a megdőlt hajó vízbemerült részének alakja



Az ellenállást befolyásoló tényezők

Vitorlások

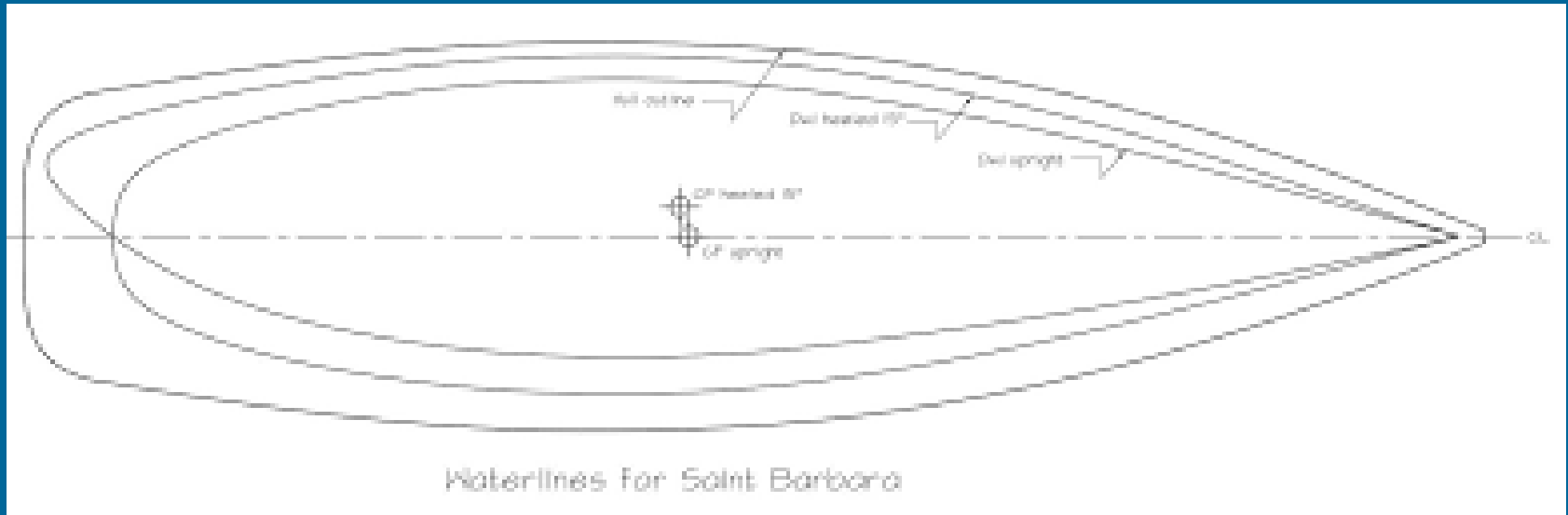
dőlés - a megdőlt hajó vízbemerült részének alakja



Az ellenállást befolyásoló tényezők

Vitorlások

dőlés - a megdőlt hajó vízbemerült részének vízvonalhossza



Az ellenállást befolyásoló tényezők

Vitorlások

A megdőlt hajó vízbemerült részének alakja

A dőlést illetve úszáshelyzetet a legénység megfelelő elhelyezésével is lehet változtatni kisebb hajóknál

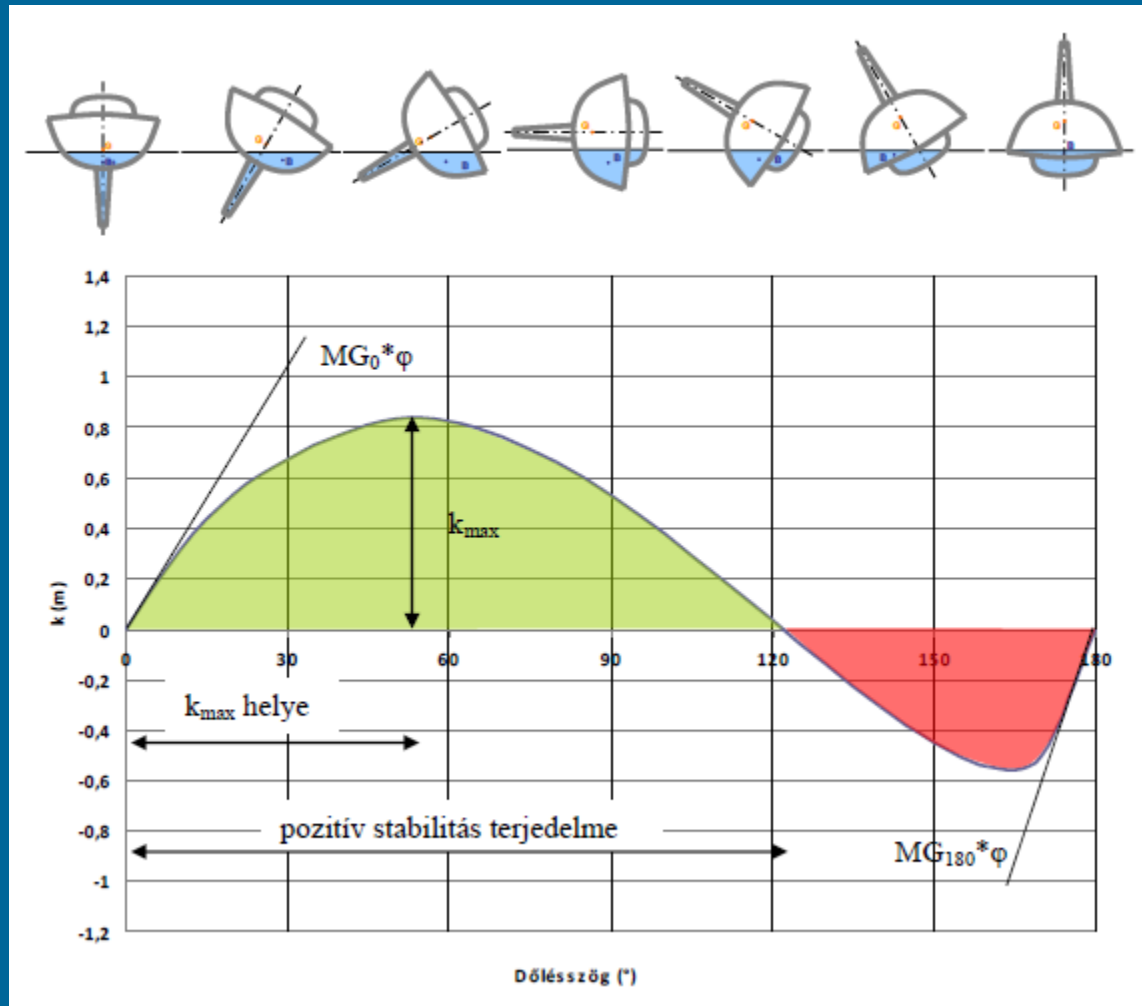
siklás – miért kell hátra helyezkedni?

Kishajók stabilitása

A vitorlások stabilitása

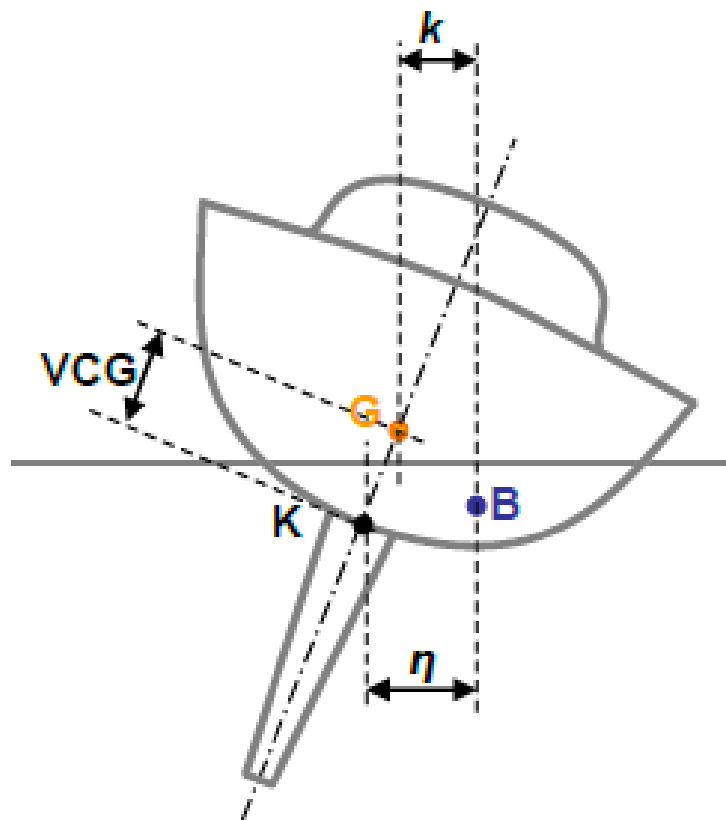
A stabilitás olyan szinten érdekes, amilyen szinten szükség van rá a minimális ellenállás és a nagy hajtóerő biztosításához!

A vitorlások stabilitása



A vitorlások stabilitása

súly- és formastabilitás

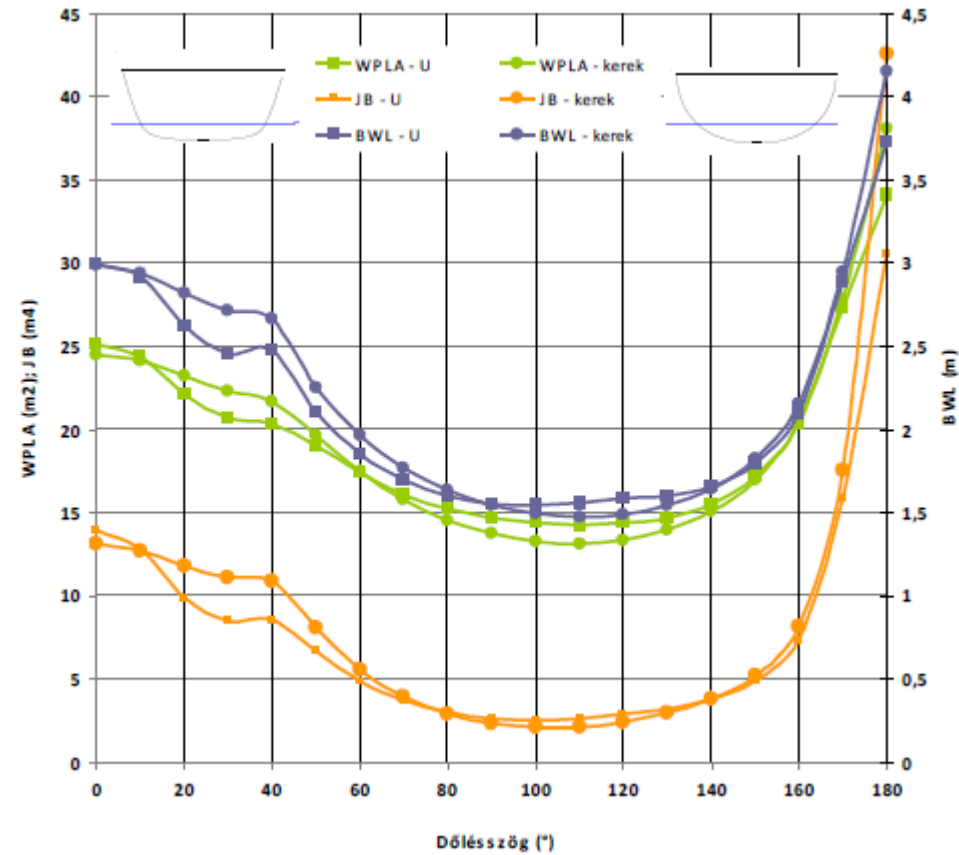
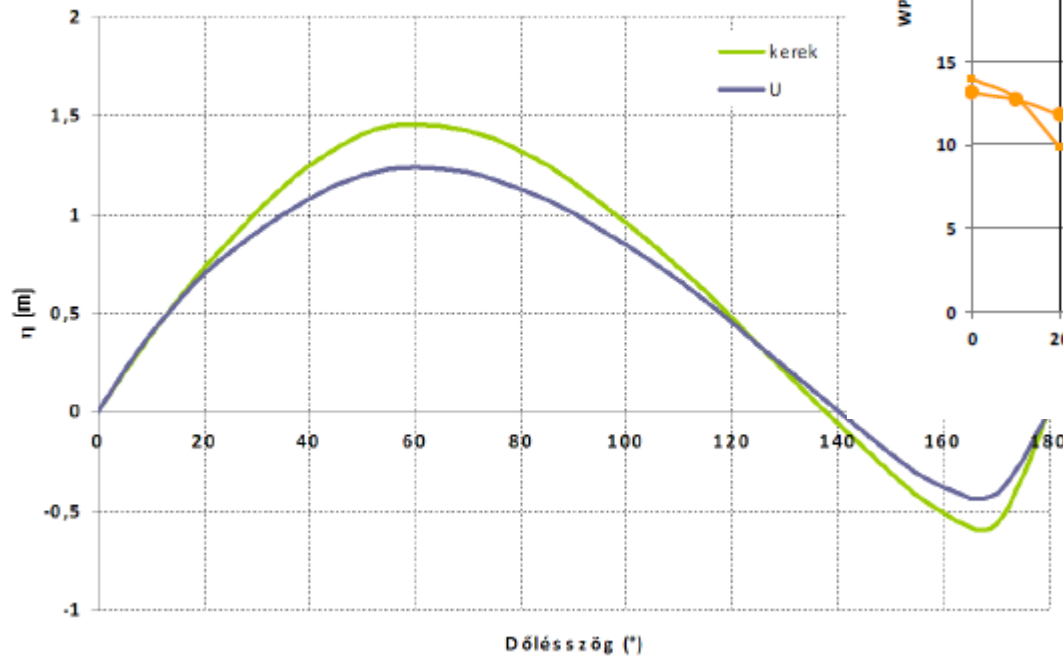


4.2.2. ábra: A stabilizáló nyomatéki karok

$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot k = \rho \cdot g \cdot V \cdot (\eta - \overline{KG} \cdot \sin(\varphi)) = \rho \cdot g \cdot V \cdot (\eta - VCG \cdot \sin(\varphi))$$

A vitorlások stabilitása

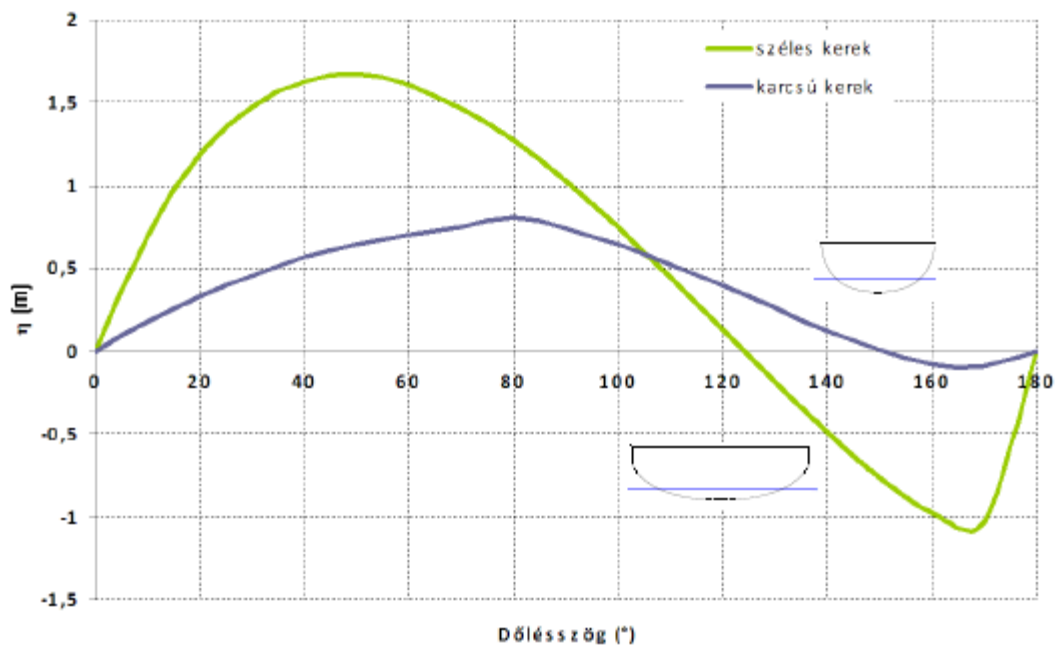
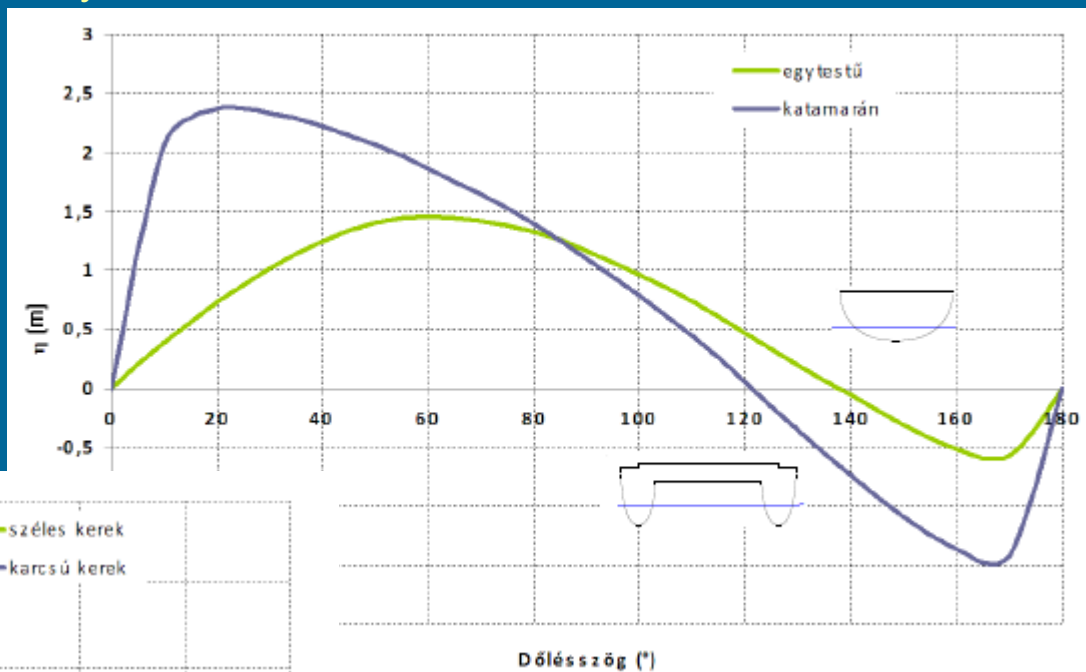
formastabilitást befolyásoló tényezők – ez alapvetően megint a tervezéskor kérdés
bordaforma



A vitorlások stabilitása

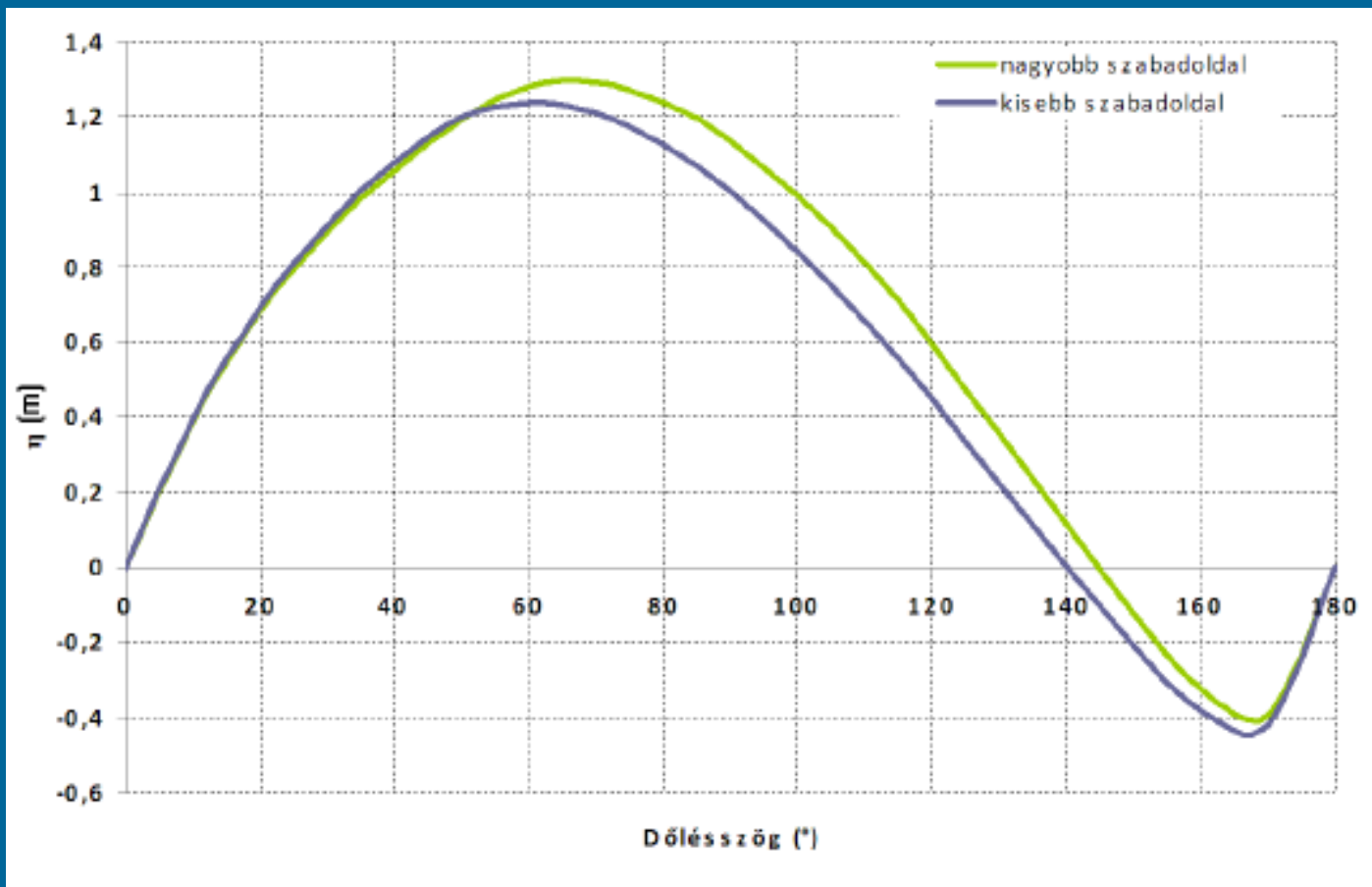
formastabilitást befolyásoló tényezők

szélesség



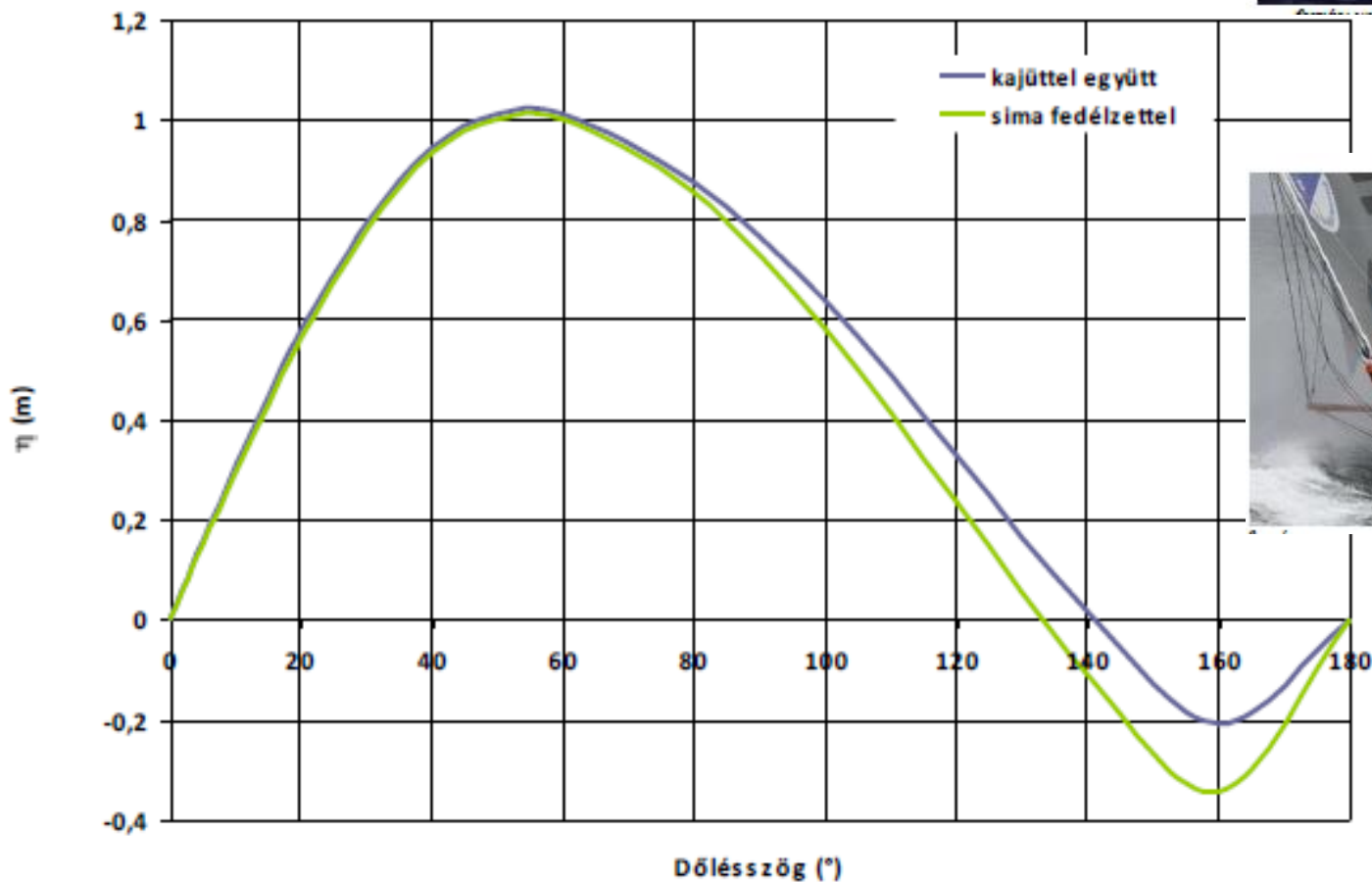
A vitorlások stabilitása

formastabilitást befolyásoló tényezők
szabadoldal



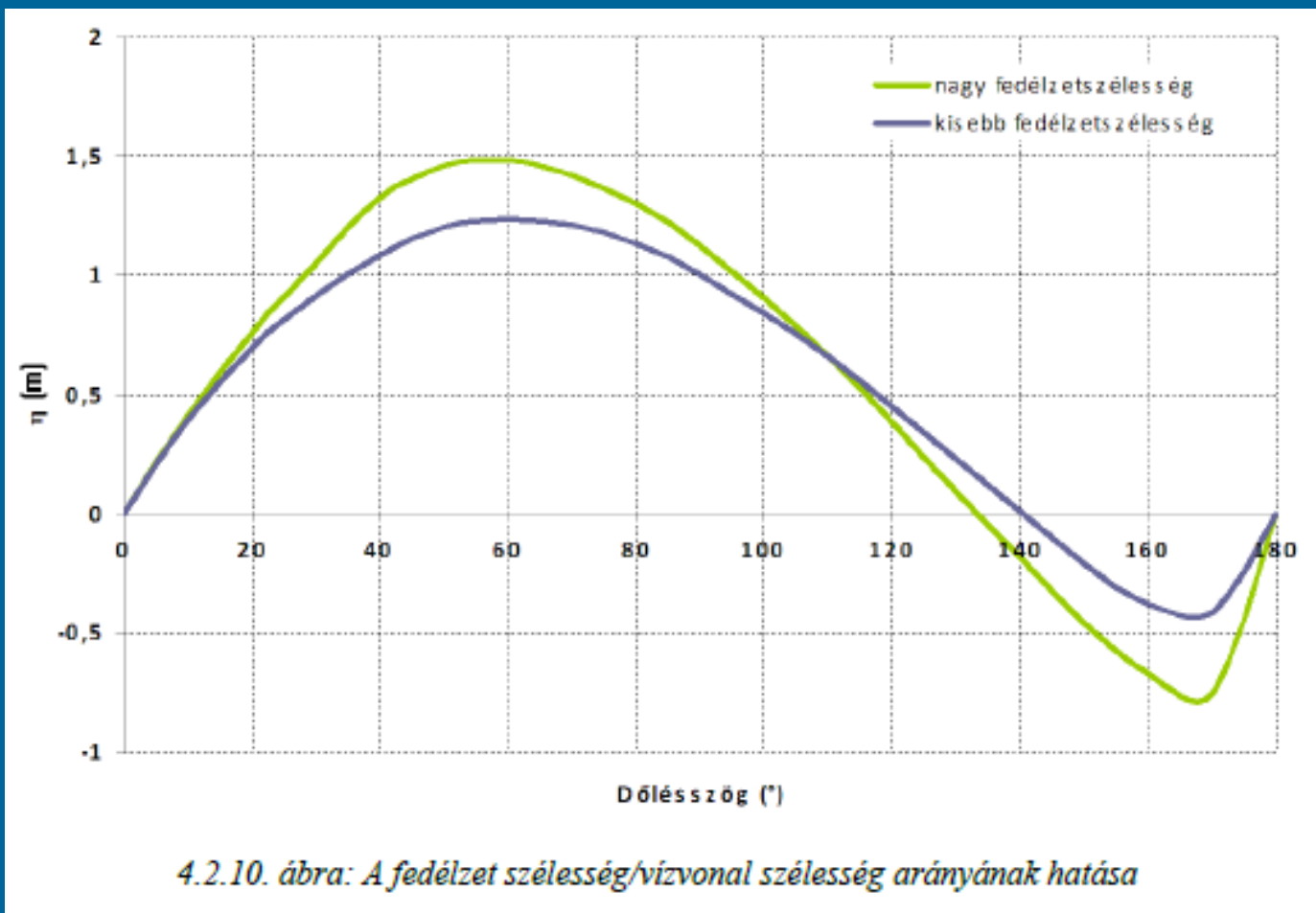
A vitorlások stabilitása

formastabilitást befolyásoló tényezők
kajüttető és cockpit



A vitorlások stabilitása

formastabilitást befolyásoló tényezők
fedélzetszélesség



A vitorlások stabilitása

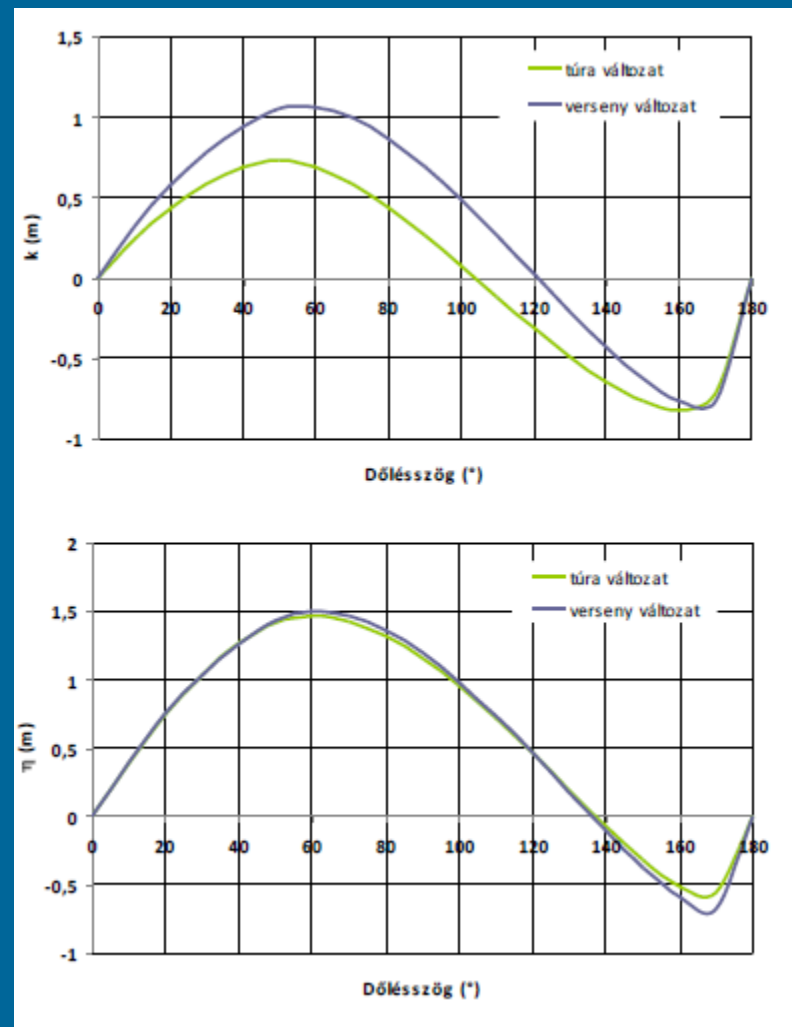
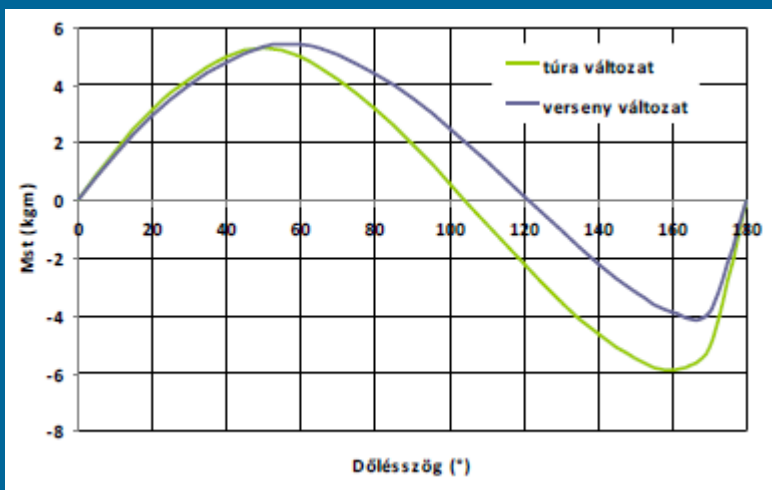
súlystabilitás

a tömeg hatása

$$\rho \cdot g \cdot V \cdot (\eta - VCG \cdot \sin(\varphi))$$

A tûraválozat tömege $G_t = 7,2$ t, súlypontja: $VCG_t = 0,89$ m,

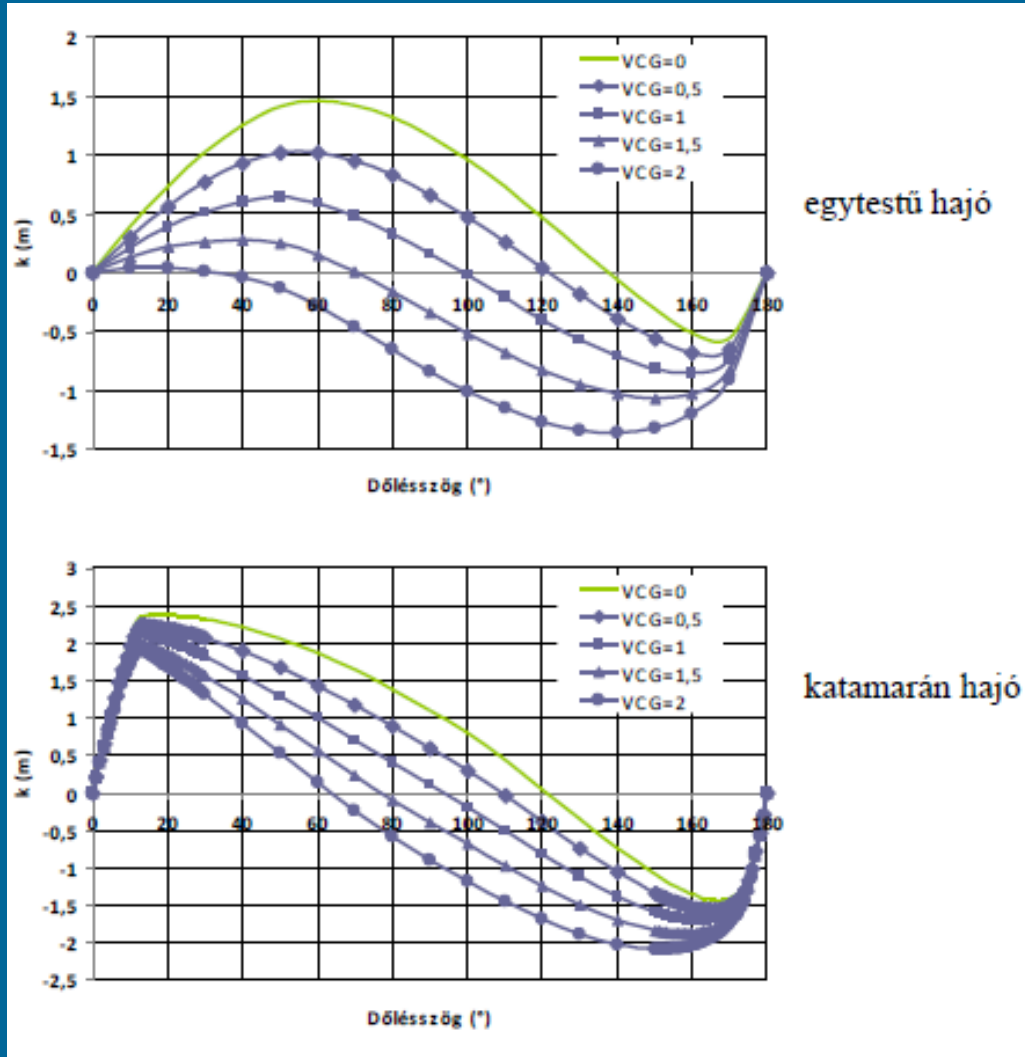
$G_v = 5,1$ t, súlypontja: $VCG_v = 0,5$ m.



