



Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki
Kar

Dr. Simongáti Győző

KISHAJÓK II.

XY Kiadó

BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar

32708-2/2017/INTFIN számú EMMI által támogatott tananyag

© Dr. Simongáti Győző, 2017

ISBN XXX-XXX-XXX-XXX-X

Kiadja az XY Kiadó Kft.

Készült az XY Bt. nyomdájában

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó.....	6
1 Motorosok hajtása	7
1.1 Motoros hajók jellegzetes hajtásrendszerei	8
1.1.1 Egyenes kihajtás.....	8
1.1.2 V hajtás	11
1.1.3 Z hajtás	12
1.1.4 Külmotoros hajtás.....	14
1.1.5 Vízszög hajtás	17
1.1.6 POD hajtás	19
1.1.7 Vízfelszíni hajtás (Surface drives).....	20
1.1.8 Légcsavaros hajtás	23
1.1.9 Seprűs hajtás	23
1.2 Motoros kishajók propellerei	26
1.2.1 Csavar-sorozatok, szárnymetszet formák	28
1.2.2 Speciális hajócsavarok	32
1.3 A motorosok hajtásrendszerének méretezési lehetőségei	33
1.3.1 Kishajókra alkalmazható ellenállás-számítási módszerek.....	34
1.3.2 A hajtásrendszer elemeinek méretezése.....	48
1.3.3 CFD alkalmazásának lehetőségei	51
2 Vitorlás hajók hajtása	54
2.1 Vitorla- és vitorlázat típusok	54
2.1.1 Vitorlatípusok	54
2.1.2 Vitorlázat típusai	63
2.1.3 A mai kor tipikus vitorlázata	66
2.2 A vitorlákon keletkező erők	77
2.3 Az erőket befolyásoló tényezők	81
2.3.1 A beállítási szög (α)	81
2.3.2 A haladás iránya (β)	84
2.3.3 A vitorla oldalnézeti formája és a karcsúság	85
2.3.4 Az öblösség	89
2.3.5 Az árboc jelenléte	91
2.3.6 A vitorlák egymásra hatása	96
2.3.7 A hajótest és a vitorlák közötti távolság.....	99
2.3.8 Egyéb tényezők.....	100
2.4 Vitorlások teljesítménybecslése	100
2.4.1 A teljesítménybecslés egyszerűbb módjai.....	101
2.4.2 A vitorlás hajók sebességének számítási módszere	104

2.5	Vitorlások segédhajtása	111
2.5.1	A motorok.....	111
2.5.2	A hajtáslánc.....	113
2.5.3	Propellerek	117
3	Felhasznált és ajánlott Irodalom	121

ELŐSZÓ

E jegyzet – mely a 2012-ben a Typotex Kiadó gondozásában megjelent Kishajók c. jegyzet folytatása – elsődleges célja, hogy a járműmérnöki alapképzés hallgatóit megismertesse a vitorlás és motoros kishajók működésével és tervezésével kapcsolatos alapvető tudnivalókkal. A kishajók számos területen hasonlítanak a hajósképzés más tárgyaiban ismertetett nagyhajókhoz, így sok tekintetben lehet támaszkodni az ott elhangzottakra. Ugyanakkor nagyon sok vonatkozásban olyan speciális jellemzőkkel bírnak, melyek miatt külön is foglalkozunk velük. Az e jegyzetrészbe foglalt ismertetés a szerteágazó témakörök miatt csak részleges. A nagy anyagból az első részbe került a kishajók működésének bemutatása, a hajótesttel (annak formájával, stabilitásával és ellenállásával) és a vitorlások tökesúlyával kapcsolatos részek. E második részbe alapvetően a kishajók hajtását bemutató fejezetek fértek bele, terjedelmi korlátok miatt. A kormányzással, a kishajók rudazatával, merevítő-kötélzetével, valamint az ergonómiával és esztétikával foglalkozó részek sajnos még mindig kimaradtak. Ezek terv szerint egy következő, befejező részt alkotnak majd, mely elkészülte után a BME, Repülőgépek és Hajók Tanszékének honlapján lesz elérhető.

a Szerző

BEVEZETÉS

A kishajók hajtásrendszere az egyik legfontosabb a kishajón található rendszerek között. Összetett, több fontos elemből álló rendszerről van szó, mely alapvetően elkülönül a motoros és vitorlás hajók esetében, ezért külön tárgyaljuk őket.

Egy hajó hajtásához alapvetően 3 dologra van szükség: energiaforrásra, hajtóerőt adó elemre és a kettőt összekötő közvetítő szerkezetre. Egy motoros hajónál az energiaforrás leggyakrabban egy – túlnyomó részt belsőégésű (azok közül is inkább dízel-, mint benzin-) motor – ritkábban, de manapság különösen tavi hajók esetén, elektromos motor. Előzőnél az energia kémiai formában, az üzemolajban, utóbbinál a hajóban elhelyezett akkumulátorokban van jelen. A hajtóerőt adó eszköz – vagyis a propeller – általában hajócsavar, mely egy tengelyrendszeren keresztül kapja az energiát, és a hajtóerő ugyan ezen rendszeren keresztül adódik vissza a hajótestre. Vitorlásoknál az energia forrása a szél (amennyiben van, ez a hajó használatnak korlátot is szab), a propeller a vitorla vagy vitorlázat, a kettő között direkt kapcsolat van, viszont a hajtóerőt a vitorlákat tartó rudazat és kötélzet közvetíti a hajótestre.

E jegyzetben az energia forrásával egyik hajótípus esetén sem foglalkozunk – a motorokat a Hajógépek c. jegyzet alaposan tárgyalja, a széllel kapcsolatban pedig itt csak azt feltételezzük, hogy a vitorlások számára rendelkezésre áll. A propellereket és az energia-, ill. erő közvetítésére szolgáló eszközöket a következő fejezetekben mutatjuk be részletesen.

1 MOTOROSOK HAJTÁSA

Az elmúlt évtizedekben az eltérő felhasználási területekre más és más, az adott céloknak mind jobban megfelelő hajtásrendszereket fejlesztettek ki. A hajó tervezőjének feladata, hogy a hajó tervezett funkciójának ismeretében az ahhoz leginkább passzoló hajtásrendszert alkalmazzon. Sajnos, a kiválasztás sokszor csak kompromisszumok árán valósulhat meg a sok korlátozó feltétel között, hiszen a hajtás optimális módját több, egymásnak ellentmondó feltétel befolyásolja. A döntésben a tervezőt az alábbi szempontok átgondolása segítheti:

- a hajó funkciója;
- a hajó nagysága;
- a tervezett sebesség vagy várható üzemeltetési profil mellett a hajtásrendszer milyen propulziós hatásokkal bír;
- beépíthetőség, helyszükséglet (hajótesten kívül és belül);
- a motor elhelyezhetősége (vagy éppen célszerű helye);
- szükséges manőverképesség;
- bekerülési és várható üzemeltetési, karbantartási és javítási költségek;
- üzemeltetés jellegéből adódó korlátozó tényezők (pl. merülés).

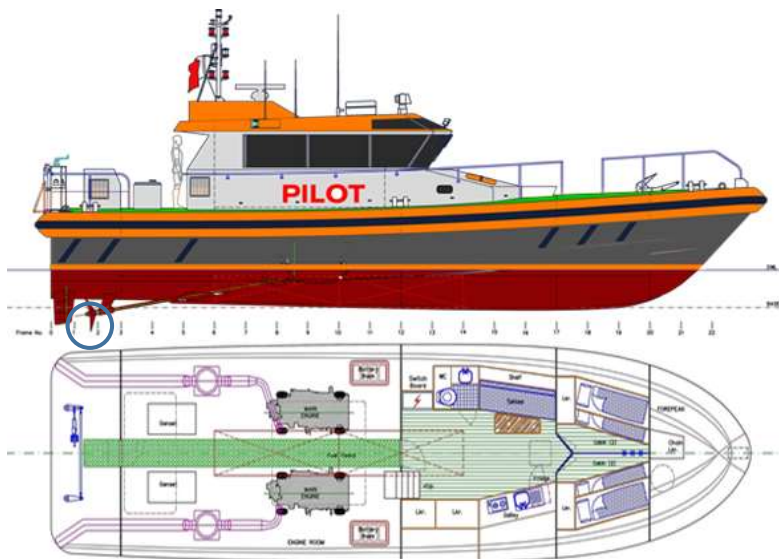
Az alábbi fejezetekben bemutatjuk az egyes hajtási módok jellegzetességeit, a motoros kishajókon alkalmazott propellereket és a hajtásrendszer méretezésének kishajós sajátosságait.

1.1 Motoros hajók jellegzetes hajtásrendszerei

1.1.1 Egyenes kihajtás

Ennél a megoldásnál a hajó hátulján elhelyezett hajócsavart egy hosszabb tengely köti össze a hajó középső részén elhelyezett motorral. Mivel a hajócsavar tengelye ideális esetben a menetiránnyal párhuzamos, azaz vízszintes kellene legyen, így igyekeznek a csavart csak kismértékben megdőnteni. Ennek az az eredménye, hogy a csavart hajtó tengely nem túl meredek és így a motor csak a hajó legértékesebbnek tartott középső részén tud elhelyezkedni (1.1.1

ábra). A hajótest hátsó fenékrésze enyhe felhúzással rendelkezik, hogy a hajócsavarra megfelelő rááramlást biztosítson. Ez egyben azt is eredményezi, hogy a tengely vonala csak a csavartól távolabb dőfi át a hajótest gerincvonalát, így nagy a tengelynek a hajótesten kívüli hossza. A tengelyt ezért a csavar előtt általában tengelybak tartja (1.1.1. ábrán kék körrel megjelölve). Ezekben az esetekben a hajótest fenékrésze és a csavartengely nagyon kis szöget zár be, ezért egy hosszabb tönkcsőre van szükség, melynek pontos beépítése nehezebb. Ezért szokás az ilyen hajóknál a szkeg alkalmazása (1.1.2. ábra, pirossal bekarikázva a szkeg), mely révén a tengely egy közel merőleges síkon keresztül halad át a hajótesten. A szkeg egyben az iránytartást is javítja a laterálfelület növelése révén. A hajótesten belül a tengely maradhat enyhén ferde, ami egyben a motor azonos szögű ferde beépítését is megköveteli, vagy egyenesbe vezethető egy tolócsapágyat követően kardáncsukló vagy egy, a tengelyvégek között szögtörést biztosító irányváltó hajtómű beépítése révén.

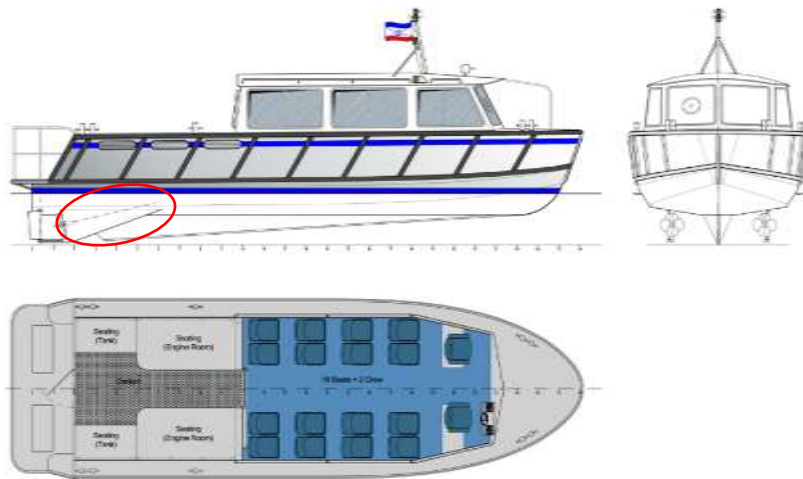


<http://www.besiktasworkboats.com/uploads/images/pilotboats/19m-pilot-boat-ga-plan.png>

1.1.1. ábra: 19 m-es révkalauz, egyenes kihajtással, tengelybakkal

E megoldás jellegzetességei:

- egy jól bevált, régóta használt, egyszerű, megbízható, hosszú élettartamú és gazdaságos hajtásrendszer;
- a motor nagyjából középen helyezhető csak el – ez a kisebb sebességű hajóknál kedvező, hiszen könnyebben megvalósítható a jó tömegelosztás, de nagy sebességű hajóknál a rendszersúlypont hátrébb helyezése már nehezen megvalósítható;



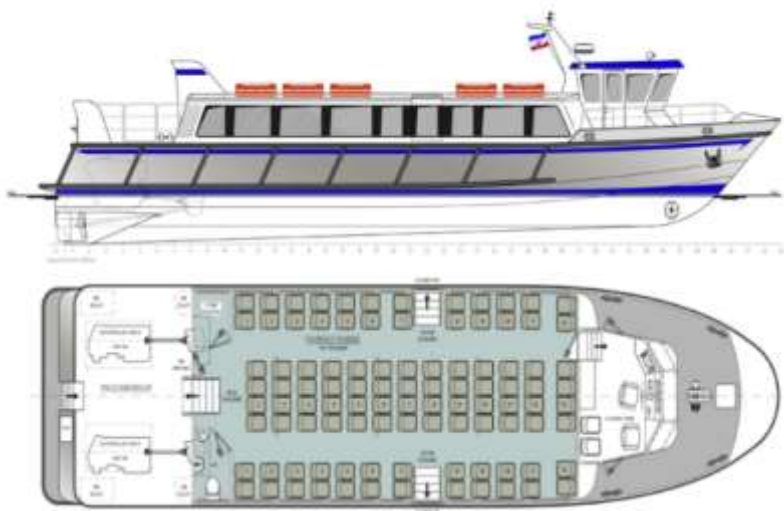
<https://www.marigraph.com/design.php?cat=work&lng=en>

1.1.2. ábra: 10,5 m-es, duplacsavaros, szkeges hajó egyenes kihajtással

- ha a kedvezőbb általános elrendezés prioritást élvez és a motort csak hátrébb lehet elhelyezni, a tengely – és így a tolóerő hatásvonalának – szöge lényegesen meredekebb (a szöget ld. az előző ábrákon). Ez egyrészt a hajó orra bukását előidéző nyomatókat eredményezhet, ha a tengelyvonal a rendszersúlypont felett megy el, másrészt a propulziós hatások csökkenését vonja maga után, mert a hajócsavarra a közeg nem tisztán csak tengelyirányból, hanem sugárirányból is érkezik, mely nagyobb veszteségeket eredményez;
- a kialakítás mindenképpen maga után vonja a kormánylapát alkalmazásának szükségességét;
- manőverképesség tekintetében ez a konstrukció messze elmarad a tolóerő hatásvonalának változtatásával dolgozó módszerektől, de két, külön vezérelhető motor-kormány (ld. 1.1.2. ábra) és esetleg egy orrsugár-hajtómű az így szerelt hajókat már kielégítő manőverképességgel ruházza fel;
- szkeg nélkül a tengely hajótesten kívüli része a tengelybakkal és kormánylapáttal együtt nagyobb sebességeknél már jelentős ellenállást ad;
- relatíve nagy a hajó merülése;
- a rendszer hajótesten kívüli elemeinek sérülése csak a hajó kiemelése révén javítható.

1.1.2 V hajtás

Az előző megoldás „továbbfejlesztett” változata, melynél egy speciális hajtómű segítségével elérhető, hogy a motor a jobb térkihasználás vagy a célszerűbb súlypont elhelyezkedés érdekében középről hátra kerülhessen (1.1.3. ábra). A hajtómű be- és kihajtótengelye ugyanazon az oldalon van, de a két tengely szöge jelentősen eltér egymástól (1.1.4. ábra). A motor kihajtó tengelye ebben az esetben előrefelé kell nézzen, a hajtómű a motor előtt van.



<https://www.marigraph.com/design.php?cat=work&lng=en>

1.1.3. ábra: 21 m-es legényszállító hajó, két csavarral és V hajtással



<http://www.ebay.com/bhp/borg-warner-marine-transmission>

1.1.4. ábra: Borg Warner V hajtómű

A megoldást olyan hajókon alkalmazzák, ahol a beépített motor használata preferált, de mégis hátsó súlypont szükséges.

E megoldás jellegzetességei:

- a régebbi V hajtóművek igen zajosak voltak, de a mai, modern változatokra ez már nem jellemző;
- az egyenes kihajtás kardáncsuklós megoldásához képest mindenképpen előny, hogy nincs plusz szabadon levő korrózióra és meghibásodásra hajlamos alkatrész, minden elem a hajtómű házon belül van;
- a Z hajtáshoz viszonyítva ez a kialakítás lehetőséget ad egy hátsó platform létrehozására, mely különösen kedvelt a tengeri horgász és wakeboard-húzó hajókon;
- a hajó fenékrésze sokszor már vízszintes a nagyobb hidrodinamikai felhajtóerő érdekében, de így a tengely meredeksége is nagyobb, kisebb a tolóerő menetirány szerinti komponense;
- a víz alatti részek sérülése itt is csak a hajó kiemelésével javítható, de az alkatrészek cseréje/javítása egyszerűbb – nem egy komplex rendszert kell javítani, mint a Z hajtásánál.