A vitorlások stabilitása

súlystabilitás

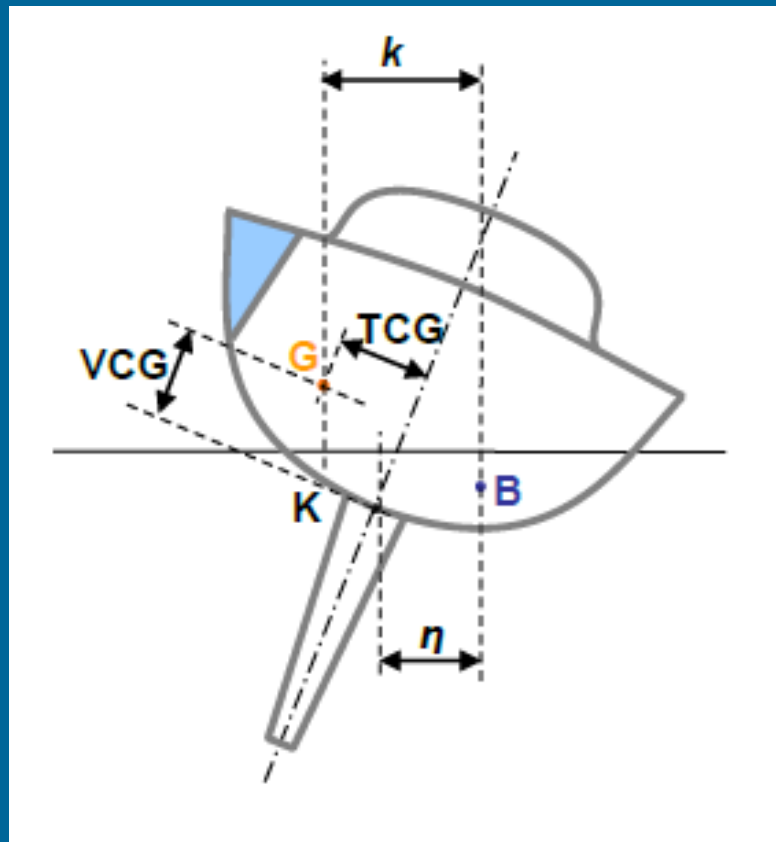
a súlypont függőleges változásának hatása különböző hajóalakoknál



A vitorlások stabilitása

súlystabilitás

a súlypont keresztirányú változásának hatása



$$M_{st} = \rho \cdot g \cdot V \cdot k = \rho \cdot g \cdot V \cdot (\eta - \overline{KG} \cdot \sin(\varphi)) = \rho \cdot g \cdot V \cdot (\eta - [VCG \cdot \sin(\varphi) \pm |TCG| \cdot \cos(\varphi)])$$

A vitorlások stabilitása

súlystabilitás

a súlypont keresztirányú változásának hatása



A homokzsákok mozgatása
„sand-bagger”

A legénység mozgatása



A vitorlások stabilitása

súlystabilitás

a súlypont keresztirányú változásának hatása



Billenthető kiel

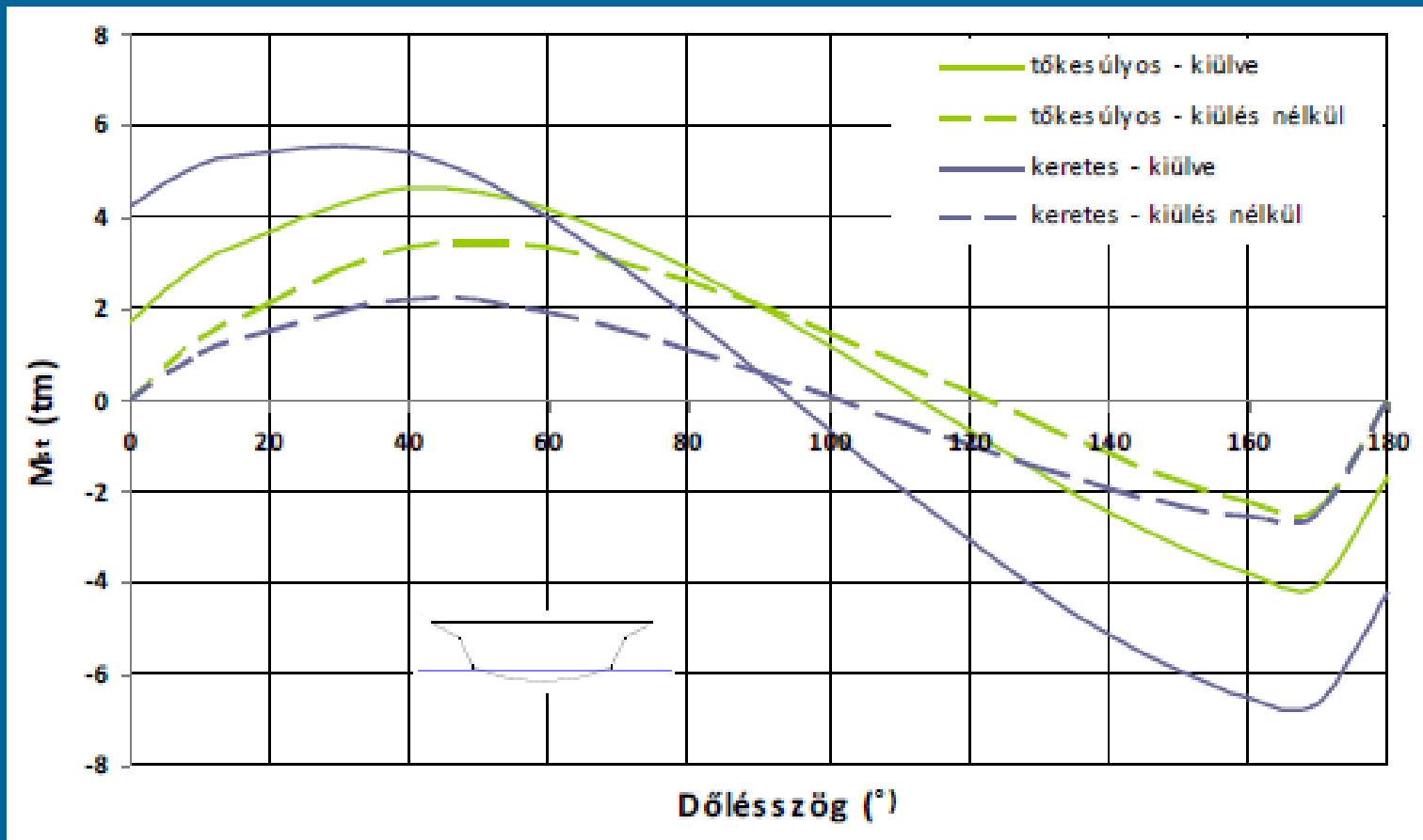
Vízballaszt



A vitorlások stabilitása

súlystabilitás

a súlypont keresztirányú változásának hatása



A tőkesúly

A vitorlázás hidrodinamikája

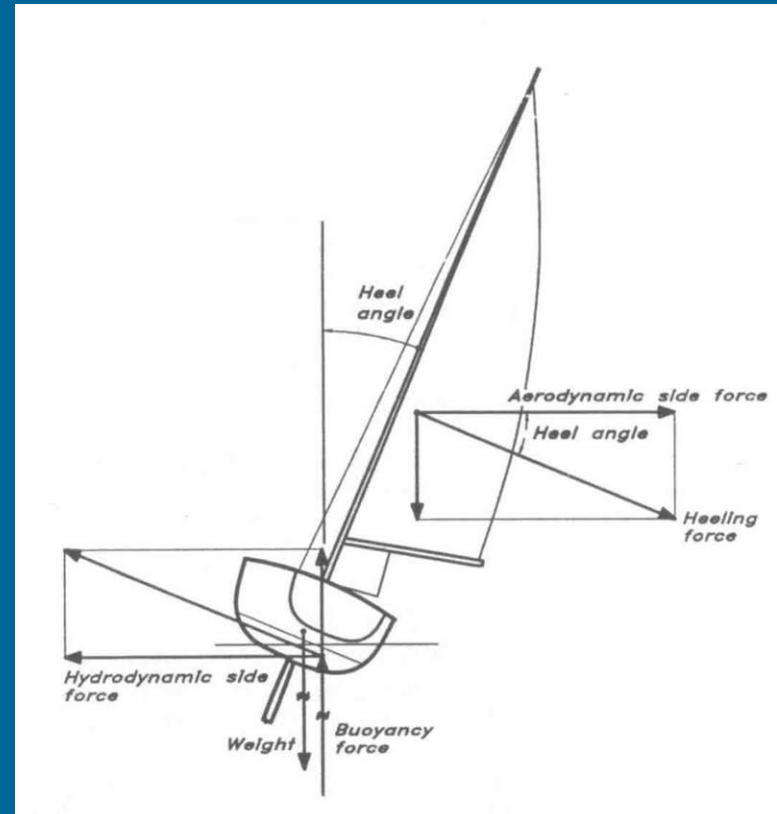
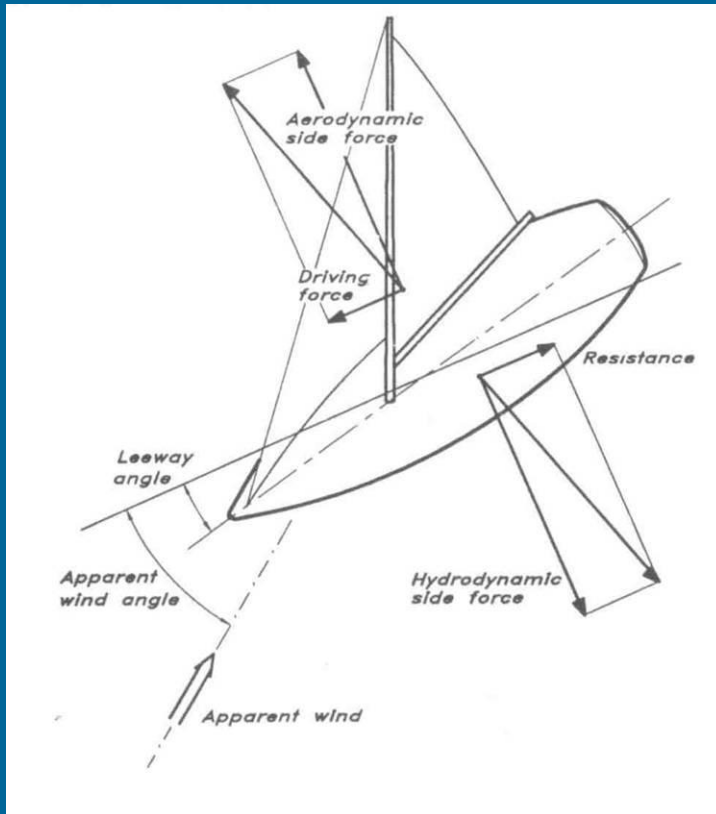
a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Az uszony és a tőkésúly feladata:

Uszony: csak oldalerő

Tőkésúly: oldalerő és „stabilizáló nyomaték”

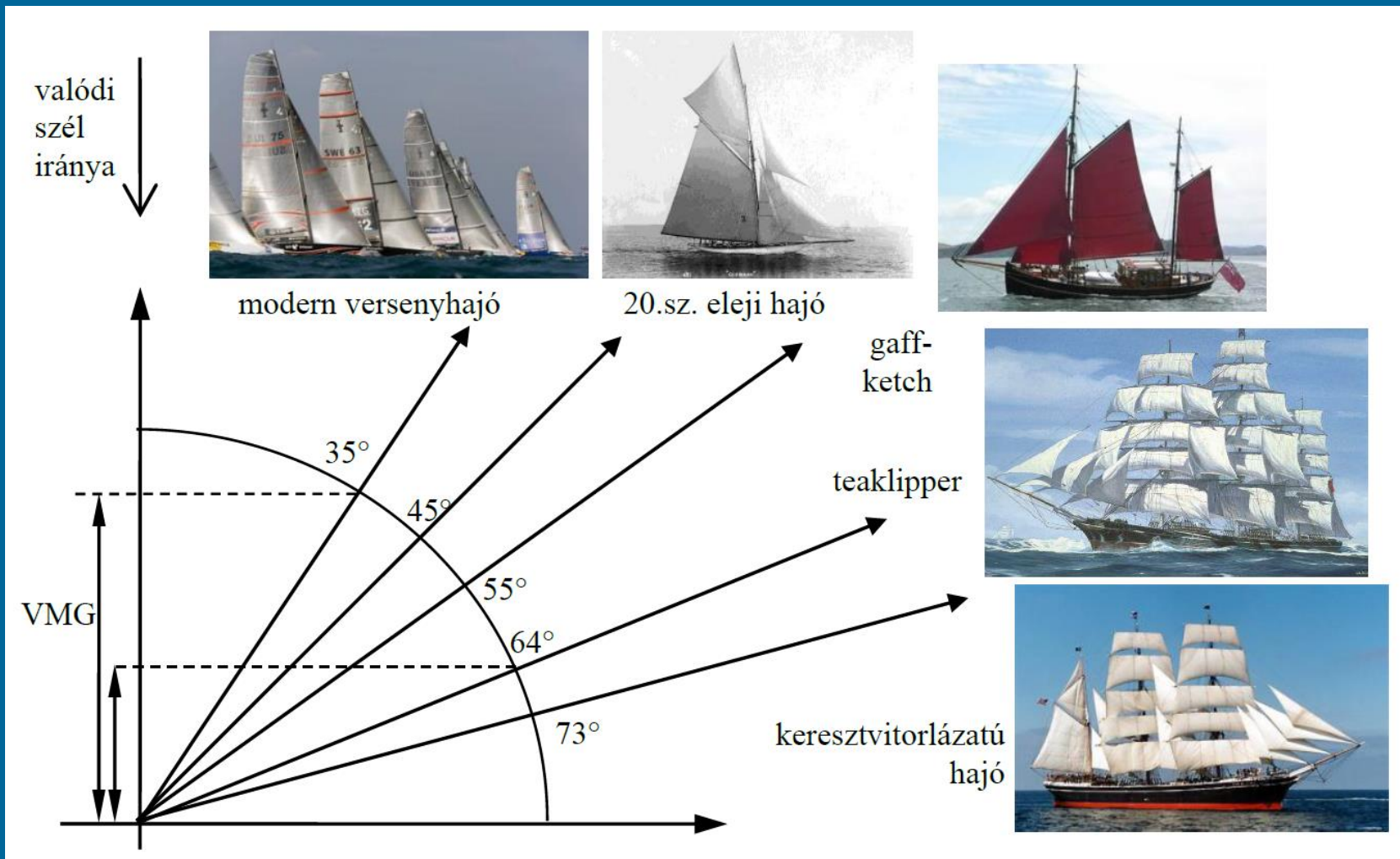


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Kis történelem:

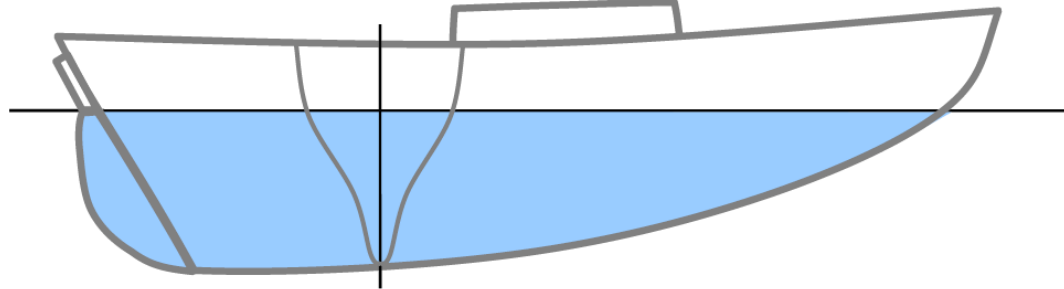


A vitorlázás hidrodinamikája

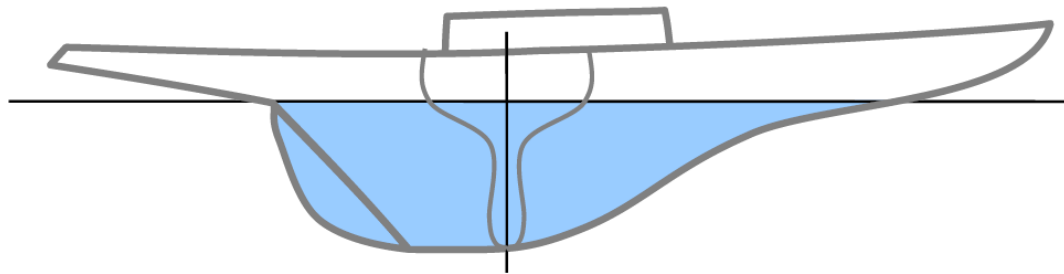
a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Kis történelem:



5.1.2. ábra: Klasszikus hosszúgerinces kedvtelési célú vitorlás



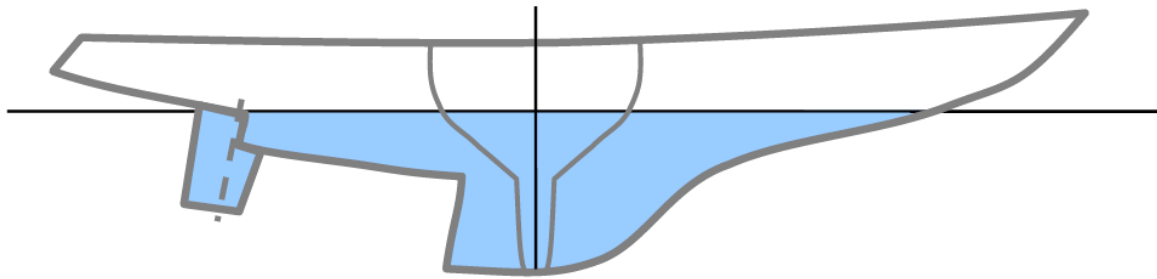
5.1.3. ábra: Rövid tőkével rendelkező klasszikus vitorlás

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Kis történelem:



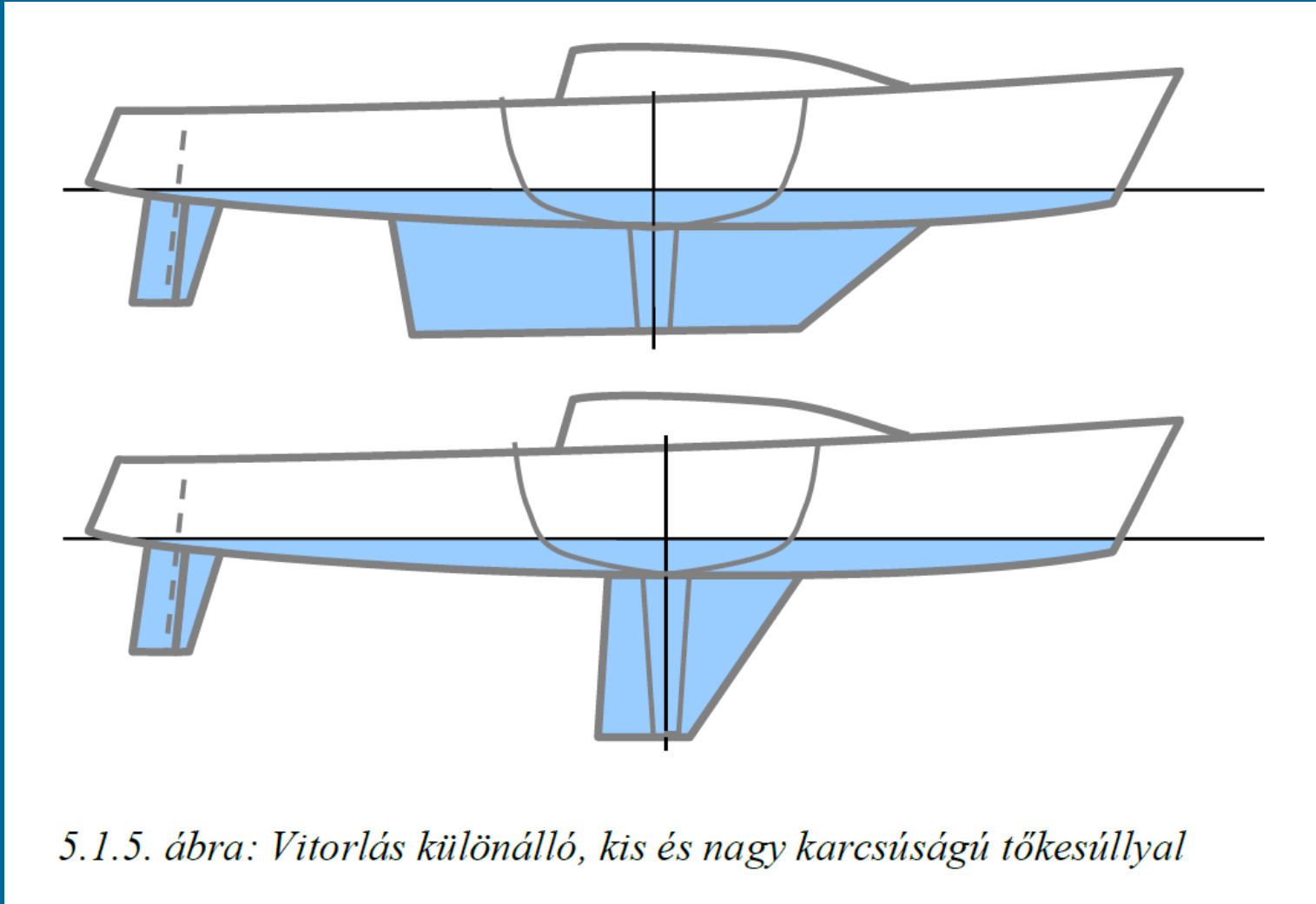
5.1.4. ábra: Vitorlás külön kormányval, de a testhez szervesen kapcsolódó tőkésúllyal

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Kis történelem:



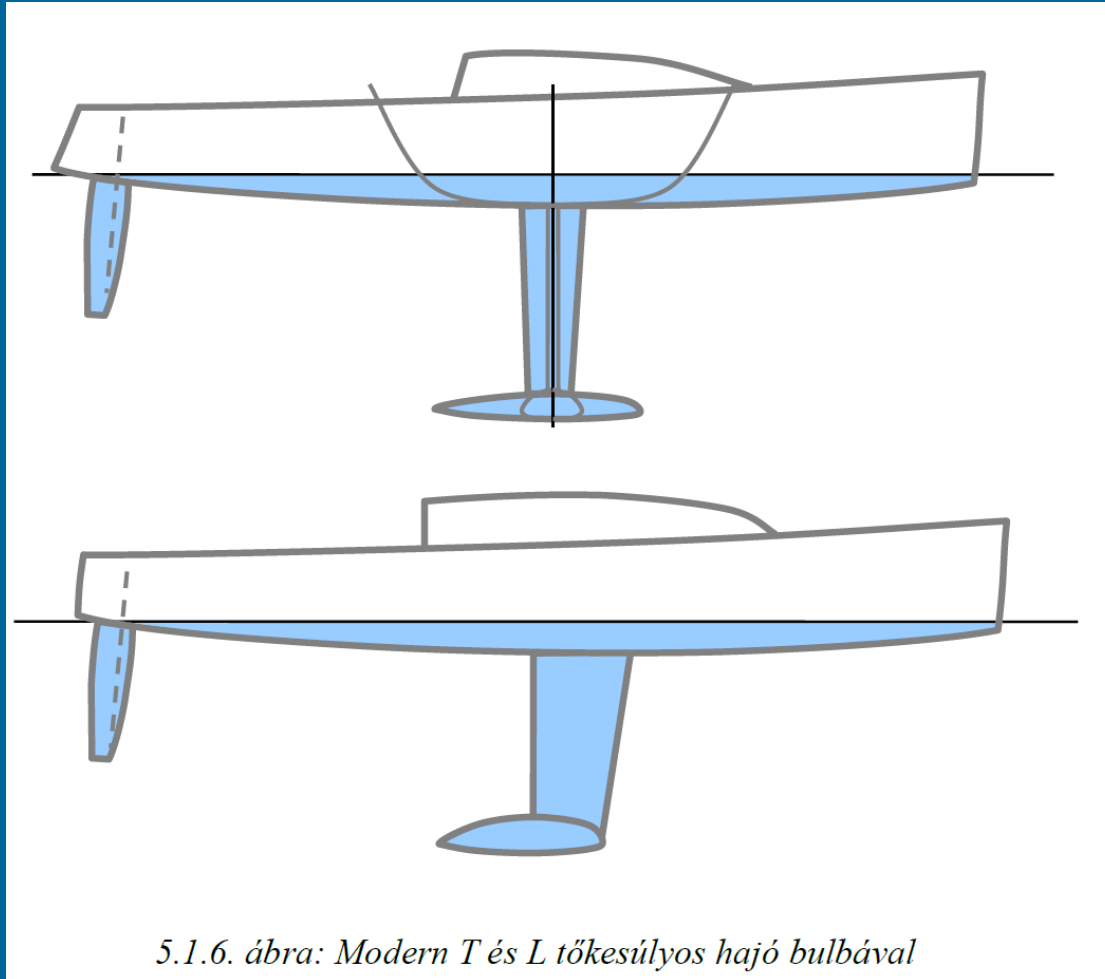
5.1.5. ábra: Vitorlás különálló, kis és nagy karcsúságú tőkesúllyal

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Kis történelem:



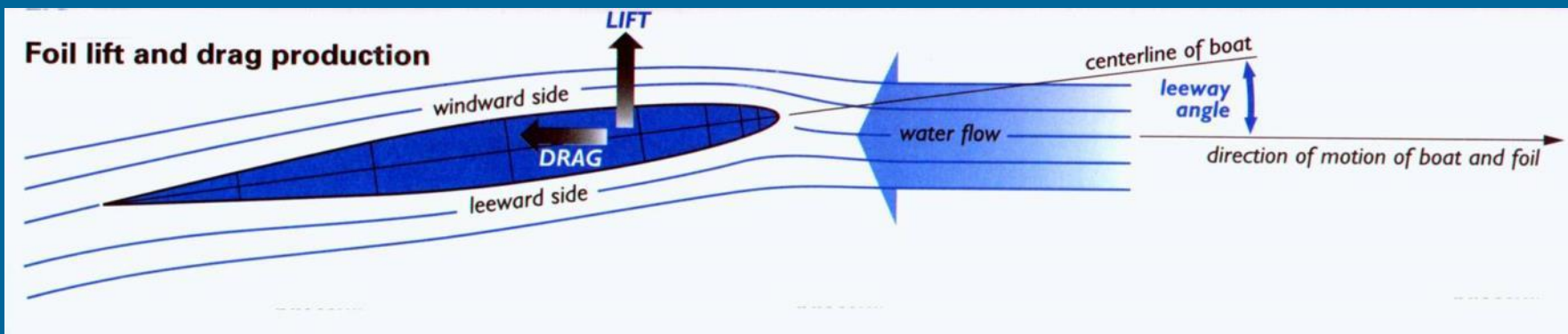
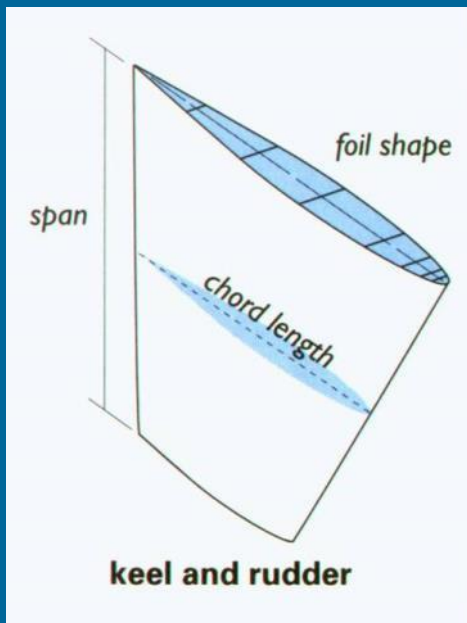
5.1.6. ábra: Modern T és L tőkésúlyos hajó bulbával

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

működési elve



A vitorlázás hidrodinamikája

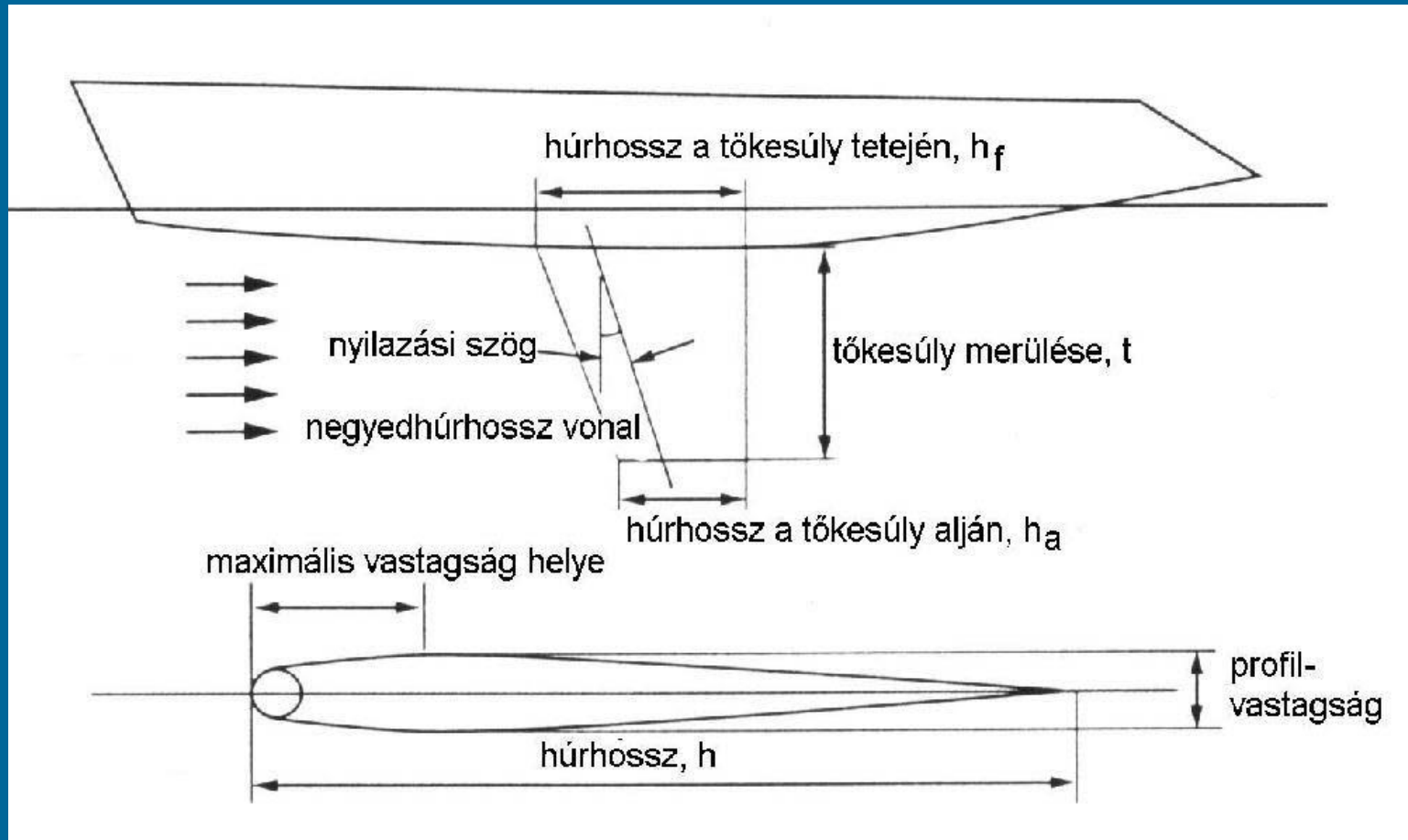
a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Az eredő erőt befolyásoló paraméterek:

ld. az ábrát

és még: a felület nagysága, alakja és minősége (érdesség)



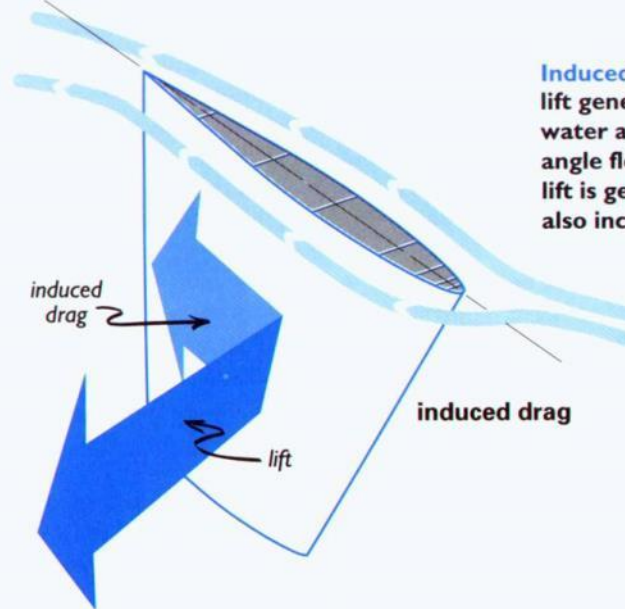
A vitorlázás hidrodinamikája

a tökesúly hidrodinamikája

Keel drag types

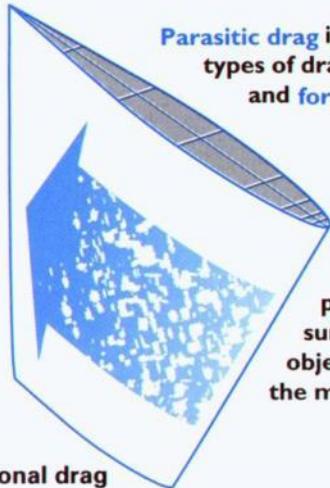
A keel experiences two basic types of drag: **parasitic drag** and **induced drag**.

Induced drag is a by-product of lift generated by the keel as water approaching from an angle flows around it. As more lift is generated, induced drag also increases.



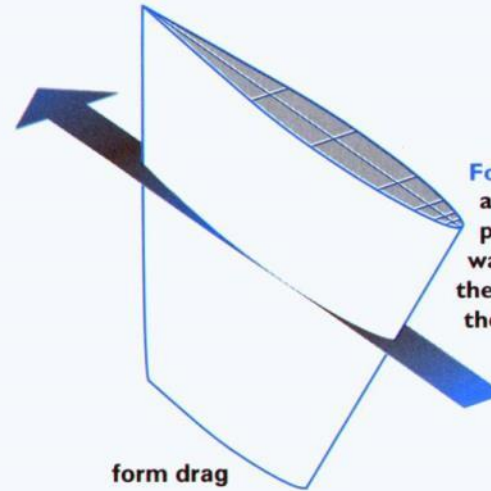
Parasitic drag is composed of two types of drag: **frictional drag** and **form drag**.

Frictional drag is directly proportional to the surface area of an object: the more area, the more frictional drag.



frictional drag

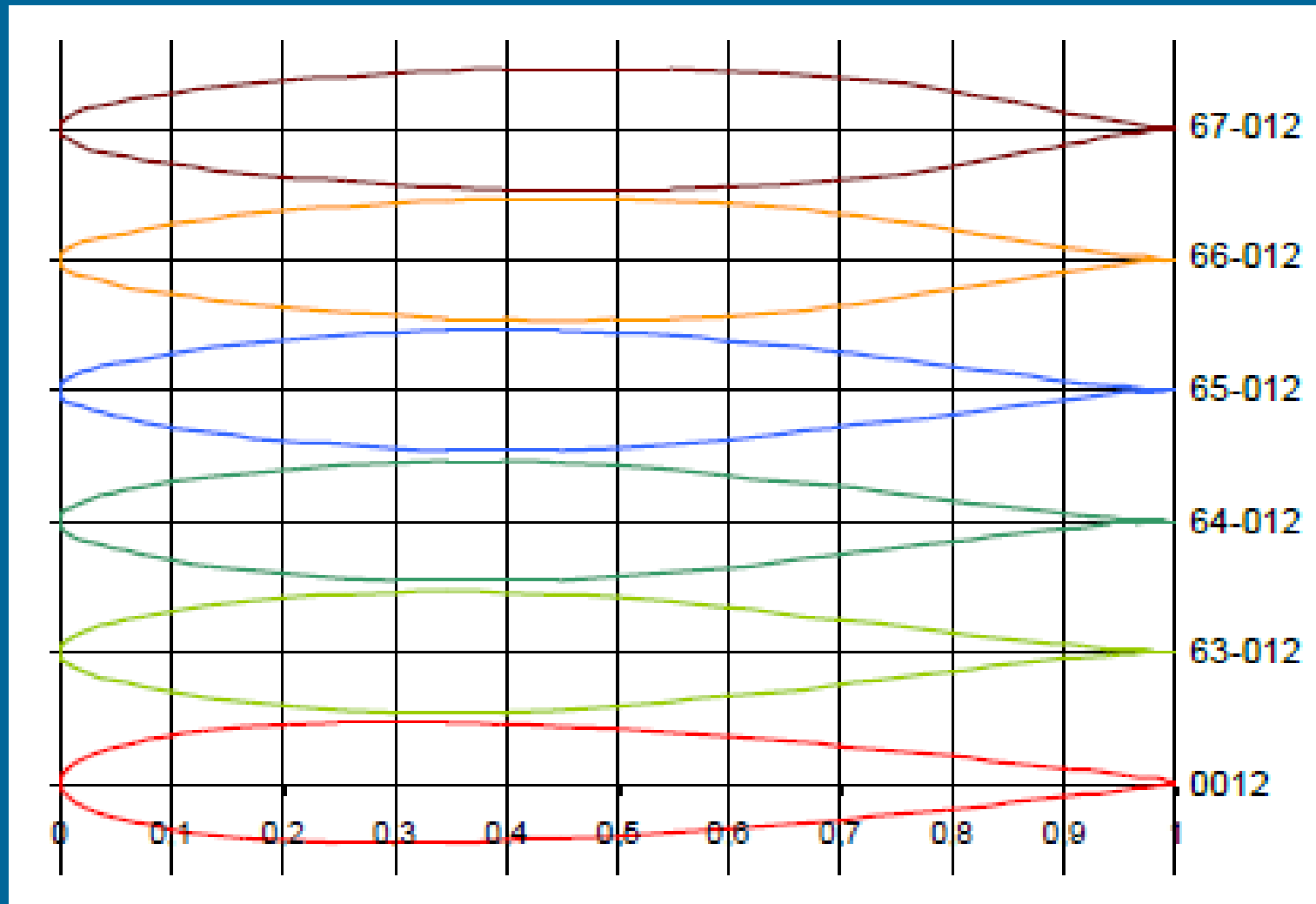
Form drag relates to the amount of force required to push an object through the water. The fatter the object, or the more blunt its leading edge, the more form drag it produces.



form drag

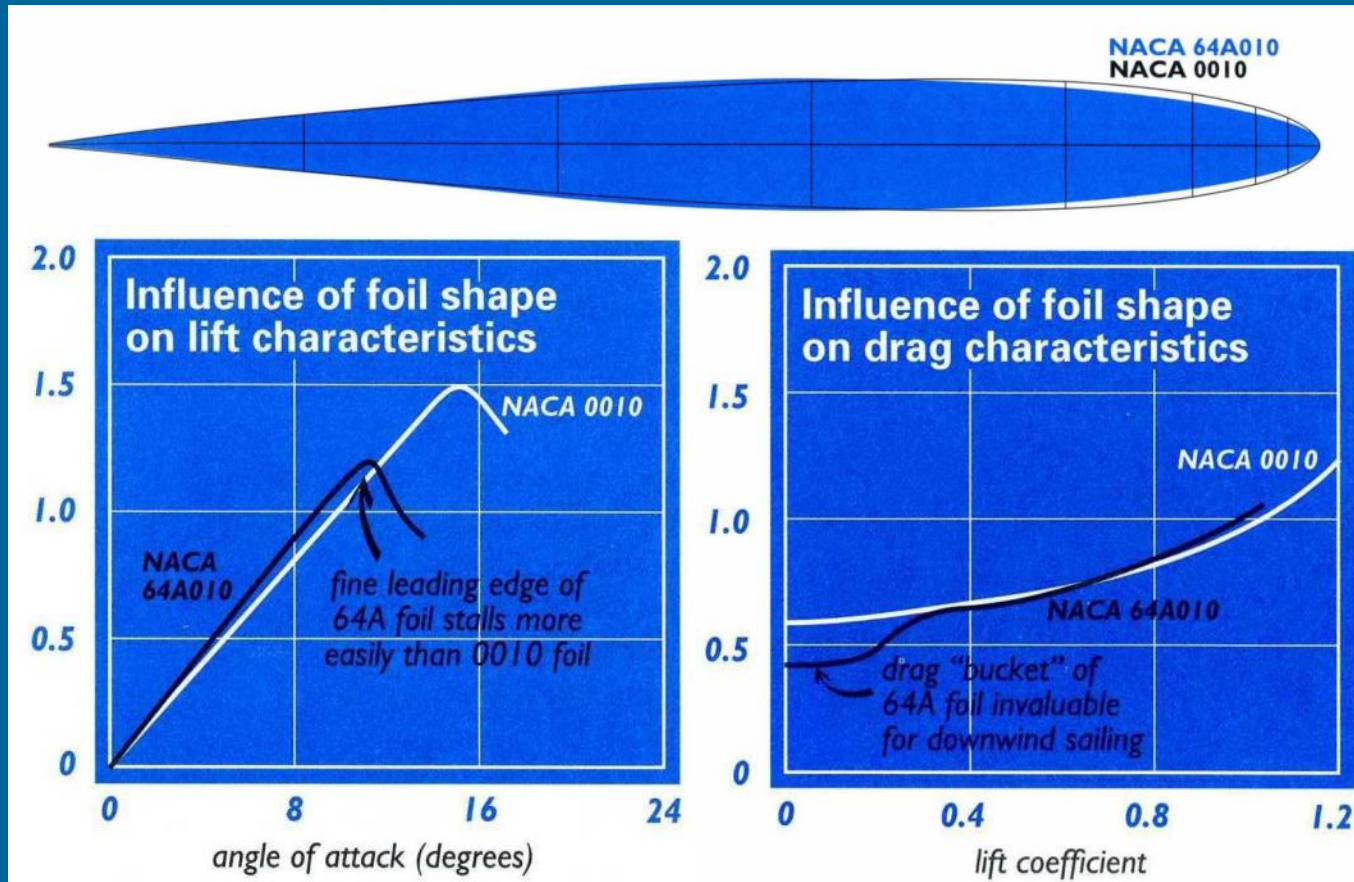
A vitorlázás hidrodinamikája

a tökesúly hidrodinamikája



A vitorlázás hidrodinamikája

a tőkesúly hidrodinamikája

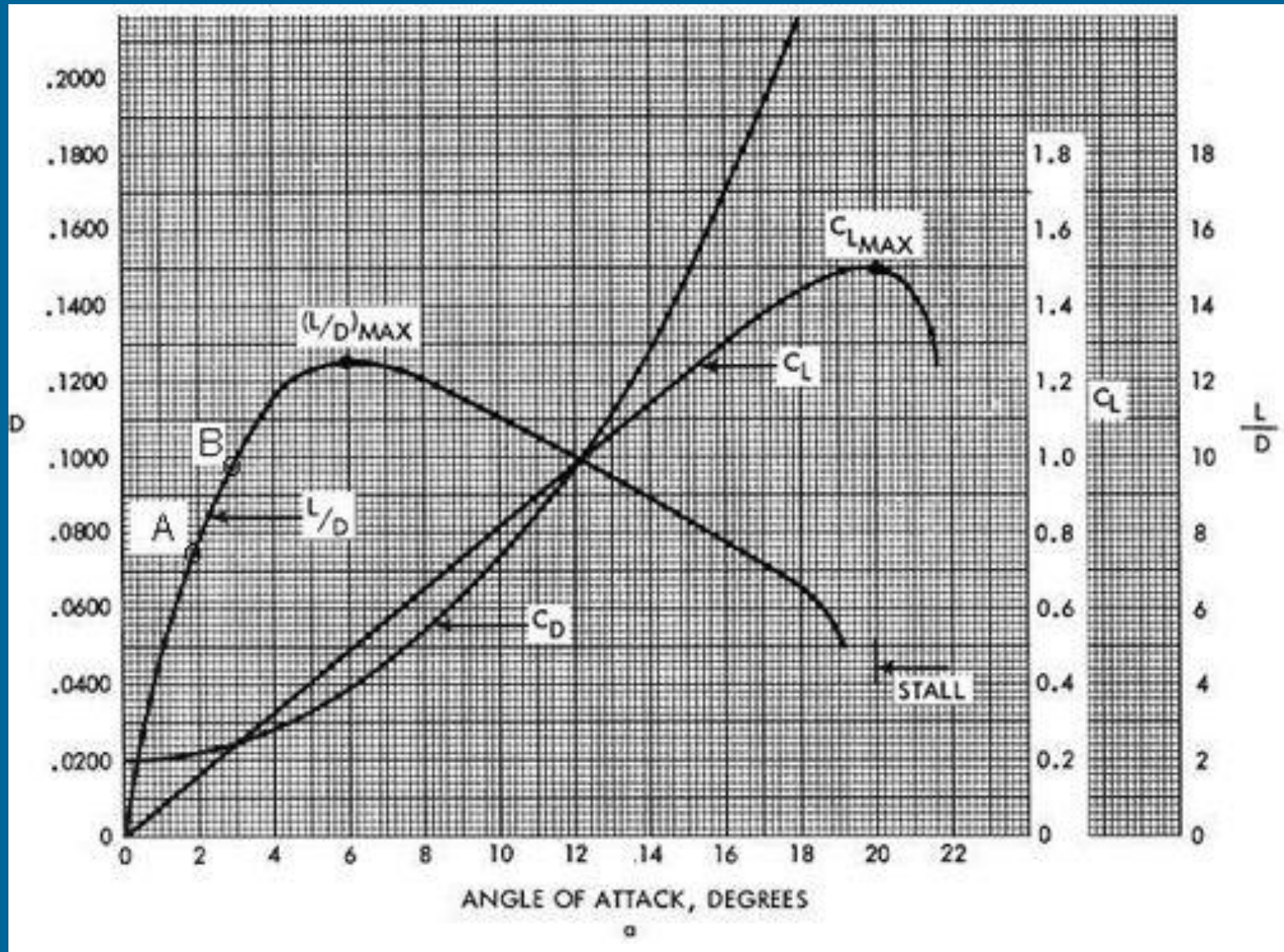


$$c_L = \alpha \cdot \frac{c_{l\alpha}}{1 + \frac{2}{AR_e}}$$

$$c_D = c_d + c_{dI}$$

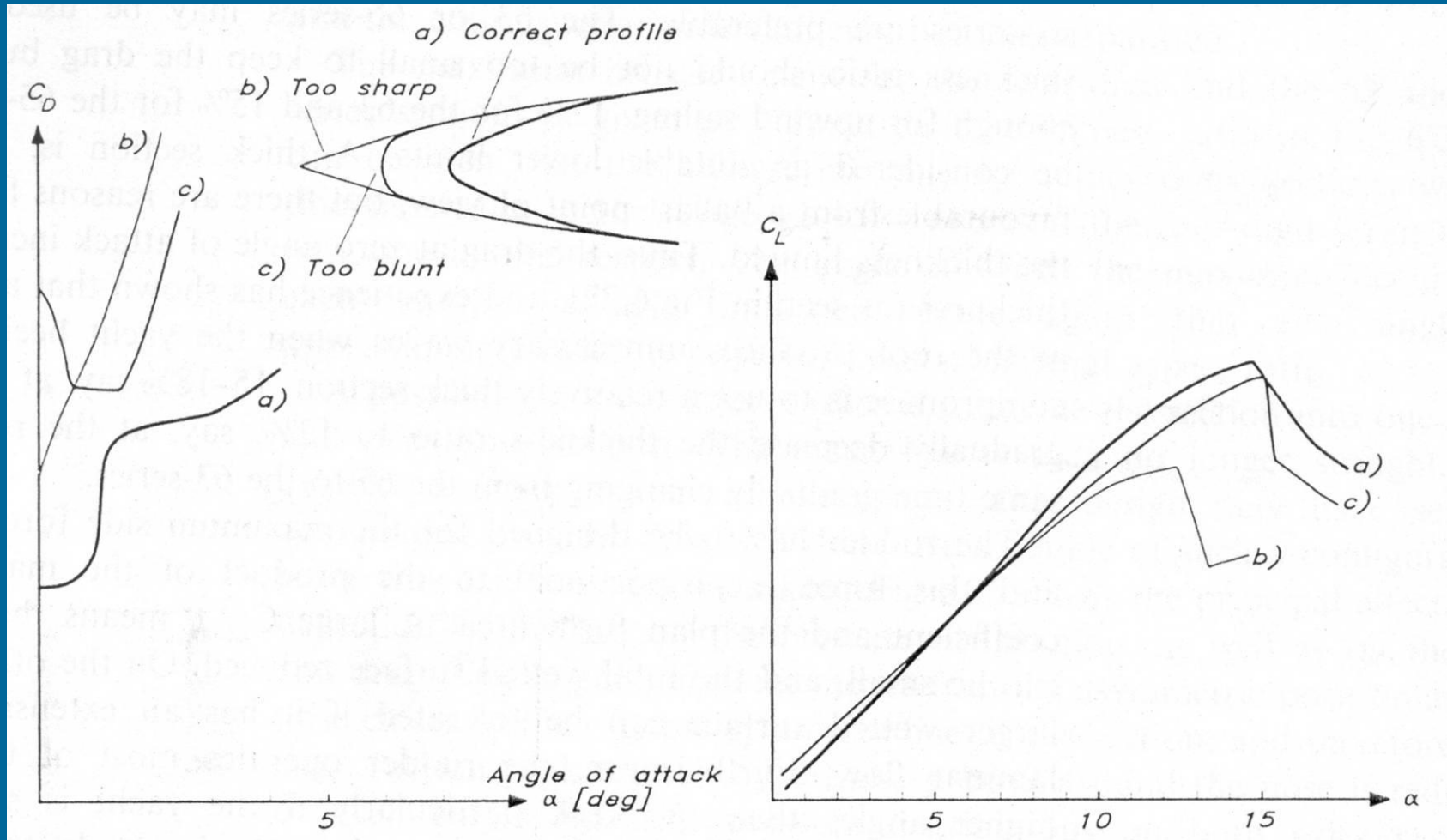
$$c_{dI} = \frac{c_L^2}{\pi \cdot AR_e}$$

A vitorlázás hidrodinamikája a tökesúly hidrodinamikája



A vitorlázás hidrodinamikája

a tőkesúly hidrodinamikája

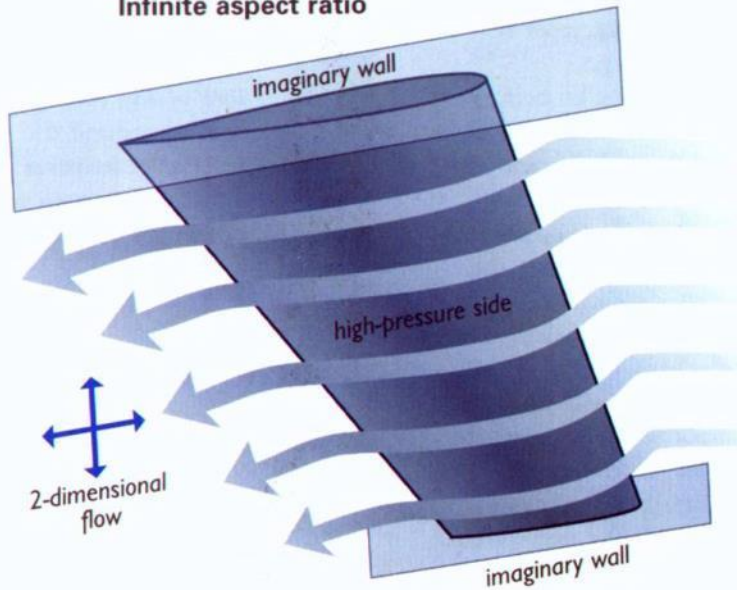


A vitorlázás hidrodinamikája

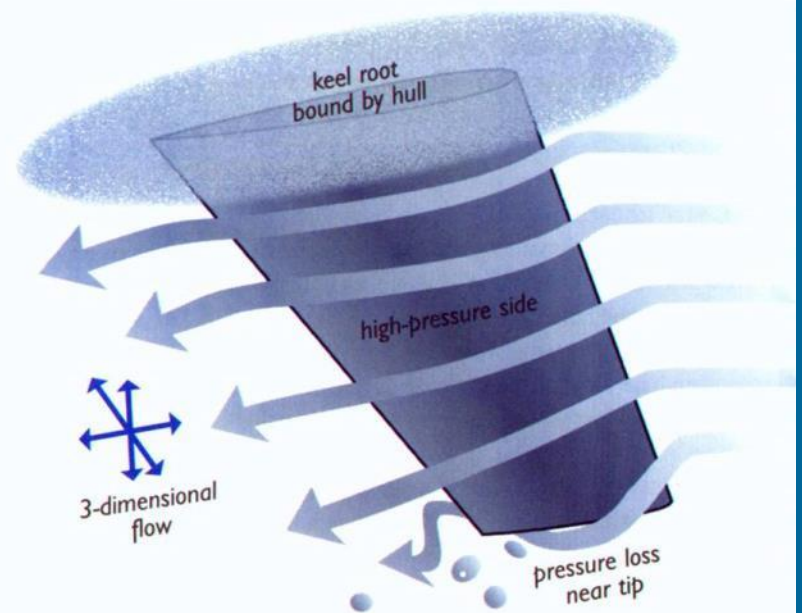
a tőkésúly hidrodinamikája

Water flow in two and three dimensions

Two-dimensional flow:
Infinite aspect ratio



Three-dimensional flow:
Significant tip vortex



A vitorlázás hidrodinamikája

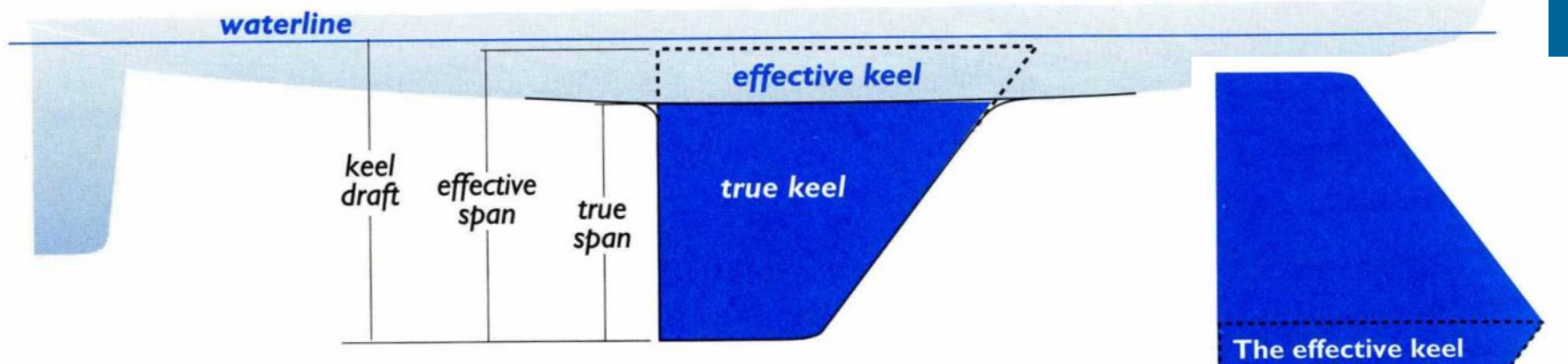
a tökesúly hidrodinamikája

The concept of an “effective keel”

The **aspect ratio** of a boat's true keel is calculated using a span measured from the tip of the keel to its base at the hull.

Research, however, has shown that the end-plate effect of the hull creates a larger **effective keel**, which has a span generally ranging from 85 to 99 percent of keel draft.

To gauge the efficiency of the keel and compare it to published wing data, the aspect ratio of the effective keel must be doubled, to arrive at the **aerodynamic aspect ratio**. Thus, the aspect ratio of the effective keel is more than double that of the true keel.



$$c_L = \alpha \cdot \frac{c_{l\alpha}}{1 + \frac{2}{AR_e}}$$

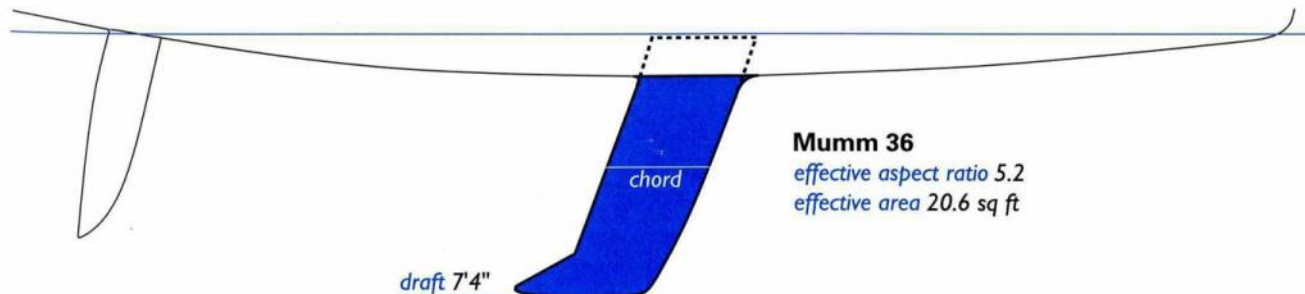
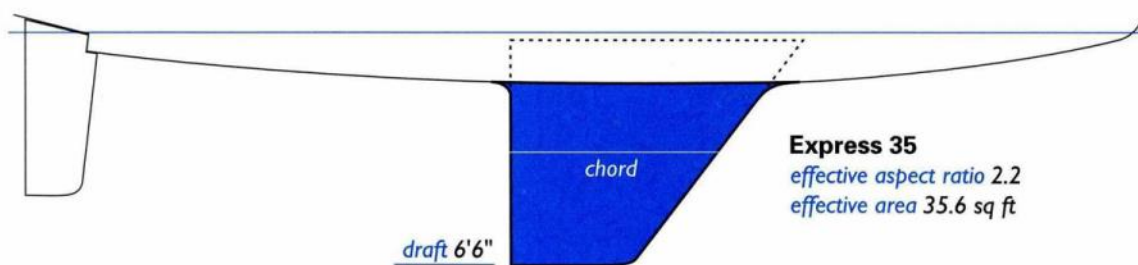
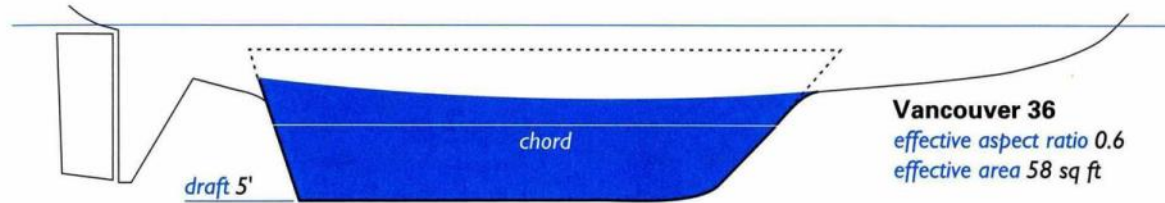
$$c_D = c_d + c_{dI}$$

$$c_{dI} = \frac{c_L^2}{\pi \cdot AR_e}$$

The effective keel area is doubled to determine the aerodynamic aspect ratio.

A vitorlázás hidrodinamikája a tőkesúly hidrodinamikája

Keel aspect types

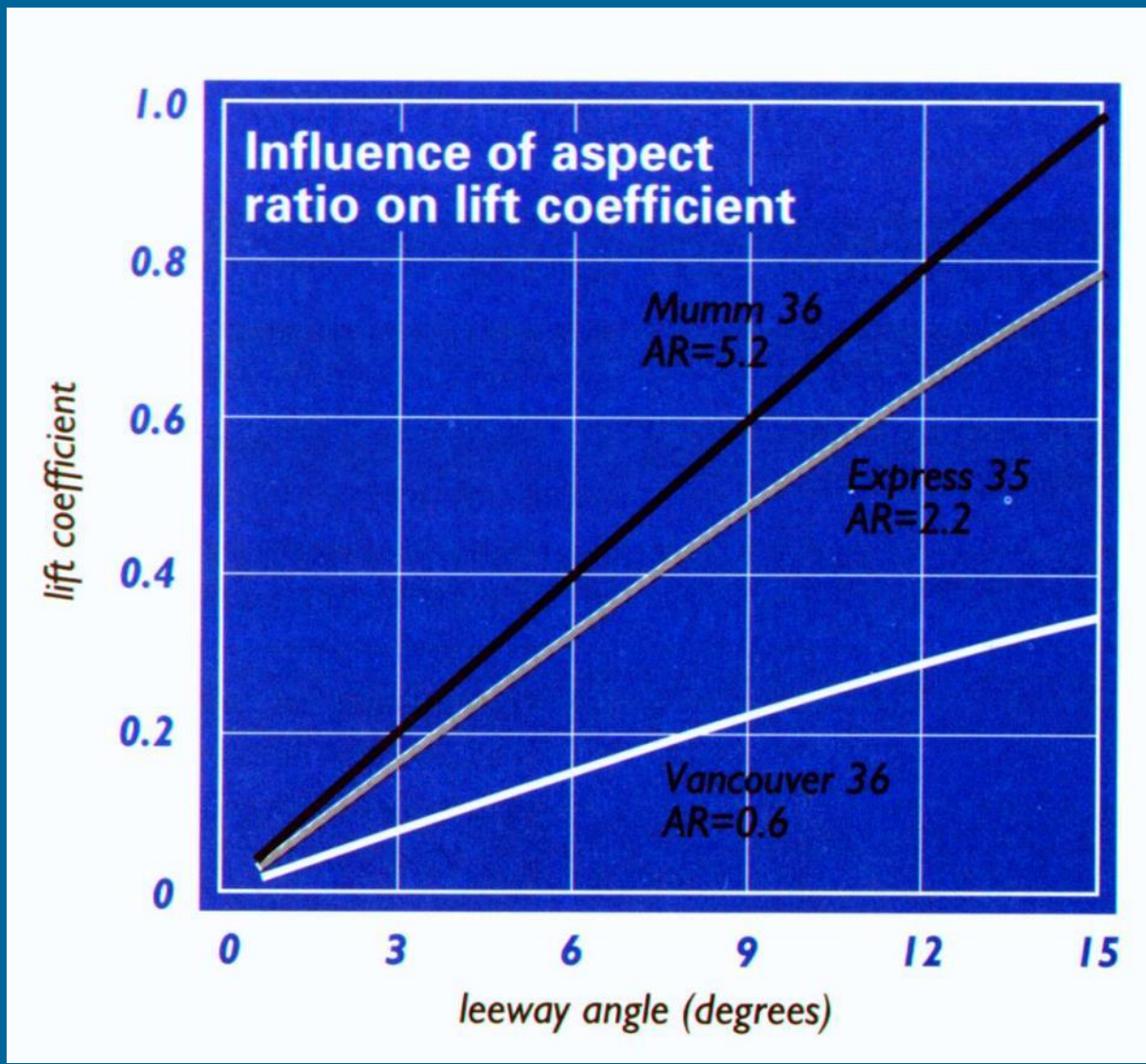


High performance calls for a higher aspect ratio keel, as illustrated by the difference between a dedicated cruiser, the Vancouver 36; a racer-cruiser, the Express 35; and a Gran-Prix racer, the Mumm 36.

Performance also requires less keel area, as lift generation increases with speed. The Mumm 36 keel has an effective area less than half that of the Vancouver 36 keel.

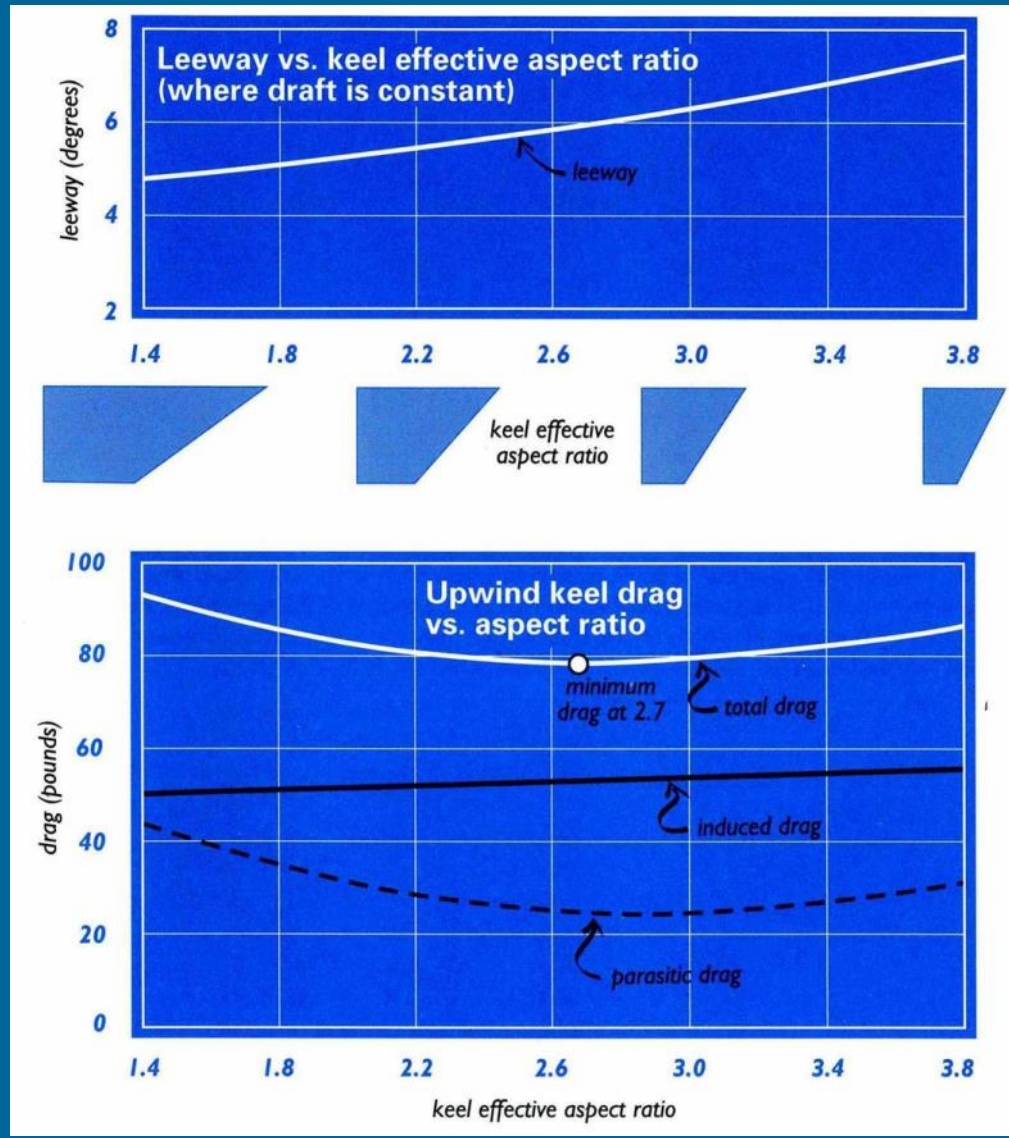
A vitorlázás hidrodinamikája

a tőkesúly hidrodinamikája



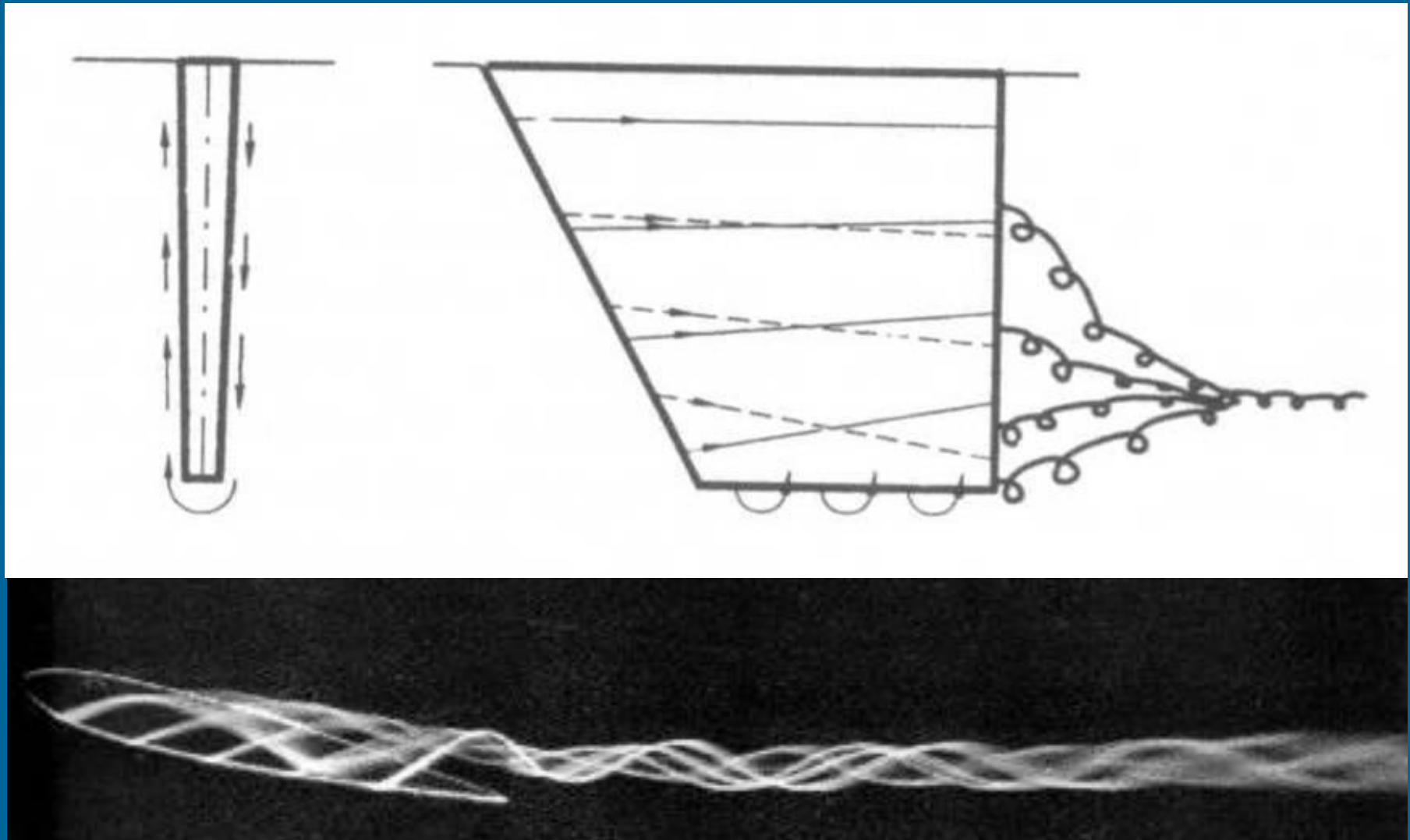
A vitorlázás hidrodinamikája

a tőkesúly hidrodinamikája



A vitorlázás hidrodinamikája

a tőkesúly hidrodinamikája



A vitorlázás hidrodinamikája a tőkesúly hidrodinamikája



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Az uszony lehet:

- szimpla vagy dupla
- lemez vagy profil
- felhúzható vagy csap körül elforduló

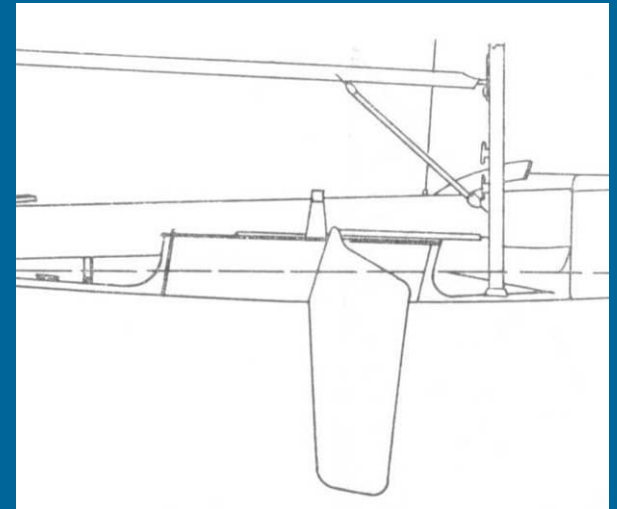


Az uszony előnye:

- felhúzható - nincs felesleges ellenállás, ha nem kell oldalerő
- könnyű - ha nem kell a stabilitás, nincs felesleges tömeg.

hátránya:

- nincsen a hajónak súlystabilitása, kicsi a pozitív stab. tartomány.