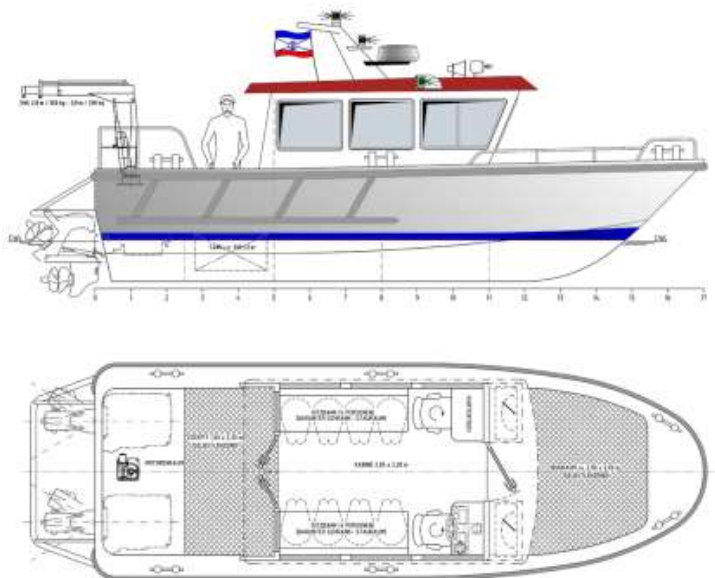
1.1.3 Z hajtás

A Z hajtás esetén a motor a hajótesten belül, a hajtómű pedig azon kívül kerül elhelyezésre. Az erőátvitel két kúpfogaskerékpáron keresztül történik. A hajócsavar tengelye menet közben vízszintes, de a hajtómű vízszintes keresztirányú és függőleges tengely körül is elforgatható. Z hajtóműveket mutat a 1.1.5. ábra.



<http://www.boats.com/reviews/volvo-penta-forward-drive-designed-for-wake-surfing-introduced-at-miami/#.WfSAUVuoOC0>

1.1.5. ábra: Balra a Mercury tolópropelleres, jobbra pedig a Volvo húzópropelleres Z hajtóműve



<https://www.marigraph.com/design.php?cat=work&lng=en>

1.1.6. ábra: 9,5 m-es alumínium munkahajó Z hajtással

E megoldás jellegzetességei:

- a beépített motoros változatok között ebben az esetben lehet leghátrébb a motor, gyakorlatilag majdnem a tükörnél helyezhető el – súlypont könnyen lehet hátrébb;
- az alsó fogaskerékpár a hajtómű-ház víz alatti részében van, ezért igyekeznek kicsire méretezni a kisebb méretek és ellenállás érdekében, ez általában nagyobb névleges fordulatszámot és kisebb élettartamot eredményez;
- sok a mozgó alkatrész, komplex rendszer, mely minden hajtásrendszer között talán a leginkább karbantartás igényes;
- a hajtómű legtöbb eleme fémből készül, mely különösen sós vízben, erősen kitett a korrózió kedvezőtlen hatásának. Ez ellen több fogyó anyóddal és rendszeres festéssel védekeznek, de ennek ellenére a Z hajtás rövidebb élettartammal rendelkezik a hagyományos, egyenes hajtáshoz viszonyítva;
- az előrenéző (húzó) propellerrel biztonságosabb kialakítás érhető el, hiszen itt a hajócsavar szinte a hajótest alá kerül – a víziszők, wakeboardozók kevésbé vannak kitéve annak, hogy a forgó hajócsavarra essenek;

- a hajtómű nagy része szállításkor vagy sekély vízpartra kifutáskor felemelhető, a hajócsavar teljesen kinn lehet a vízből, könnyen tisztítható;
- ez a mozgatás egyben a hajó trimmeléséhez is használható, mely a menetteljesítményt javíthatja a hajó különböző terhelései esetén;
- a függőleges tengelyű elforgatás révén a tolóerő hatásvonala változtatható – a hajtás nem igényel kormánylapátot, hiszen a rendszer aktív kormányrendszerként funkcionál;
- nincs tengelyvezeték, a motor kipufogó- és hűtővíz csöve a hajtóműhöz kapcsolódik;
- a teljesítmény propellerre juttatásában a Z hajtás nem olyan hatékony, mint az előzőekben említett megoldások (a kétszeres iránytörés miatt nagyobb a mechanikai veszteség);
- gyorsabb, és üzemanyag-felhasználás tekintetében hatékonyabb megoldás, mint az egyenes és V hajtás, hiszen ez utóbbiak nagyobb ellenállással és a vízszinteshez képest erősen döntött tolóerő-hatásvonallal rendelkeznek.

1.1.4 Külmotoros hajtás

A külmotoros hajtás talán a legegyszerűbb és legkompaktabb megoldás, hiszen a külmotor a hajtáshoz és a kormányzáshoz szükséges majdnem minden egységet magában foglal (1.1.7. ábra). A külmotorok kialakításáról, megoldásairól, típusairól a Hajógépek c. jegyzetben lehet további információkhoz jutni.



<http://world.honda.com/power/marine/>

1.1.7. ábra: Egy külmotorgyártó cég motorpalettája



<https://www.marigraph.com/design.php?cat=work&lng=en>

1.1.8. ábra: 8 m-es mentőhajó külmotorral felszerelve

A külmotor a hajó tükrére van szerelve (1.1.8 ábra), kisebb motorok szárnyas csavarral, nagyobbak átmenő csavarokkal kerülnek rögzítésre. Kisebb motoroknál minden alegység a motoron van, itt található az üzemanyagtank is, a motor indítása a főtengelyt megrántó kötéllel történik, a kormányzás pedig a le-felhajtható gázkar segítségével valósítható meg. A nagy teljesítményű változatokat elektromotor indítja, a tank és a kormányzás szeparálódott, de a szerkezet kompaktága továbbra is megmaradt.

E megoldás jellegzetességei:

- az egész rendszer tekintetében a legkönnyebb kialakítás, a legegyszerűbben telepíthető;
- a súlypont hátravitelének leghatékonyabb módja, hiszen a hajó tükrén kívülről rögzített motornál hátrébb már semmi nincs elhelyezve;
- általában benzinmotoros kialakításúak, fogyasztásuk nagyobb, mint a dízelmotorral rendelkező hajtásé;
- a kompakt kialakításból a relatív kis méretek és így nagyobb üzemi fordulatszám következik, ez viszont jól illeszkedik a gyors motorosok igényeihez;
- a motor a Z hajtáshoz hasonlóan kibillenthető a merülés csökkentése és a

könnyebb szállíthatóság céljából;

- a motor felhajtásához a hátsó részen ún. motorbölcsőt kell kialakítani, hogy a motor felső része billentett állapotban ne ütközzön semmibe (1.1.9. ábra);
- aktív kormányként is működnek, sőt több külmotor alkalmazása esetén, joystick-kal vezérelt megoldásoknál az egyes motorok külön is irányíthatók, ezzel tovább növelve a manőverképességet (1.1.10 ábra);



saját fotó

1.1.9. ábra: A külmotor és a bölcső



<http://www.floridasportsman.com/2013/05/23/joystick-steering/>

1.1.10. ábra: Külmotoros hajó oldalazása joystick vezérléssel



<http://www.engine-labs.com/news/worlds-most-powerful-outboard-relies-on-supercharged-lsa-v8/>

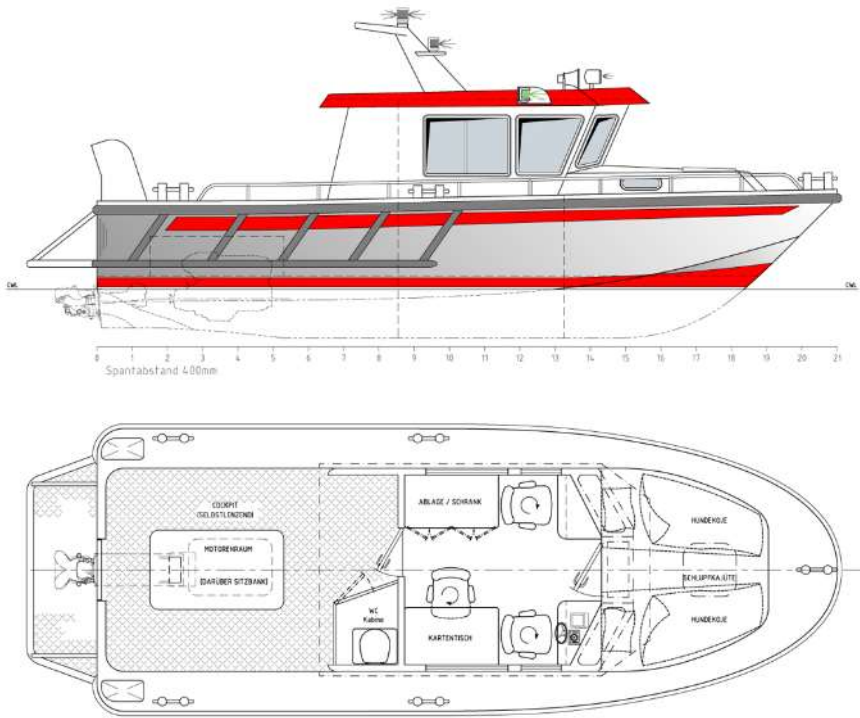
1.1.11. ábra: Ma már nem ritka a több külmotor egymás melletti alkalmazása sem

1.1.5 Vízszugár hajtás

Ennél a hajtásnál (1.1.12. ábra) az energiaátadás nem a hajótesten kívül, egy hajócsavar révén valósul meg, hanem a hajótesten belül elhelyezett csőben levő járókerék segítségével. A csőbe a vizet a járókerék a hajótest aljáról egy rácsozaton keresztül szívja be, ami a járókeréken áthaladva felgyorsul, és a víz-vonal felett elhelyezett fúvókán át távozik. A fúvóka hátsó része függőleges tengely körül forgatható, így a tolóerő – mely itt impulzuserő formájában jelentkezik – hatásvonala itt is szabályozható. A járókerék csak egy irányban forgatható, itt irányváltóműre nincs szükség, de a járókerék és a motor közé egy tolócsapágó mindenképpen szükséges. A hátrameneti tolóerő létrehozása nem a forgásirány megváltoztatásával, hanem egy ún. deflektor (sugárfordító) segítségével történik.

A megoldás jellemzői:

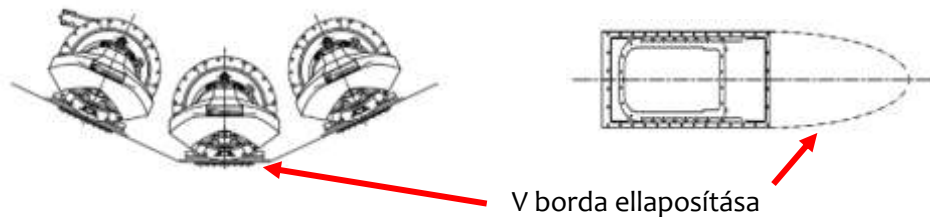
- nincs a hajótesten kívül semmilyen sérülésre hajlamos elem, a hajó lapos partra minden további nélkül kifuthat;
- a hajótesten kívüli mozgó elemek elhagyása révén igen biztonságos hajtásrendszer, ezért kifejezetten kedvelt mentő-, búvár- és vízisportolást biztosító hajók esetén;
- kis merüléssel rendelkezik;
- hordalékos, növényzettel benőtt vízben is megfelelően használható;
- a motor csak a vízszugárhajtóműtől előre tud elhelyezkedni, a súlypont relatíve előrébb van;



<https://www.marigraph.com/design.php?cat=work&lng=en>

1.1.12. ábra: 9,25 m-es mentőhajó vízszugárhajtóműves változatban

- a hajtásrendszer tömege általában nagyobb, mint hasonló teljesítményű hajócsavaros megoldásoké;
- általában azonos teljesítmény esetén nagyobb gyorsulás, de kisebb csúcssebesség érhető el (elsősorban a Z hajtáshoz viszonyítva);
- 20 csomó feletti sebességnél a zaj és rezgéskeltés általában felére csökkenhet vízszugárhajtómű alkalmazása révén;
- kis tervezési sebesség esetén nem érdemes alkalmazni, mert hatásfoka itt rosszabb, mint a klasszikus, hajócsavaros hajtásoké – nagyobb sebességnél azonban a csőbe beszívott folyadék felgyorsítása – a pluszban jelentkező belépési és csősúrlódási veszteségek ellenére – kisebb veszteséggel valósulhat meg, mint amekkora veszteséget a tengely-tengelybak-hajócsavar-kormány együttesen jelent;
- V bordájú hajóknál a közepén elhelyezett vízszugárhajtómű beömlőnyílásának megfelelő elhelyezése végett a hajótestet el kell laposítani (1.1.13. ábra);



forrás: HamiltonJet Designer's Manual

1.1.13. ábra: Több vízszugárhajtómű beépítésénél a középső helyes kialakítása

1.1.6 POD hajtás

A POD hajtás (1.1.14. ábra) a kishajós hajtásrendszerek legfiatalabbika. Annak ellenére, hogy a nagyhajós gyakorlatban már jóval régebben elkezdtek alkalmazni, a POD-ok csak kb. 10 éve jelentek meg a kishajós piacon.

A megoldás hasonlít a korábban említett Z hajtáshoz, hiszen az erőátvitel itt is kétszer 90° -os töréssel valósul meg, nincs szükség hajótesten kívüli tengelyre, sem tengelybakra, azonban a hajtómű nem a hajótest tükrére van szerelve és nemcsak $\pm 35^\circ$ -ban, hanem teljesen körbeforgatható.

A megoldás jellegzetességei:

- a hajó merülése relatíve nagy, ha a hajtóműveket változtatás nélkül helyezik el a fenéken – a merülés csökkentése érdekében szokás a hajótest hátsó részéből „kiharapni” és mintegy alagutat képezni a POD számára, ez a szokásosan V bordákkal rendelkező hajókon komplex formájú hátsó részt eredményez (1.1.15. ábra);
- a víz alatti részek a Z hajtáshoz hasonlóan áramvonalasak, a tengely vízszintes, így a hidrodinamikai ellenállás kisebb az egyenes kihajtáshoz képest;
- a motorok ennél a megoldásnál is elég hátul helyezkedhetnek el, felszabadítva így teret a lakórész számára;
- a hajtóműveket semmi sem védi egy esetleges ütközésnél;
- a hajótestből kiálló hajtóműrész szándékosan úgy van kialakítva, hogy egy esetleges zátonyra futásnál vagy a hajtómű víz alatti tárgygal való ütközésénél a hajtómű törjön le, és ne alakuljon ki a hajó elsüllyedését eredményező lék a hajó fenekén;

- POD hajtás esetén általában a dupla beépítés jellemző, az egyes elemek a külmotoroknál említett joystick-os megoldással külön is kontrollálhatók – így azzal azonos szintű manőverképességet biztosítanak;
- nagyobb beruházási igény.



<http://www.boats.com/boat-buyers-guide/all-about-pod-drives-volvo-penta-ips-mercuriser-cummins-zeus-and-zf-marine/#.Wfzc41vWyCp>

1.1.14. ábra: POD hajtómű



<http://www.boats.com/reviews/sea-ray-l590-test-run-triple-zeus-pods-action/#.WwoOXKSFOCo>

1.1.15. ábra: Jól látszik a POD-ok elhelyezéséhez szükséges hajótest-átalakítás

1.1.7 Vízfelszíni hajtás (Surface drives)

A felszíni hajtás kialakulását a sebesség hajhászása ösztönözte: nagy sebességnél minél kisebb ellenállású, hatékonyabb hajtásrendszer készítése volt a cél. Ennek érdekében olyan megoldást kerestek, amely eliminálja a tengely, tengelybak és kormánylapát együttesét, sőt még a hajócsavart is igyekszik kivenni a vízből. Ennek eredménye egy olyan módszer, melynél a hajtótengely a

hajó tükrén, kb. a siklási vízvonal magasságában lép ki, a hajócsavar pedig speciális, csak félig a vízbe érő változat (ld. még a 1.1.2. fejezetet). Az alapkonceptió és az első sikeresen működő felszíni hajtómű Howard Arneson nevéhez fűződik, ezért kezdetben a vízfelszíni hajtásrendszert egyszerűen csak Arneson-hajtásnak nevezték. Mára már számos más gyártó is készít hasonló hajtásrendszert, de az Arneson Surface Drives szerepe mind a mai napig meghatározó a piacon.

Az egyszerűbb kialakításoknál a tükör mögötti tengelyrész nem mozgatható, a kormányzás klasszikusan, a hajócsavar mögött elhelyezett kormánylapáttal van megoldva (ilyen változatot mutat a 1.1.16. ábra).



<http://www.seafury.com>

1.1.16. ábra: Fixtengelyes felszíni hajtómű

A másik variációban (1.1.17. ábra) a csavartengelyt hidraulikus munkahengerek segítségével vízszintes és függőleges síkban is lehet állítani, ez biztosítja a kormányzást és a hajó részleges menet közbeni trimmelését (trimmlapok használatát ehhez is ajánlják).

A felszíni hajtásrendszer jellemzői:

- fontos megjegyezni, hogy a felszíni hajtóműveket gyártó cégek sokszor azal reklámozzák magukat, hogy a hagyományos, vízbe merülő propelleres hajtásokhoz képest akár 50% ellenállás-csökkenés és ennek megfelelő üzemanyag-felhasználási hatékonyság is elérhető, azonban mindez csak

nagy sebességnél igaz. A vízfelszíni hajtások kis sebességnél egyáltalán nem teljesítenek olyan jól, a sebességhatár kb. 35-40 csomónál van;

- a kardáncsuklós megoldások kiváló manőverképességgel rendelkeznek;
- ez a rendszer is lehetővé teszi a motor hátsó elhelyezését – erre azonban szükség is van, hiszen nagy sebességű hajtásról van szó;
- kis merülés érhető el, hiszen a hajótest alatt csak a fél hajócsavar van;
- a hajócsavar biztosan nem kavítál és mivel nincs közel egyéb elemekhez, mint pl. fartőke, kormánylap, szkeg, így a hagyományos hajtásoknál kevesebb a hajótestnek átadott vibráció is;
- a hajócsavar a nem fix változatoknál szereléshez, tisztításhoz hozzáférhetővé tehető;
- régebbi változataik a speciális hajócsavarok (ld. a 1.1.2. fejezetet) miatt hát-ramenetben gyakorlatilag használhatatlanok voltak, mára ez sokat javult a propellerek fejlesztése révén.



<http://new.arneson-industries.com/drive-identification>

1.1.17. ábra: Tipikus Arneson-hajtómű

1.1.8 Légcsavaros hajtás

Ebben az esetben a hajó hajtását nem a szokásos hajócsavar vagy más vízben elhelyezett eszköz adja, hanem a levegőt felgyorsító légcsavar. Ezt a módszert olyan területen szokás alkalmazni, ahol a vízmélység korlátozott vagy a vízfelszín növényzettel annyira benőtt, hogy a klasszikus hajócsavar, de még a vízszugárhajtás is alkalmazhatatlan lenne. A légcsavar révén elérhető, hogy ne legyen semmi a vízben a hajótesten kívül. A kormányzás a levegősugárba helyezett hagyományos kormánylapokkal történik. Ez a hajtásmód elsősorban az érintetlen természetet bemutató turistahajók és zavaros vizeken használt munkahajók kedvelt megoldása.



airboats.com

1.1.18. ábra: Légcsavaros kishajók

Kellően nagy légcsavarral jó hatásfokot és igen nagy sebességet lehet elérni, de a hajtásrendszer mindig zajos, a levegő áramlásától pedig nehezen lehet megkímélni az utasokat. További jellemző, hogy a súlypont relatíve magas van, ami a hajó stabilitását csökkenti. A motor és a légcsavar együttese – mely általában ráncszózzal burkolt a biztonság érdekében és a hajó hátsó részén kerül elhelyezésre – elég jelentős részt elfoglal a hajó hasznos teréből. Ugyanakkor előnyként említhető, hogy a légcsavar alacsonyfrekvenciás zajt kelt, ami a vadvilágot kevésbé zavarja, ezért szeretik a vadászok is. A hajó és a felszín közötti kellően kis súrlódás esetén a „hajó” nem csak vízben, hanem szárazföldön, havon és jégen is használható (természetesen megfelelő terepviszonyok mellett).

1.1.9 Seprűs hajtás

Ez az érdekes megoldás szintén a zavaros, felszíni növényzettel, hínárral benőtt vagy akár erősen iszapos, sekély vizeken való hajózás mind a mai napig

alkalmazott hajtásmódja. Lényege, hogy a hajócsavar és tengelye egy hosszú, seprűnyél szerű rúd egyik, a motor pedig a másik végén van elhelyezve. Az egész rúd a súlypontban egy kardáncsuklós kialakítással van általában a hajó tükréhez rögzítve, így oldalirányban és függőleges irányban egyaránt mozgatható. E két elfordítási lehetőség biztosítja a kormányzást és a hajócsavar vízből kiemelését (a merülés csökkentésére, a sérülés megelőzésére, vagy az esetlegesen ráakadott moszatok, hínár eltávolítása végett). Az egész rendszerből csak a tengelyt kivezető, hajócsavart tartó rúd vége van a vízben.

A magyar árvízvédelem régen rengeteg ilyen hajtásrendszerrel ellátott, Wartburg motorral hajtott eszközt üzemeltetett, mert ezekkel jól és biztonságosan lehetett az elárasztott területeken is hajózni. Azonban ahogy a Wartburg motorok gyártása megszűnt, a motorok javíthatósága megnehezedett és ma már ezeket a régi eszközöket nem nagyon lehet használni. Az alapvető ok, amiért a magyar változat a Wartburg motorokat használta az, hogy ezek a motorok léghűtésesek voltak, és ehhez a hajtásrendszerhez az ilyen változat a legmegbízhatóbb. Ma is elérhetőek kb. 40 LE teljesítményig léghűtéses motorok, azonban a régi ÁCSM 50 névre hallgató eszközöket (1.1.19. ábra) mindezülig nem re-motorizálták.



<http://forum.index.hu/Article/showArticle?go=65095190&t=9018292>

1.1.19. ábra: Egy régi ÁCSM 50 seprűmotor

Hasonló jellegű új eszközöket mutatnak a 1.1.20-22. ábrák. Ezek között látható olyan változat is, ahol a hosszan hátranyúló tengelyt egy Z hajtással helyettesítik, itt azonban általában nem két kúpfogaskerékpár, hanem szíjhajtás

adja az erőátvitelt a két vízszintes tengely között (1.1.20. ábra). A másik különlegesség pedig a dízelmotoros, turbós, vízűtéses változat (1.1.21. ábra).



<http://www.godevil.com/>

1.1.20. ábra: Modern seprűsmotorok



<https://twotravelingdinks.wordpress.com/2012/08/19/longtail-boats/>

1.1.21. ábra: Seprűs hajtás dízelmotorral

Zárásul egy ezektől kismértékben eltérő változat: a burmai „longboat”-okon alkalmazott megoldás. Itt az általában nem is olyan kis teljesítményű dízelmotor (!) a hosszú, keskeny hajótest hátsó részén, fixen van beépítve, a hajtótengely pedig a felszíni hajtásnál leírtakkal azonosan, a hajó tükrén lép ki egy tönkcsövön keresztül (1.1.22. ábra. piros nyíl). A tengely kilépése után itt is rögtön egy kardáncsukló található, mely lehetővé teszi a tengely ezt követő részének minden irányú mozgását, engedve így a kormányzást és a propeller víz-

ből kiemelését is. A motor itt vízűtéses, a hűtővíz a hajócsavar által megmozgatott vízszugárba fordított csövön keresztül jut be a motorhoz (1.1.22. ábra. sárga nyíl).

Ez a változat lényegében megegyezik a vízfelszíni hajtásnál látottal, csak míg ott a nagy sebesség elérése érdekében igyekeznek minél kisebb ellenállást elérni, itt a zavaros vízben minél kevesebb sérülés elérése a cél.



<http://indigenousboats.blogspot.hu/2012/10/burmese-long-tails.html>

1.1.22. ábra: Burmai „long-tail” hajtásrendszer

1.2 Motoros kishajók propellerei

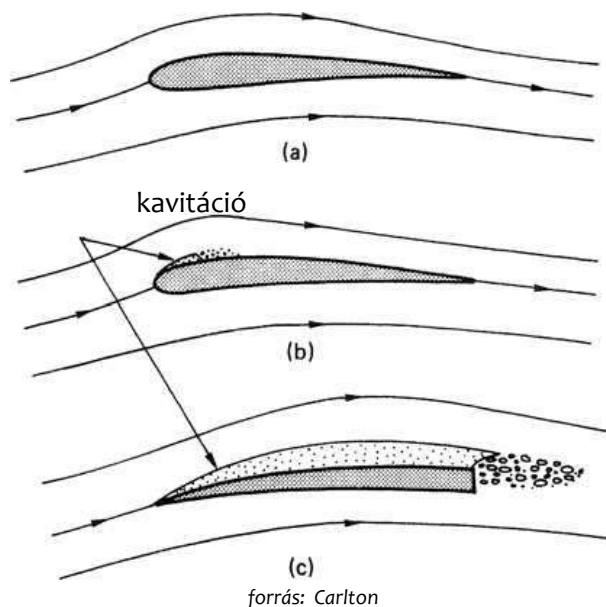
Vízszorításos üzemű motoros kishajók a nagyhajós gyakorlatban elterjedten használt wageningeni B típusú hajócsavarokkal rendelkeznek, hiszen az üzemi körülmények között nincs különbség, ami megfelel a nagyhajóknál, az kiválóan alkalmas a kisebb méretű hajóknál is.

A kis- és nagyhajós propellerek közötti különbség akkor jelentkezik, amikor fél-sikló és sikló üzemállapotokra kell tervezni a hajócsavart. A hajó sebességének növelésével az ellenállás és így a tolóerő-igény is négyzetesen növekszik, miközben a hajó méretei nem engedik meg az ehhez optimálisan szükséges, nagy átmérőjű hajócsavar beépítését. Ez a hajócsavar névleges fordulatszámának növeléséhez vezet, azonban ennek ellenére előfordul, hogy a beépíthető hajócsavar felület még mindig kicsi az előállítandó tolóerő értékéhez képest. Ez óhatatlanul kavitációhoz vezet, mely az erre nem tervezett hajócsavarnál drasztikus tolóerő és nyomatékigény-vesztést és káros rezgéseket ill. kavitációs kopást eredményez. (Itt utalunk vissza a Hajók hajtás c. tantárgy kavitációval kapcsolatos témakörére, melynek ismerete elengedhetetlen a továbbiak megértéséhez.) Mivel az átmérő növelése nem lehetséges, a kavitáció

elkerülésére az egyik megoldás a hajócsavarok számának növelése lehet. Ennek a triviális megoldáson kívüli speciális módja a kontra hajócsavar alkalmazása, mely megfelelő tervezés mellett egyéb előnyökkel is jár (ld. később). Másik megoldás a vízszugárhajtómű alkalmazása, melynél szintén jelentkezhet a kavitáció jelensége, de ez könnyebben elkerülhető, és a rendszert általában ennek megfelelően is tervezik.

A hajócsavaron fellépő kavitáció (és ennek tolóerőre és nyomatékra gyakorolt hatásának) mértékétől függően 3 üzemmódot lehet megkülönböztetni (1.2.1. ábra):

- szub-kavitációs üzem – a kavitáció a hajócsavar felületének kevesebb, mint 10-15%-án keletkezik, észrevehető tolóerő és nyomatékváltozás nincs;
- transz-kavitációs üzem – 15-100% felületen jelentkezik kavitáció, kezdetben kisebb, majd később jelentős tolóerő- és nyomatékcsökkenés lép fel;
- szuperkavitációs üzem – a hajócsavar hátfelülete teljes egészében (100%) egy kavitációs burokban van.



1.2.1. ábra: A csavarszárny háromféle üzemmódja: a) szub-kavitációs, b) transz-kavitációs és c) szuperkavitációs üzem

További lehetőség a nagy sebesség elérésére a hajócsavar „megszellőztetése”, amit a hajócsavar részleges kiemelésével lehet elérni (ld. vízfelszíni hajtás). Az ilyen hajócsavarok a vízfelszíni (surface piercing) hajócsavarok.

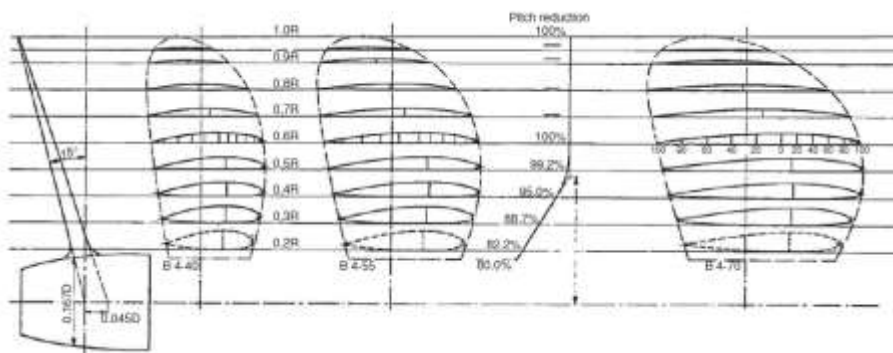
Amennyiben nagy sebességű hajónál mindenképpen hajócsavar alkalmazására van szükség (vagy más okok miatt csak erre van lehetőség), akkor transz- és szuperkavitációs vagy vízfelszíni üzemmódra fejlesztett hajócsavart kell használni.

Az alábbi fejezetekben a különböző hajócsavar-típusok bemutatása következik.

1.2.1 Csavar-sorozatok, szárnymetszet formák

1.2.1.1 Wageningeni B sorozat

A múlt század 30-as éveitől kezdve a holland hajókísérleti intézet komoly fejlesztéseket, kísérleteket folytatott hajócsavarokkal. A kezdeti keskeny sugár mentén végig áramvonalas metszetű szárnyakkal rendelkező csavarokat később kedvezőbb kavitációs jellemzőket biztosító modellek váltották fel, melyek szárnymetszetei az agyhoz közelebb eső sugarakon áramvonalasak, míg a külső kerületen körszelet jellegűek. Ezekből fejlődött ki az ún. B típusú hajócsavar (1.2.2. ábra), melyet a kielégítő hatásfok és a jó kavitációs tulajdonságok miatt világszerte előszeretettel alkalmaznak általános hajóhajtási megoldásoknál. Elsősorban vízkiszorításos üzemű hajók hajócsavarja rendelkezik ilyen metszetekkel.

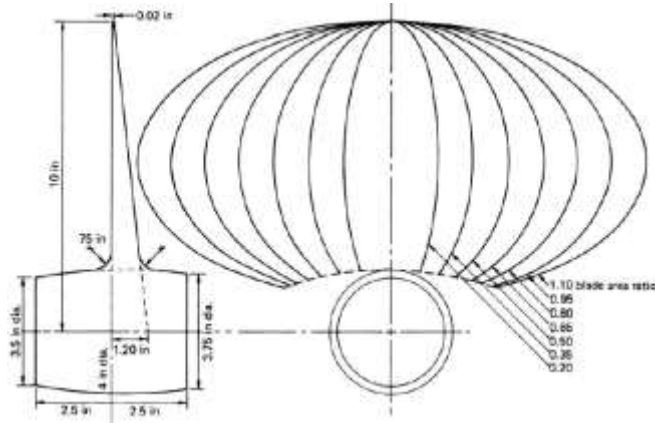


forrás: Carlton

1.2.2. ábra: B4 hajócsavarok általános terve

1.2.1.2 A Gawn és KCA (Gawn-Burrill) sorozatok

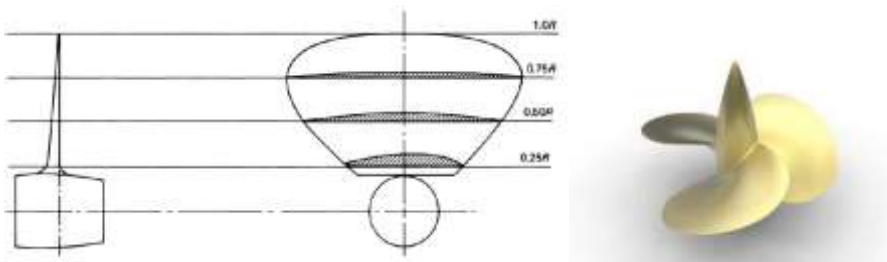
A viszonylag könnyű legyárthatóság (sík felületek) és javíthatóság mellett elfogadható nyíltvízi és kavitációs jellemzők miatt ma is elterjedten alkalmaznak körszelet-metszetű hajócsavarokat (pl. kisebb, nagy sebességű hajóknál, 1.2.3. ábra). A profilok között találunk alapvetően nem kavitációs körülményekre illetve kifejezetten kavitációra tervezett változatokat.



forrás: Carlton

1.2.3. ábra: Gawn-féle körszelet metszetű hajócsavarok méretei

1957-ben Gawn és Burrill további figyelemre méltó modellkísérleteket végeztek, a szintén lényegében körszelet metszetű, ún. KCA típusú hajócsavarokkal, melyek vázlatát az 1.2.4. ábra mutatja. A szárnymetszetek a belépő- és kilépőélnél kissé felhajlanak, eltérnek a körszelet jellegtől. A Gawn sorozattal ellentétben ezeket a csavarokat kavitációs csatornában vizsgálták, különböző kavitációs számoknál. A geometriai hasonlóság, de eltérő jellegű kísérleti eredmények miatt a Gawn és a KCA sorozat bizonyos értelemben kiegészítik egymást.



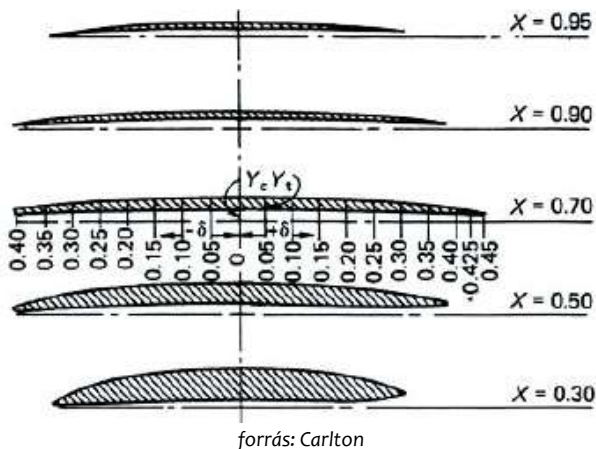
forrás: Carlton

1.2.4. ábra: KCA hajócsavar vázlata és modellje

1.2.1.3 Szuperkavitáló hajócsavar (supercavitating propellers, SCP)

A szuperkavitáló hajócsavar legfőbb jellegzetessége, hogy a csavar szárnyának hátoldala egy nagy kavitációs buborékban van. Ezeknél a hajócsavaroknál a szárnyon gyakorlatilag csak a tolóoldali túlnyomás adja a tolóerőt, így a szárnyakon keletkező tolóerő jóval kisebb, mint a normál, szub-kavitációs üzemre tervezett hajócsavaroknál. Értelemszerűen ezeknél a csavaroknál a kavitációs szám – mint alapvető üzemi jellemző – nagy befolyással van a k_T , k_Q értékeire, így a csavarok jelleggörbéi mindig tartalmaznak ilyen paramétert is. (Megjegyezzük, hogy az ilyen hajócsavarok üzemi jellemzőit már nem hagyományos, hanem kavitációs csatornában mérik ki.) Az ilyen csavarok további jellegzetessége, hogy kavitációs erózió nem lép fel a csavar környezetében, hiszen a kavitáció itt gyakorlatilag nem sok apró, hanem egy nagy buborékot jelent, melynek hossza meghaladja a csavar aktuális húr hosszát.