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

A tőkésúly lehet:

- fix vagy mozgatható (felhúzható - lift-kiel, billenthető)
- hagyományos, bulbás, szárnyas, iker, tandem és ezek kombinációja
- uszony-tőkésúly (swert-kiel)

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Hagyományos és bulbás tőkésúlyok:



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Bulbás keel versenyhajóra:



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Bulbás tőkésúlyok kis merülésre:

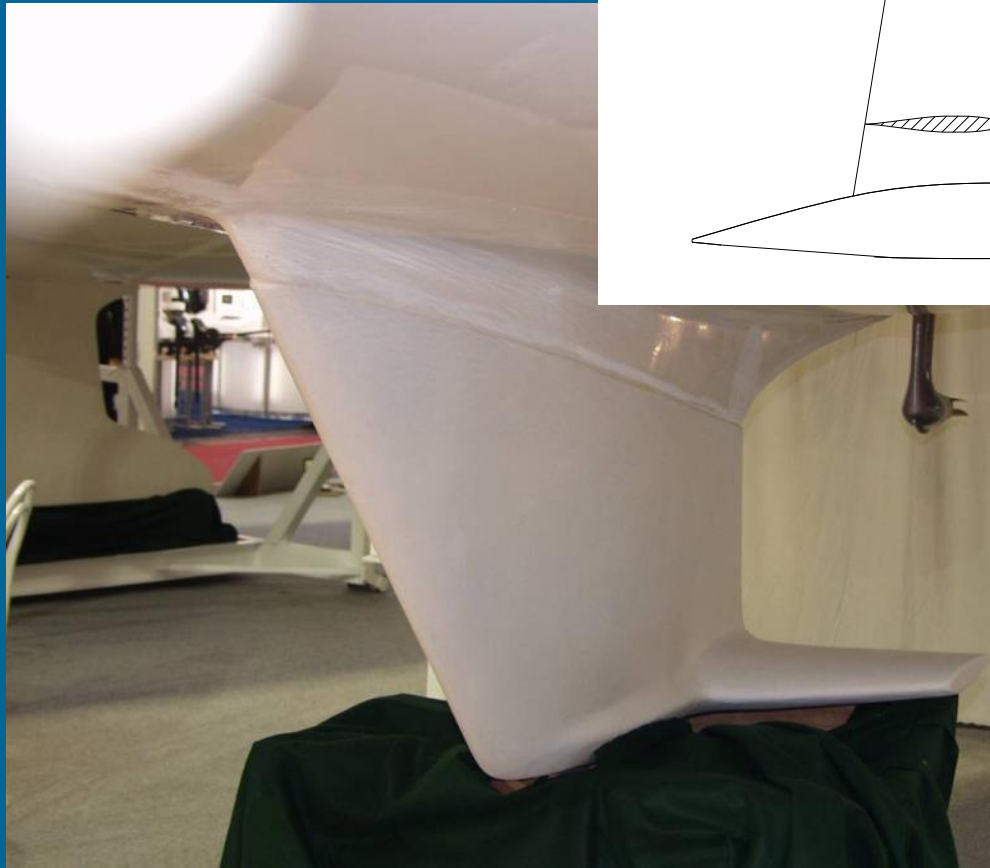
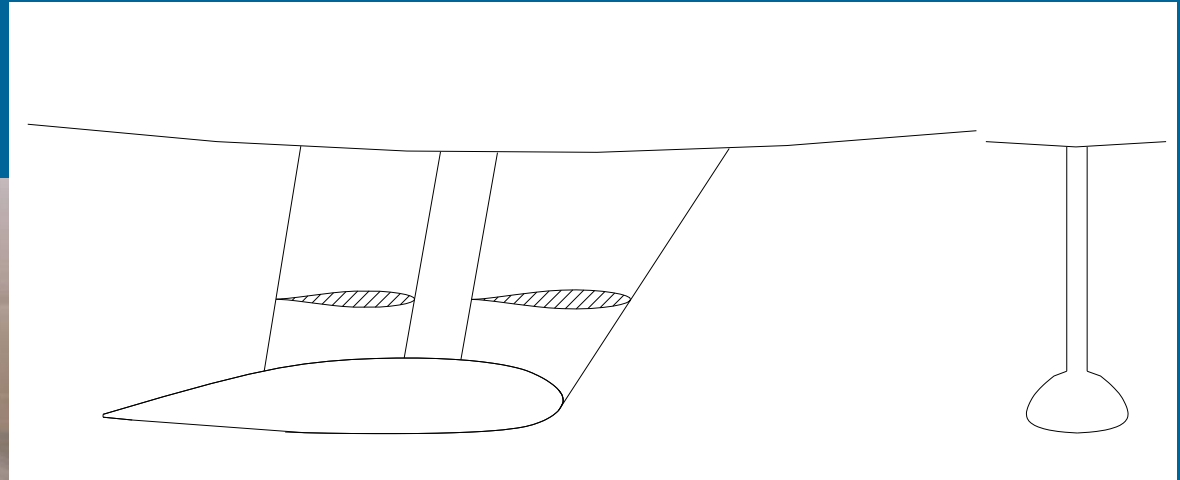


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Szárnyas tőkesúly:



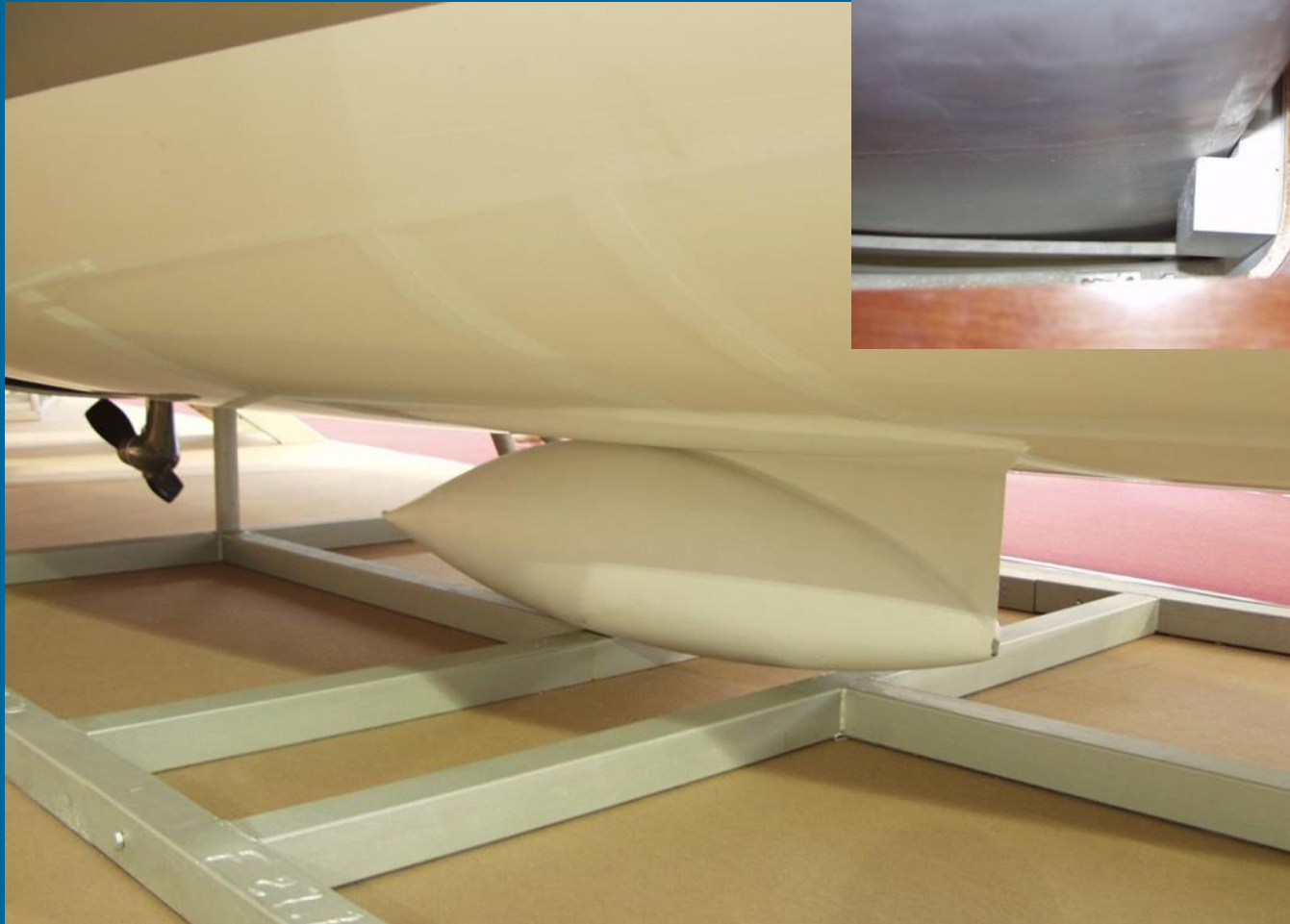
Tandem keel:

A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Mozgatható tőkésúlyok:



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Mozgatható tőkésúlyok:

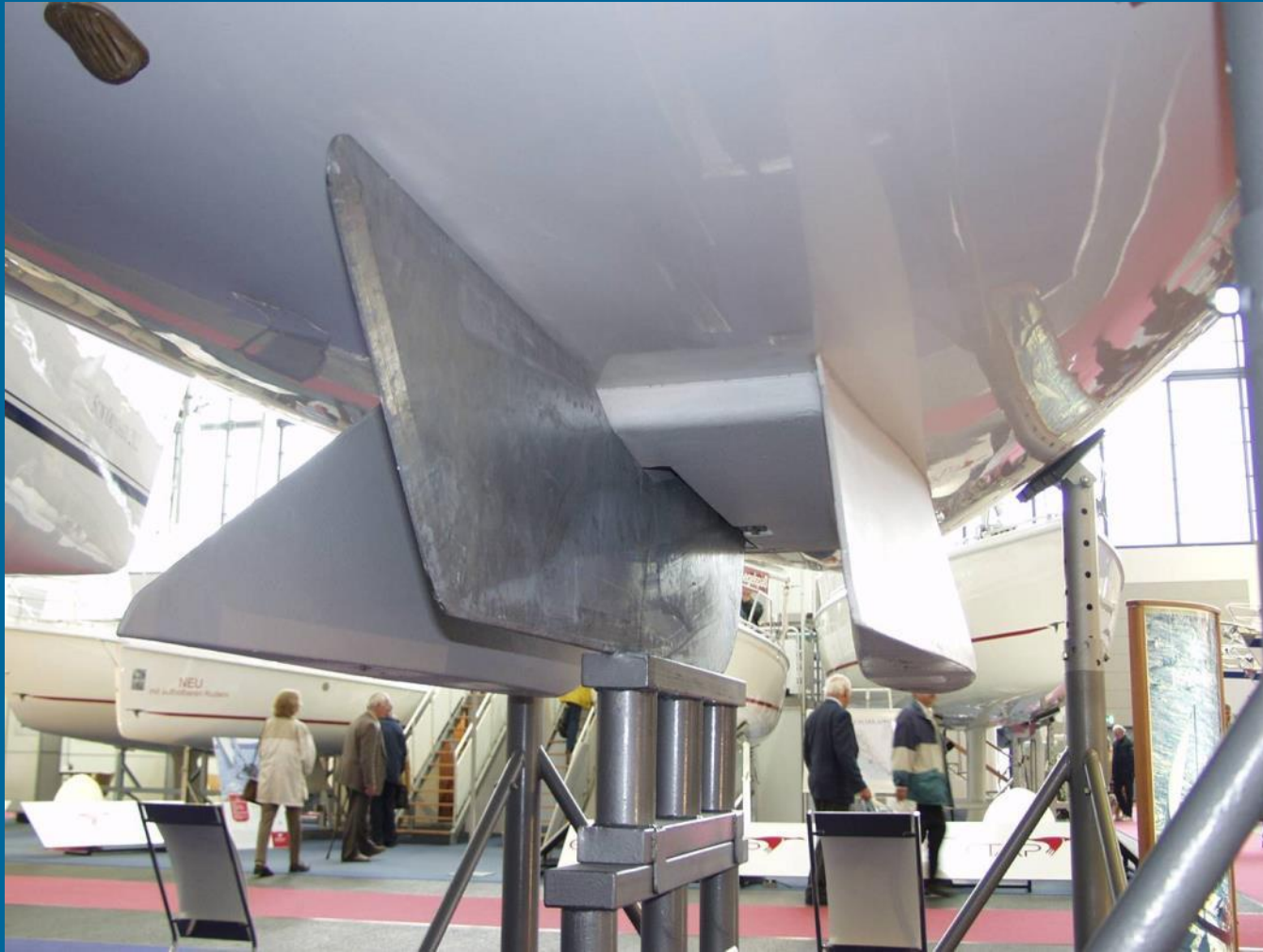


A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkesúly

Mozgatható tőkesúlyok:



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

Mozgatható tőkésúlyok:



A vitorlázás hidrodinamikája

a víz alatti részek kialakítása

uszony és tőkésúly

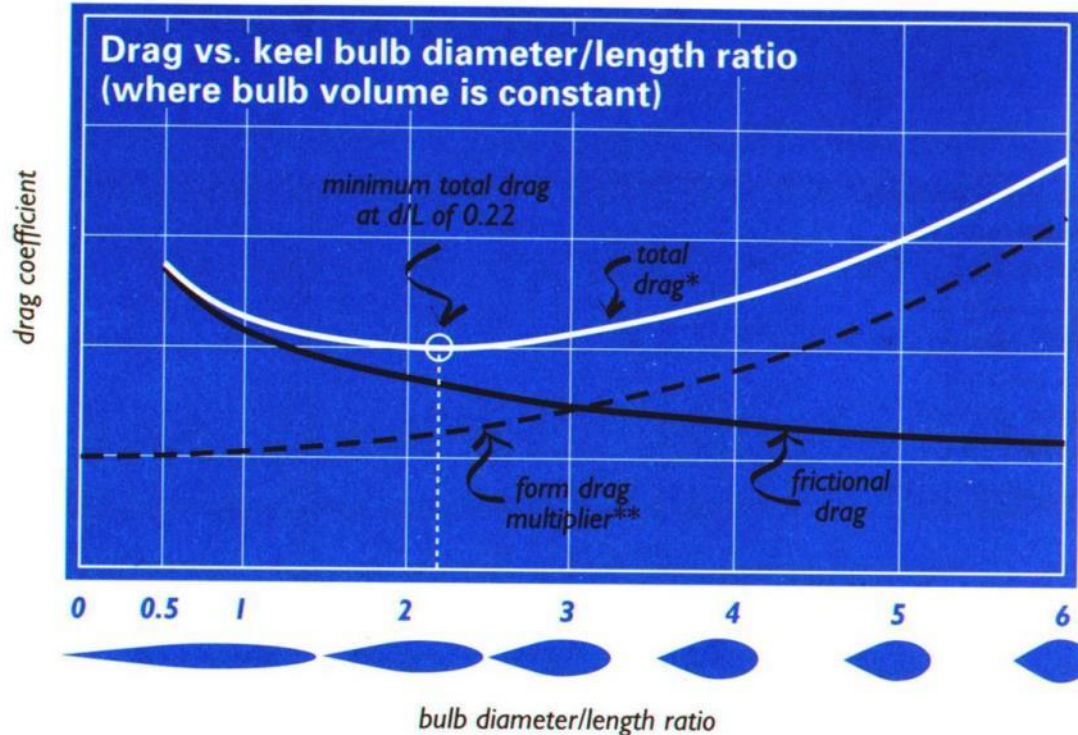
Mozgatható tőkésúlyok:



A bulba

A vitorlázás hidrodinamikája

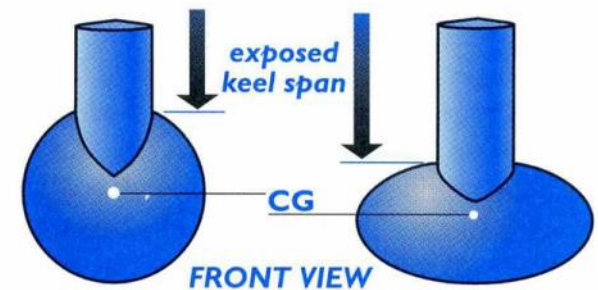
a bulba kialakítása



*Total Drag = Frictional Drag x Form Drag Multiplier

**Form Drag Multiplier: $\frac{1 + 1.5(d/L)^3}{2 + 7(d/L)^3}$

Round vs. elliptical bulbs

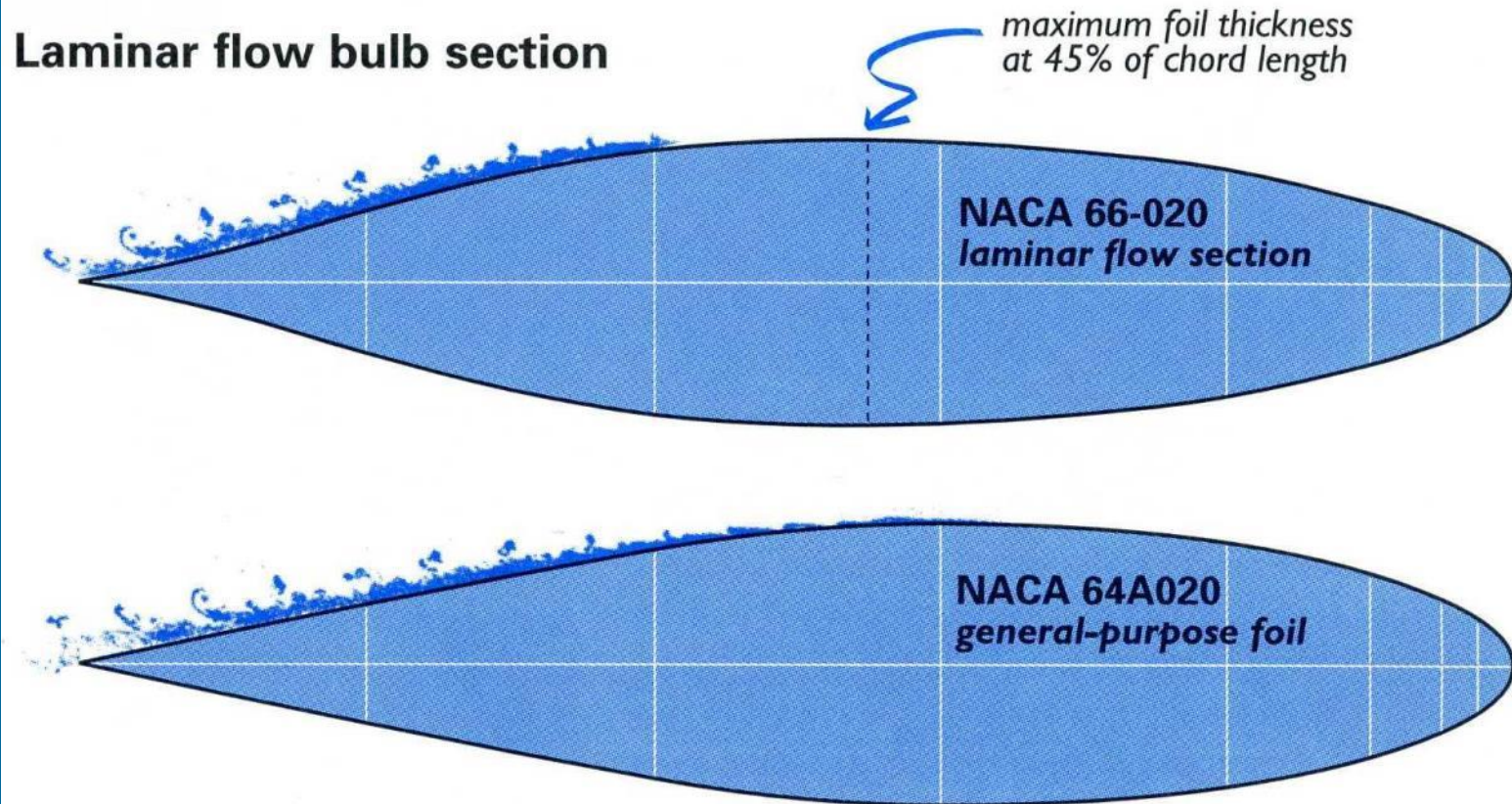


Where the volume of lead to be contained in the bulb is constant, a circular bulb has a lower wetted surface than an elliptical bulb, producing less frictional drag. But the elliptical bulb on balance has greater performance advantages. Where keel draft is constant, it has a lower center of gravity (CG), improving stability. Its lower profile also exposes more keel span, which means more lift can be generated.

A vitorlázás hidrodinamikája

a bulba kialakítása

Laminar flow bulb section

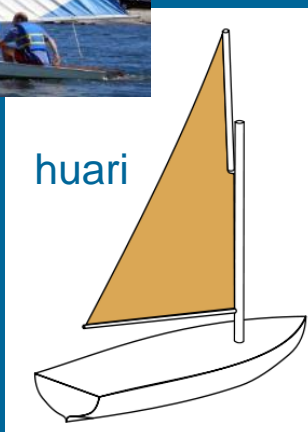
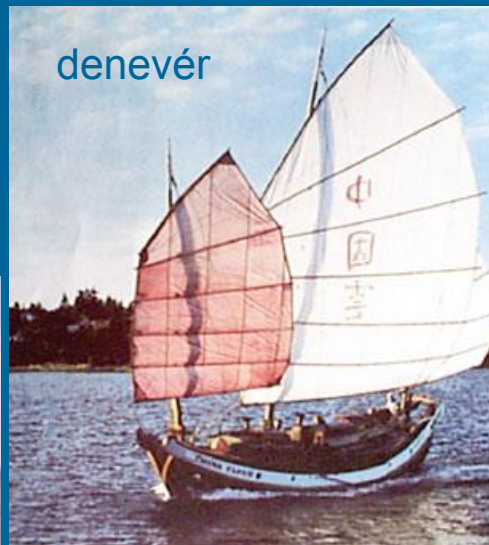


The foil section shape of a bulb has much different priorities than that of the keel to which it is attached. Generating lift is not important; minimizing drag is. A low-lift shape like NACA 66-020 delays the loss of laminar (nonturbulent) flow compared with a general-purpose shape like NACA 64A020.

Vitorláshajók hajtása

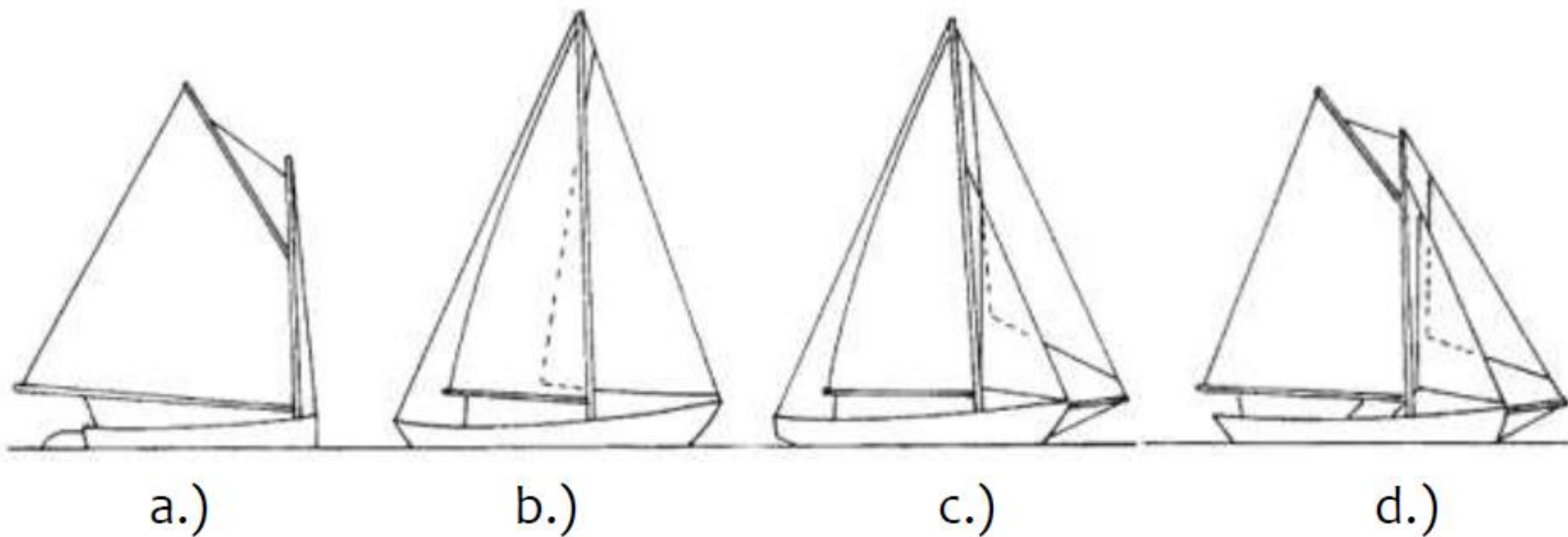
Vitorla- és vitorlázattípusok

Jellegzetes vitorla-típusok



Jellegzetes vitorlázat-típusok

egyárbócos
rendszerek



Jellegzetes vitorlázat-típusok

egyárbócos
rendszerek

a) cat vitorlázat -

egy árbóc, egy
(nagy)vitorla, ami
lehet:



Jellegzetes vitorlázat-típusok

egyárbócos rendszerek

b) szlup vitorlázat - egy árbóc, egy (nagy)vitorla, és egy orrvitorla



Gaff szlup



Bermuda szlup

Jellegzetes vitorlázat-típusok

egyárbócos rendszerek

c) Bermuda Kutter vitorlázat - egy árbóc, egy (bermuda) vitorla, és két orrvitorla, egyik orrsudáron (flyer, flieger)



Bermuda kutter

Jellegzetes vitorlázat-típusok

egyárbócos rendszerek

d) Gaff Kutter vitorlázat - egy árbóc, egy (gaffos) vitorla, és két orrvitorla, egyik orrsudáron (flyer, flieger)



Gaff kutter

Jellegzetes vitorlázat-típusok

kétárbocos vitorlázat - egy magasabb főárbóc elöl, egy alacsonyabb besan árbóc



yawl



ketch

kormány

Jellegzetes vitorlázat-típusok

kétárbocos vitorlázat - egy alacsonyabb árboc elöl, egy magasabb főárboc hátul –
szkúner vagy brig

A szkúnerek változatai



a.)

gaff szkúner



b.)

Bermuda szkúner tarcsvitorlával
(staysail schooner)



c.)

Bermuda szkúner
gaffos vitorlával

Jellegzetes vitorlázat-típusok

kétárbocos vitorlázat - egy alacsonyabb árboc elöl, egy magasabb főárboc hátul – szkúner vagy brig

A szkúnerek változatai



gaff szkúner



Bermuda Staysail szkúner

Jellegzetes vitorlázat-típusok

kétárbocos vitorlázat - egy alacsonyabb árboc elöl, egy magasabb főárboc hátul –
szkúner vagy brig

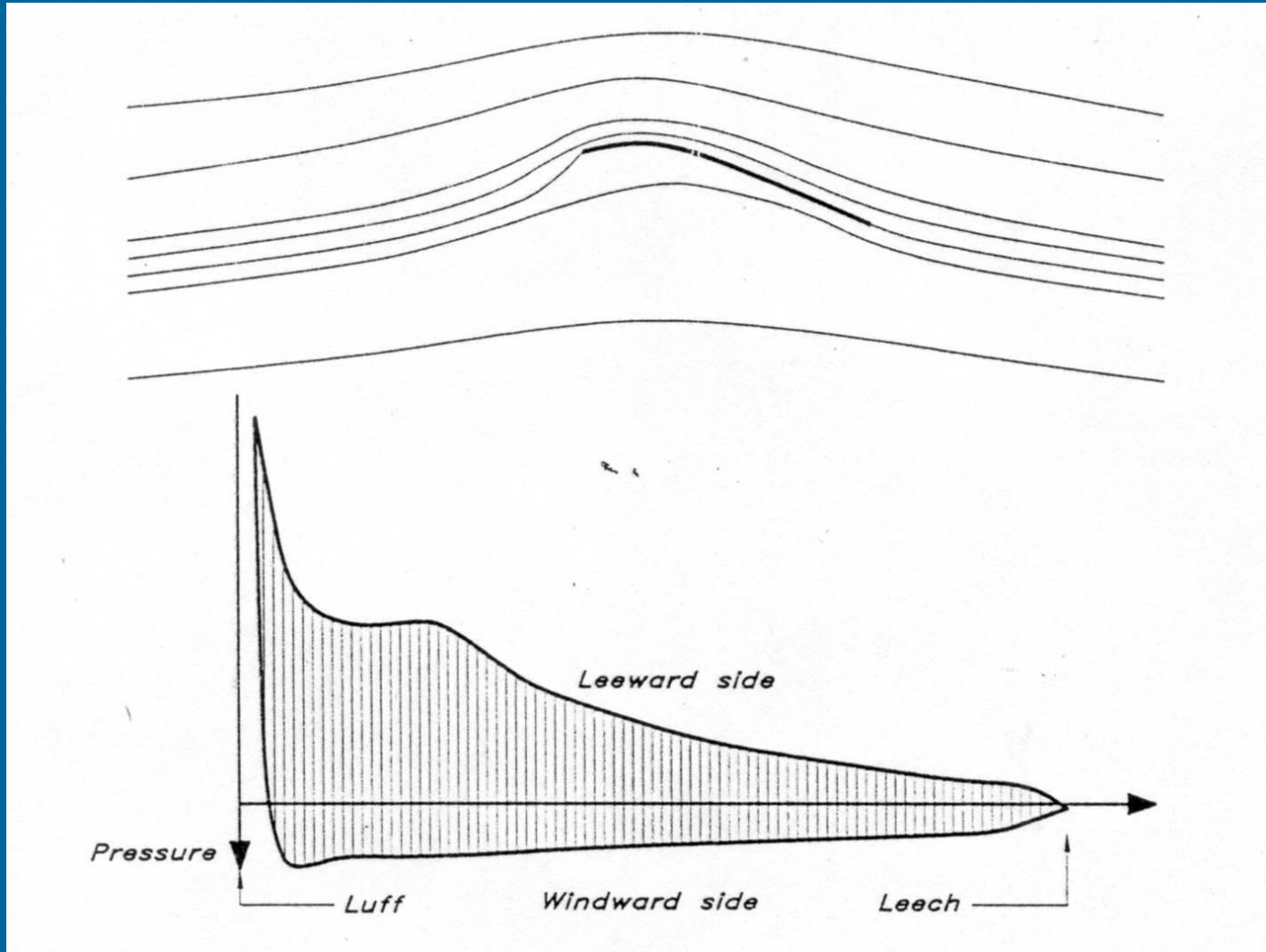
A brig keresztvitorlás szkúner rengeteg változattal



A vitorlákon keletkező erők

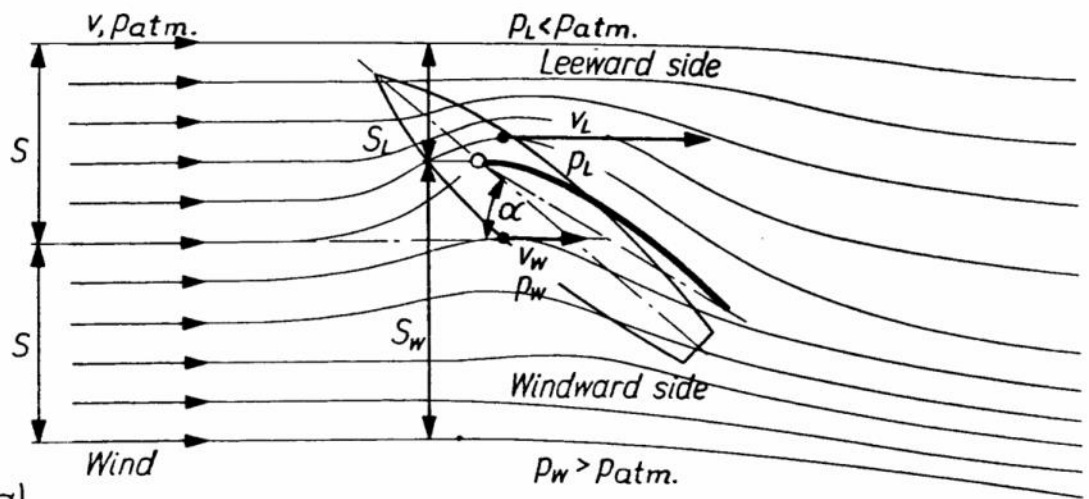
A vitorlázás aerodinamikája

áramlás a vitorla körül

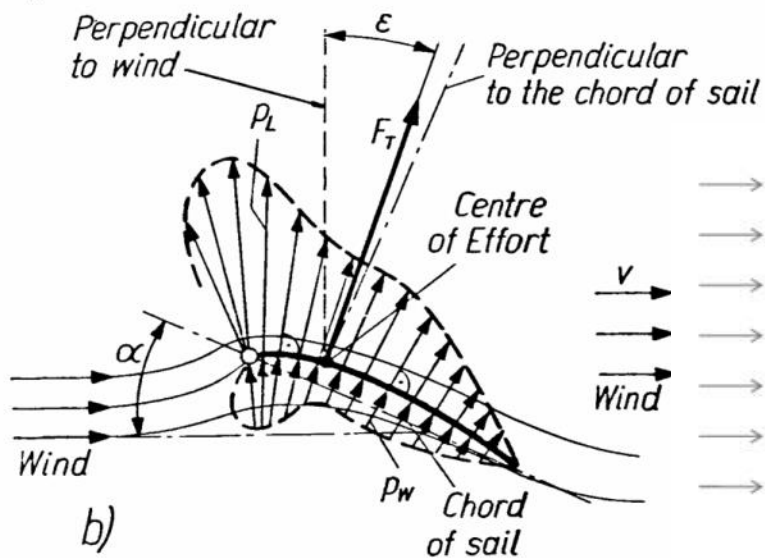


A vitorlázás aerodinamikája

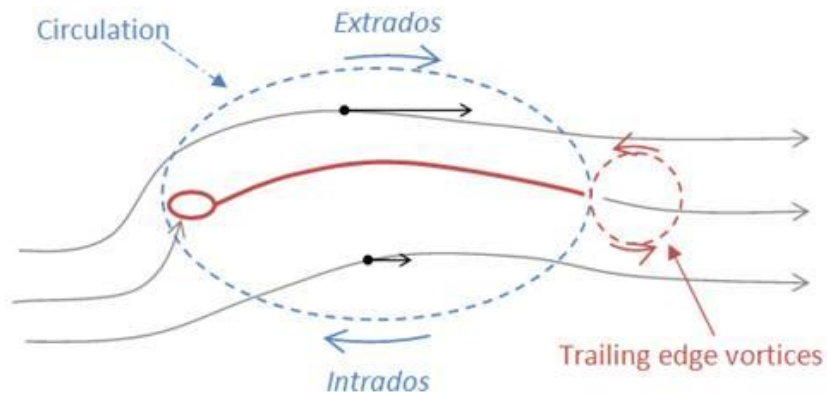
eredő erő, nyomásmegoszlás, cirkuláció



a)



b)

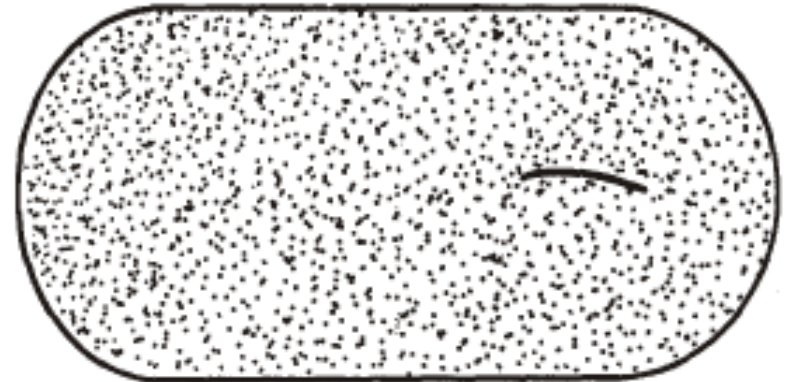


A vitorlázás aerodinamikája

eredő erő, nyomásmegoszlás, cirkuláció

Figure 13. If you have trouble understanding the circulation idea, try this experiment and see for yourself. Fill your bathtub with about two inches of water and let it set so that it is not moving. Now find something to sprinkle over the entire surface of the water so that you can better see the movement of the water during the experiment. Fine sawdust, talcum powder, or even pepper will work. We now need an airfoil. A four by six inch piece of stiff waxed paper cut from a milk carton makes a good airfoil. Bend the airfoil slightly so that it has about half the camber of a sail. Very carefully place the airfoil on the centerline of the bathtub as shown in the figure. The leading edge pointing toward the left should be slightly higher than the trailing edge (about a half inch) to give the airfoil what we call the angle of attack. Again let the water settle down.