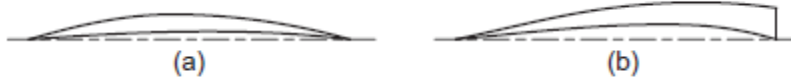
A szuperkavitáló csavarok egyik típusa a 3 szárnyú Newton-Rader-féle hajócsavar, mely kifejezetten a nagysebességű, relatíve kisméretű hajókhoz lett tervezve. A 1.2.5. ábrán felvázolt szárnymetszetekkel rendelkező csavarokat úgy tervezték, hogy az üzem közben számottevő kavitáció lép fel a szárnyakon, de a profil még ekkor is elfogadható mértékű tolóerőt produkál (a modelleket 9 különböző kavitációs számnál vizsgálták).



1.2.5. ábra: Newton-Rader szárnymetszetek

A másik szuperkavitáló csavartípus Tulin nevéhez köthető. A korábban tárgyalt csavarokhoz hasonlóan ennél is teljes mértékben a vízbe merül a csavar, de ennél a típusnál ék alakú profilokat alkalmaznak, ami nagy helyi sebességet

és így nagyon alacsony nyomást eredményez. Ez elősegíti a nagy, egybefüggő kavitációs buborék létrejöttét. A két csavartípus szárnymetszete közötti különbséget az 1.2.6. ábra szemlélteti.



1.2.6. ábra: Newton-Rader (a) és Tulin-féle, ék alakú (b) csavarmetszet

1.2.1.4 Vízfelszíni hajócsavar (surface piercing propellers, SPP)

Ez a típus, mely az 1. 2. 7. ábrán látható, olyan hajócsavart jelent, ahol a csavar csak a tengelyéig merül a vízbe, a másik fele a szabad levegőn van. A vízből félig kiemelt, szintén ék alakú metszetekkel rendelkező hajócsavar szárnyai, amikor áttörik a vízfelszín, levegőt rántanak be a felszín alá. A csavar hátoldala tehát itt is légnemű közeggel van körülvéve, de a vízgőz helyett itt levegő van, a nyomás pedig nem a telítési gőznyomásnak, hanem a légköri nyomásnak felel meg. Ebből látható, hogy a hajócsavar itt nem kavitál, hanem „ventilál”. Ez a tulajdonság kisebb teljesítmény-igényt, nagyobb hatásfokot jelent a szuperkavitáló csavarhoz képest, de ahhoz hasonlóan, ennél a változatnál is lényegesen kisebb a tolóerő-tényező, mint a hagyományos propellereknél. Mindemellett jelentős függőleges és oldalirányú erőkomponens is jelentkezik. A csavar tolóereje és nyomatékigénye – amíg a teljes ventiláció létre nem jön – nagyban függ a kavitációs számtól, ez után azonban a kavitációs szám értéke állandó, o lesz.

További jellegzetessége az ilyen típusú hajócsavarnak, hogy a propulziós hatásfok a sebesség növekedésével egyre nő és nem mutat optimumot (a max. sebességnél maximális). Ezt az magyarázza, hogy a hatásfokra ilyen üzem esetén már nem a kavitációs szám, hanem a Froude szám van hatással, az pedig a sebesség növekedésével együtt növekszik.

A csavarszárnyakat, amint a vízbe érnek, sokk-szerű terhelés éri, mely a teljesen vízbemerülő csavaroknál nem jelentkezik. A csavarok szilárdsági méretezésénél ezt figyelembe kell venni.

További előnye az ilyen propellernek, hogy az elrendezésből következően gyakorlatilag nincs felső határa az átmérőnek, így a nagy sebességhez tartozó nagy tolóerő-igény relatíve „könnyű”, azaz kis terhelésű hajócsavarral oldható meg.



<http://web.tradekorea.com>

1.2.7. ábra: Vízfelszíni hajócsavar

Zárásul egy összefoglaló táblázatot (1. táblázat) közlünk, melyben feltüntetjük az itt tárgyalt csavartípusok jellegzetességeit, megadva az alkalmazáshoz javasolt sebességtartományt is.

1. táblázat: hajócsavarok jellegzetességeinek összefoglalása

Hajósebesség (csomó)	Csavar-típus neve	Szárny-metszet	Hajócsavar jellegzetessége
< 25-30	Wageningeni B	szárny-profil	vízbe merül, nem kavítál
< 40	Gawn és Gawn-Burill (KCA)	köríves	transz-kavitációs üzemre is alkalmas
< 45	Newton-Rader	sarlós	szuperkavitáló csavar, transz-kavitációs üzemre is alkalmas
< 60	Tulin-féle	ék	szuperkavitáló csavar
< 100	Rolla	ék	vízfelszínen üzemelő csavari félig merül vízbe, hátoldal „ventilál”

1.2.2 Speciális hajócsavarok

1.2.2.1 Kontra hajócsavarok (CRP)

Ha egymás mögött két, közös forgástengelyű, de ellenkező forgásirányú hajócsavart helyezünk el, akkor a feldolgozott összeteljesítményt kettéoszthatjuk a két csavar között, ezzel csökkentve a kavitáció veszélyét. Az egy csavaros megoldáshoz képest kisebb a felgyorsított víz forgatására elpazarolt energia is, ezzel javul a rendszer hatásfoka is. Az ellentétes forgásirány további előnye

a propulzor által a hajtott egységre kifejtett forgatónyomaték-reakció kiegyensúlyozottsága. Ez utóbbi fontos szempont torpedók esetében. Kontra csavarokat alkalmaznak egyes nagy sebességű tengeri személyhajóknál, hadihajóknál is, ahol a nagy teljesítményigény miatt hagyományos konstrukcióval elkerülhetetlen lenne a kavitáció. Mivel a hátsó csavar az elülső által már felgyorsított áramlásban működik, ennek emelkedése nagyobb. Átmérője viszont rendszerint 5-15%-kal kisebb az elülső csavarénál, máskülönben az első csavar szárnyvégein leváló forgatagokban, örvényekben kialakuló kavitációs buborékok rongálnák a felületét. A szárnyak száma is különböző szokott lenni, elől 4 hátul 5 szárnyat szoktak nagyhajókon alkalmazni. Ezzel szemben kishajóknál – különösen is a POD és Z-hajtások esetén, ahol általában használják a kontra-csavarokat – szinte kizárólag azonos szárnyszámmal (3) készítenek hajtóműveket.

Fontos azt is megjegyezni, hogy a korábban felsorolt előnyök mellett az ilyen hajócsavar hátrányokkal is rendelkezik. A koaxiálisan elhelyezett két tengely csapágyazása lényegesen komplikáltabb, drágább és több karbantartást igényel, emellett nagyobb mechanikai veszteséget is jelent (mely csökkenti a hidrodinamikai oldalon jelentkező hatásfok növekedést).

Kishajókon alapvetően az adott átmérő mellett kavitációmentesen kivihető nagyobb teljesítmény miatt alkalmazzák előszeretettel.

Kontra-csavaros Z-hajtóművet mutat a korábbi 1.1.5 ábra.

1.2.2.2 Állítható szárnyú csavarok - CPP

Meg kell említeni, hogy kedvtelési célú kishajóknál az állítható szárnyú hajócsavarok alkalmazása ma még nem terjedt el olyan hajóknál sem, melyeknél a felhasználás jellege ezt esetleg igényelné (pl. egyes hibrid kishajók). Ennek oka az, hogy kis átmérővel az ilyen hajócsavarok hatásfoka a nagyobb gyártómű miatt rosszabb, valamint, hogy a gyártók (jelenleg) nem kínálnak 50 cm-nél kisebb méretben ilyen csavarokat (ez pedig sok kishajónál még nagynak számít). További indoka lehet a CPP-k hiányának az, hogy a rendszer egy csőben futó vezérlőtengelyt igényel, melynek kialakítása az egyébként is drágább csavar mellett tovább növeli az ilyen rendszer beruházási költségét.

1.3 A motorosok hajtásrendszerének méretezési lehetőségei

A hajtásrendszer méretezése alatt a kishajó ellenállásának meghatározását és az adott ellenállás leküzdését biztosító propulziós rendszer egyes elemei –

úgy mint hajtó motor, tengelyrendszer, propeller – legfőbb jellemzőinek a meghatározását értjük. Ez a megközelítésmód teljesen azonos a nagyhajós gyakorlattal, azonban a részletekbe menve számos különbség mutatkozik.

A problémakör alapvetően két egymástól jól elkülöníthető részre osztható: egyik a kishajó ellenállásának meghatározása, másik pedig a kiválasztott propulziós rendszerre vonatkozó propulziós hatásfok számítása/felvétele, a főgép-teljesítmény és hajócsavar vagy vízszugárhajtómű méretezés. Ebben a témakörököt külön tárgyalva, ezekbe nyújtunk részletesebb betekintést.

1.3.1 Kishajókra alkalmazható ellenállás-számítási módszerek

A nagyhajós gyakorlatban megismert közelítő számítási módszerek – mint pl. a Guldhammer-Harvald vagy Holtrop és Mennen módszere – a kishajókra sem a jellemző méretviszonyok, sem a jellemző sebességtartomány miatt nem használhatóak. A motoros kishajók nagy többsége a fél-sikló vagy sikló üzemiállapotra tervezett, amely teljesen más sajátosságokkal bír a nagyhajós gyakorlatban megszokott vízkiszorításos üzemhez képest. Mindemellett igaz az is, hogy még a nagyhajókhoz hasonló, vízkiszorításos üzemben működő kishajók bordaformái, arányai is – eltérő funkciójukból következően – jelentősen különböznek a kereskedelmi hajókétól. Mindezek a jellegzetességek szükségessé tették kifejezetten kishajókhoz használható számítási módszerek kidolgozását.

E jegyzet terjedelme és célja sem teszi lehetővé, hogy minden egyes számítási módszert itt részletesen bemutassunk. A cél sokkal inkább az, hogy az alkalmazható módszerek alapjaival, azok alkalmazási területeivel és az alkalmazhatóság feltételeivel ismertessük meg a hallgatókat. A módszerekhez tartozó számítási eljárások egyrészt a szakirodalomból megismerhetők, másrészt a modern hajótervezést támogató szoftverek nagy többsége a legáltalánosabb módszereket rendre tartalmazza is, így alkalmazásuk lehetséges, a módszerek leprogramozására nincsen szükség.

A számítási módszerek vagy mérésekkel igazolt elméleteken vagy modellkísérleti intézetek által végzett szisztematikus kísérlet-sorozatokon alapulnak. Ebből egyértelműen következik, hogy a módszerek pontosságára rendkívüli hatással van a mérések során alkalmazott, ún. *parent modell* alakja, annak méretviszonyai valamint a mérések során alkalmazott sebességtartomány. A mérések alapján meghatározott empirikus összefüggések sok esetben lehetőse-

get adnak az eltérő méretviszonyokkal rendelkező, más sebességtartományban működő hajók ellenállás-számítására, vagyis extrapolációra is, ez azonban drasztikusan csökkentheti a számítások pontosságát, megbízhatóságát. A módszerek kiválasztása és alkalmazása tehát mindig a tervező felelőssége. Nem megfelelő módszer választása (pl. a tervezett hajó alakja nagyban különbözik a modellkísérletekhez használt alaktól) az eredményeket félreviszi. Azt is fontos hangsúlyozni, hogy a következőkben részletezett módszerek, eljárások leírása nem teljes körű, minden esetben javasolt az eredeti – az irodalomjegyzékben megtalálható – szakirodalom tanulmányozása.

A következő alfejezetekben a legelterjedtebb módszereket röviden bemutatva, azok legfőbb korlátozó jellemzőit foglaljuk össze, megmutatva a mintahajók alakját is. E felsorolással az elsődleges cél az alkalmazható módszerek megemlítése, rövid bemutatása annak érdekében, hogy a hallgatók megfelelő irányban tájékozódhassanak tovább.

1.3.1.1 VízkiSORÍTÁSOS ÜZEMŰ HAJÓKNÁL HASZNÁLHATÓ MÓDSZEREK

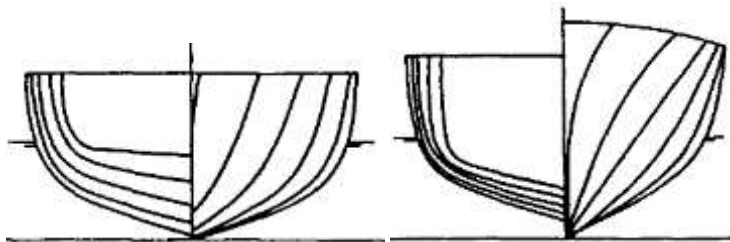
Oortmerssen módszere elsősorban kisebb méretű, vízkiSORÍTÁSOS hajók (haláshajók, vontatók, révkalauzok) ellenállás-számításához alkalmazható, modellkísérleteken alapuló matematikai módszer. A felhasznált modellkísérleti adatok 9-80 m közötti hosszúságú hajókhoz tartoztak, de a hajók nagy többsége inkább a 15-75m tartományba esett.

A British Columbia névvel illetett módszer az előzőhöz hasonló, de kisebb L/B viszonyal rendelkező, azaz tömzsibb hajókhoz lehet használni

1.3.1.2 FÉL-SIKLÓ HAJÓKNÁL HASZNÁLHATÓ MÓDSZEREK

A Holland Hajókísérleti Intézetben (MARIN) 31 lekerekített formájú nagysebességű hajót vizsgált De Groot 1955-ben. Eredményeit a korábbi (itt nem részletezett) Nordstrom adatokkal kiegészítve tette közzé. Ma is jól használható adatokat tartalmaz, melyhez elsősorban a hasonló alakú modern modellkísérletek eredményeit szokták hasonlítani.

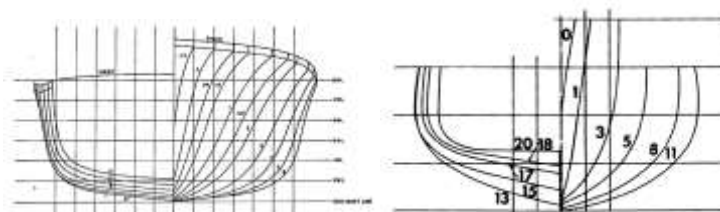
A korábbi brit National Physical Laboratory (NPL)-ben végzett, Marwood és Bailey által publikált, nagyon hasznos és ezért igen elterjedt kísérletek eredményei is lekerekített bordájú, nagysebességű hajókra vonatkoznak.



forrás: Edward Lewis

1.3.1. ábra: Balra a Nordstrom, jobbra az NPL sorozat mintahajójának bordametszete

Elsősorban katonai célú hajók ellenállásának meghatározására végeztek kísérleteket Amerikában a David Taylor Model Basin kutatóintézetben, először még csak kisebb sebességekkel (63-as sorozat, 1963-ból), majd az egyre növekvő elvárt sebességek miatt nagyobb Froude-számok mellett is (64-es sorozat, 1965-ből). Az eredményeket itt is a szokásosnak mondható módon, vagyis a relatív, egységnyi tömegre számított maradék-ellenállást a karcsúsági tényező függvényében a térfogati Froude-számmal mint paraméterrel tették közzé.

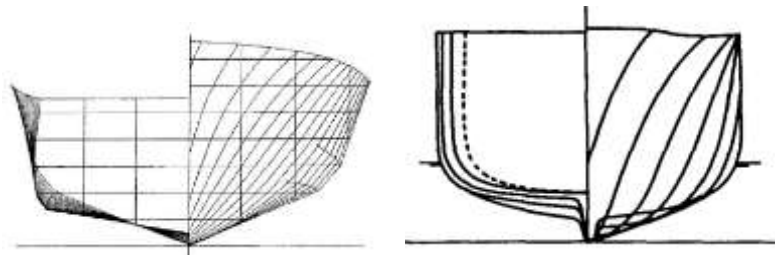


forrás: Edward Lewis

1.3.2. ábra: A 63 (balra) és 64-es sorozatok (jobbra) mintahajójának jellegzetes bordametszetei

A Lindgren és mások által 1968-ban közzétett, Svéd Állami Hajókísérleti Intézetben (SSPA) nagysebességű, lekerekített formájú modelleken végzett szisztematikus kísérletek eredményei is elsősorban a fél-sikló üzemállapotra adnak jó közelítést.

Az NTUA sorozat jellegzetessége, hogy a fél-sikló üzemállapotra nem lekerékített, hanem kétszeres törésvonallal rendelkező bordaformát alkalmaztak. A sorozatot az Athéni Nemzeti Műszaki Egyetemen (NTUA) vizsgálták 1999 és 2001 között és Radojic készítette az eredmények alapján regressziós analízist. A módszer jól alkalmazható gyors kompok ellenállás-számítására.



forrás: Grigoropoulos és Edward Lewis

1.3.3. ábra: Az NTUA-ban és az SSPA-ban vizsgált sorozatok mintahajóinak jellegzetes bordametszetei

1973-ban Mercier és Savitsky korábbi szisztematikus modellkísérletek (Nordstrom, DeGroot, Series 62, 63 és 64, SSPA és NPL) ellenállás adatait vették regressziós analízis alá. Az így kidolgozott statisztikai alapú módszer fél-sikló üzemállapotú hajók ellenállásának közelítését adja meg (ezért egyes helyeken Savitsky pre-planing néven hivatkoznak rá). Ki kell emelni, hogy a fent említett sorozatok, egy kivételével (Series 62) mind lekerekített bordametszetű vízkiszorítósos vagy fél-sikló hajókat tartalmaztak. Így a módszer – mely a vízkiszorítás tömegének egységére vetített teljes ellenállást adja meg a különböző változó paraméterek függvényében – elsősorban az ilyen formájú hajók ellenállásának közelítő meghatározásához célszerű.

1.3.1.3 Sikló hajókra alkalmazható módszerek

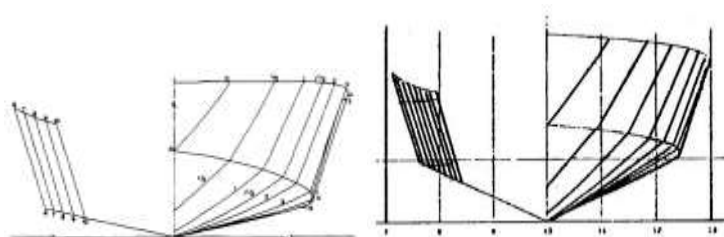
Savitsky módszere az előzőektől két alapvető dologban különbözik: elsősorban kifejezetten sikló – azaz sarkos bordákkal rendelkező – hajók ellenállásának meghatározására szolgál, de nem hajómodelleken, hanem prizmatikus, ék alakú fenékkal rendelkező hasábokon, felhajtóerő és ellenálláserő mérését célzó modellkísérleteken, és az ezekből kialakított matematikai eljárás alapján. Nagyon fontos kiemelni, hogy a „hajómodellek” az alakjukból következően állandó fenékfelhajlási szöggel és állandó sarokél-szélességgel rendelkeznek, vagyis csak kevés tényleges hajóhoz hasonlítanak igazán. A módszert csak az effektív sarokél-szélesség és effektív fenékfelhajlási szög segítségével lehet igazán alkalmazni, de ezek meghatározására nincs egyértelmű javaslat. Savitsky módszere meghatározza az adott sebességnél létrejövő erők egyensúlyát, figyelembe véve a fenékrészen keletkező hidrodinamikai felhajtóerőt, a nedvesített felület változását és a kialakuló üzemi trimmhelyzetet is. A szerző kétféle formában közölte a módszerét, egy általános (long form) és egy egyszerűsített (short form) formában, ez utóbbi feltevése, hogy az összes hajóra

ható erő a tömegközépponton megy keresztül (ez által a megoldás menete egyszerűsödik).

Blount és Fox e fenti módszert módosította annak figyelembevételével, hogy a hajók sarokélének szélessége és a fenékfelhajlási szög nem biztos, hogy állandó. Az általuk bevezetett korrekciós tényező egyben a fél-sikló állapothoz tartozó, ún. hump-speed tartományban jobban közelíti a mérésekkel meghatározható maradékellenállás értékeket, mint Savitsky eredeti módszere. Ezen túlmenően Blount és Fox a hajótest toldalékainak az ellenállását is figyelembe vették.

A Series 62 és 65 a korábban említett 63-as és 64-es amerikai szisztematikus modellkísérletek kiegészítése sarkos bordaformájú mintahajókkal. A 62-es sorozat mintahajóját a korábbi tapasztalatok alapján úgy készítették, hogy az minél jobb kormányozhatósági jellemzőkkel és hullámos körülmények között is kis teljesítményigénnyel bírjon. A tesztek igazolták e törekvést: minden korábbinál kedvezőbb ellenállásadatok adódtak a hajóformára. A sorozatban alkalmazott minden modell azonos, 12.5° -os fenékfelhajlással rendelkezett. A hajó alakja ma már kicsit régimódi, a sarokél legnagyobb szélessége a főborda előtt van, az orr kifejezetten tompa és a tükör lényegesen kisebb a főbordánál (a hajó hátrafelé erőteljesen össze van húzva).

A 65-ös sorozat mintahajója olyan formával rendelkezett, melyet kifejezetten hordszárnyas siklóhajókra fejlesztettek ki.



forrás: Blount and Fox és Keuning

1.3.4. ábra: A 62-es (balra) és az ez alapján végzett delfti sorozat (jobbra) jellegzetes bordametszetei

A Delfti Műszaki Egyetem kollégái (Keuning, Gerritsma, Terwisga) alapvetően a 62-es sorozat ellenállás-eredményeit egészítették ki szisztematikus kísérleteket folytatva 25° és 30° -os fenékfelhajlású modellekkel. A korábbi 1963-ból származó sorozat relatíve alacsony fenékfelhajlási szöggel bíró modelljei kiválóak voltak az ellenállás szempontjából, azonban idővel egyre nagyobb igény mutatkozott tengerállóbb formák iránt, melyet alapvetően a fenék V szö-

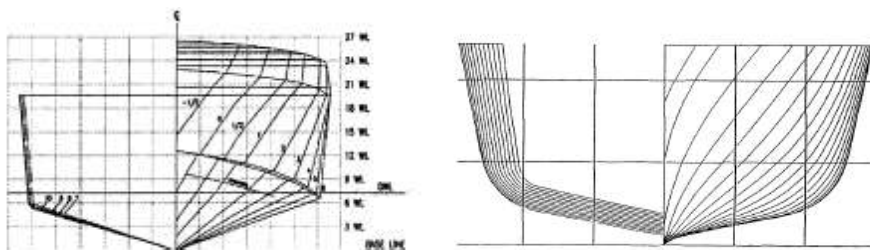
gének növelésével lehetett elérni. Ez indokolta a szisztematikus kísérletek kibővítését, először 25° (1982-ben), majd 30°-os fenékfelhajlású modellekre (1993-ban). Az így kapott eredmények jól mutatják a célszerű kompromisszumot a tengerállóság és a kis ellenállás között.

A modellkísérletek eredményeiként az ellenállást polinomos függvényeként adták meg.

Kiegészítésként vizsgáltak nem állandó fenékfelhajlású modelleket is, melyek segítségével lehetővé vált az állandó fenékfelhajlású modellek alapján nyert polinomos összefüggések korrekciója is. (Itt jegyezzük meg, hogy a Belgrádi Műszaki Egyetem professzora, Dejan Radojic 1985-ben elkészítette a 62 és 65 B sorozatok, valamint az akkoriban elérhető, 25°-os fenékfelhajlású delfti sorozat eredményeire támaszkodó regressziós elemzését, de ezt a delftiek az újabb 30°-os mérésekkel gyakorlatilag túlhaladták.)

A Southamptoni Egyetem Wolfson Unit-nál 1968 óta több mint 600, nagyjából 10-70 m hosszú hajók modelljein végzett kísérletek eredményeit Robinson tette közzé 1999-ben. Alapvetően nagyobb sebességű lekerekített és sarkos hajók effektív teljesítmény-igényére vonatkozóan közöltek eredményeket egy regressziós analízissel polinomos formában megadott C_{FAC} tényező segítségével, külön a sarkos és lekerekített hajókra.

Relatíve friss publikálású (2005), az Amerikai Parti Őrség számára készített sorozat, melyben Metcalf és kollégái különböző vízkiszorítású és LCG/L aránnyal rendelkező, kétféle fenékfelhajlású modellek ellenállását vizsgálták. A modell alapja egy 47 lábás partközeli vizeken nagyon jól bevált tengerálló, de egyben kis ellenállású SAR (search and rescue) hajó volt, melyhez kifejezetten hasonlított sok mai, sorozatban épülő motorcsónak is – nyilván nem véletlenül.



forrás: Metcalf és Lahtiharju

1.3.5. ábra: A USCG és a NOVA modellsorozat parent modell-jének bordametszetei

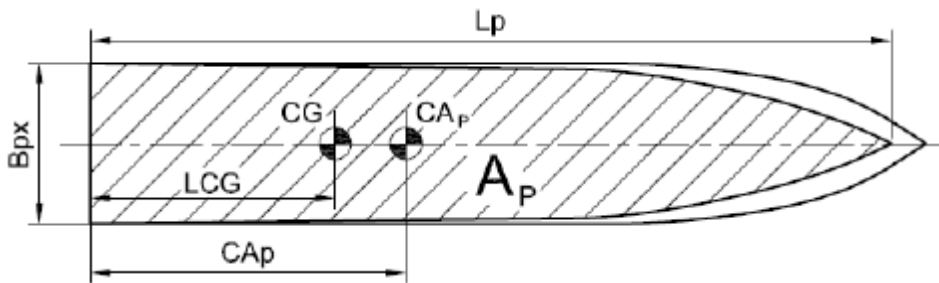
A finn Espoo-beli VTT Ship Laboratory munkatársai (Lahtiharju és mások) a 90-es évek legelején adták közre szisztematikus modellkísérleteiken és korábbi fél-empirikus módszereken alapuló ellenállás-számítási algoritmusukat, mely

kifejlesztésénél különösen nagy szerepe volt a kisebb merülésű, de ezzel együtt kicsit nagyobb hasábos teltségű, és így vízszagárhajtásra kifejezetten alkalmas saját modellek (NOVA) vizsgálatának. A kutatók külön adtak számítási módszert a sarkos és lekerekített formájú hajókra.

A fent említett ellenállás-számítási módszerek alkalmazási korlátait a 2. táblázat tartalmazza, ez – és a közölt bordametszet rajzok – segítenek eligazodni a módszerek használhatóságát illetően.

A 2. táblázatban alkalmazott jelölések szöveges és rajzos magyarázata alább, az 1.3.6. ábrán látható. Az egyes Froude-számok értelmezéséhez a következő képletek nyújtanak segítséget.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} \quad Fr_{vol} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot V^{\frac{1}{3}}}} = Fr \cdot \sqrt{\left(\frac{L}{V^{\frac{1}{3}}}\right)} \quad Fr_{B_x} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot B_x}}$$



1.3.6. ábra: Magyarázat a 3. táblázat jelöléseire

2. táblázat – 1. rész: Az egyes ellenállásszámítási módszerek jellemző adatai

	FrVol	Fr	FrB _x	L/Vol ⁽³⁾	A _{rel} /Vol ⁽²⁾	L/B	B/T	λ	CA _{rel} /L _p
Oortmerssen		0-0.5				3-6.5	1.9-4		
Britsih Columbia		0-0.5				2-4.5	1.5-3.5		
NPL	0.6-3.2	0.3-1.2		4.5-8.3		3-33-7.5	1.72-10.21		
Series 63		-0.88				2.5-6			
Series 64		0.06-1.5		8.04-12.4		9.762-14.913	2-4		
NTUA		0.55-0.9		6.2-8.5		4-7	3.2-6.2		
Miercler-Savitsky	1-2			2-12		2-14			
Savitsky (planing)			0.6-13	3-07-12.4				<4	
Blount and Fox	1-		0.6-13	3-07-12.4				<4	
Series 62	1-6				5.5-8.5	2-7 *			47.5-48.8
Delft	0.75-3				4-8.5	2-7 *			47.9-48.6
WUMTIA (lekerekített)	0.5-2.75	0.25-1.2		4-5-7		2.9-5.5 (6-5)			
WUMTIA (sarkos)				4-8.7		2.3-5.8			
USCG	0.5-6				6.61-9.13	3-27-4-47	4-39-5-08		
Lahtiharju (lekerekített)	1.5-3-8			4-47-8.3		3-33-8.21	1.72-10.21		
Lahtiharju (sarkos)	1.5-5			4-49-6.81		2.73-5-43	3-75-7-54		

*. sarokél hosszal és szélességgel számolva

2. táblázat – 2. rész: Az egyes ellenállásszámítási módszerek jellemző adatai

	LCB	LCG	C _p	C _s	C _u	l _e	β	bordaforma	A ₁ /A ₀
Oortmerssen	4-4-1.6		0.5-0.73		0.72-0.97	(10)18-30(46)		lekerekített	
British Columbia				0.531-0.614				lekerekített	
NPL	6.4		0.693	0.397				lekerekített	
Series 63								lekerekített	
Series 64	6		0.63	0.35-0.55				lekerekített	
NTUA				0.34-0.54			10, 20 ^{***}	dupla sarokélel	
Mercier-Savitsky						10-55		lekerekített	0-1
Savitsky (planing)							0-35	sarkos	
Blount and Fox		<46*						sarkos	
Series 62		0, 4, 8, 12 **					12.5	sarkos	
Delft		0, 4, 8, 12 **					12.5, 25, 30	sarkos	
WUMTIA (lekerekített)								lekerekített	
WUMTIA (sarkos)								sarkos	
USCG	12	38, 42*	0.7	0.43		19.5, 21	16.6, 20	sarkos	
Lahtiharju (lekerekített)								lekerekített	0.16-0.82
Lahtiharju (sarkos)								sarkos	0.43-0.995

*. tükörről előre

**.. CA_p-től hátra L_p %-ában

***. csavart, hátul 10, főbordán 20°

3. táblázat: Jelmagyarázat a 2. táblázathoz

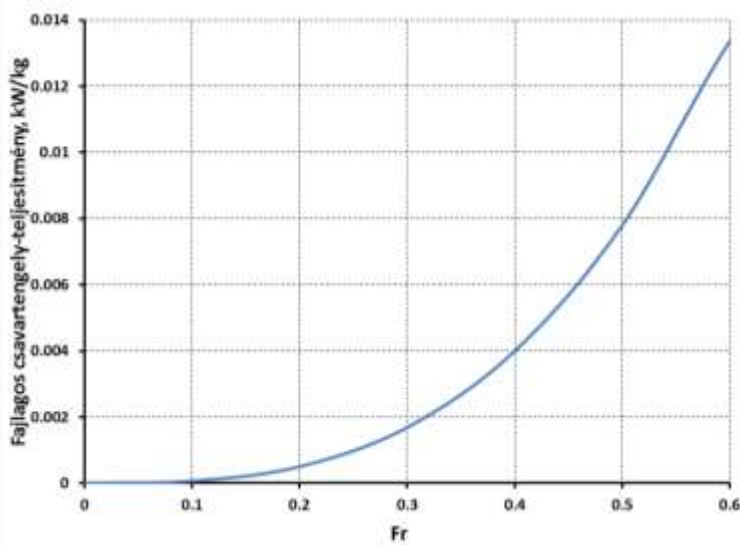
Jel	Megnevezés
FrVol	térfogattal számolt Froude-szám
Fr	hosszal számolt Froude-szám
FrB _x	sarokél max. szélességével számolt Froude-szám
L/Vol ^{1/3}	karcsúsági tényező
A _p	a sarokélek és a tükör által határolt terület
A _p /Vol ^{2/3}	fenékkerhelési tényező
L/B	hossz-szélesség arány
B/T	szélesség-merülés arány
λ	nedvesített gerinchossz/sarokél-szélesség
LCB	vízkişorítás súlypontjának hosszirányú koordinátája az L _{pp} %-ában a fõborda mögött
L _p	sarokél vetített hossza
LCG	tömegközéppont hosszirányú koordinátája L _p %-ában
CA _p /L _p	az A _p terület súlypontja a hossz %-ában a tükörtõl elõre
C _p	hengeres teltség
C _B	hasábos teltség
C _M	fõborda teltség
i _e	Fél-vízvonalbelépési szög
β	fenékfelhajlási szög
A _T /A _x	a tükör vízbe merült felületének a maximális bordaterület-hez viszonyított aránya

1.3.1.4 Egy használható ökölszabály

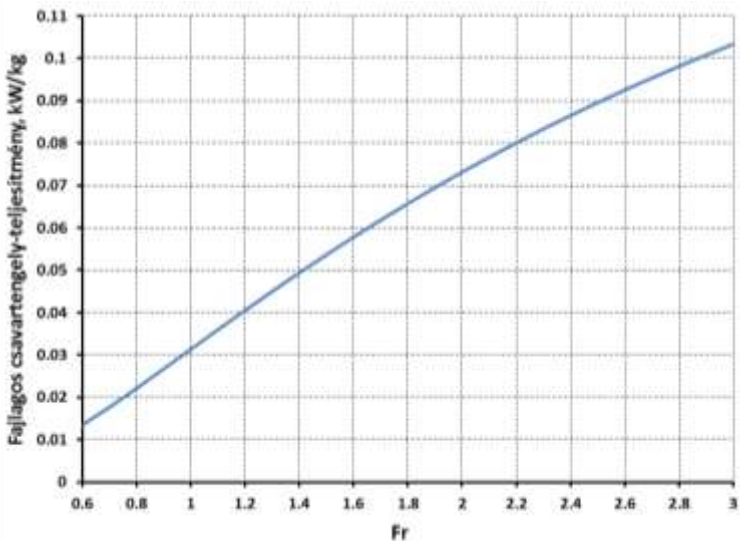
Az elõzõ fejezetekben részletezett módszerek kellõ körültekintés mellett nagyon jó eredményekkel megadják egy, a módszer korlátain belüli adatokkal rendelkezõ, hasonló formájú kishajó ellenállását.