Figure 13

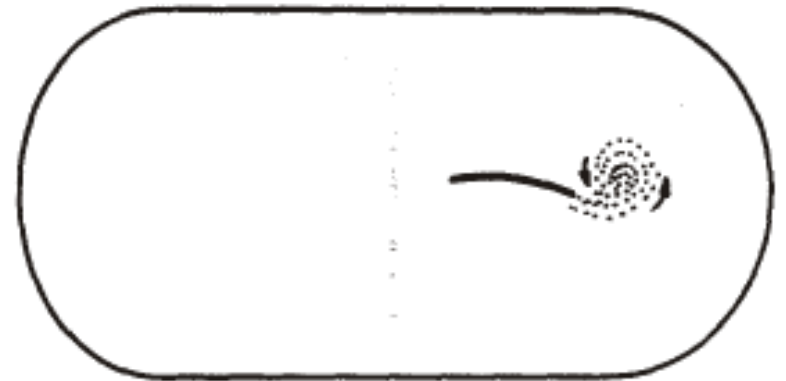


A vitorlázás aerodinamikája

eredő erő, nyomásmegoszlás, cirkuláció

Figure 14. Now, grasp the airfoil carefully so as not to disturb the water. Start moving the airfoil down the centerline of the tub toward the left end. Watch what happens near the trailing edge of the airfoil as you first start the movement. The flow will at first start to make the turn around the trailing edge, then separate to form the starting vortex described previously. The starting vortex will stay at its starting position as we move the airfoil toward the left end of the tub. This is illustrated in the sketch. In this experiment in water, we have to keep the airfoil camber and angle of attack small in order to avoid excessive flow separation from the airfoil. However, all of the phenomena observed in the water experiment also happen in air.

Figure 14

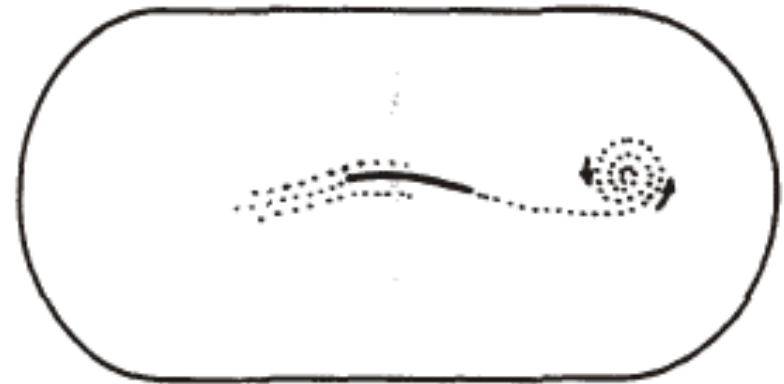


A vitorlázás aerodinamikája

eredő erő, nyomásmegoszlás, cirkuláció

Figure 15. As the airfoil nears the center of the tub switch your attention to the flow in front of and around the airfoil. Note that the flow out in front of the airfoil somehow “knows” that the airfoil is coming, and starts changing its position to flow around the airfoil, even before it arrives. If the airfoil is being pulled precisely down the centerline of the tub, you will note some of the water in front of, and below the airfoil will actually end up flowing over the top of the airfoil. The upward flow out in front of the airfoil is known as upwash. You may have to repeat this exercise several times and concentrate on a different part of the flow field each time.

Figure 15

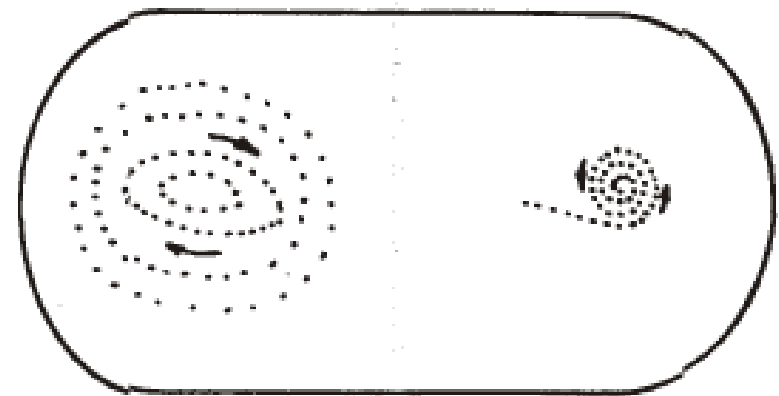


A vitorlázás aerodinamikája

eredő erő, nyomásmegoszlás, cirkuláció

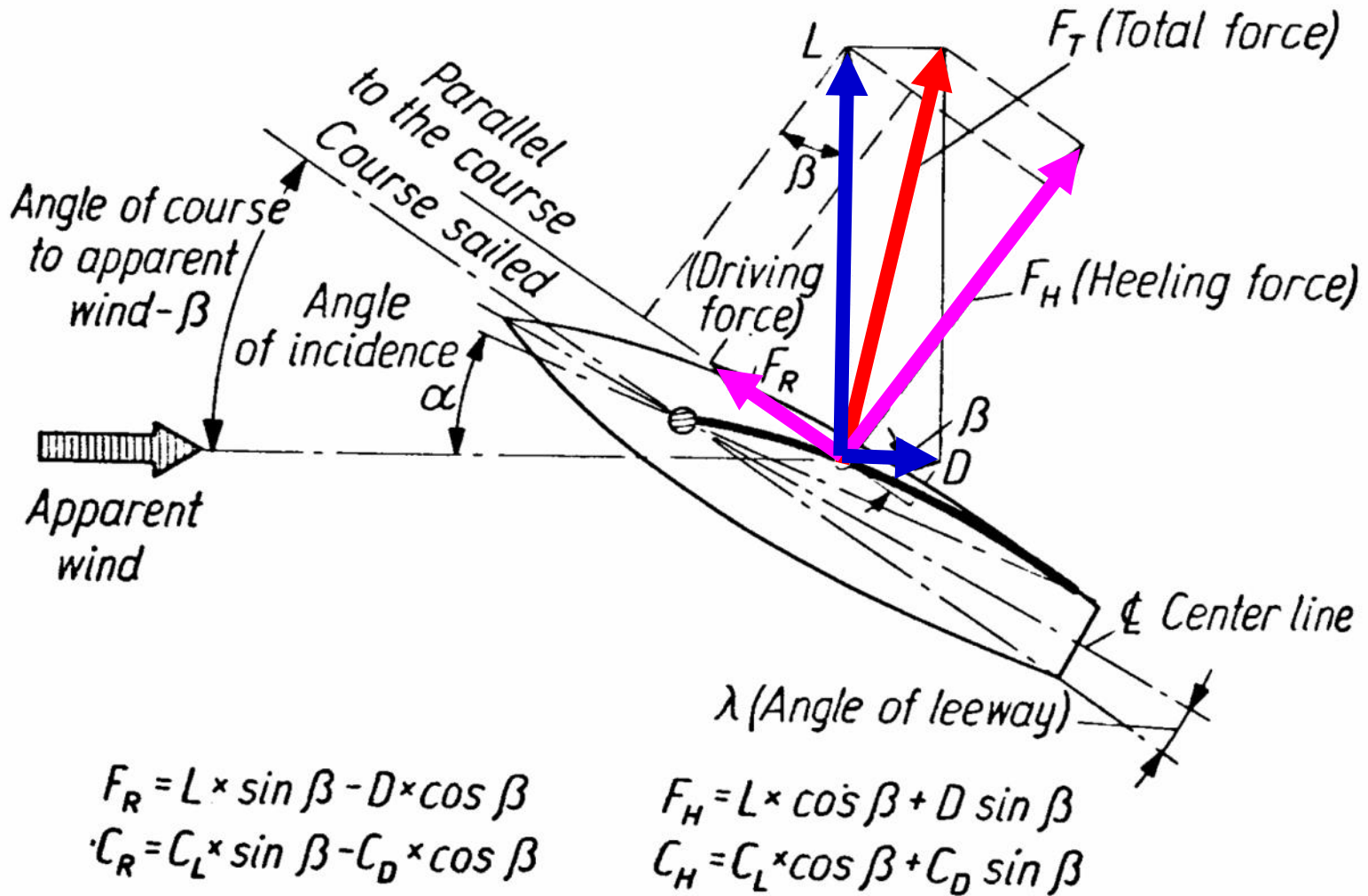
Figure 16. Now comes the key part of this experiment. When the airfoil gets within about one foot of the left end of the tub, suddenly lift it completely out of the water. What you have done by removing the airfoil is to remove one of the components of the two flow fields about the shape (this is like stopping a boat to measure the true wind). When you remove the airfoil all we have left is the rotational flows that are caused by movement of the airfoil. At the right end of the tub we see the starting vortex still rotating in a counterclockwise direction. At the left end of the tub we see a larger clockwise-spinning vortex. This is the "circulation" flow about the airfoil and is responsible for generating the lift. The forward motion of the airfoil and the circulation field are added together to give the final flow, just as adding the boat speed and true wind vectors give the apparent wind we see afloat.

Figure 17



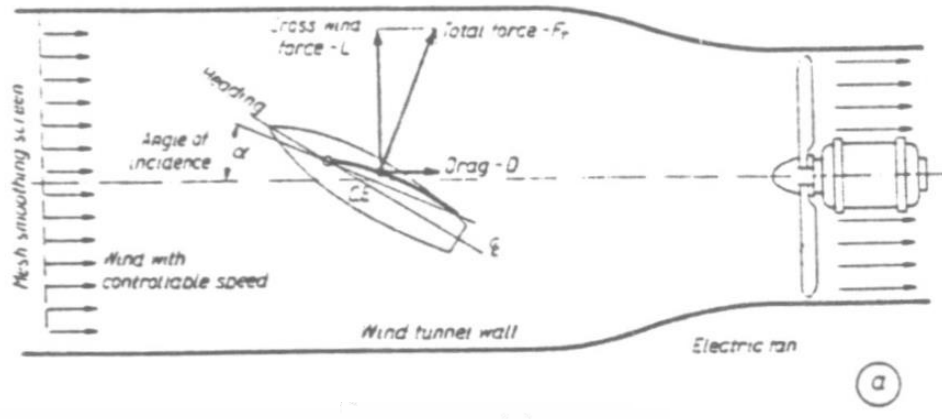
A vitorlázás aerodinamikája

az eredő erő felbontása

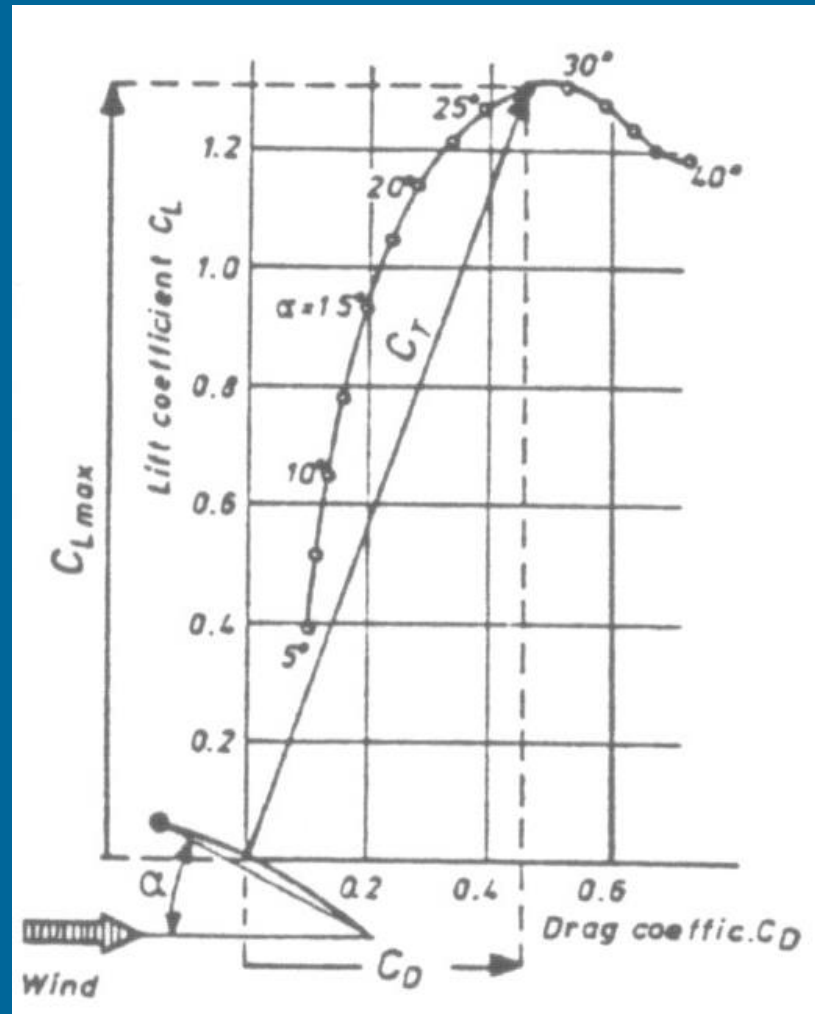
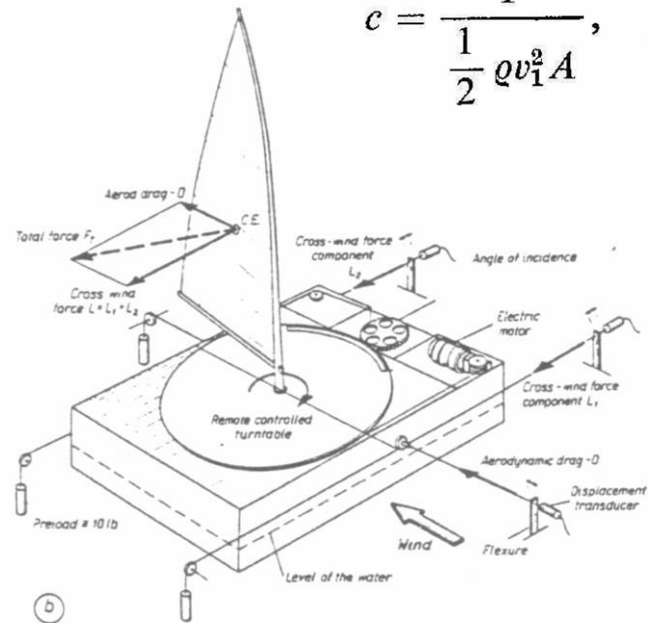


A vitorlázás aerodinamikája

erők meghatározásának módja és ábrázolása

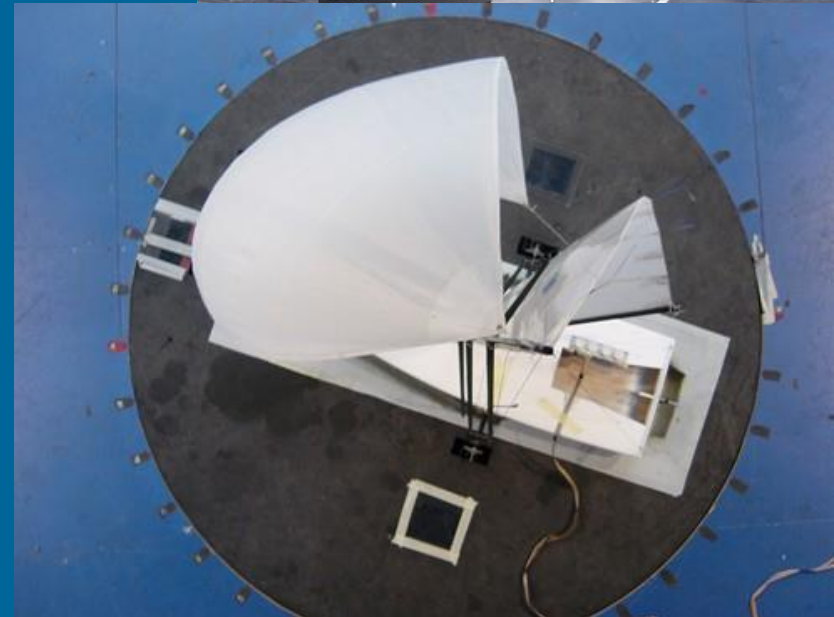
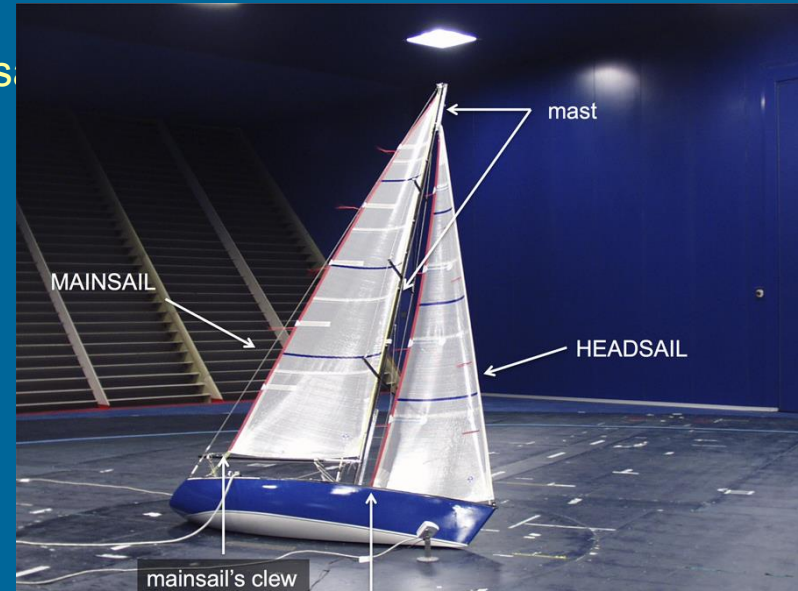


$$c = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho v_i^2 A}$$



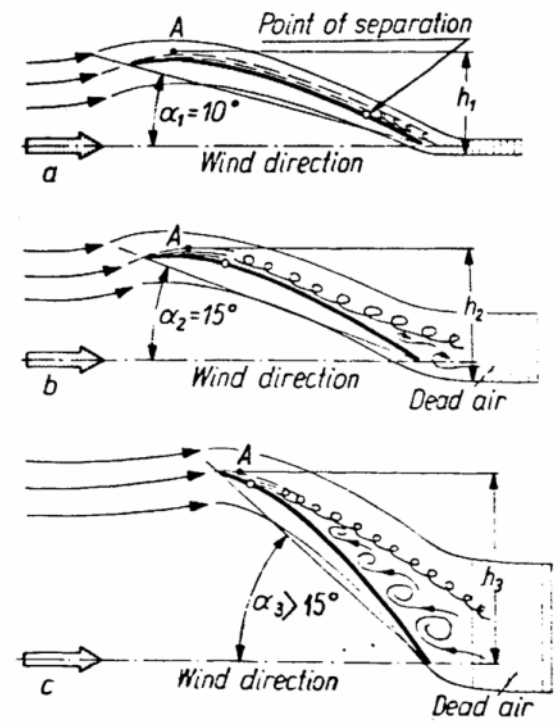
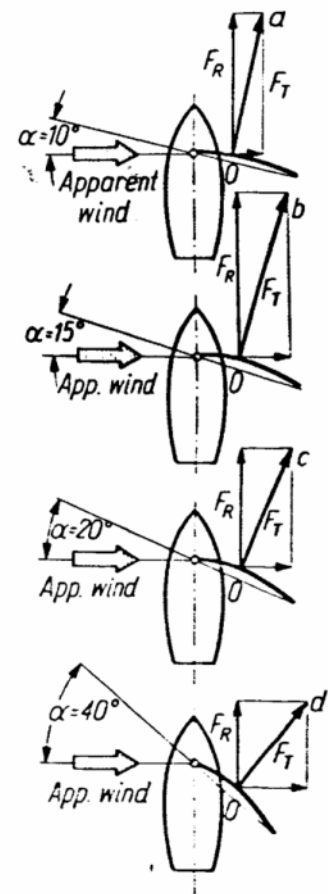
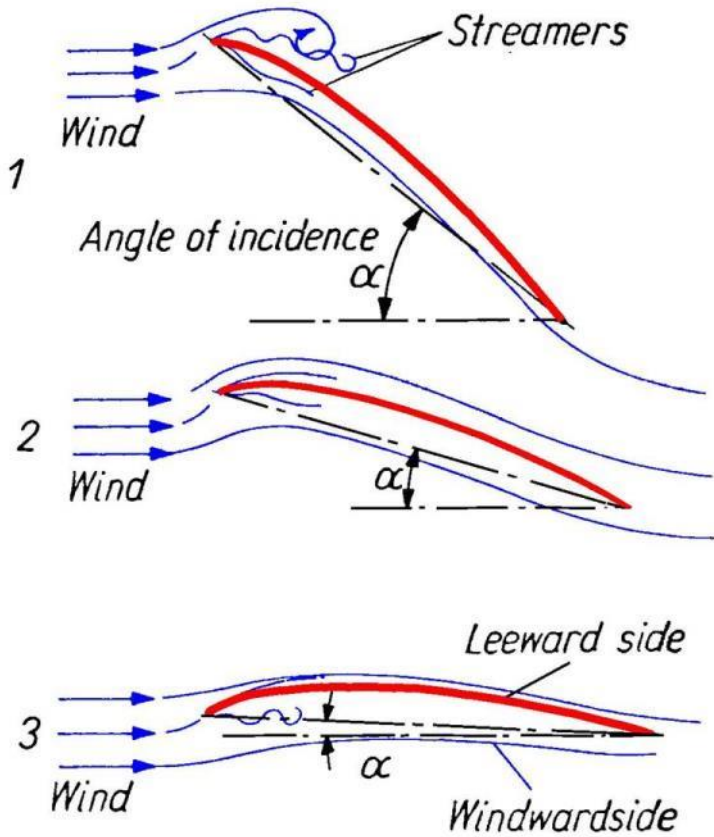
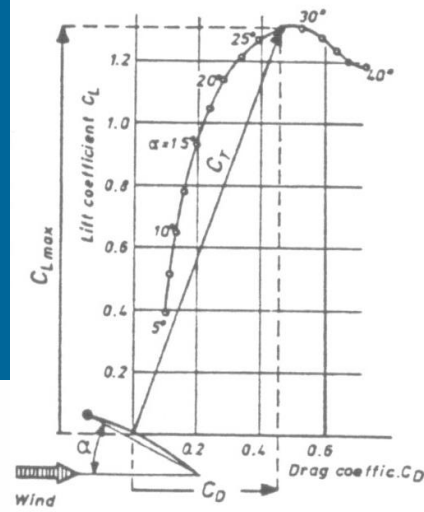
A vitorlázás aerodinamikája

erők meghatározásának módja és ábrázolás



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása



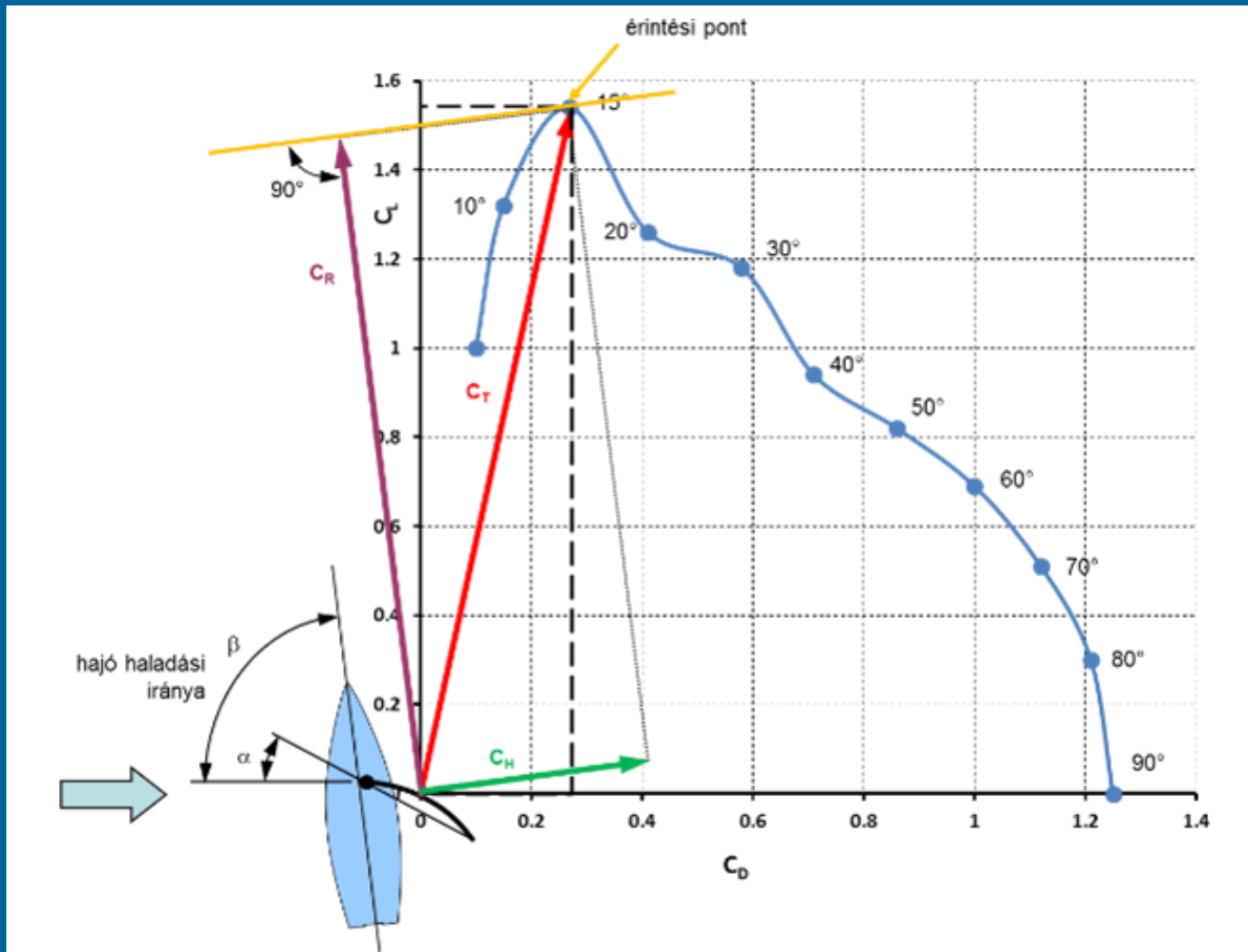
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása



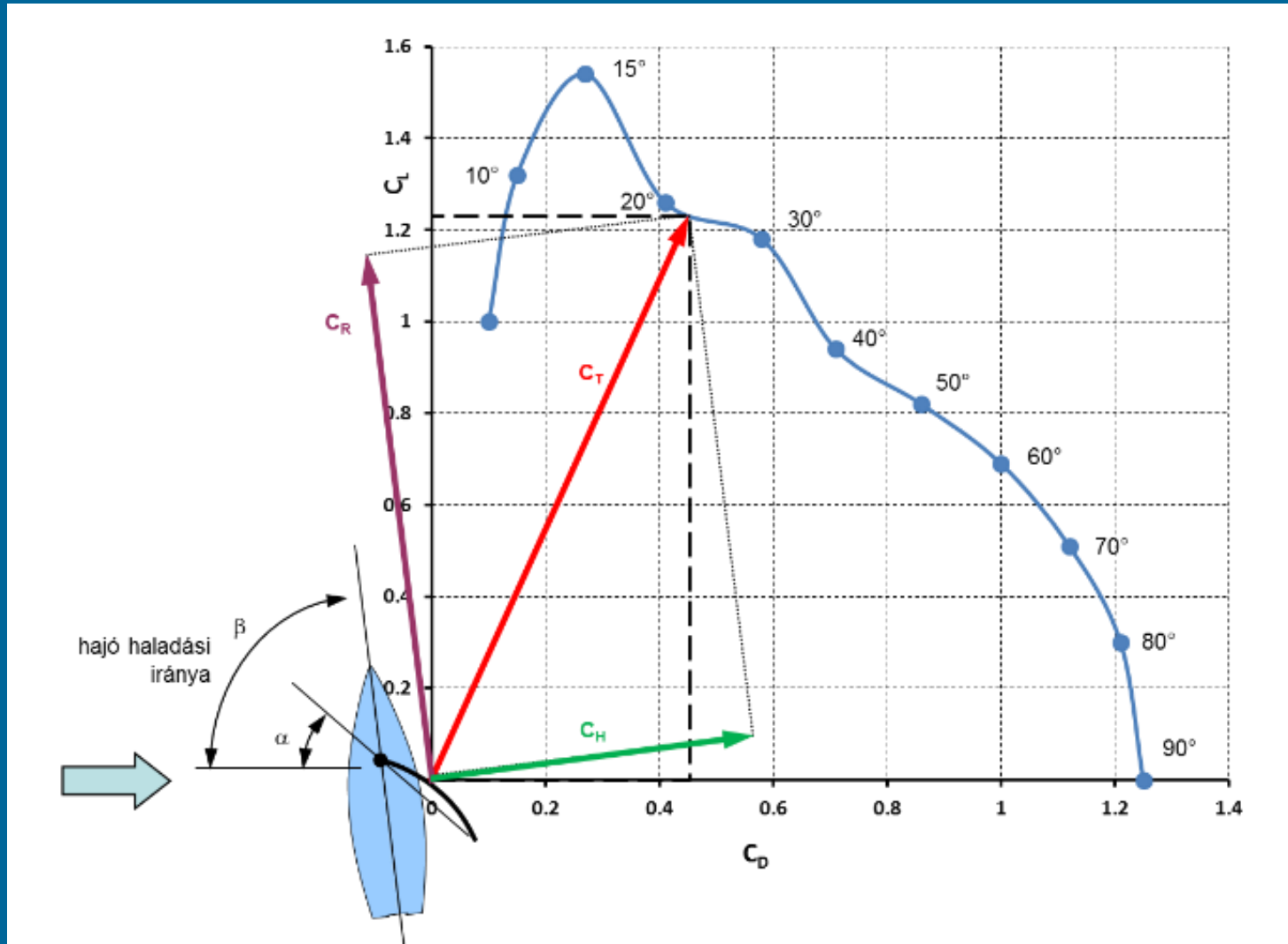
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása



A vitorlázás aerodinamikája

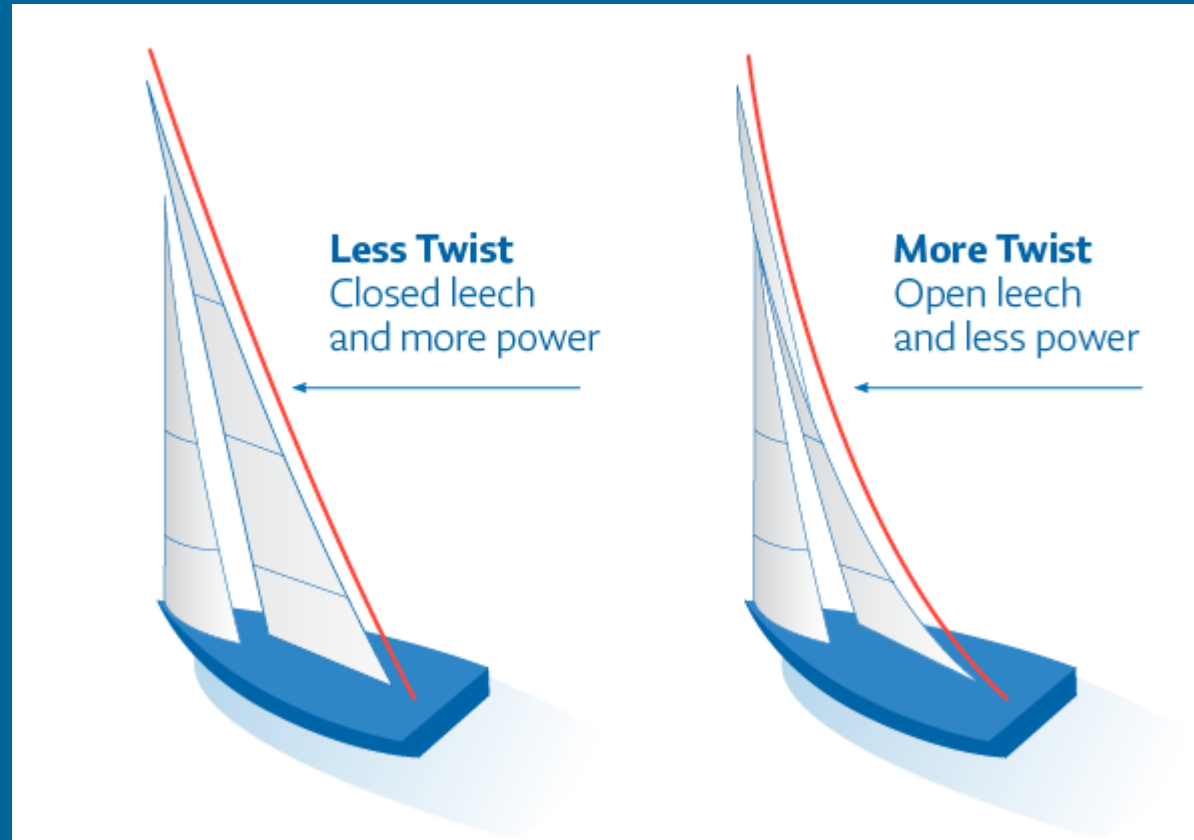
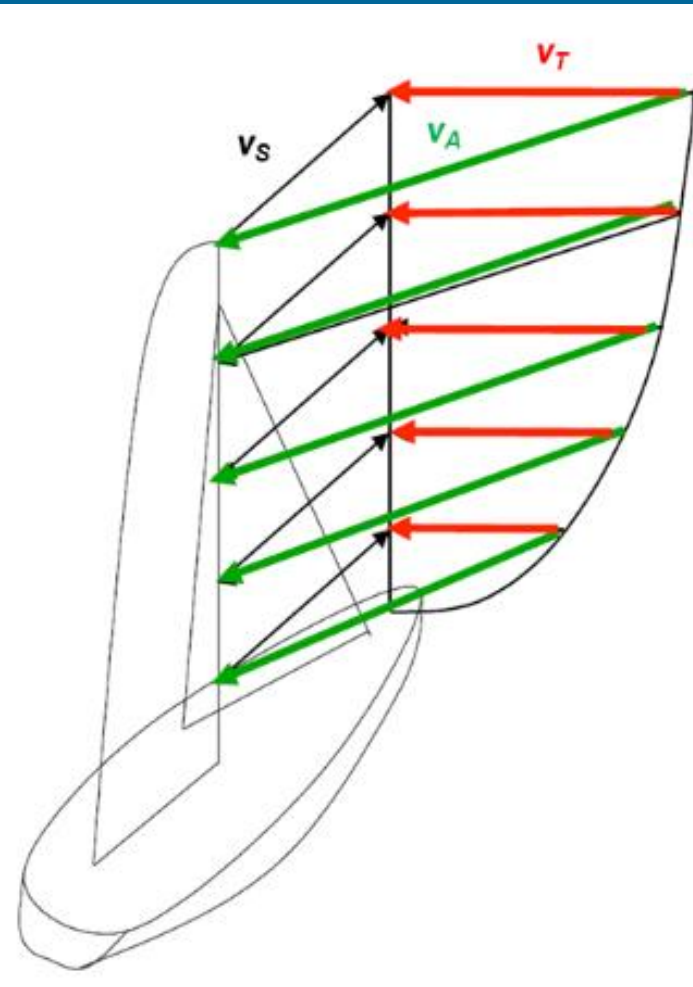
az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása

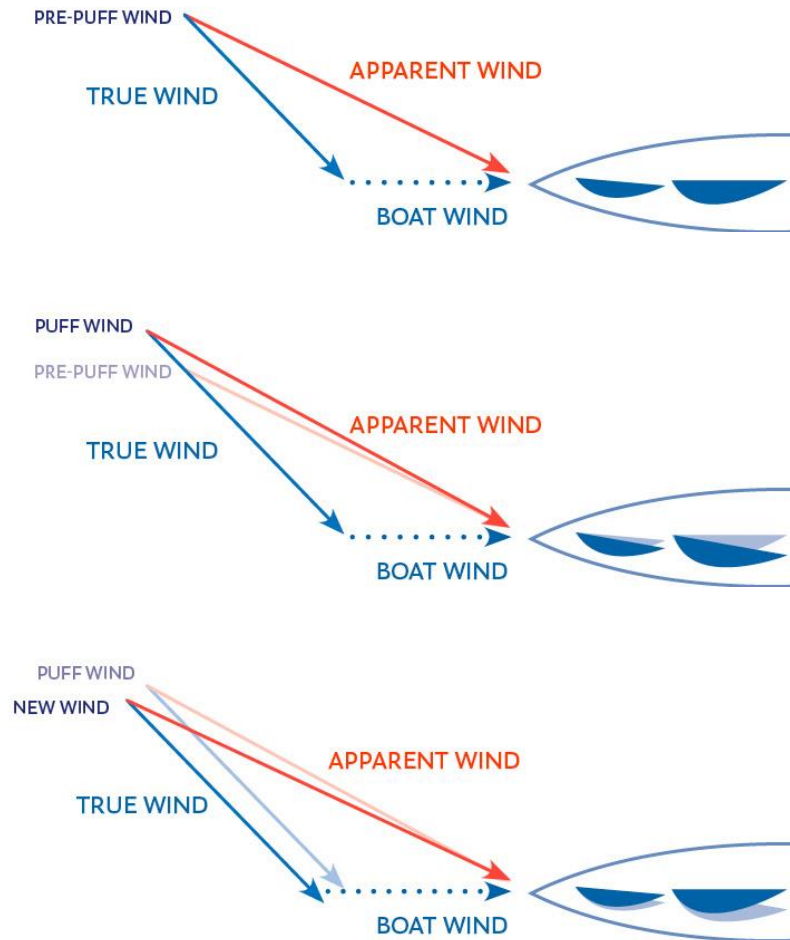
az állásszög változása a magassággal



A vitorlázás aerodinamikája

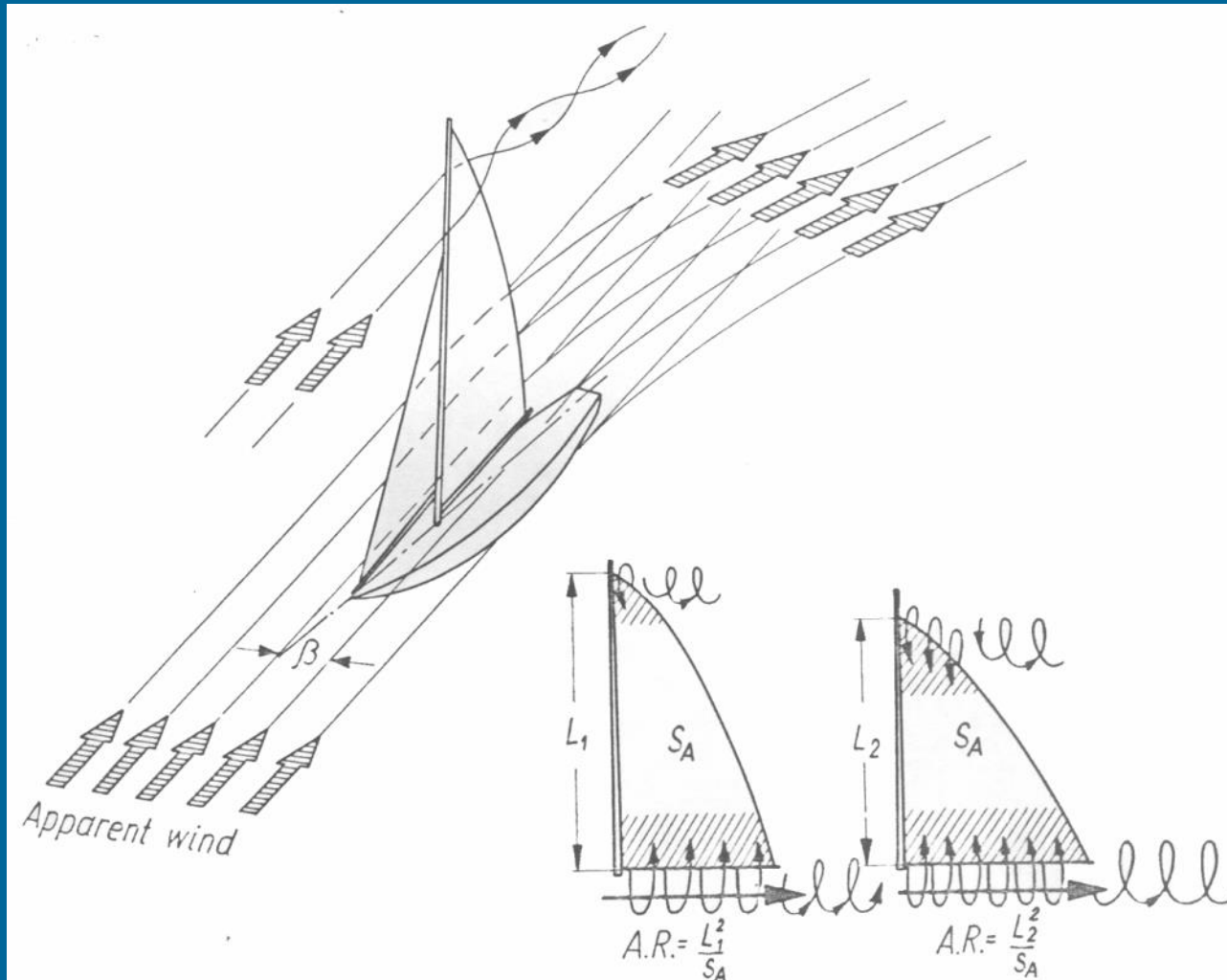
az erőket befolyásoló tényezők: az állásszög hatása

az állásszög változása pöff hatására



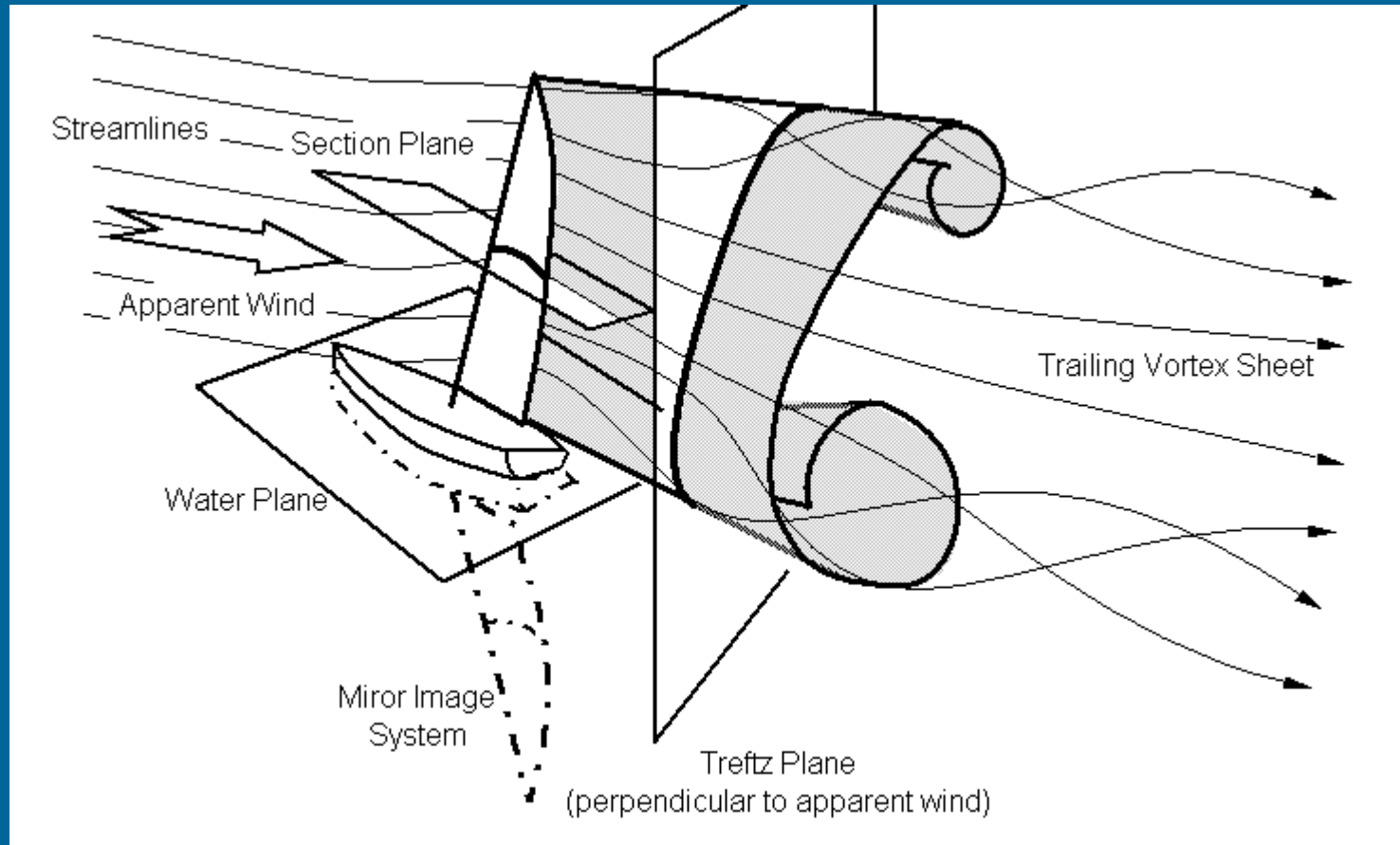
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a forma hatása



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a forma hatása



A vitorlázás aerodinamikája

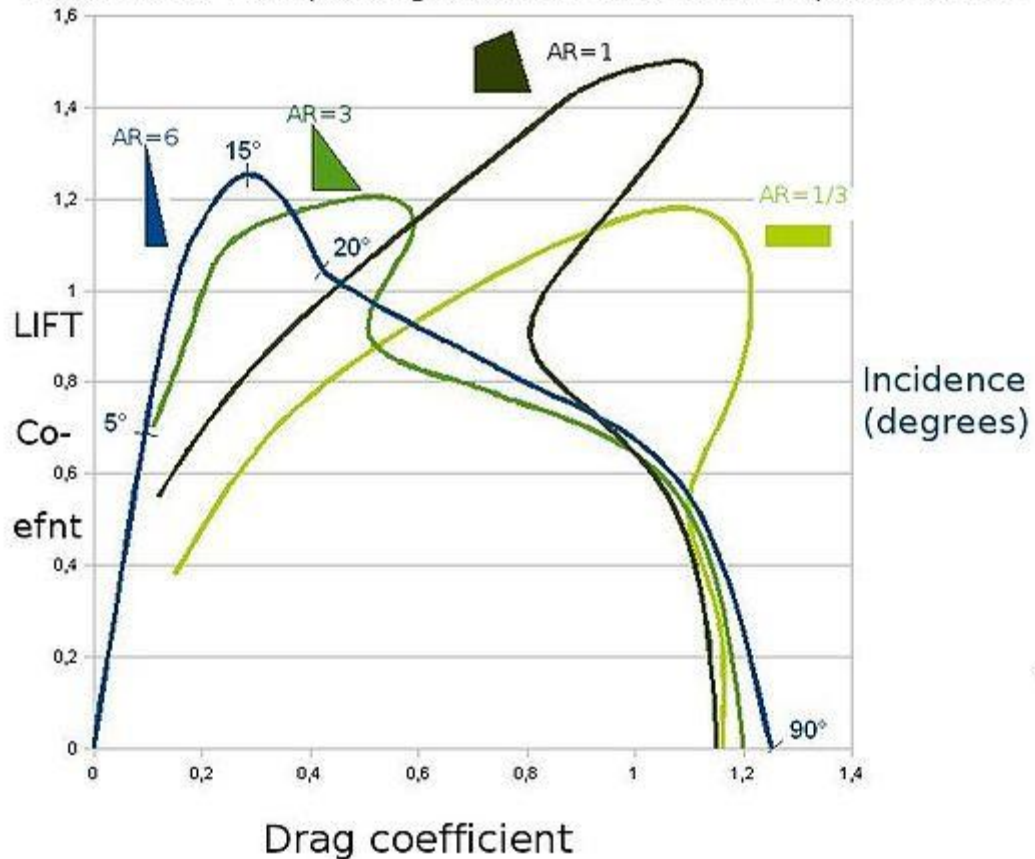
az erőket befolyásoló tényezők: a forma hatása



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a forma hatása

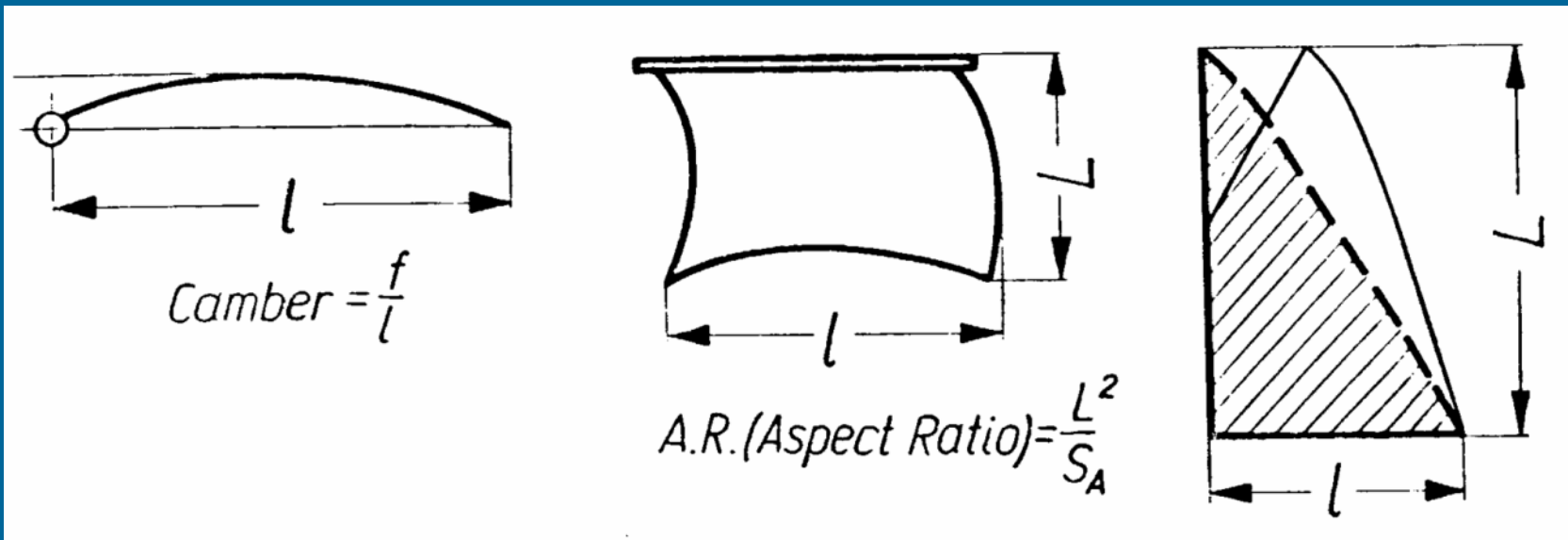
Polar diagram: lift vs drag for varied angles of incidence comparing sails of different aspect ratios *



* after Marchaj and Eiffel

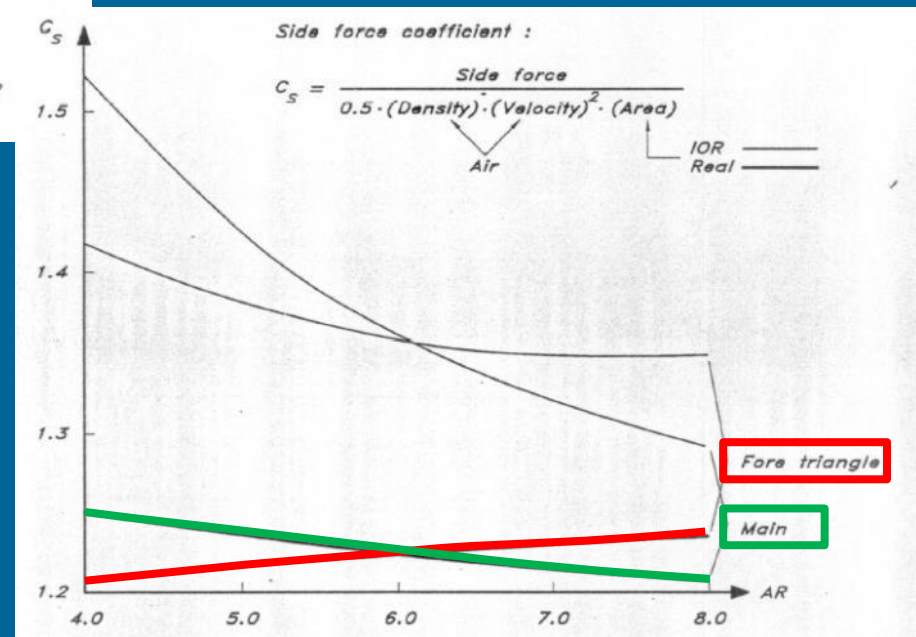
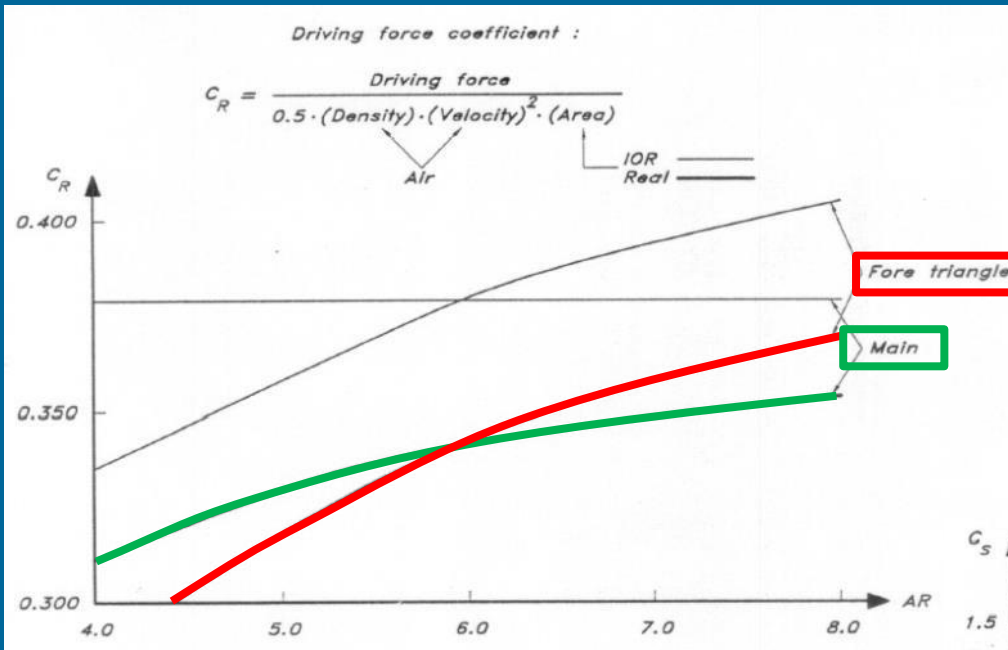
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a karcsúsági tényező hatása



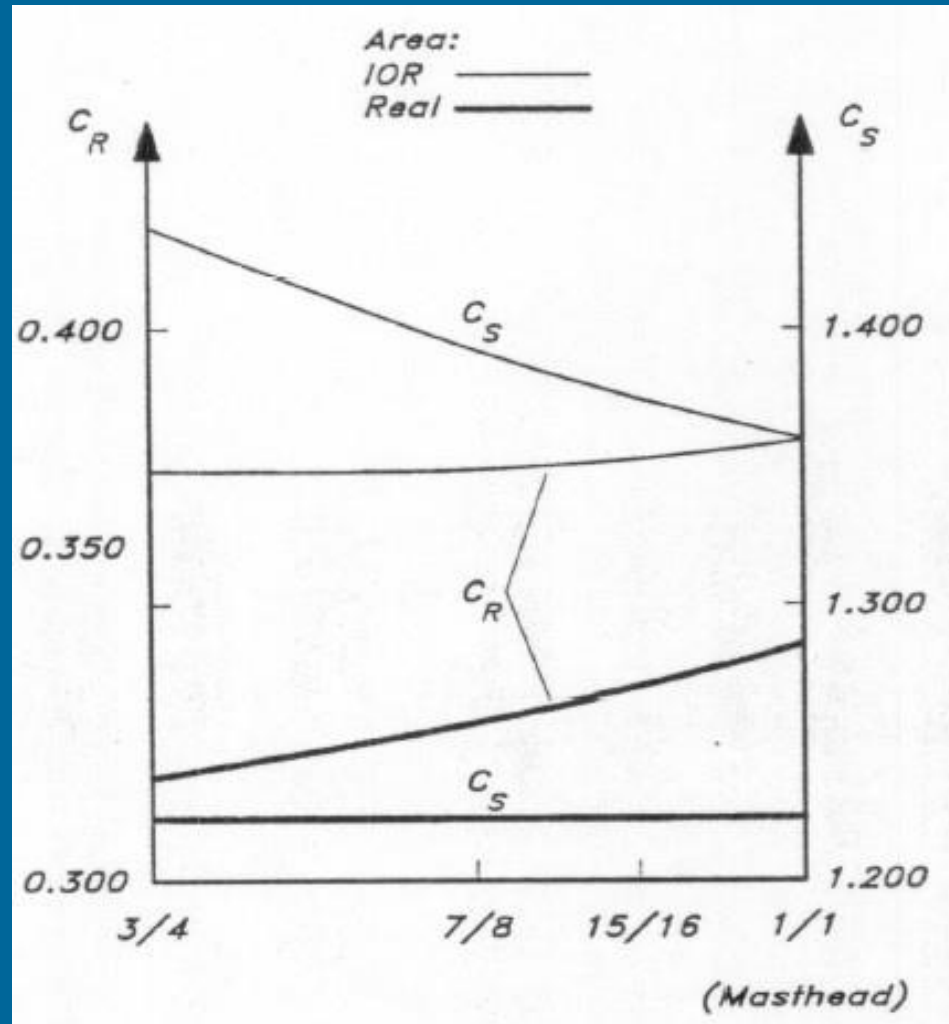
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a karcsúsági tényező hatása



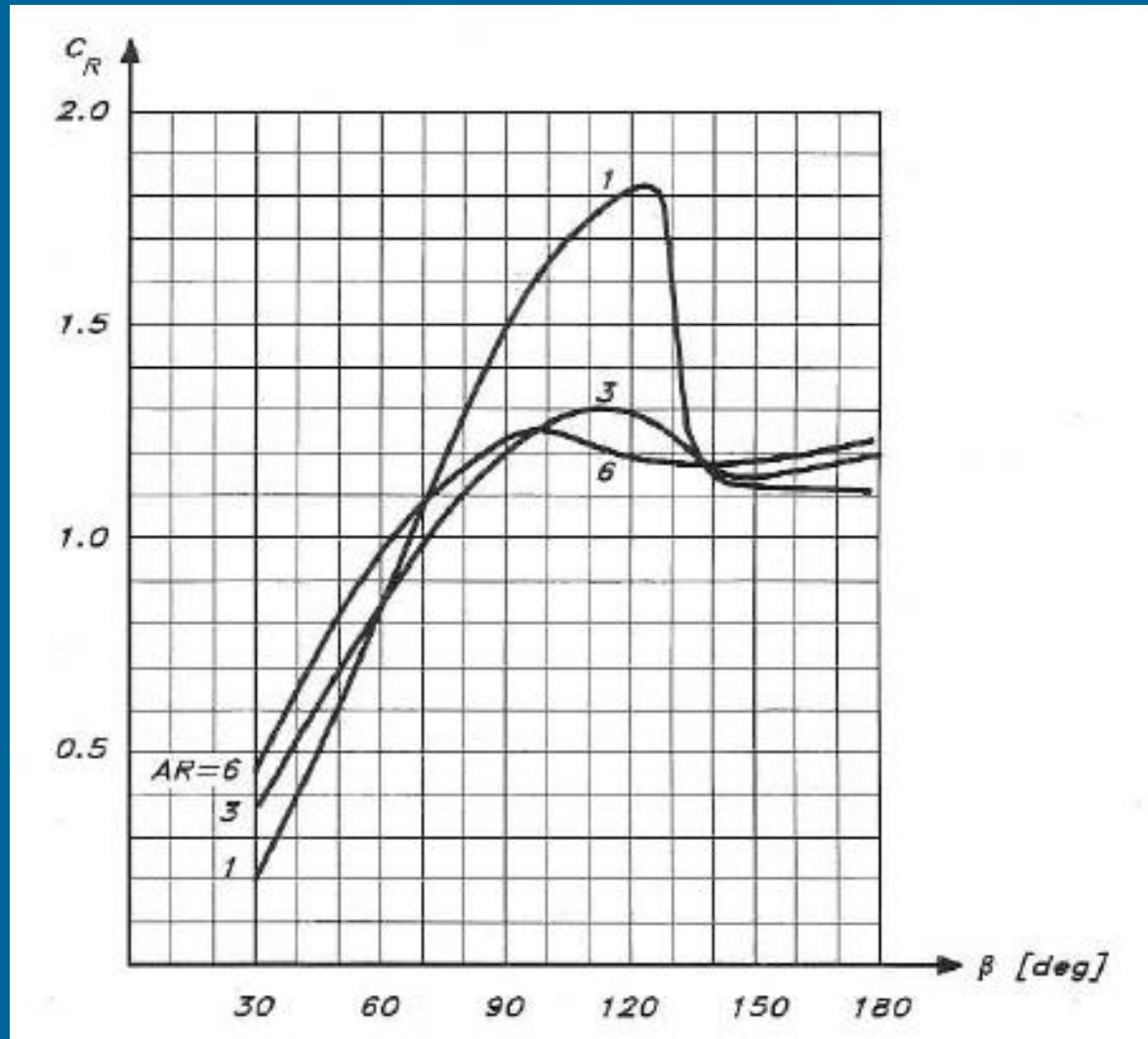
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a karcsúsági tényező hatása



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a karcsúsági tényező hatása



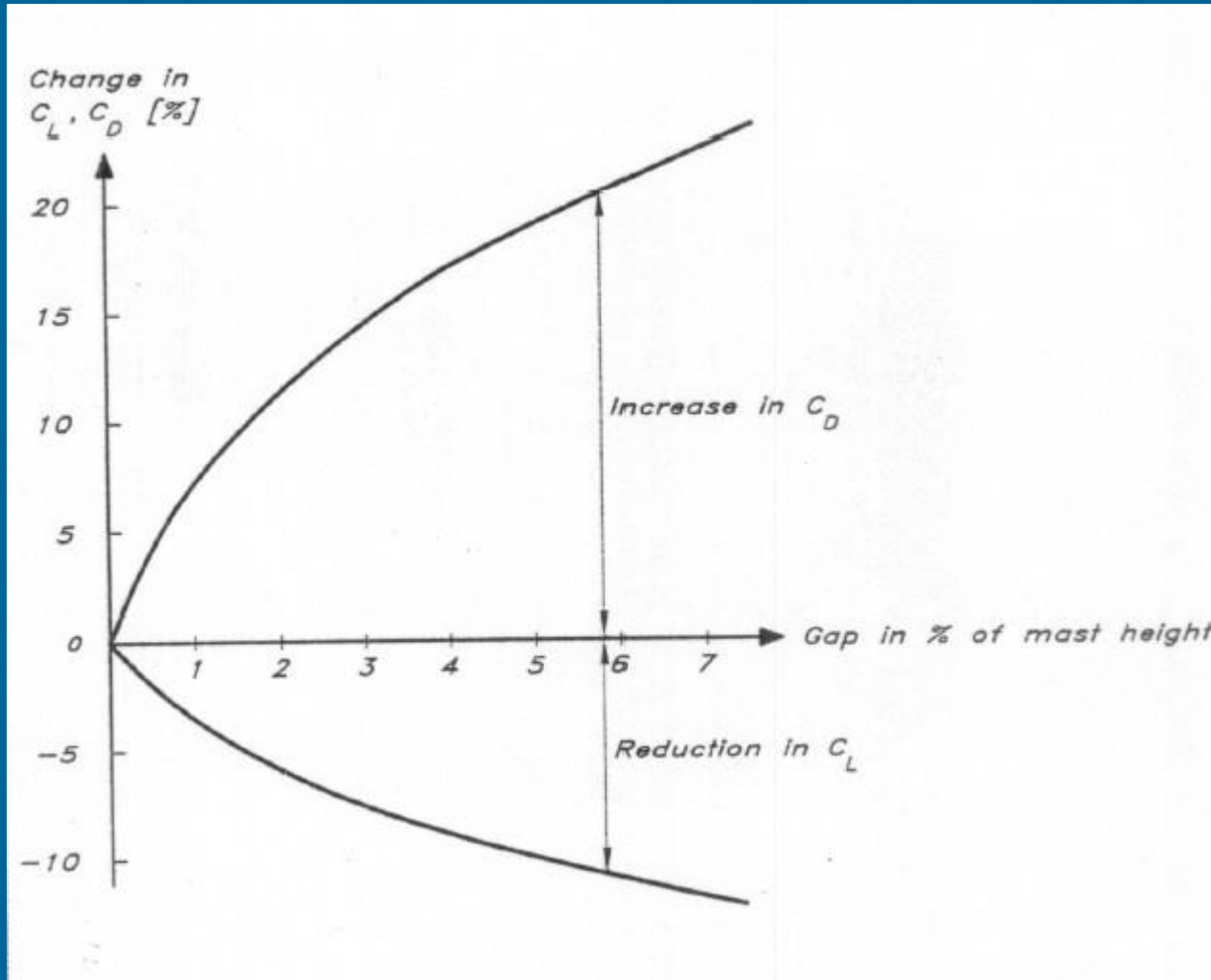
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a vitorlák és a fedélzet közötti távolság hatása



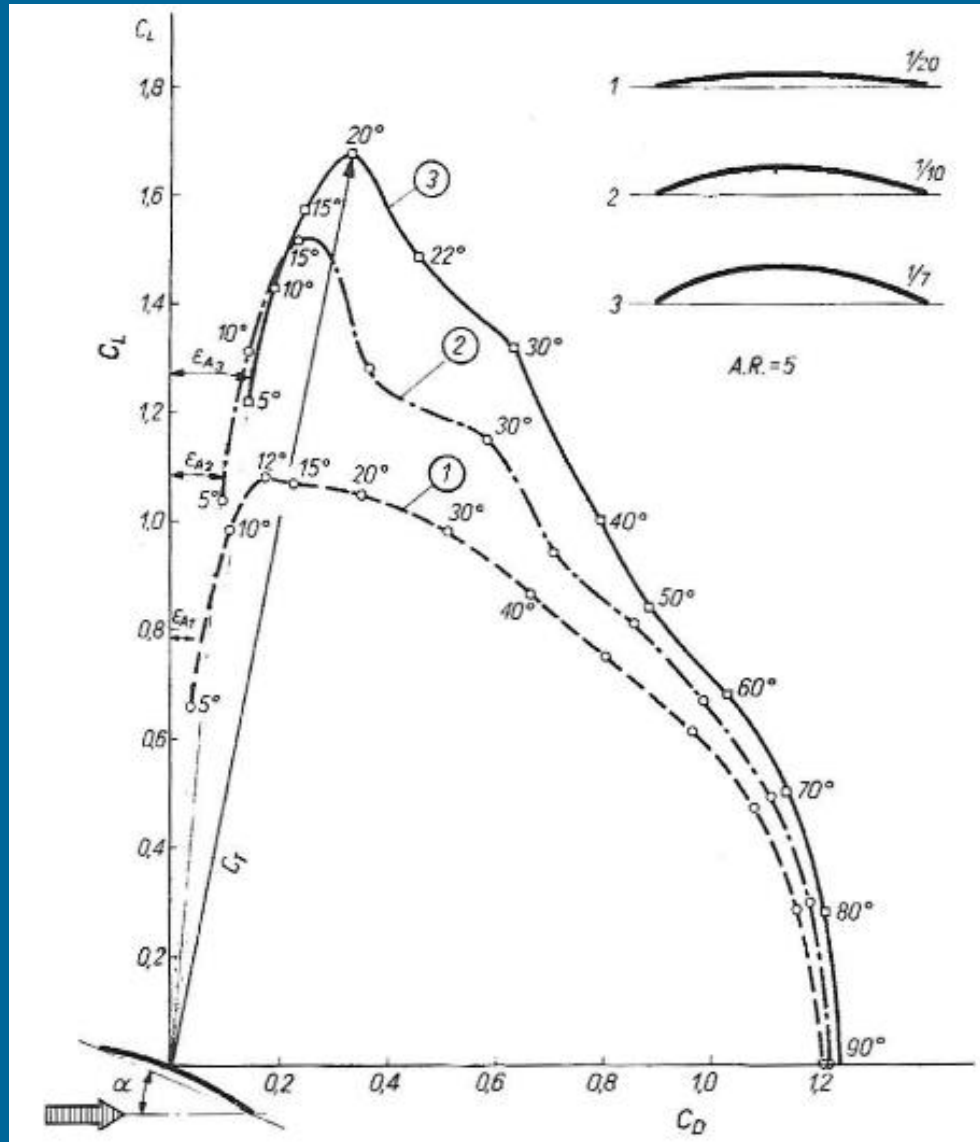
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a vitorlák és a fedélzet közötti távolság hatása



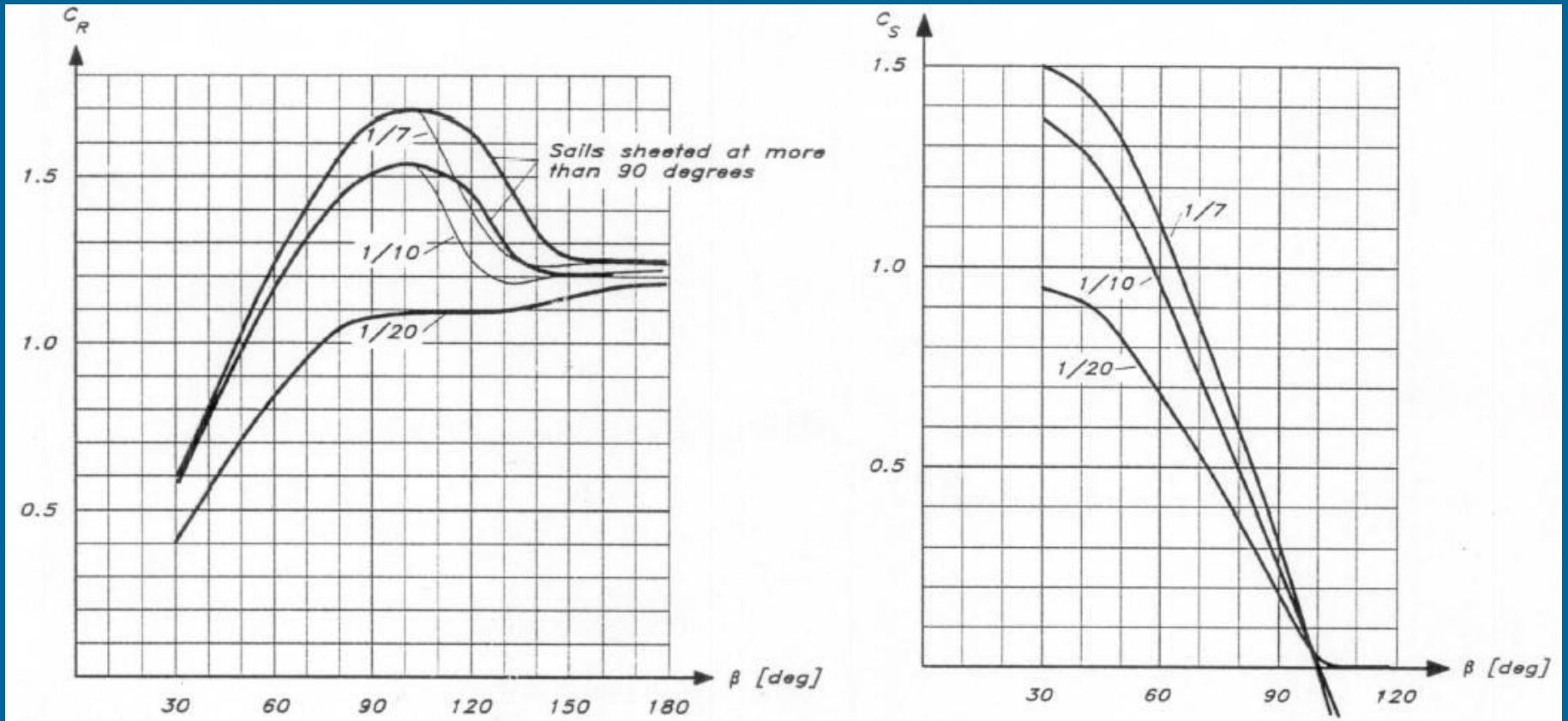
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az öblösség hatása