Mindezek mellett azonban – különösen a tervezés kezdeti stádiumában – jó szolgálatot tehet egy egyszerű, de megbízható képlet a sebesség-teljesítményigény összefüggésére. Motoros kishajók esetére ilyen az ún. Wyman formula (1.3.7. ábra). Az eredeti kifejezés a sebesség-hossz tényezõ függvényében adja meg adott tömegû hajó hajtásához szükséges propellertengely-teljesítményt, mind vízkişorításos, mind sikló hajók esetén. A formula átírható a nálunk szokásos Froude-szám segítségével, további átrendezés eredménye-

képpen pedig megkaphatjuk a tömegegységre vetített propellertengely-teljesítményt. A mechanikai hatásokra 0,94-0,96 közötti értéket felvéve a szükséges motorteljesítmény is könnyen és gyorsan számolható.



$$\frac{P_{csavarteng.}}{Disp} = \frac{1,6435 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{0,1844}{Fr} + 0,19\right)^3} \quad \left(\frac{kW}{kg}\right) \quad \text{ha } Fr > 0,6$$



$$\frac{P_{csavarteng.}}{Disp} = 1,6435 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{Fr}{0,2976}\right)^3 \quad \left(\frac{kW}{kg}\right) \quad \text{ha } Fr \leq 0,6$$

1.3.7. ábra: A Wyman-formulával számítható fajlagos teljesítményigény

Fontos megjegyezni, hogy a formula feltételezi, hogy a hajónak a Froude számnak megfelelő alakja van, a hosszirányú súlypont elhelyezése, a választott hengeres teltség igazodik a tervezett sebességhez és a propeller, a hajtómű, a tengely, a tengelybak és kormány mind megfelelően méretezett. Mindezek ellenére Dave Gerr javasol bizonyos korrekciós tényezőket (ld. a 4. táblázatot), melyek figyelembe vételével tovább lehet pontosítani a számítást (egy hajónál több jellegzetesség is előfordulhat, a korrekciók előjelhelyesen összeadandók). A módszer a sekélyvíz-hatást nem veszi figyelembe.

4. táblázat: Korrekciók Wyman formulájához

	Javasolt korrekció
Lekerekített medersorú siklóhajó spricc-léc nélkül	6% sebességcsökkenés ($Fr = 0,86$ felett)
Lekerekített medersorú siklóhajó spricc-léccel	4% sebességcsökkenés ($Fr = 0,86$ felett)
Mély-V siklóhajó (fenékfelhajlási szög középtől hátrafelé nagyobb, mint 19°)	3% sebességcsökkenés
Kis fenékfelhajlási szögű siklóhajó (szög középtől hátrafelé kisebb, mint 8°)	4% sebességnövelés
Külmotor és Z-hajtás alkalmazása esetén	5% sebességnövelés

1.3.1.5 A sekélyvíz hatásának figyelembevétele

A sekélyvíz hajó körüli hullámképet és a hajó ellenállást megváltoztató kedvezőtlen hatásáról a Hajók hajtása c. tantárgy már szólt. Ott azonban kizárólag a szokásos alakú és szokásos sebesség-tartományban működő (tehát motoros kishajókhoz képest általában lassúnak tekinthető) hajókkal kapcsolatban és éppen ezért egyedül a vízmélység figyelembevétele mellett került a téma tárgyalásra. Fontos azonban megjegyezni, hogy nem alapvetően a vízmélység, hanem a sebesség és a vízmélység együttesen okozza a fent említett kedvezőtlen hatást. Éppen ezért a korábbiakhoz hasonlóan érdemes bevezetni a mélységi Froude-számot (mely hasonlóan célszerű dimenziótlan szám, mint a korábban említett szélességi vagy térfogati Froude-szám), mely a következő formában írható:

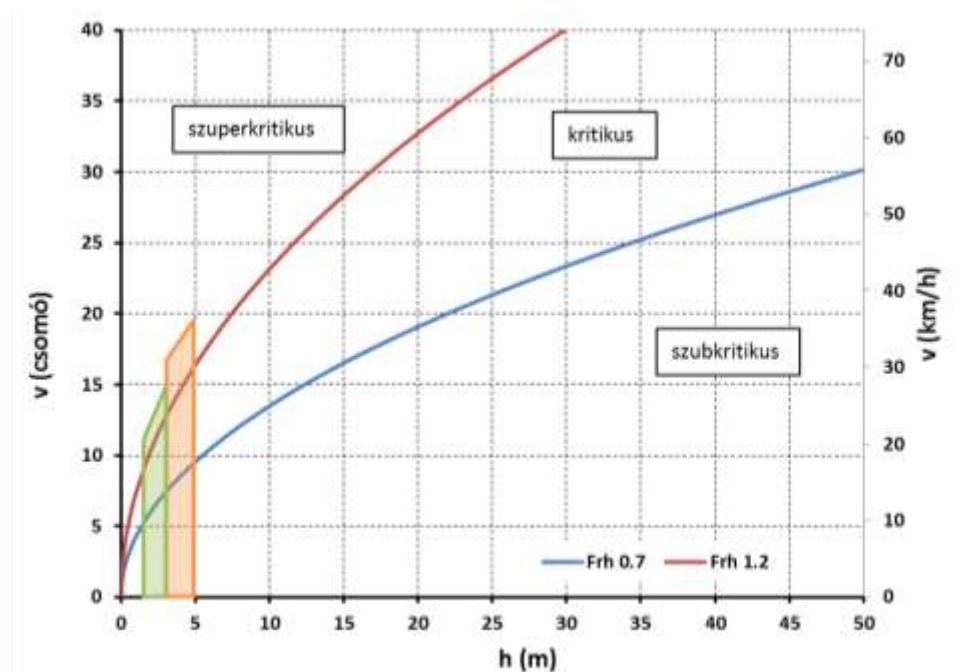
$$Fr_h = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

ahol h a vízmélység (m), v pedig a hajó sebessége (m/s).

A szakirodalom a sekélyvíz-hatás figyelembevételére 3 tartományt különböztet meg, ezek a következők:

- szubkritikus, vagy kritikus alatti tartomány: $Fr_h < 0,6-0,7$, itt a vízmélység hatása gyakorlatilag elhanyagolható;
- kritikus tartomány: $0,7 < Fr_h < 1,2$, a hajó sebessége (azonos motorteljesítmény mellett) drasztikusan visszaesik;
- szuperkritikus, vagy kritikus feletti tartomány: $1,2 < Fr_h$, ahol a hajó sebessége akár a mélyvízi sebességnél kicsit nagyobb is lehet.

Ahogy az 1.3.8. ábrából kiderül, hazai, igen csak kis mélységgel rendelkező vizeink esetén már relatíve kis sebességeknél is jelentkezik a sekélyvíz-hatás. A Balatonon és a Dunán (melyek átlagos vízmélységét a zöld ill. a narancssárga terület jelöli) az 5-17 csomós sebességek akár már a kritikus tartományba eshet, így nyilvánvalóan sok kedvtelési célú motoros is szembesül a járulékos többletellenállás problémájával. 25-35 csomós sebességeknél, mely számos tengeri motoros jellemző tervezési sebessége, az általában mélynek gondolt vízmélység (30-50 m) mellett is jelentkezik az ellenállást és hullámkeltést növelő hatás.

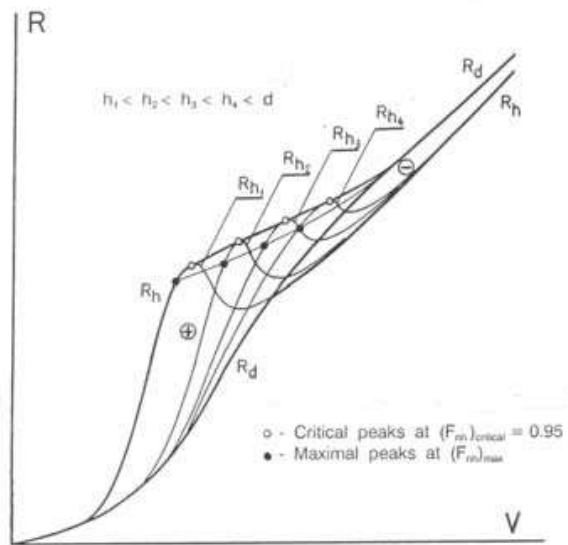


1.3.8. ábra: A vízmélység és hajósebesség összefüggése

A sekélyvíz ellenállást növelő hatásának számszerűsítésére szokásosan vagy a sebességcsökkenés vagy a hullámképző, esetleg maradékellenállás-nö-

vekedés kiszámítását szokták alkalmazni. Előző módszert alapvetően a vízki-szorításos hajókra ajánlják alkalmazni. Schlichting kísérleti eredményeit felhasználva, a főbordaterület-vízmélység arány és a mélységi Froude-szám közötti összefüggésekre Lackenby adott a Schlichting-féle diagramoknál könnyebben használható, képleteket alkalmazó (és így könnyen leprogramozható) számítási eljárást, melynek használatát az International Towing Tank Conference (ITTC) is javasolja.

A fél-sikló, sikló üzemállapotú hajóra nagyon kevés publikált modellkísérleti adat létezik. Egy ilyen 1963-ban megjelent 15 modellen végzett részletes kísérletsorozat eredményét felhasználva Radojic és Bowles közölt egy közelítő módszert a sekély vízben jelentkező többlet maradékellenállás meghatározására. Ennek során a mélységi Froude-szám és a vízvonalhosszhoz viszonyított vízmélység függvényében meghatározható a maradékellenállás többlete a szubkritikus zónában kb. $Fr_h = 0,8-0,9$ értékig, továbbá a maximális növekmény értéke és mélységi Froude-száma.



forrás: Radojic

1.3.9. ábra: Radojic és Bowles módszerével számítható sekélyvízhatás szemléltetése

Ennek segítségével a végtelen mély vízre számított ellenállás értékek különböző sekély vízre is átszámíthatóak és megrajzolható a sekélyvíz-hatás miatti többletellenállás „púpja” is a diagramban (1.3.9. ábra). A relatíve egyszerű és ezért a mindennapi tervezési gyakorlatban könnyen használható, leprogra-

mozható módszer alapcélkitűzése, hogy az ellenállás-csúcsra közöljön használható adatot, hiszen a hajó hajtásrendszerének ezt kell tudni leküzdeni sekély vízben. Éppen ezért a szuperkritikus tartományban jelentkező sebességnyerességgel, annak kisebb jelentősége miatt nem foglalkozik.

1.3.2 A hajtásrendszer elemeinek méretezése

Az előző fejezetekben láthattuk, hogy milyen módszerekkel határozható meg a kishajó ellenállása. Az ellenállás ismeretében a hajtásrendszer tolóerő-igénye kalkulálható a propulziós hatásfok és annak összetevői ismeretében. Ezek alapján az egyszerű hajócsavar már méretezhető, amiből pedig a szükséges főgép teljesítmény számítható. Mindez teljesen követi a nagyhajós gyakorlatot.

A kishajós specialitások a propulziós hatásfok jellemző értékeiben, illetve az egyes propellerek nyíltvízi jellemzőinek meghatározásában rejlenek.

A propulziós hatásfok – mint az a Hajók hajtása c. tárgyból ismeretes – a következőképpen írható:

$$\eta_P = \eta_H \cdot \eta_o \cdot \eta_F = \frac{(1 - t)}{(1 - w)} \cdot \eta_o \cdot \eta_F$$

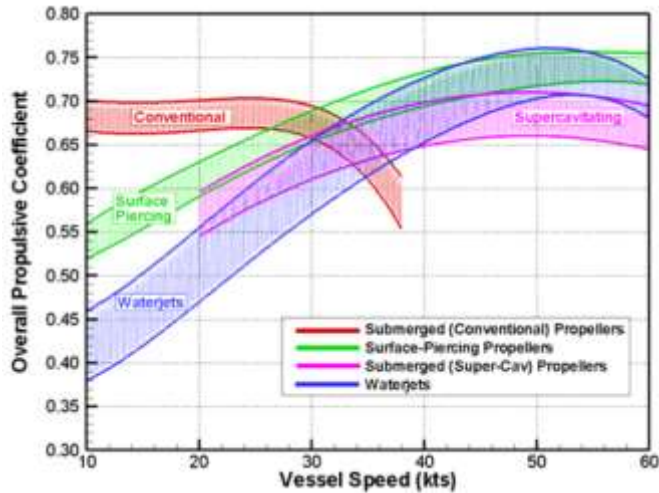
ahol η_H a testhatásfok, η_o a propeller nyíltvízi hatásfoka, η_F a forgási tényező, t a szívási, w pedig a sodortényező.

A kishajókra alkalmazható jellemző értékeket az 5. táblázatban közöljük. A nyíltvízi hatásfokhoz a propellerek nyíltvízi jelleggörbéit lehet használni (ld. az 1.2.1. fejezetet).

Összefoglalásként egy több szakirodalom adatait összedolgozó ábrát (1.3.10.) közlünk, mely hozzávetőlegesen megmutatja, hogy az egyes hajtás-módok/propellertípusok segítségével milyen propulziós hatásfokot lehet elérni. A diagramból látható, hogy pl. egy 45 csomóra tervezett kishajó esetén a hagyományos propeller minden valószínűség szerint már kavitál, de az ugyanilyen sebességre tervezett vízszugár-hajtómű járókereknél ez a veszély még nem áll fenn. Ebből az is látható, hogy néhány speciális célú kishajó különleges követelményeitől eltekintve, a vízszugárhajtásnak elsősorban akkor van létjogosultsága, amikor a hagyományos, transz- és szuperkavitáló hajócsavarok már nem tudnak megfelelően teljesíteni. A diagramból az is leszűrhető, hogy e területen azonban a vízszugárhajtómű és a SPP-k bizonyos fokig egymás konkurenciái.

5. táblázat: A propulziós hatásfokot meghatározó egyes tényezők adatai különböző hajtásrendszereknél

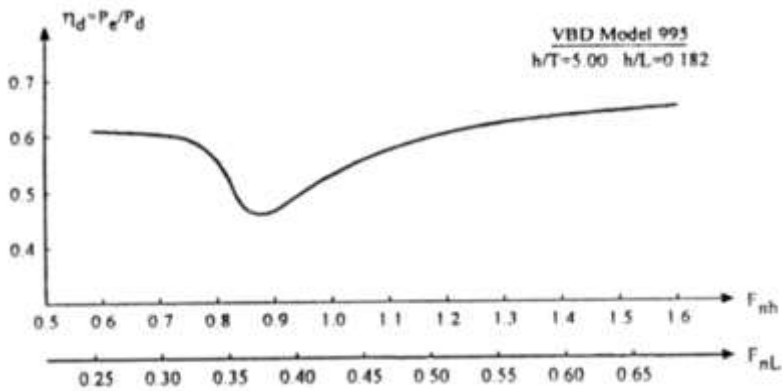
Propulzió jellege	Sebesség tartomány											
	vízkiszorítás				fél-sikló				sikló			
	w	t	η_F	η_f	w	t	η_F	η_f	w	t	η_F	η_f
egyeses kihajtás	0.01(-0.02)	0.01	0.97-1.01	0.97-1.01	0-0.04	0.01-0.02	0.97-1.01	0.97-1.01	0.0(-0.1)	0.03	0.97-1.01	0.97-1.01
	0.02(-0.02)	0.05	0.97-1.01	0.97-1.01	0.04(-0.05)	0.05-0.07	0.97-1.01	0.97-1.01	0.03(-0.05)	0.07-0.11	0.97-1.01	0.97-1.01
Alagutas propeller	-0.03	0.1	0.92	0.92	0.02(-0.03)	0.07-0.1	0.93-0.9	0.93-0.9	0.03	0.03-0.07	0.88-0.9	0.88-0.9
	-0.03	0.12	0.92	0.92	0-0.05	0.1-0.12	0.93-0.9	0.93-0.9	0.04-0.05	0.08-0.1	0.88-0.9	0.88-0.9
Külmotor v. Z hajtás	0.03	0	0.97-1.01	0.97-1.01	0.03	0	0.97-1.01	0.97-1.01	0.03	0	0.97-1.01	0.97-1.01
	0	0	0.97-1.01	0.97-1.01	0	0	0.97-0.98	0.97-0.98	0	0	0.97-1.01	0.97-1.01
Szabad beömlésű vízsugárhajtómű	0-0.02	0.05-0.08	0.99	0.99	0.02-0.04	0.05	0.99	0.99	0.05	-0.02(-0.07)	0.99	0.99
	0	0-0.05	1	1	0	0-0.05	1	1	0	0-0.05	1	1
Húzó hajócsavar	0.05-0.07	0.05-0.07	0.97-1.01	0.97-1.01	0.05-0.07	0.05-0.07	0.97-1.01	0.97-1.01	0.05-0.07	0.05	0.97-1.01	0.97-1.01
Toló hajócsavar (hajótest alatt)	0.05-0.07	0.05-0.07	0.97-1.01	0.97-1.01	0.05-0.07	0.05-0.07	0.97-1.01	0.97-1.01	0.05-0.07	0.05	0.97-1.01	0.97-1.01



<https://www.boatdesign.net/threads/hull-speed-power-calc.17118/>

1.3.10. ábra: Különböző hajtások propulziós hatásfokának összehasonlítása

A sekélyvíz ellenállást növelő hatása már említésre került. Ennek folyamatosan a propellerterhelés is növekszik, ami az ideális hatásfok csökkenését vonja maga után. Emellett az ellenállás növekedése a szívási és sodortényezők romlását is eredményezi, mely a propulziós hatásfokot tovább rontja. A hatás jellegét a 1.3.11. ábra szemlélteti. Érdeemes megjegyezni, hogy a jelenség már kicsit kisebb mélységi Froude-számnál érzékelteti hatását, az ellenállásban megjelenő kedvezőtlen hatás kezdetéhez viszonyítva. Sajnálatos módon a sekélyvíz propulziós hatásfokra gyakorolt hatásával kapcsolatos kutatási eredmények ma még nehezen elérhetőek.



forrás: Radojic

1.3.11. ábra: A sekélyvíz hatása a propulziós hatásfokra (egy folyami tűzoltóhajón végzett modellkísérletek alapján)

A hajócsavaros hajtás teljesítményigényének meghatározásához ismerni kell a hajócsavar nyíltvízi jelleggörbéit, melyekkel a szükséges tolóerőre egy többnyire optimális csavargeometria tervezhető. A kishajós gyakorlatban a versenyhajóknál, komolyabb, nagyméretű luxusjachtoknál vagy speciális hajóknál követik csak az egyedi csavartervezés és -gyártás folyamatát. Ezekhez az esetek nagy többségében Gawn-Burill, vagy szuperkavitáló Newton-Rader, esetleg vízfelszíni (pl. Rolla) csavartípusokat alkalmaznak. Az említett csavarsorozatokhoz a szakirodalomban megtalálható – sokszor a wageningeni csavarokhoz hasonló, polinomos formában megadott – nyíltvízi jellemzőket lehet használni. Ma már egyes célirányosan készített, hajótervezést támogató szoftverek is tudnak a wageningeni B sorozattól eltérő csavar-típusokat kezelni, ezek használatával a tervezés lényegesen könnyebb lehet.

Az esetek nagy többségében azonban – annak nagyon költséges volta miatt – nem egyedi hajócsavarok készülnek előre elkészített tervek alapján, hanem nagy sorozatban előállított, általános célú csavarok közül választhat a tervező az átmérő, emelkedésarány, nyújtott felületarány, szárnyak száma alapján, de konkrét nyíltvízi jellemzők ismerete nélkül. A kiválasztást a gyártói segédanyagok segítik, de így is sokszor előfordul, hogy pl. egy sorozatgyártású motorcsónakhoz a prototípuson tesztelik le, hogy az adott motorteljesítményhez és hajtásrendszerhez melyik az ideális paraméterekkel rendelkező hajócsavar. Kisebb, egyedi tervezésű hajóknál is gyakori az ilyenfajta kísérletezés szükségessége. (Vannak olyan hajócsavar gyártók, akik olyan csavarokat gyártanak, amelyeknek a szárnyai relatíve egyszerűen leszerelhetők és másikra cserélhetők, ezáltal egy más jellemzőkkel bíró hajócsavar kipróbálására is van lehetőség. Ha megtalálták a legjobbat, készülhet egy klasszikus merevszárnyas hajócsavar, de akár megtartható a szerelhető szárnyú csavar is.)

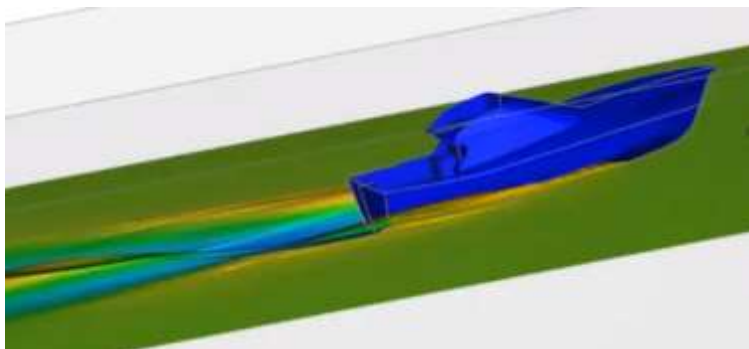
1.3.3 CFD alkalmazásának lehetőségei

A nagyhajós gyakorlatban mára teljesen elterjedt a CFD (Computational Fluid Dynamics – Numerikus Áramlás Modellezés) használata, a modellkísérleti intézeteknek külön CFD osztálya van azoknak a feladatoknak az elvégzésére, melyek költséghatékonyabban végezhetőek el CFD-vel a modellkísérletek helyett. Eközben természetesen a sokszor saját maguk által fejlesztett kódok igazolására és továbbfejlesztésére is lehetőségük van a rendelkezésre álló mérési eredmények révén.

Mindezen technológia használatát elsősorban az teszi lehetővé, hogy ezek költsége egy nagyhajó tervezésénél általában megengedhető – különösen, ha számszerűsíthető, hogy a technológia igénybevétele révén az üzemeltetési

költségekben milyen mértékű csökkenés realizálható a hajó élettartama során. A kis- és kedvtelési célú hajók esetére ez a megállapítás nem érvényes. Esetleg a versenyhajóknál a győzelem motiválhatja ilyen költséges elemzések igénybevételét, melyet egy kellően nagyvonalú támogató biztosíthat. Magáncélú és kedvtelési kishajóknál csak a nagyon gazdag megrendelők tudják/akarják kifizetni a CFD vagy modellkísérletek költségeit.

A CFD költségességét alapvetően három összetevő adja, a hardver, a szoftver és a szakértői munka költsége. Amellett, hogy a szoftver(bérlet) és a számítógép(ek) sem olcsók, fontos látni egy teljes körű CFD szimuláció időigényét is: egy hajótest-változat áramlástanai elemzésének lefuttatása 32 magon kb. 10 órát vesz igénybe. Ha csak 10 különféle hajótestet akarunk összehasonlítani 3 üzemi terhelés figyelembevételével, akkor is 30 futtatást kell végrehajtani kb. 300 CPU óra alatt. Ez 12-13 teljes napot tesz ki, és akkor még nem beszéltünk az előkészítésről és a kiértékelő munka idejéről. A hozzátartozó mérnök-órabérrel ezt felszorozva tetemes összeg jön ki, melyet a kedvtelési cél érdekében kevesek fizetnek meg. A futtatási időigény csökkenthető a számítástechnikai háttér fejlesztésével (több magon, több licensszel futtatni), de ez nem jár együtt a költségek csökkenésével.



<https://orca3d.com/modules/orca3d-marine-cfd-simulation/>

1.3.12. ábra: CFD használata a kishajókhöz – akár önjárási kísérletekhez is

Az egyszerű hajótervezőnek sokszor van/lehet az az érzése, hogy egy általános célú szoftver az ő tudásához képest túl sokat tud, emiatt alkalmazása az egyszerű mérnöknek szinte lehetetlen, mindenképp CFD szakértőnek kéne lenni ahhoz, hogy elfogadható eredmények születhessenek. Éppen ezért az általános célú CFD szoftverek mellett érdemes megemlíteni egy újabb lehetőséget is. Ma már létezik olyan, részben korlátozott, de célorientált tudású CFD megoldás, melynek fejlesztésénél maradéktalanul figyelembe vették, hogy a hajótervező nem CFD szakember, de tudja, mire van szüksége. A szoftver alkalmas vízkiszorításos és síkló, egy és többtestű, toldalékokkal rendelkező és

anélküli hajók ellenállásának és önjárasi jellemzőinek meghatározására, a dinamikai instabilitás ellenőrzésére, a hajó gyorsulásának elemzésére, az áramvonalak és nyomáseloszlás megjelenítésére, mind a vízben, mind a levegőben. Mindezt úgy, hogy a felhasználónak nem kell a környezeti jellemzőket részletesen beállítania, nem kell a modellt hálózni, ezeket a program automatikusan megcsinálja.

Ezzel elérhetővé válik az egyszerű hajótervező számára is a CFD technológiában rejlő tudás.

2 VITORLÁS HAJÓK HAJTÁSA

A vitorlás hajók hajtását mindig két különálló rendszer biztosítja, eltérő teljesítménnyel és hatásokkal. Ennek oka, hogy az elsődleges hajtásrendszer – mely a vitorlán alapul – energiaforrása, vagyis a szél, nem mindig biztosított, mennyiségének változtatása nincs a kezünkben. Annak érdekében, hogy szél hiányában is mozgásképes legyen az úszómű, mindig van egy másodlagos hajtásrendszer is a hajón, mely a legegyszerűbb esetben egy evező, egyébként pedig általában egy dízelmotor vagy elektromotor és hajtómű-propeller egy-ség.

A vitorlás hajtás esetén a korábban tárgyalt 3 fő összetevő (energiaforrás, hajtóerőt adó szerkezet, erőátviteli eszköz) a következő: energiaforrás a szél, mely a vitorlák körül áramolva azokon erőt hoz létre, így a vitorla a propeller, a keletkező tolóerőt pedig a vitorlákat tartó rudazat és kötélzet – mint erőátviteli felszerelés – közvetíti a hajótestre.

Vitorlás hajók motoros segédhajtása esetén az előző részben tárgyaltaknak megfelelően az üzemanyagban van az energia, melyet egy motor mozgási energiává alakít, a tolóerő jellemzően hajócsavar segítségével jön létre és az erőátvitelt egy hajtásrendszer/hajtómű biztosítja.

A következőkben e két rendszer elemeit és működését mutatjuk be.

2.1 Vitorla- és vitorlázat típusok

A következőkben először egy tágabb kitekintést adunk, majd a mai kedvtelési célú hajókon általánosan elterjedt vitorlákat kicsit részletesebben is bemutatjuk.

2.1.1 Vitorlatípusok

A hajtásrendszer alapeleme a vitorla, melyen a hajtáshoz szükséges nagyságú és irányú erő keletkezik.

A történelem során időben és térben is különböző, számos változatát láthattuk, melyek funkciója mindig ugyanaz volt – a szélben rejlő energiát hajó hajtásra hasznosítani –, a megoldás, kialakítás módja, az alkalmazott anyagok azonban a kor lehetőségeihez, a technikai tudás és gyártástechnológia adott szintjéhez igazodott.

A vitorlákat többféle szempont szerint lehet csoportosítani. A hajóhoz viszonyított helyzetük szerint megkülönböztethetünk hosszanti és haránti vitorlákat, utóbbi kategóriába a keresztvitorlák, előbbibe pedig a többi tartozik.

Alakjuk szerint három-, ill. négyszögletű vitorlák vannak, íveltebb vagy egyenes oldalakkal. Attól függően, hogy a vitorlák milyen módon rögzítettek, milyen elemhez csatlakoznak, léteznek merevítő kötélhez kapcsolódó orrvitorlák vagy árbocok között kifeszített tarcsvitorlák, ill. árbochoz vagy egyéb rúdhoz rögzített vitorlák. Anyaguk szerint is különböző vitorlákkal találkozhatunk, kezdve a távol-keleti gyékény vitorláktól a vászon vitorlákon át a mai műanyagszál alapú „vászon” és laminált félmerev és merev vitorlákgig.

A fontosabb, különböző területeken ma is megtalálható vitorlatípusokat az alábbiakban részletezzük.

2.1.1.1 Kereszt vitorla

Ahogy a neve is mutatja, ez a vitorla – a többivel ellentétben – harántirányban helyezkedik el. Már az ősi egyiptomi kultúrában és a vikingeknél is megtaláljuk, de használata egészen a 20. század elejéig eltartott. A vitorla egy felső vitorlarúddal rendelkezik, mely a hajó hossz tengelyére merőlegesen áll és ahhoz képest korlátozott mértékben elfordítható. Éppen ez adja előnyét és hátrányát is, kifejezetten jó hátszeles, háromnegyed-szeles menetre, de cirkálásra gyakorlatilag alkalmatlan. Tulajdonságait a modern technikával igyekeztek kiküszöbölni.



<https://smallboatsmonthly.com/article/square-rig-for-small-boats/> és <https://y.co/yacht/maltese-falcon>

2.1.1. ábra: Keresztvitorlával szerelt kishajó (balra) és kedvtelési célú nagyhajó (jobbra)

A keresztvitorlázatú hajók, kedvező irányú és erősségű szél mellett a leggyorsabbnak számítottak, ma azonban, amikor a kedvtelési célú hajózásban is nagy jelentősége van a cirkálóképességnek, már nincs akkora jelentősége, mint a kereskedelmi hajózásban volt. A keresztvitorlák egy különleges modern példája látható a Maltese Falcon nevű hajón, amelynél a régi keresztvitorlák előnytelen tulajdonságait a modern technikával igyekeztek kiküszöbölni.

2.1.1.2 Lug vitorla

A lug vitorla olyan hosszanti vitorla, mely a keresztvitorlából fejlődött ki, annak érdekében, hogy a szél irányát jobban meg lehessen közelíteni (vagyis a cirkálóképesség javítására). A keresztvitorlához hasonlóan négyszögletű vitorláról van szó, azonban azzal ellentétben itt a felső és az alsó él is kapott egy vitorlarudat. További fontos jellemző, hogy a vitorla egy része az árboc mellett van, így a vitorlának van egy kedvező és kedvezőtlen állása (amikor a szél a vitorlát nekinyomja az árbocnak és így annak alakja torzul, aerodinamikája romlik). Ezt kiküszöbölendő, létezik olyan változata, melynél a vitorla részleges leeresztése után az áthozható a szél alatti oldalra. A felső vitorlarúd nem középben rögzül az árbochoz, kisebb rész van elől. A modern változatoknál az alsó vitorlarúd sokszor elmarad. Egyfajta átmenetet képez a kereszt és a latin vitorla között.



<http://www.duckworksmagazine.com/13/howto/lugsail/index.htm>

2.1.2. ábra: Klasszikus lug vitorla

2.1.1.3 Latin vitorla

A latin vitorla háromszögletű hosszanti vitorla, csak felső vitorlarúdjá van, mely szinte a hajó orráig elér. Alapvetően jobb cirkálóképességet ad a hajónak, mint a keresztvitorla, ezért a tulajdonságáért már a régiek is kedvelték. Egyszerűen kezelhető, hiszen egy felhúzó- és egy állítókötele van, így még ma is megtalálható néhány kedvtelési célú kishajó-típuson. Ezekon a változatokon az alsó él is kapott egy vitorlarudat, mellyel már sokkal inkább a rákolló vitorlához hasonlít (ld. később). Itt azonban ez az alsó rúd vízszintes.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Sunfish_\(sailboat\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sunfish_(sailboat))

2.1.3. ábra: Sunfish típusú kishajó latin vitorlával

2.1.1.4 Huari (Gunter) vitorla

E négyszögletű vitorla jellegzetessége, hogy két szembelevő oldala vitorlarúdhhoz rögzített, ezek közül a felső rúd árboc felőli végén egy hurok található, mely a vitorlarúd felhúzásával elcsúszik az árbocon. A felső vitorlarúd jellemzően teljesen az árboc vonaláig felhúzható, így mintegy folytatásként, az árboc meghosszabbításaként funkcionál. Ilyen állásban a vitorla szint háromszögletűnek látszik.



<http://www.wikiwand.com/en/Gunter>

2.1.4. ábra: Huari vagy gunter vitorla

E vitorlatípus előnye, hogy az árboc és annak merevítői relatíve rövidek, így a leszereléskor az egész könnyen a hajóba fektethető, mely a szállítást igen megkönnyíti. Éppen ezért elsősorban kisebb uszonyos hajók (jollék, dingik) kedvelt vitorlája.

2.1.1.5 Gaff vitorla

A gaff vitorla mindkét előző vitorlatípussal mutat hasonlóságot. Négyzetletű vitorla, melynek van alsó és felső vitorlarúdja is, a felső rúd és így maga a vitorla is egy felhúzó kötéllel állítható be. Különbség azonban, hogy a felső – gaff – rúd nem közelíti meg az árboc vonalát, hanem a függőlegeshez képest határozottan kisebb szögben áll és a vitorla nem nyúlik az árboc elé, így fordulásakor nem kell a vitorlát egyik oldalról a másikra áttenni annak érdekében, hogy az alakja aerodinamikailag kedvező legyen (tehát a vitorla mindkét szélirány mellett ugyanúgy viselkedik).

A gaff vitorla előnye, hogy a bermuda vitorlához képest nagyobb és alacsonyabb súlypontú, így mind stabilitás mind sebesség oldalon (legalábbis hátulról fújó szél esetén) kedvezőbb tud lenni versenytársánál. Némi hátrány, hogy a vitorla nagy hosszanti méretei miatt hátulról fújó szélhez igazított beállítás esetén a vitorla súlypontja nagyon külpontossá válik, mely igen nagy szélbe fordító nyomatékot eredményezhet. Ezt általában kellően hosszú orrsudárral és azon elhelyezett orrvitorlával igyekeznek kompenzálni.



<http://www.sailnet.com/forums/learning-sail/46980-gaff-rigg-throat-halyard-question.html>

2.1.5. ábra: Gaffos vitorlájú kishajó

2.1.1.6 Dzsunka vitorla (kínai lug)

Ahogy a név is sejteti, ez a vitorla alapvetően a kínai dzsunkák tipikus vitorlája és egyben a lug vitorla helyi változata is. Négyszögletű, de több elemből álló, az egyes gyékényből készült elemek között bambuszlécek által merevített vitorla kifejezetten oldal és hátszélben volt kedvező, cirkálásban nem teljesített olyan jól. Az esetek nagy többségében merevítetlen árbocra húzták, ez a vitorla hátszélbe forгатását is lehetővé tette, ugyanakkor a tömege nagyobb, mint egy merevített árbocé. A vitorla felülete könnyen csökkenthető volt, de ehhez nagyobb számú futókötel kellett, mely az aerodinamikai ellenállást növelte. A korabeli bambusz merevítők pont a kívánalomnak ellentétesen dolgoznak: gyenge szélben nem hajlanak így a vitorla túlságosan lapos, kis erő ébred rajta, erős szélben pedig hajlanak, a vitorlát ívelté teszik, ami nagyobb erőt generál, a hajó jobban dől. A merevítők a vitorla tömegét is növelik.