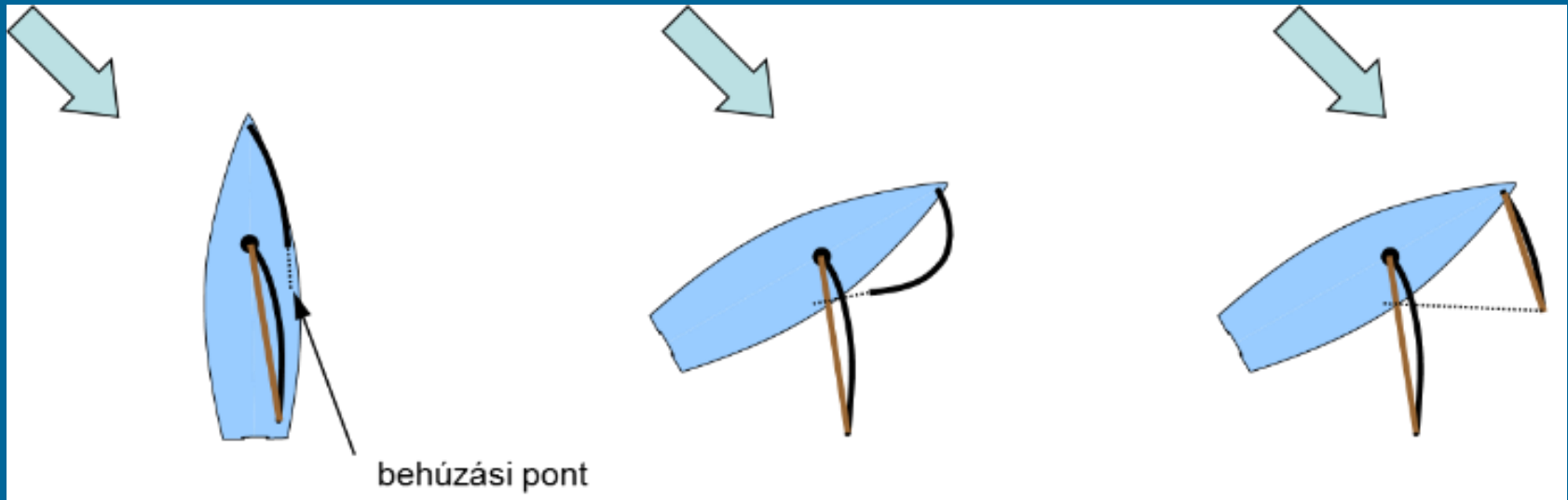
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az öblösség hatása



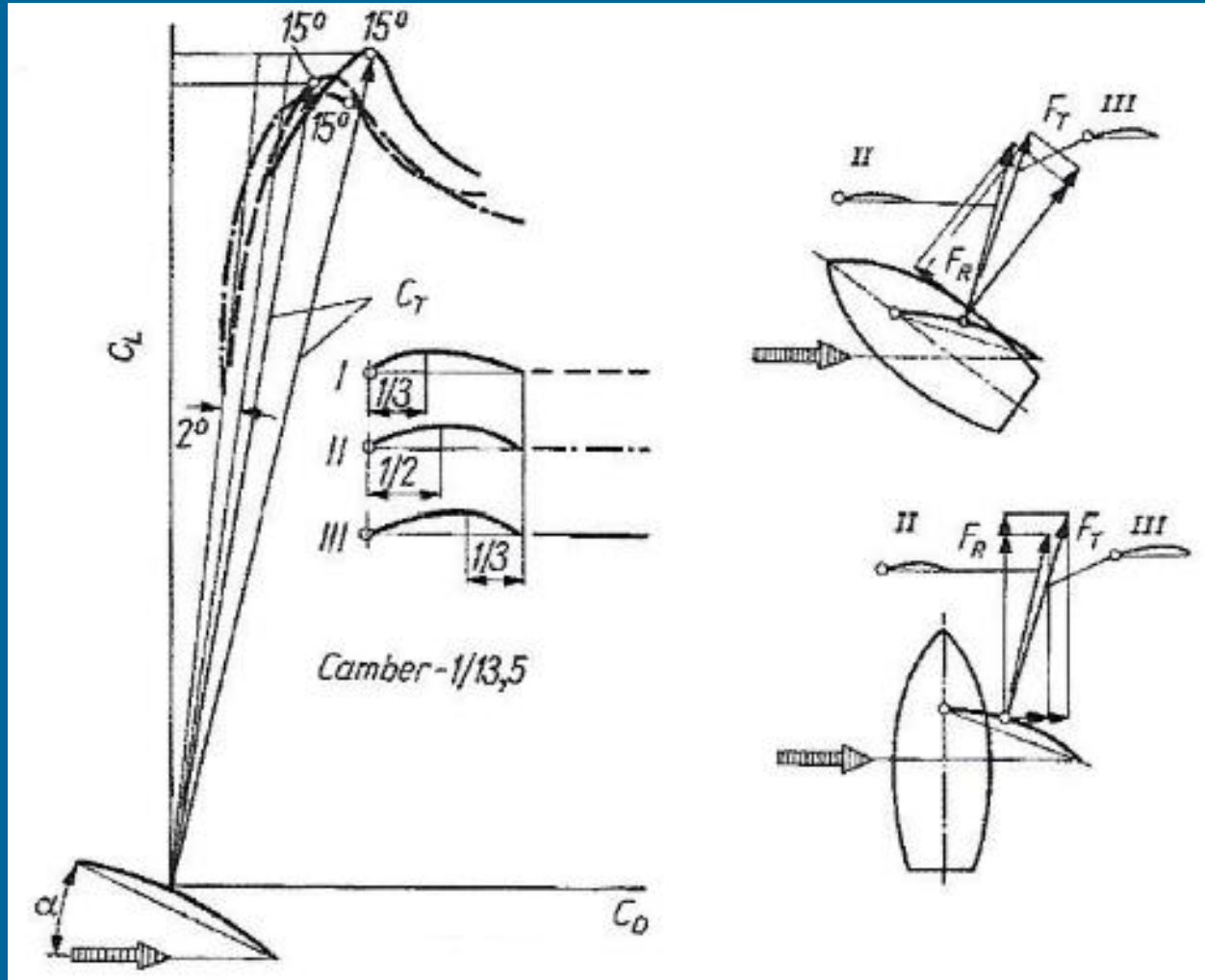
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az öblösség hatása



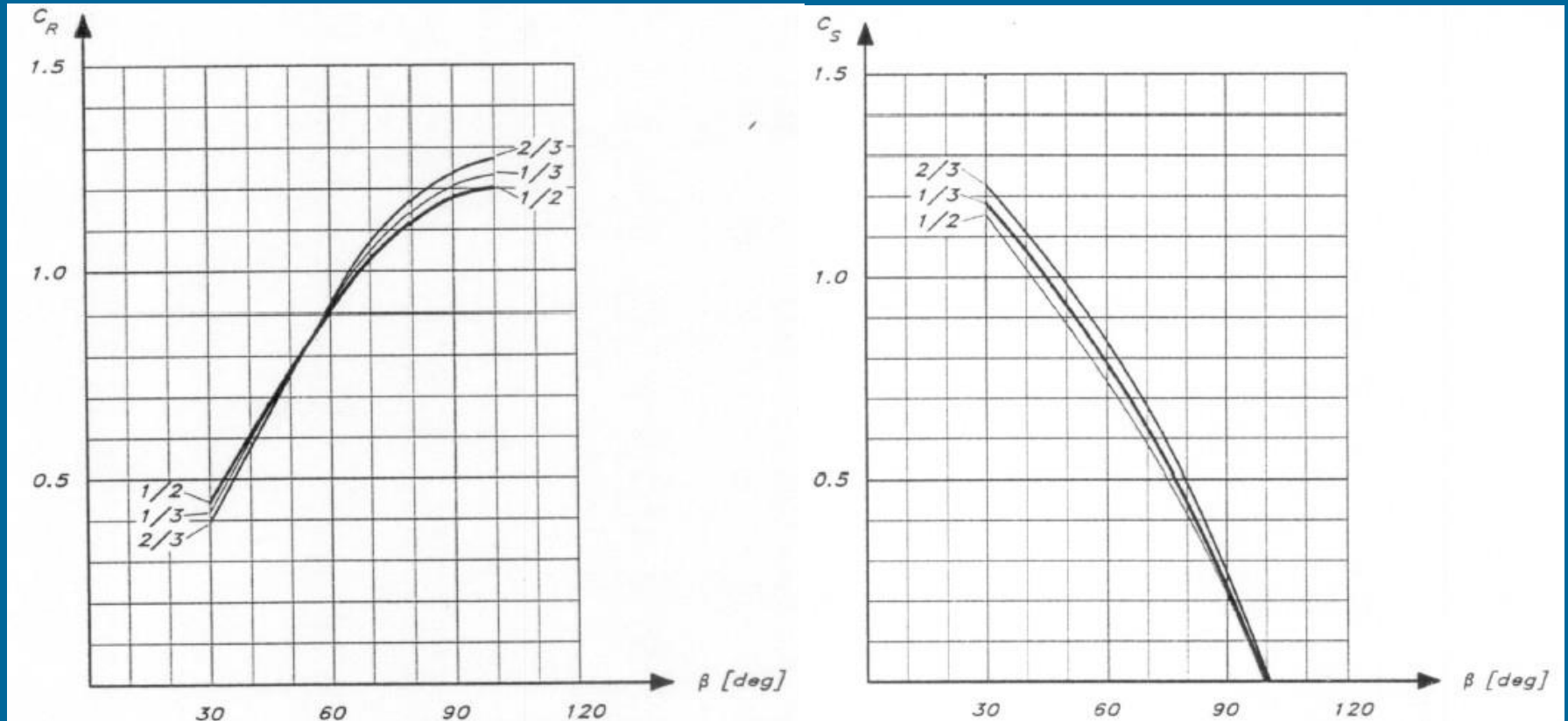
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az öblösség helyének hatása



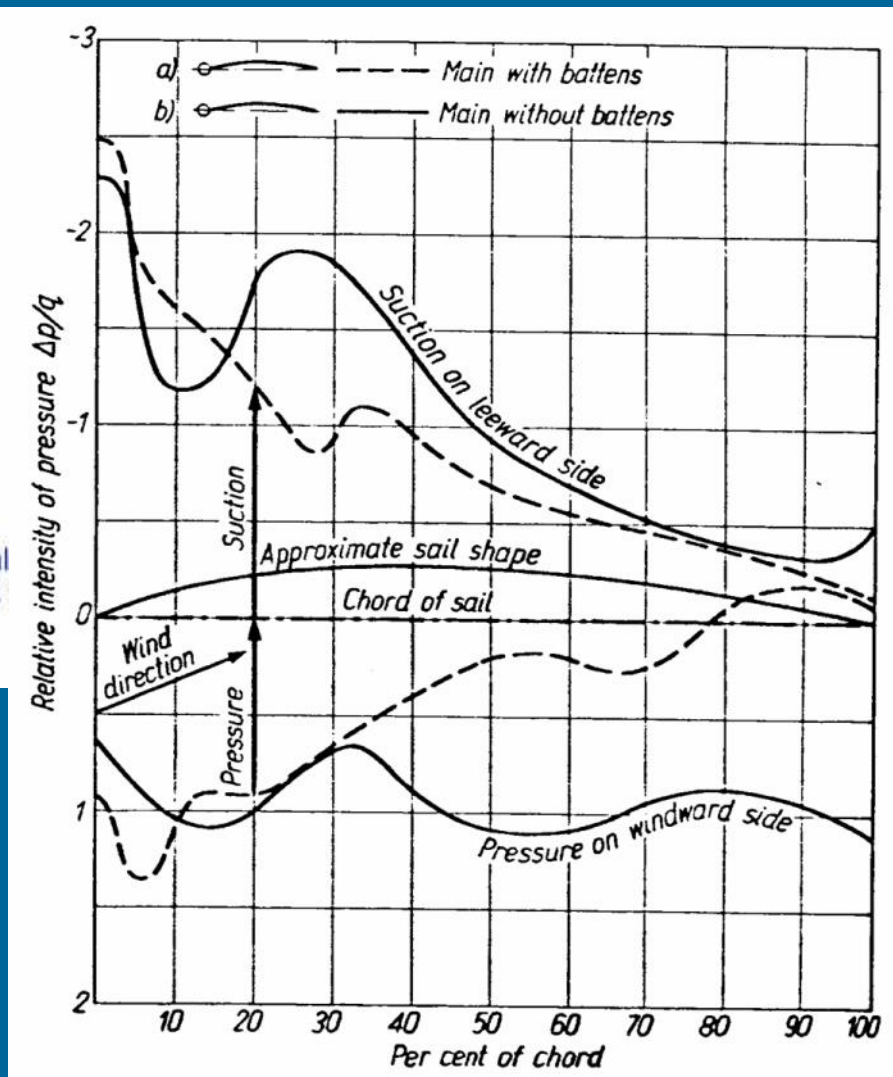
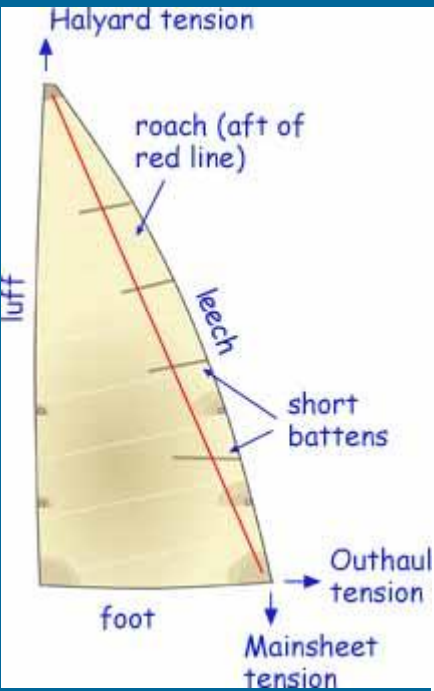
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az öblösség helyének hatása



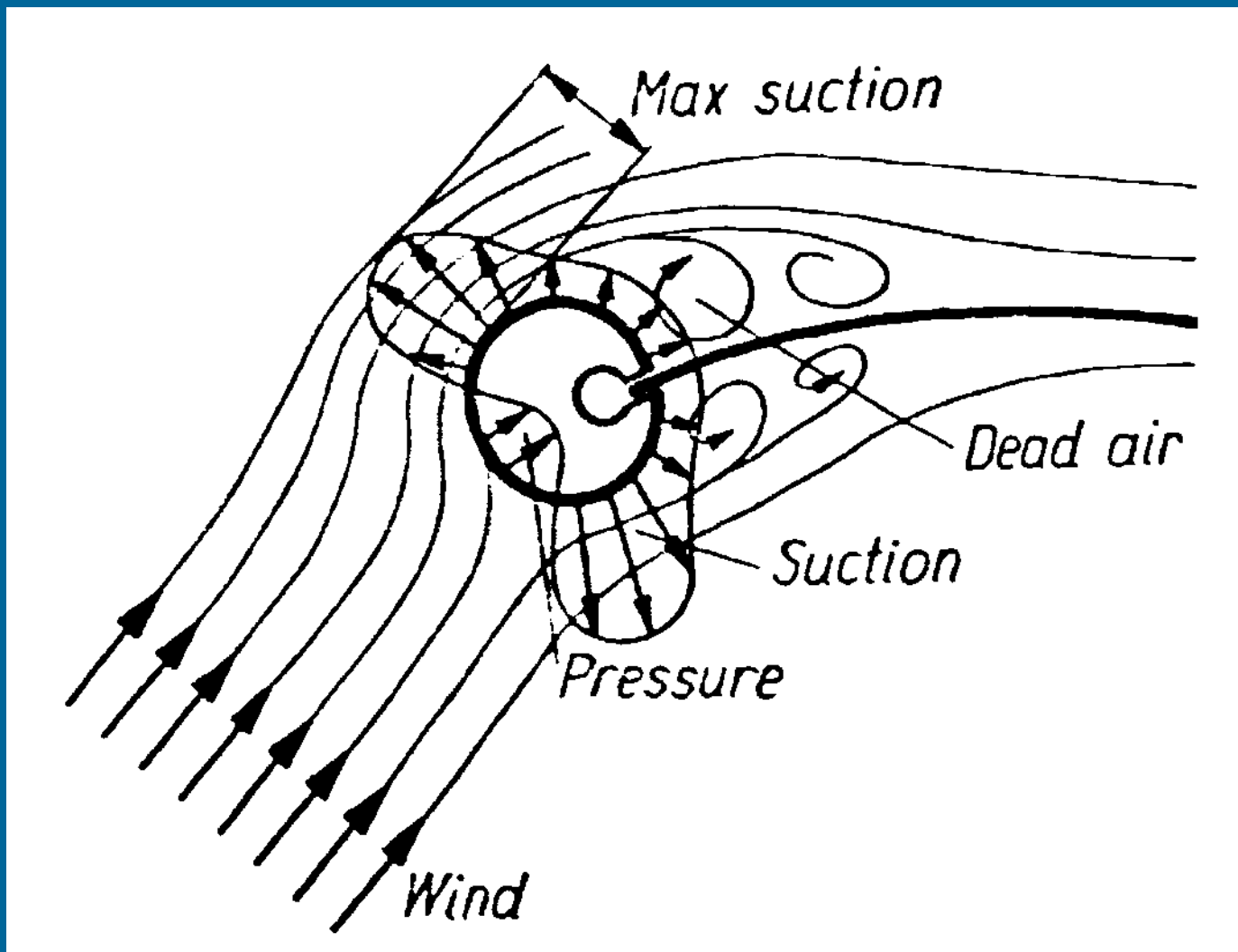
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a latnik hatása



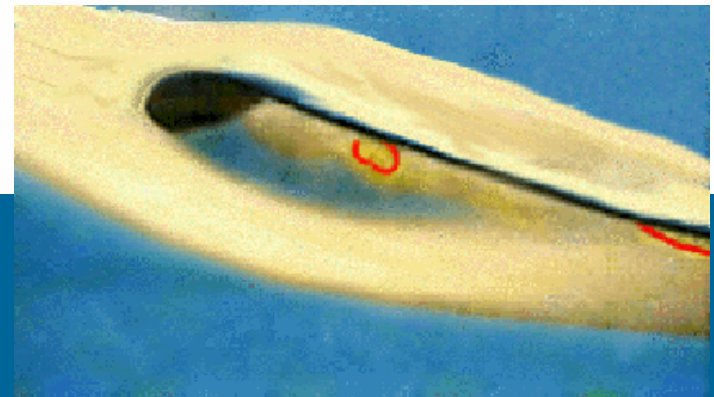
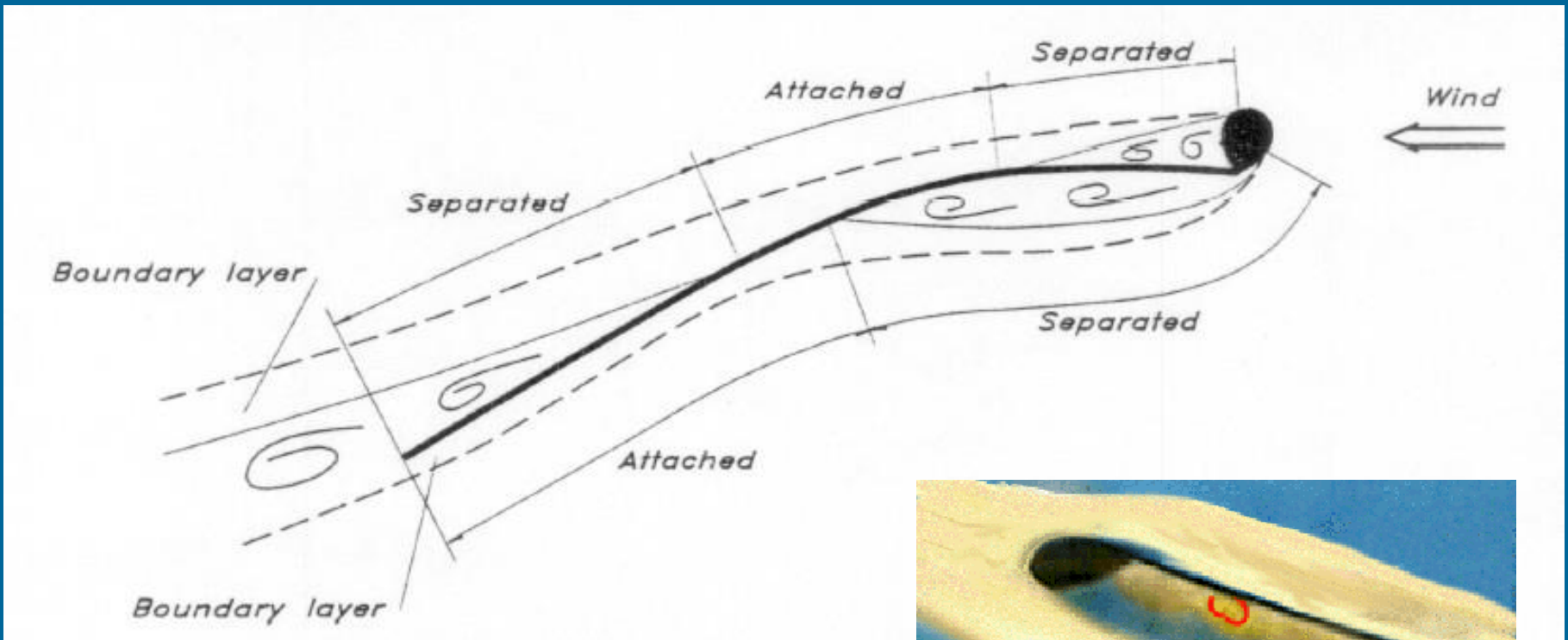
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az árboc hatása



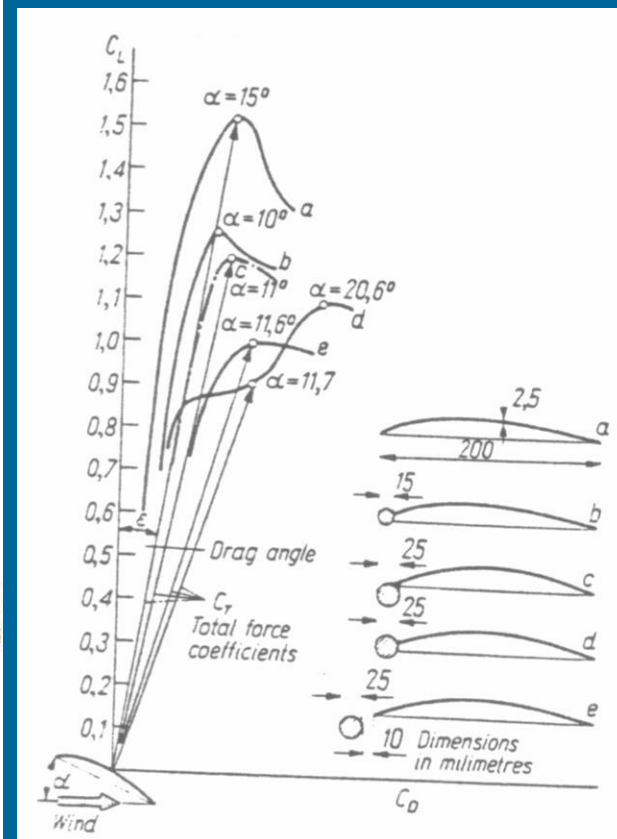
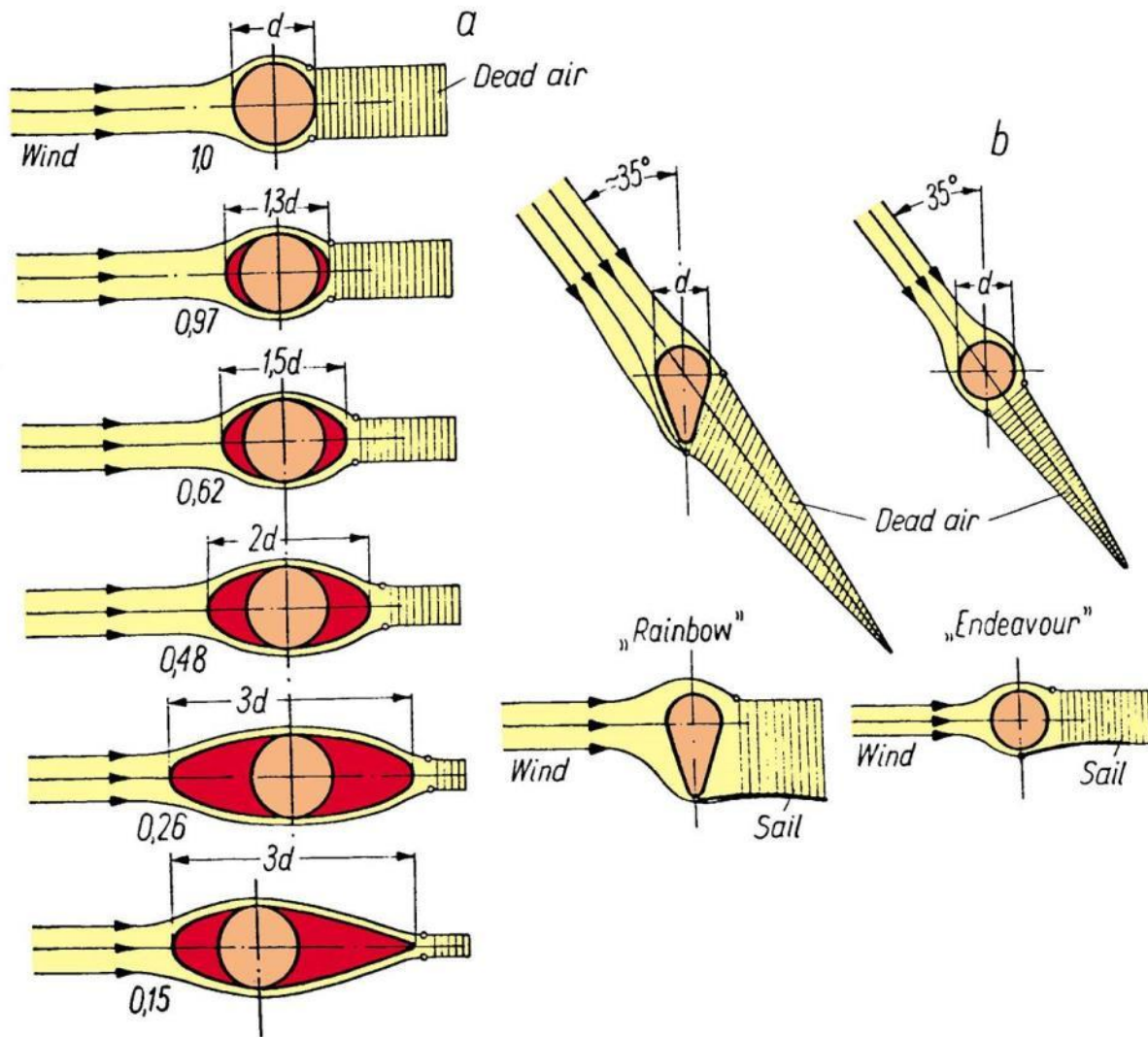
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az árboc hatása



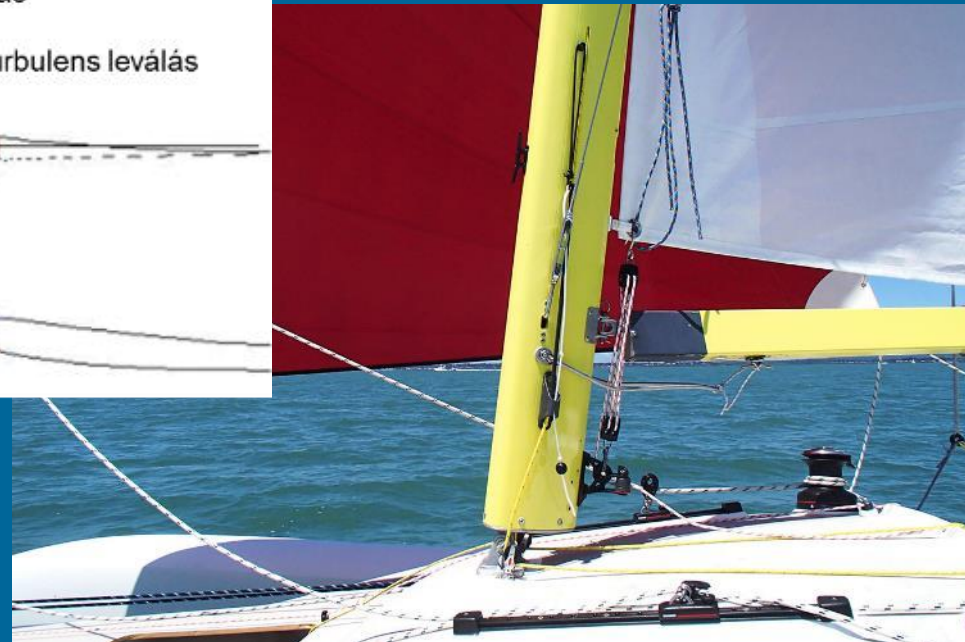
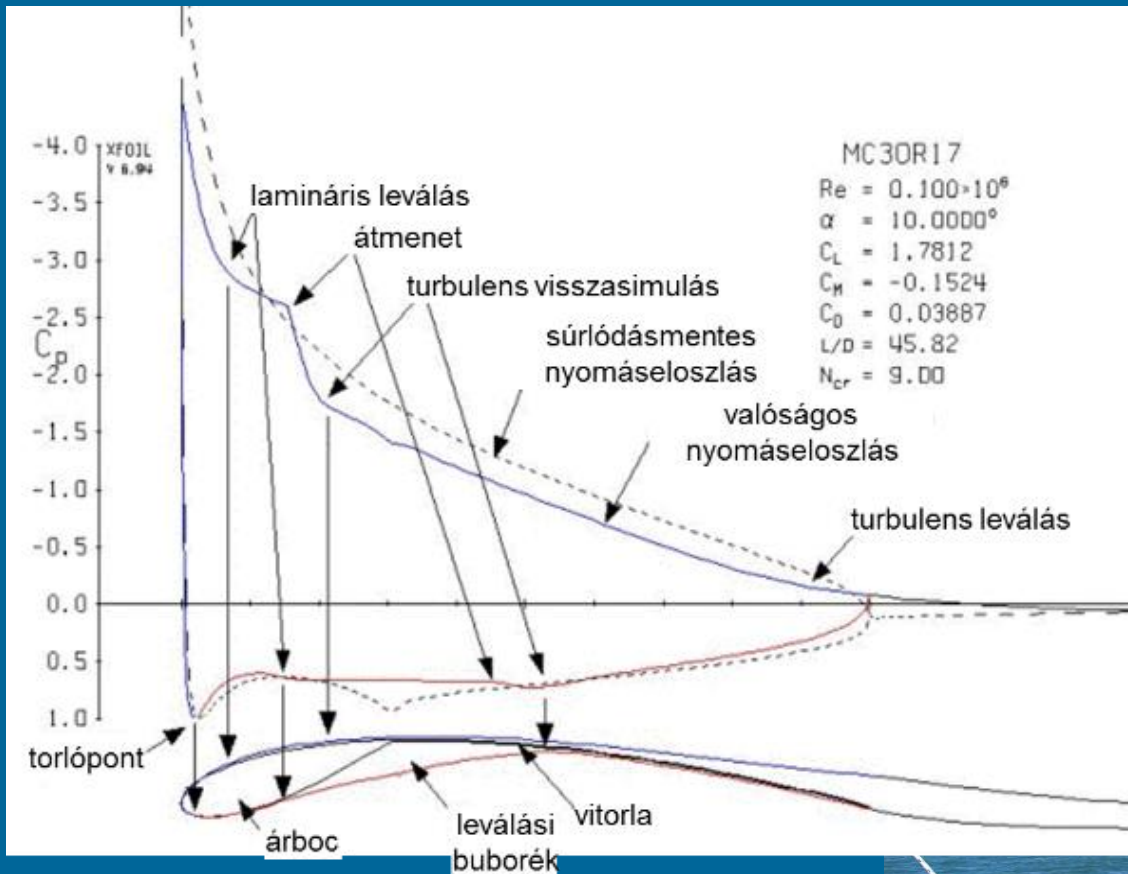
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: az árbc hatása



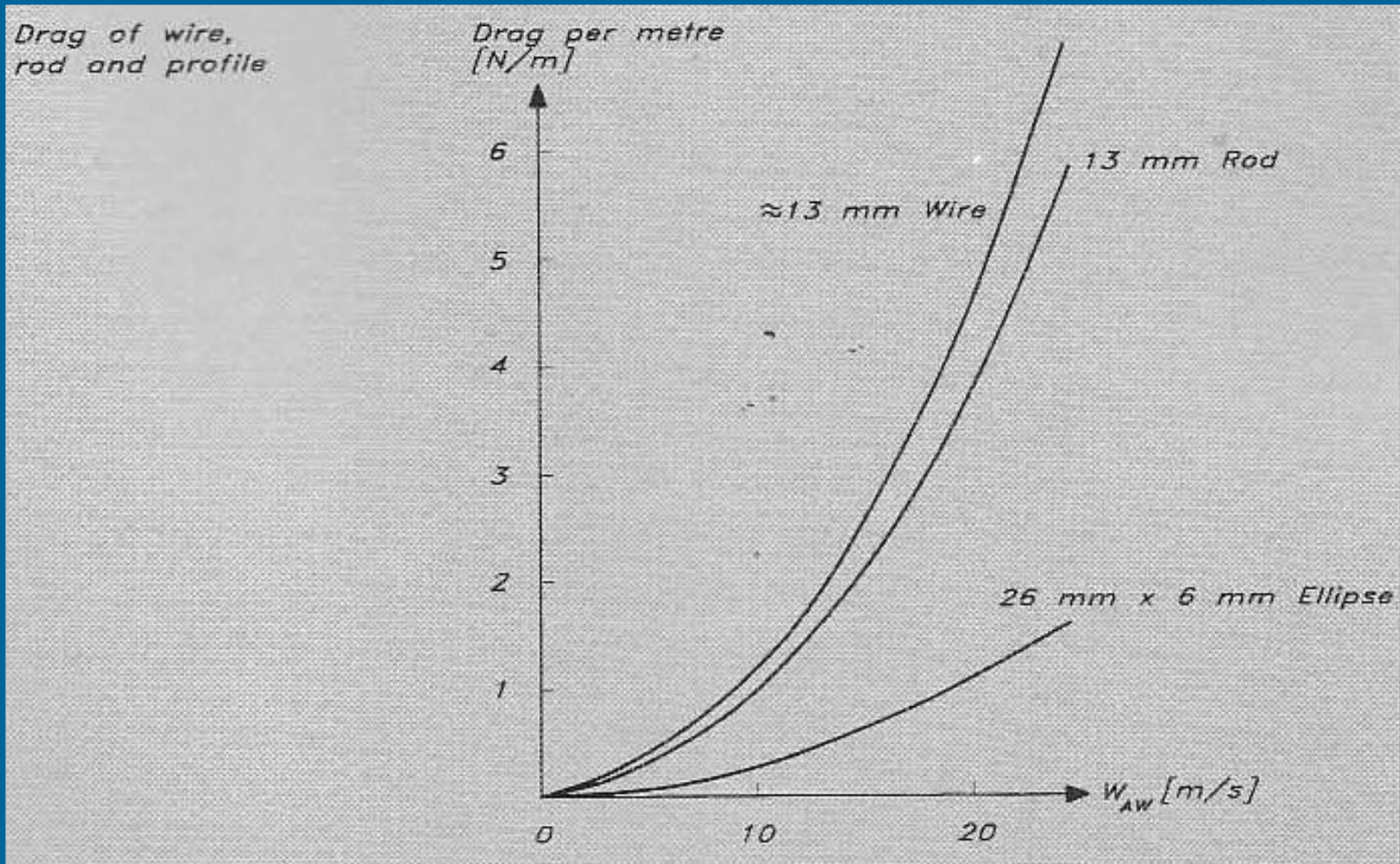
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a wing árboc hatása



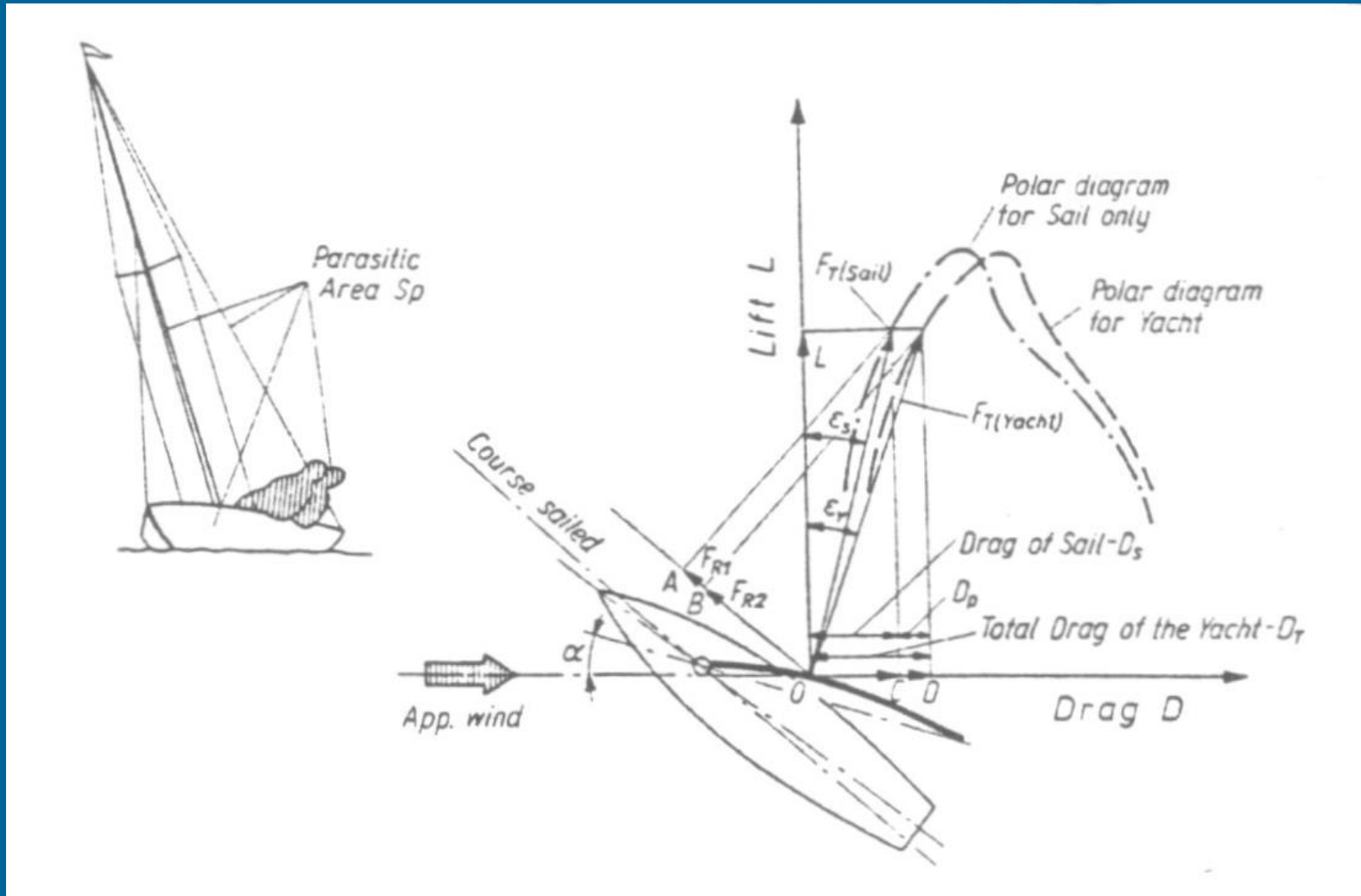
A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők: a merevítő kötélzet hatása



A vitorlázás aerodinamikája

az erőket befolyásoló tényezők hatása együttvéve

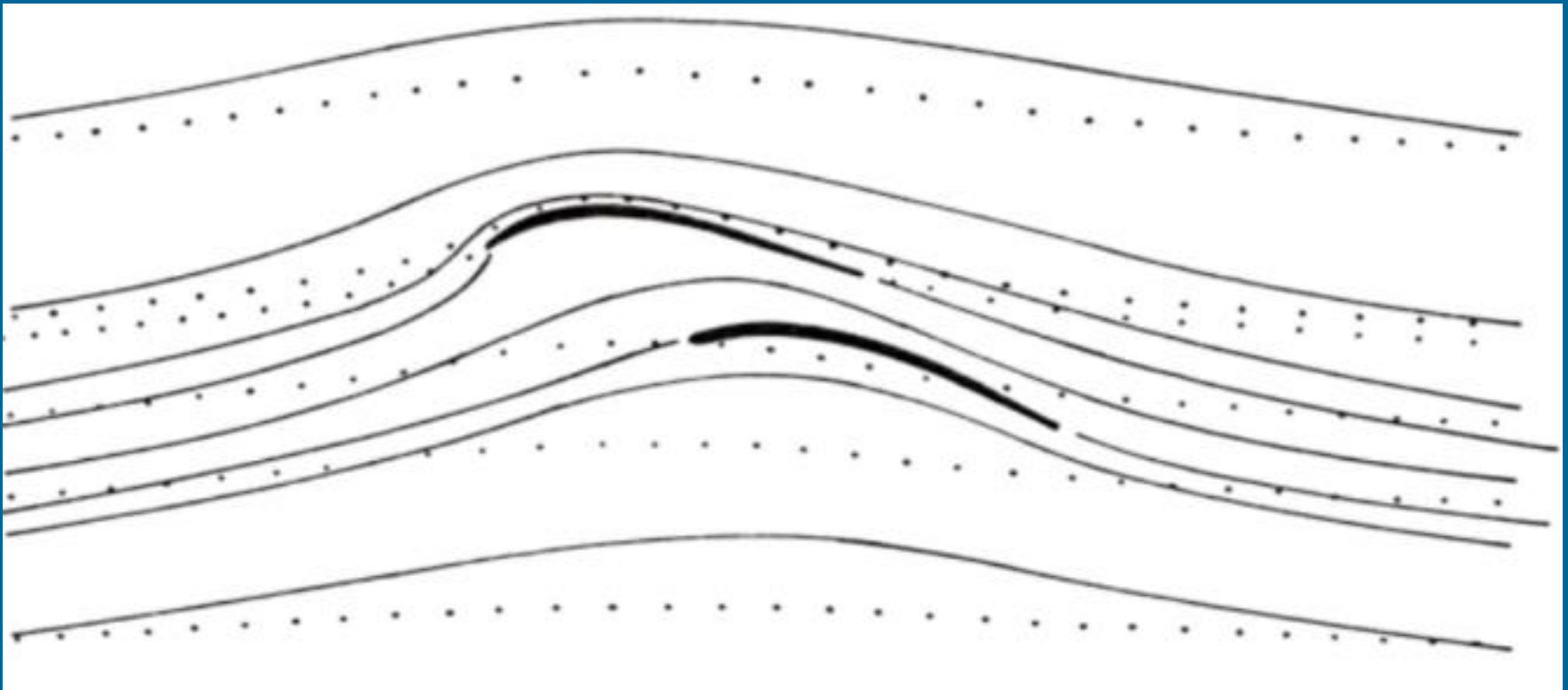


A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása – az áramvonalak

csak orrvitorla – pontozás

orrvitorla nagyvitorlával együtt – folytonos vonal

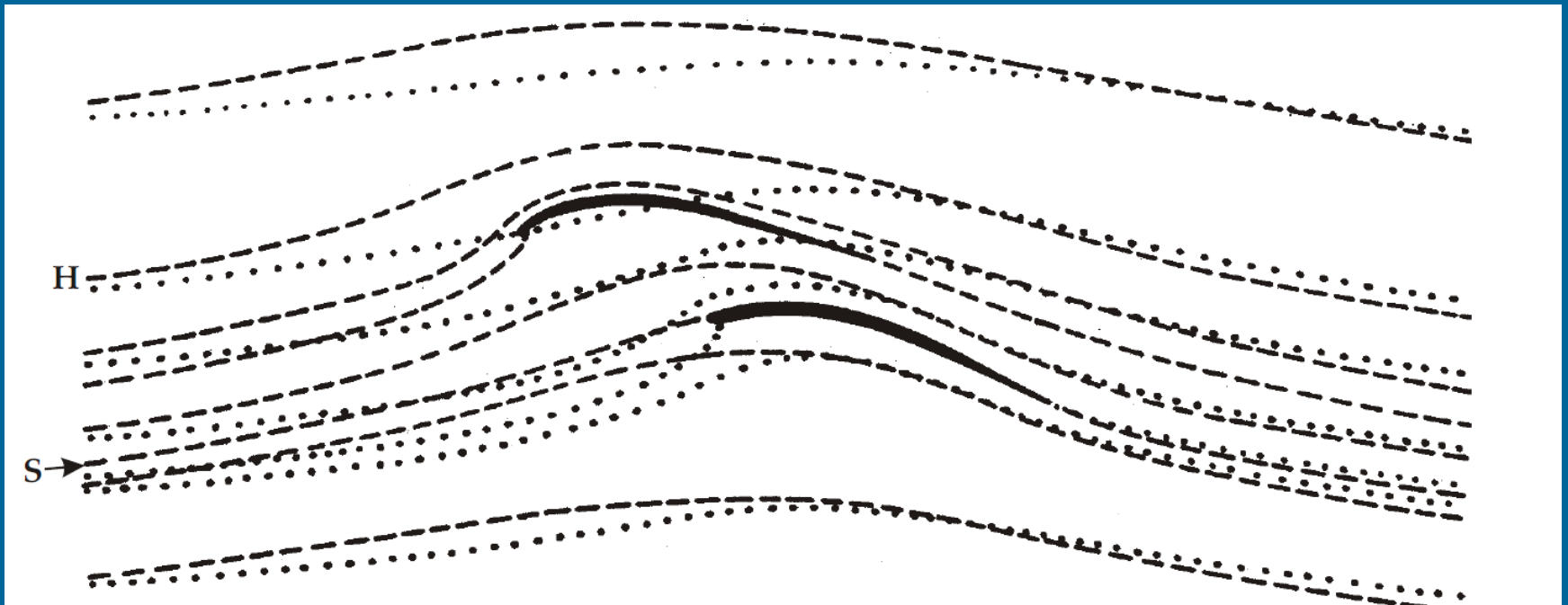


A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása – az áramvonalak

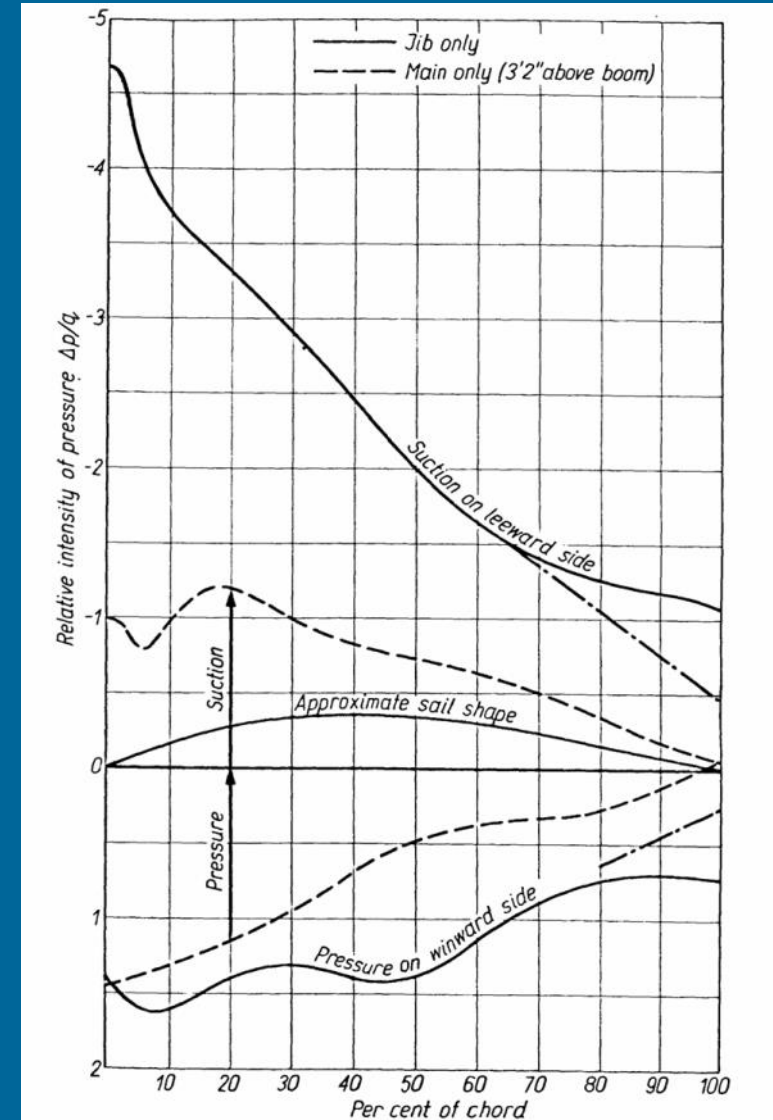
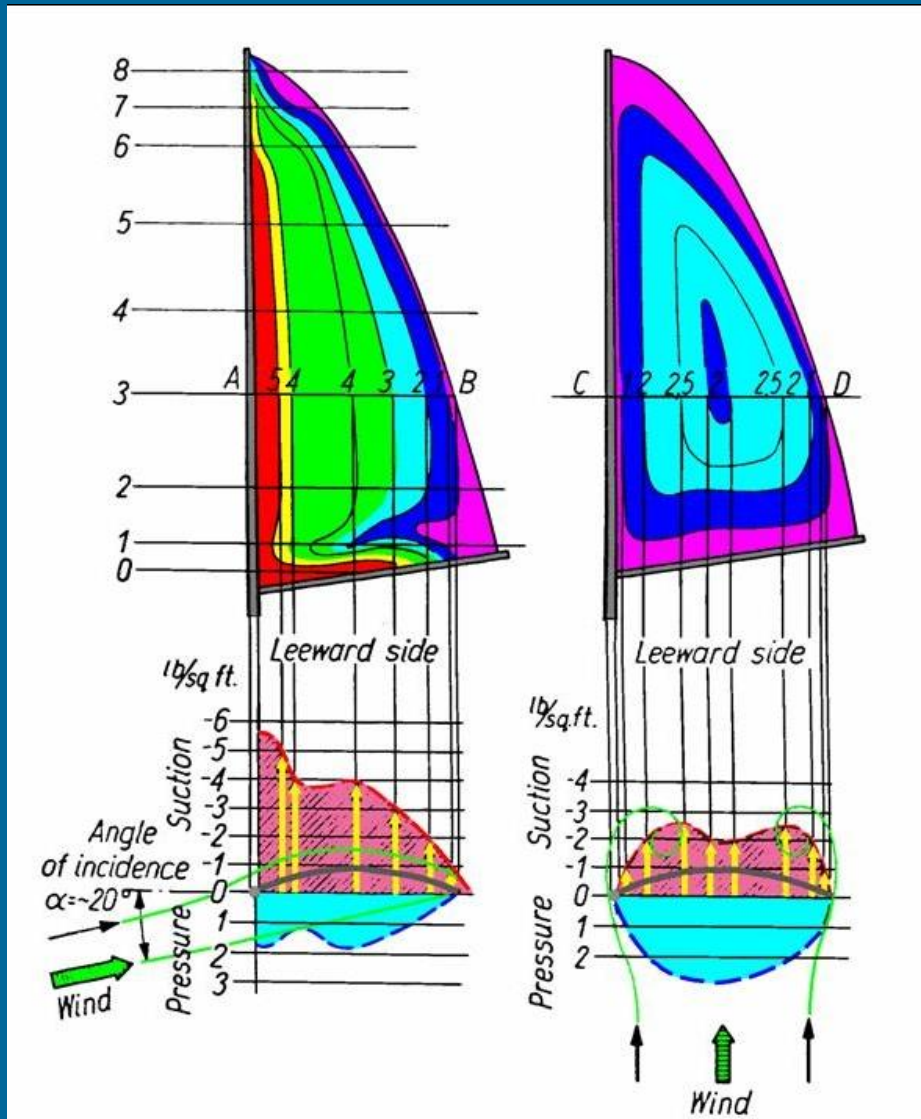
csak nagyvitorla – pontozás

nagyvitorla orrvitorlával együtt – szaggatott vonal



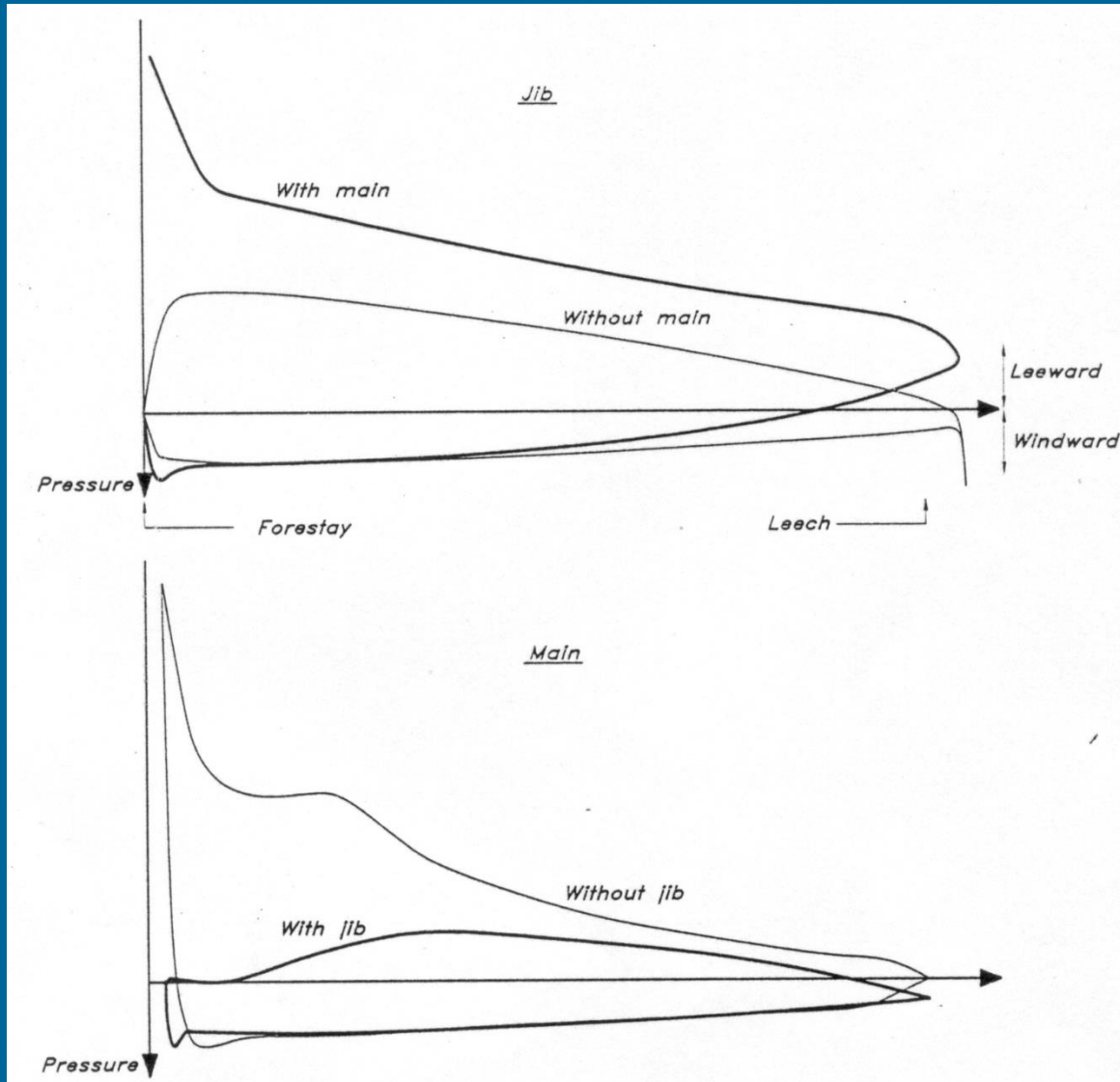
A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása – nyomásmegoszlás külön-külön



A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása – nyomásmegoszlások az egyes vitorlákon

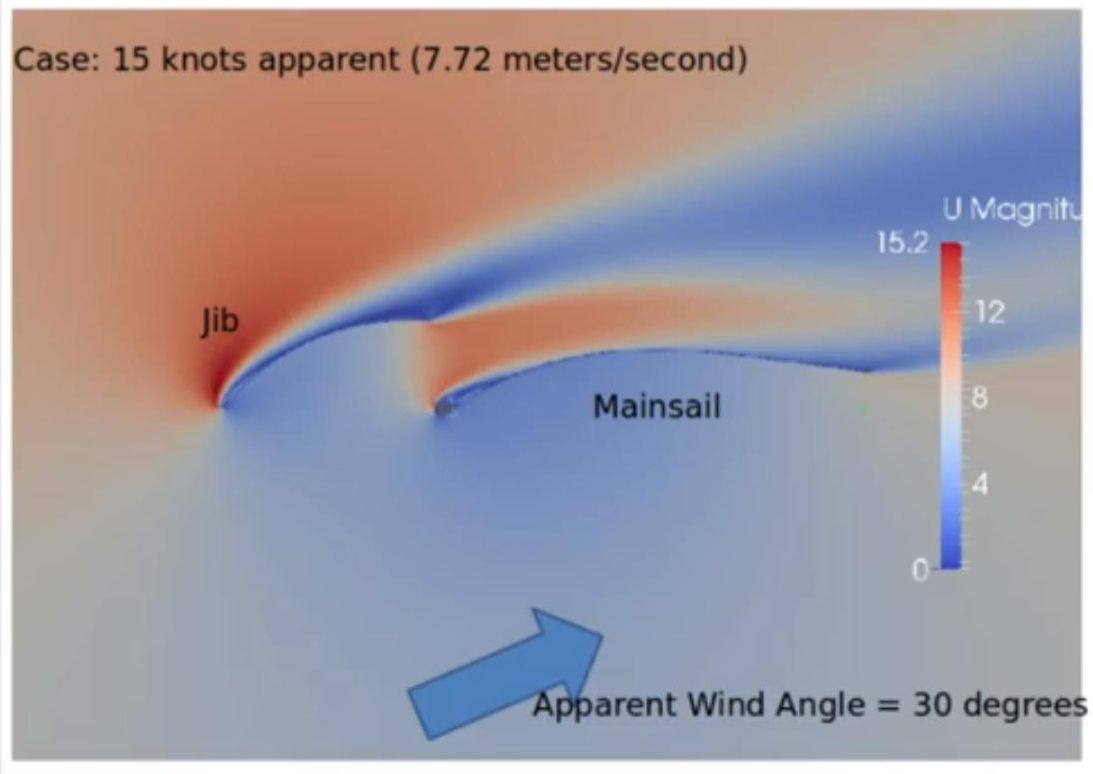


A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása

2D Slice Near the First Spreader Height

Velocity Profiles



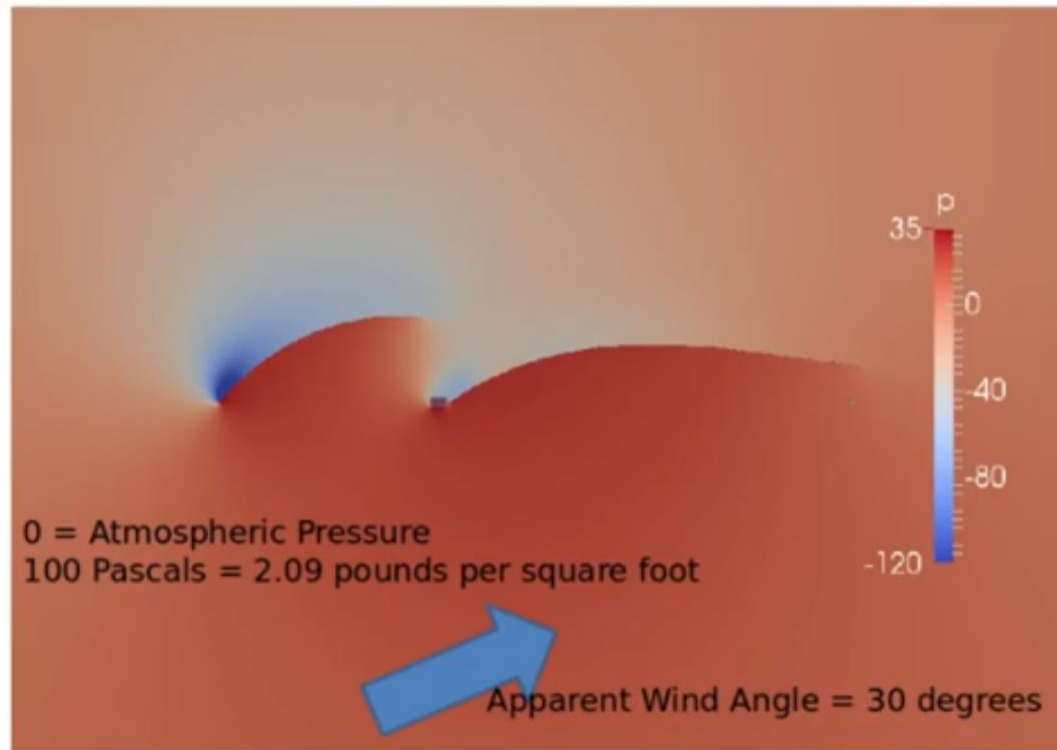
Copyright 2016 James L. Conger

A vitorlázás aerodinamikája

vitórlák egymásra hatása

Same Simulation Showing Pressure Instead of Velocity

Pressure Profiles



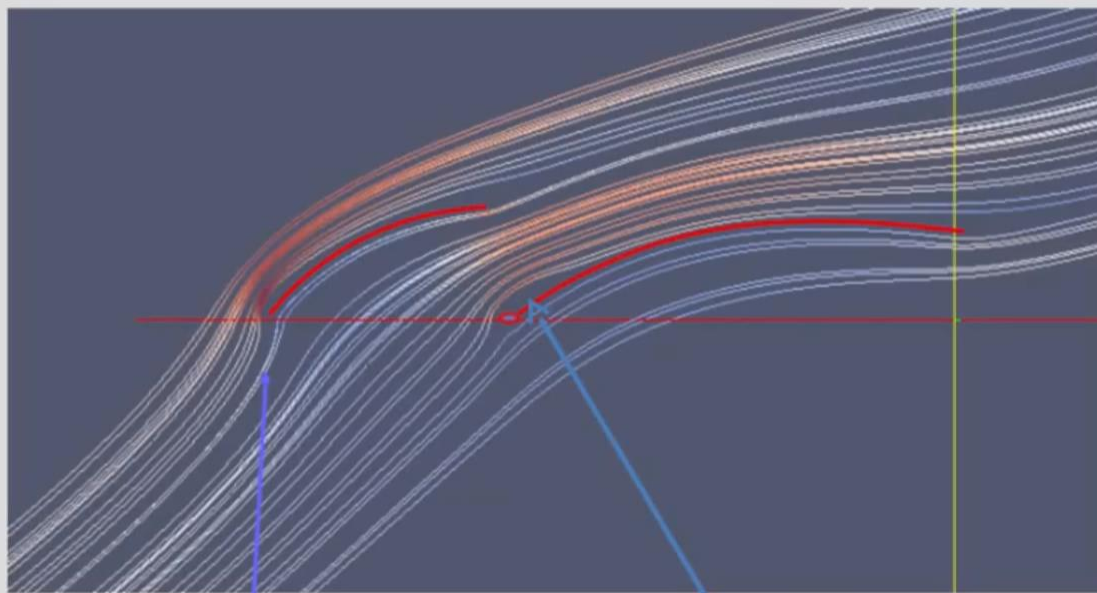
Copyright 2016 James L. Conger

A vitorlázás aerodinamikája

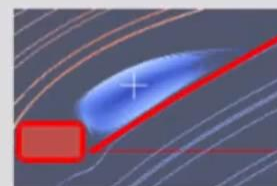
vitorlák egymásra hatása

Streamlines – The Path Air Takes

30 degrees apparent wind at 15 knots



Note deflection of air flow upwind of sails



Detail of eddy behind mast

Copyright 2016 James L. Conger

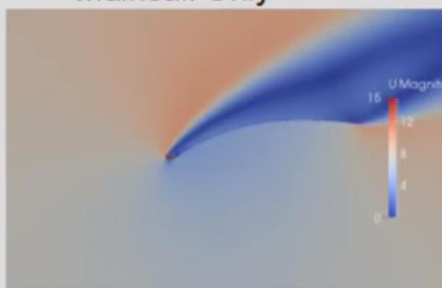
A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása

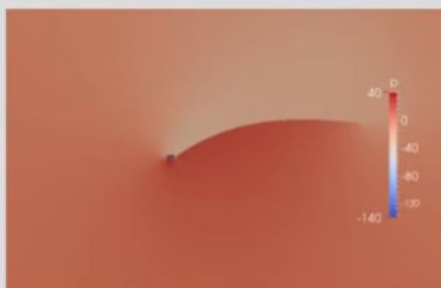
Jib Assisting Mainsail Performance

15 knots, 30 degrees apparent

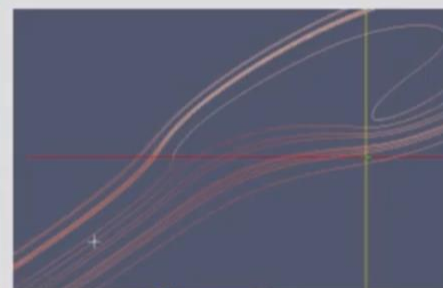
Mainsail Only



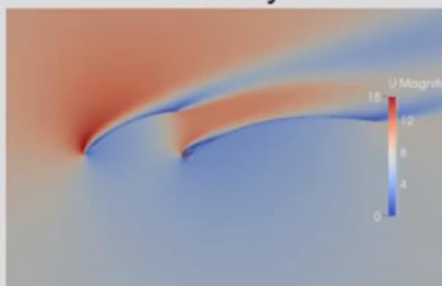
Velocity



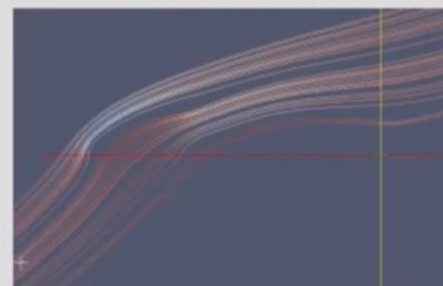
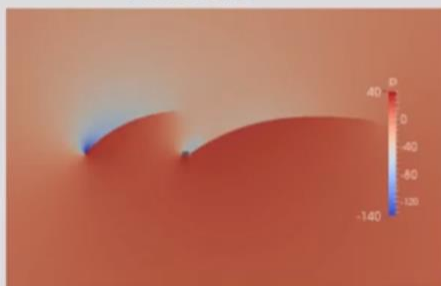
Pressure



Streamlines



Jib + Mainsail



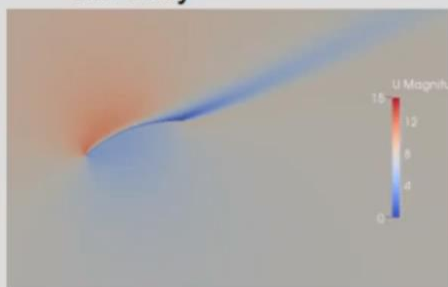
A vitorlázás aerodinamikája

vitorlák egymásra hatása

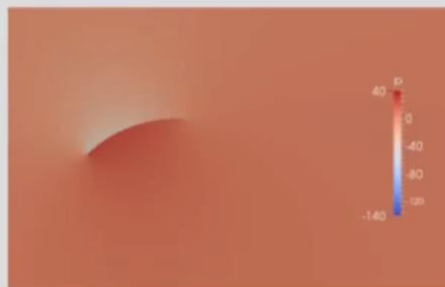
Mainsail Assisting Jib Performance

15 knots, 30 degrees apparent

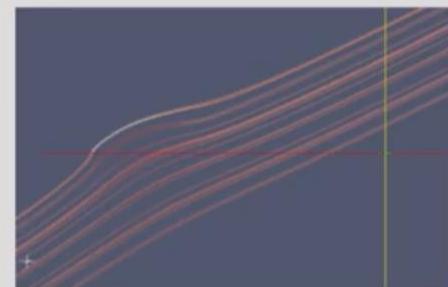
Jib Only



Velocity

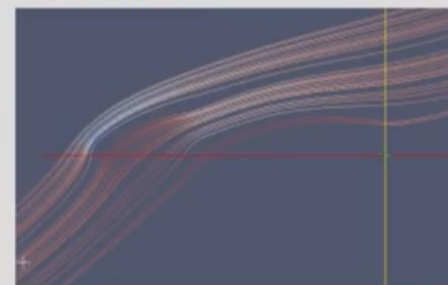
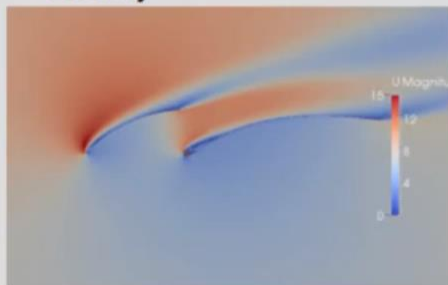


Pressure



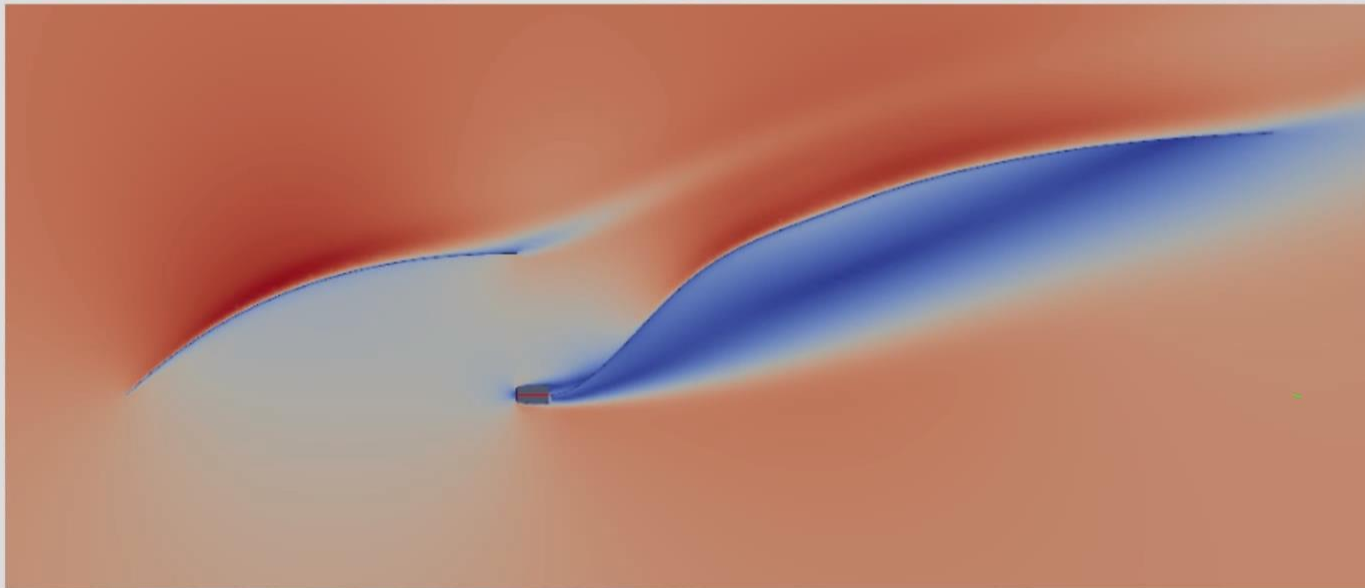
Streamlines

Jib + Mainsail



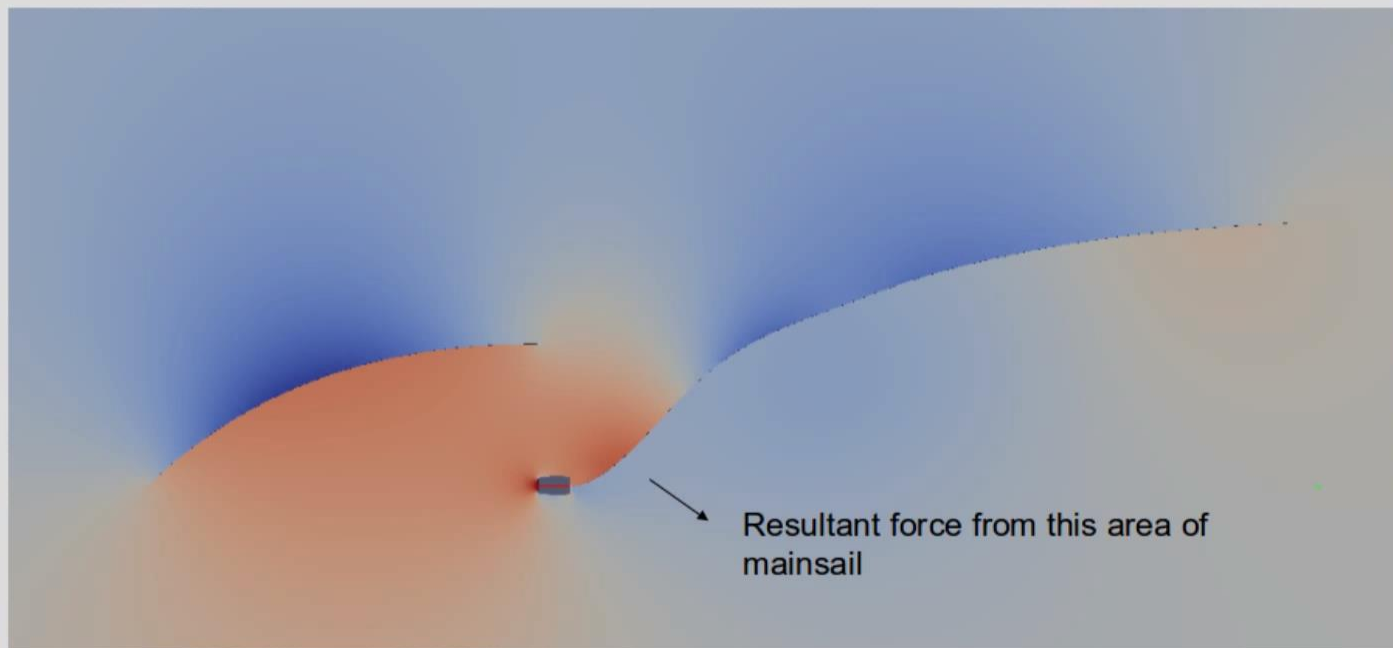
Bad Trim Example – Backwinded Mainsail

Velocity Profile



Backwinded Mainsail

Pressure Profile



Copyright 2016 James L. Conger