A dzsunka vitorla mai változataira – a technológiai fejlődés, új anyagok elterjedésére – sem nagyon lehet mást mondani, mint a régre, mindezek miatt ma már ritkán alkalmazott vitorlatípus.



<http://www.pbo.co.uk/seamanship/bermudan-rig-vs-junk-rig-17481>

2.1.6. ábra: Dzsunka vitorla összehasonlítása egy hagyományos bermuda vitorlájú hajóval

2.1.1.7 Rákolló vitorla (crab claw)

A rákolló vitorla másik neve – a hasonlóság okán – az óceániai latin vitorla. Két vitorlarúddal rendelkező háromszögletű vitorla, a rudak a két hosszabb, alsó és felső, nagyjából egyenlő hosszúságú oldalt merevítik.



<http://www.clcboats.com/life-of-boats-blog/clc-outrigger-junior-first-sail.html>

2.1.7. ábra: Hajók rákolló vitorlával

A régi változatban a vitorlarudak sokszor íveltek, a vitorla hátsó élének vonalával együtt, mindez erősen emlékeztet a rák ollójára, innen az elnevezés. A modern típus egyenesebb rudazattal és kevésbé konvex vitorla-kilépő éllel rendelkezik, így adott rúdhossz mellett nagyobb a vitorla felülete. A rudak a végek felé elvékonyítottak, így az erős szél azokat elhajlítja, ezáltal a vitorla a szélökéseket mintegy elengedi.

A vitorla-típus további jellegzetessége a felfelé szélesedő alak, amely a nagyobb magasságokban levő nagyobb szélesség kiaknázását szolgálja. Másrészről ez a hajóra ható billentő-nyomatékot növeli, éppen ezért ez a vitorla elsősorban a vendéghajóval rendelkező proa-k kedvelt vitorlája a Távols-Keleten. Ma is elsősorban többtestű hajókon alkalmazzák.

2.1.1.8 Pányvás vitorla

Alapesetben szintén négyszögletű vitorla, melynek első éle az árbochoz csatlakozik és hátsó-felső sarkát egy pányva támasztja ki, így megadva a vitorla teljes kifeszítését. Egyes változatoknál van alsó vitorlarúd, más esetekben ez is elmarad és csak a pányva merevít. A pányva általában az árboc jobb oldalán helyezkedik el és a rögzítés módjától függően bizonyos mértékű oldalirányú mozgást is enged a vitorla csúcsának, így a vitorlával lehet háromnegyed-szelezni és elvileg hátszelezni is. Modern pányvás vitorla esetén szokás merevítetlen forgó árbocot alkalmazni, melynek révén a vitorla tetszőleges szögben állítható be. A pányva minden kialakítás mellett az egyik irányú szél esetén rontja a vitorla profilját és így annak hatékonyságát.



<http://forum.woodenboat.com/showthread.php?102726-Looking-for-real-Sprit-Sail-Experience>

2.1.8. ábra: Pányvás vitorla

2.1.1.9 Bermuda vitorla

A vitorlát a 17. században állítólag egy holland születésű bermudai (innen a név) fejlesztette ki a náluk elterjedt latin vitorlából azzal, hogy elhagyta annak árbocát, a felső vitorlarúd alsó pontját a fedélzeten rögzítette és ezt egy előre és két oldalra merevítő kötéllal megfogta. Az innentől kezdve árbocként funkcionáló vitorlarúd állása még a latin vitorláéhoz hasonló, így erősen hátrafelé dőlő volt. A vitorla hátsó sarkát kezdetben, ill. egyszerűbb esetben csak egy kötél tartotta, később már kitámasztották egyfajta pányva- vagy bum-rúddal. Az árboc egyik oldalán rögzített rúd a pányvás vitorlához hasonlóan befolyásolja a vitorla alakját, mivel azonban állása közelebb van a szél irányához, így ez a hatás mindenképpen kisebb, mint a négyszögletű vitorla magasan felfelé nyúló pányvája esetében. (Megjegyezzük, hogy ennek a káros hatásnak a teljes kiküszöbölése látható a modern szörfvitorlákon, melyek szintén ilyen, de kétoldali speciális, zárt hurok-szerű pányvával/bummal rendelkeznek.)

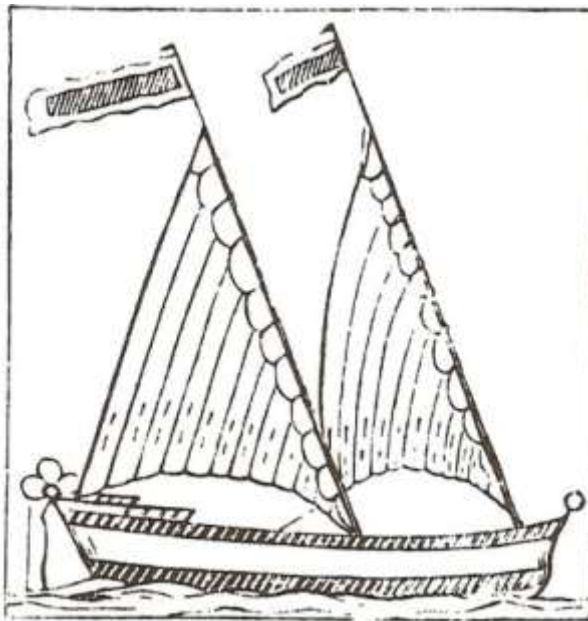
Mint ahogy az a 2.1.9. ábrán is jól látható, a vitorla ebben a kezdetleges állapotában jóval a bumrúd alá ért. Csak a későbbi, modern változatoknál helyezték át a vitorla alsó sarkát a bum és az árboc találkozási pontjához. Ezzel a vitorla háromszögének arányai is megváltoztak, a leghosszabb oldal így már nem az első, hanem hátsó él lett. A korai modern változatokban az alsó él, az árboc és az első él kapcsolatához hasonlóan, a bum nútjába kerül behúzásra. Korunkban újra a szabad alsóéllel rendelkező nagyvitorla az elterjedt, különösen a versenyhajóknál.

A vitorla hallatlanul sikeresnek bizonyult a bermudai vizeken, ahol a szél szinte mindig a fő haladási iránnyal szemben fújt, így a jó cirkálóképesség elengedhetetlenül fontos.



<http://forum.woodenboat.com/showthread.php?117348-Sharpie-Sprit-Rig-windward-proformance-Just-for-reference>

2.1.9. ábra: Bermuda vitorla egy új vitorlás csónakon



http://www.wikiwand.com/en/Bermuda_rig

2.1.10. ábra: Az eredeti bermuda vitorla

2.1.1.10 Elő- vagy orr- és tarcsvitorla

Az eddig említett vitorlák közös jellemzője, hogy mind valamilyen módon egy árbocozatba kapcsolódik. Ezekon kívül az árbocot vagy árbocokat merevítő, tartó kötelekre is lehet húzni alapvetően háromszögletű vitorlát. Az elő- vagy orrvitorlák az első árboc előtt a fedélzet vagy az orrsudár és az árboc között levő előmerevítőre húzott vitorlák. A tarcsvitorlák két árboc között kifeszített kötelekre húzott vitorlák, melyek értelemszerűen csak többárbcos hajóknál jelenhetnek meg, és csak akkor, ha az elől levő árbocról nem nyúlik hátra vitorla (pl. egy gaffos).

2.1.2 Vitorlázat típusai

A különböző vitorlázatok a különféle alakú vagy számú vitorlák és árbocok kombinációjával alakulnak ki. Erre az angolszász szakirodalom a „rig” elnevezést használja, mely a magyar vitorlás szakzsargonban (általában két g-vel) is megjelenik. A kedvtelési célú hajózásban általában csak az egy és kétárbcos vitorlázatok jelennek meg, így a többivel – melyek főleg a kereskedelmi vitorlások késői korára jellemzők – e helyen nem foglalkozunk.

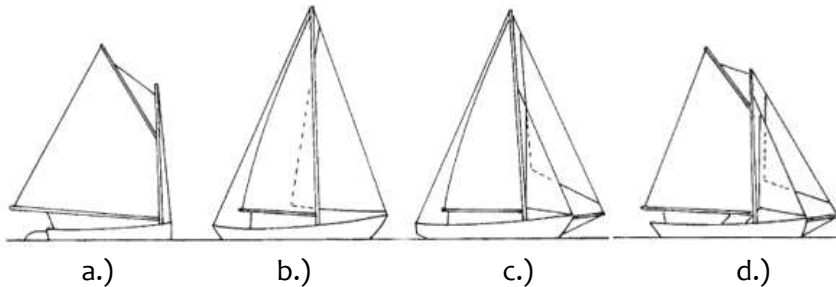
2.1.2.1 Egyárbcos vitorlázatok

A legegyszerűbb egyárbcos vitorlázat a „cat”, melynél egy árboc és egy mögötte elhelyezkedő tetszőleges vitorla van. Ennek megfelelően lehet pl. gaff cat (2.1.11. a. ábra), melynél az árbocozatba egy gaffos vitorla csatlakozik, de mai korunkban talán legelterjedtebb ebben a kategóriában a bermuda cat. A cat vitorlázatra jellemző az egyszerűség, könnyű kezelhetőség, kisebb sportcélú hajók kedvelt vitorlázata.

A „szlup” két vitorlával és egy árbocozatba rendelkező vitorlázat, ahol egy-egy vitorla van az árboc előtt és mögött. Előbbit tipikusan orrvitorlának, utóbbit általánosan nagyvitorlának szokás nevezni. A bermuda szlup (2.1.11. b. ábra) korunk legelterjedtebb vitorlázata, értelemszerűen az árboc mögött egy bermuda vitorla alkalmazásával. Még ezt a változatot is egyszerű kezelhetőség jellemzi, de azáltal, hogy az árboc a hajó orrából hátrébb került és így orrvitorlát is lehet húzni, a vitorlák kombinálásának lehetősége – a szél erősségét figyelembe véve – is adott.

A „kutter” szintén egyárbcos változat, de itt az árboc előtt két orrvitorla van két előmerevítőre húzva. Attól függően, hogy az árboc mögött milyen vitorlát használnak, itt is meg lehet különböztetni bizonyos típusokat, pl. bermuda kutter vagy gaff kutter (2.1.11. c. és d. ábrák) A kutter vitorlázat része

az orrsudár, a hajó orrán a fedélzet felett előre felé kinyúló hosszanti rúd, ez teszi lehetővé a több orrvitorla elhelyezését úgy, hogy azok számottevően ne takarják le egymást.

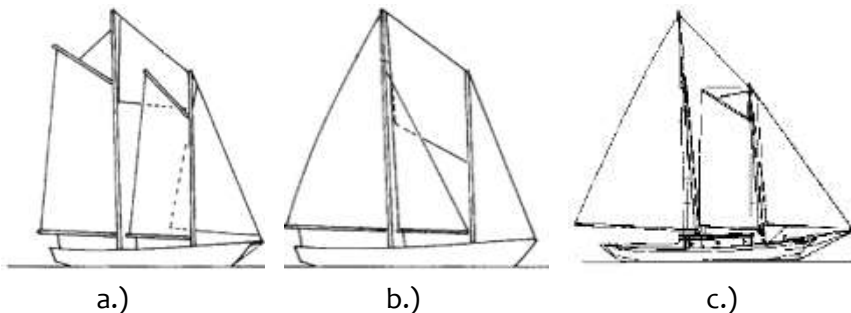


2.1.11. ábra: Egyárbocos vitorlázatok

2.1.2.2 Kétárbocos vitorlázatok

A kétárbocos vitorlázatoknál általában az egyik árboc nagyobb, mint a másik. Amennyiben elől kisebb, hátul magasabb árboc van, „szkúner”-ről vagy „brig”-ről beszélhetünk, ha az első árboc a magasabb, akkor megkülönböztetjük a „ketch” vagy „yawl” vitorlázatot.

A szkúner esetében az árbocokon hosszanti vitorlák vannak, a brig viszont keresztvitorlával rendelkezik. A kedvtelési célú hajózásban a keresztvitorlával rendelkező brig gyakorlatilag nem terjedt el, viszont a szkúner a 18.-20. század kedvtelési célú hajóinak egyik legkedveltebb vitorlázata volt.



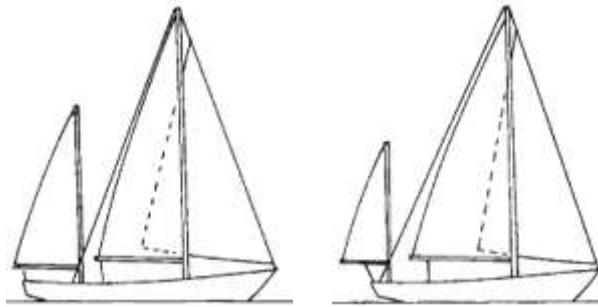
2.1.12. ábra: A szkúnerek változatai

A szkúner 3 féle változatban látható: egyik esetben (2.1.12. a ábra) az első árbocon is nagyvitorla van, másik esetben a két árboc közé tarcsvitorlákat húztak (2.1.12. b ábra). Előbbi inkább a gaff-, utóbbi a bermuda szkúnerre jellemző. Itt érdemes megemlíteni, hogy míg a szlup vitorlázat esetén – a jobb cirkálóké-

pesség miatt – a bermuda vitorla teljesen kiszorította a gaffost, addig a szkúnereknél ez nem történt meg. A harmadik változat ezek kombinációja, az első árbocon gaff nagyvitorla, a hátsón pedig bermuda vitorla van (2.1.12. c ábra).

A szkúnerek legtöbbje szintén rendelkezik orrsudárral és több orrvitorlával. (Megjegyezzük, hogy a szkúner elnevezést használják kettőnél több árbocon hajók esetén is, ahol az árbocokon hosszanti vitorlákat alkalmaznak.)

A ketch és a yawl közötti különbség abban áll, hogy a ketch hátsó árboca a kormány előtt, a yawl-é a kormány mögött helyezkedik el. Ezt a kisebb hátsó árbocot „bezán”-nak szokták hívni, a yawl esetében az ide húzott vitorla lényegesen kisebb, mint a ketch hátsó vitorlája.



2.1.13. ábra: Ketch és yawl



<https://www.sailboat-cruising.com/images/xPrincess36Gabriel.jpg>

2.1.14. ábra: Egy modern ketch vitorlázatú hajó

A kétárbocos és több vitorlával rendelkező vitorlázatok jellemzője, hogy ugyanakkora vitorlafelülethez alacsonyabb vitorlázat tartozik, mely összességében kisebb billentő-nyomatékot produkál, növelve ezáltal a biztonságérzetet. Több vitorla esetén, egyes vitorlák leengedésével a vitorlázat eredő súly-

pontja változtatható, mely által a hajó kiegyensúlyozottsága állítható. Másrészről természetesen több vitorla kezelése mindig összetettebb feladat, az ilyen vitorlázatokhoz szakértő legénység is kell.



www.boatnetlocator.com

2.1.15. ábra: Tipikus gaff yawl

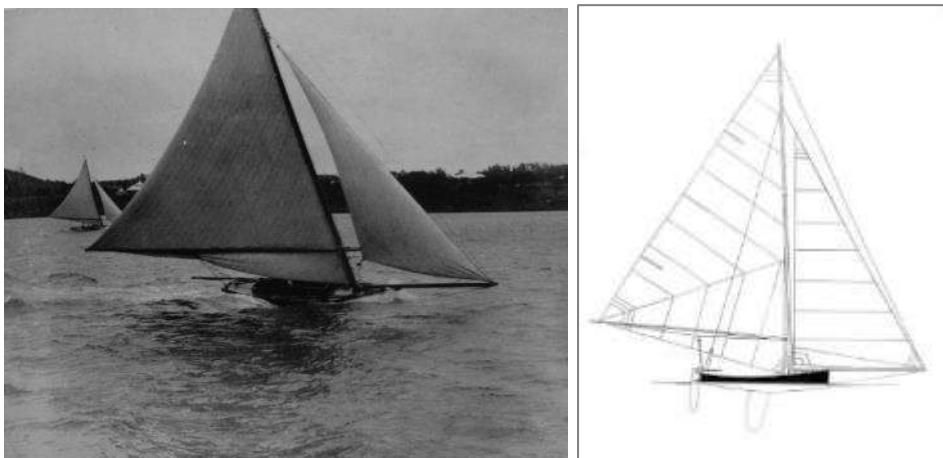
2.1.3 A mai kor tipikus vitorlázata

Korunk legkedveltebb és legelterjedtebb vitorlázat-típusa kétségtelenül a bermuda szlup, mely az egyárbocos bermuda cat vitorlázatból fejlődött ki, annak orrvitorlával és hosszú orrsudárral való kiegészítése révén. Ez kezdetben a Bermuda-szigeteki, kis, cédrusfából épült vitorlások kedvelt vitorlázata volt. A magas, erősen hátradőlő árbocra óriási méretű nagyvitorlát az orrsudárra pedig hatalmas orrvitorlát húztak. Ilyen hajót mutat a 2.1.16. ábra és mellette a rajz még jobban szemlélteti a hajó arányait, nagyon hangsúlyozott túlvitorlázottságát. A nagy vitorlafelület hátszélben is jól fizetett.

A 18.-19. században még csak a Bermudákon használt vitorlázat végül is a 20. századra a kisebb (ez alatt itt most a 10-20 m-es kategóriába eső hajókra kell gondolni) kedvtelési célú hajókon az egész világon elterjedt. Igaz, az esetek nagy többségében kevésbé extrém formában, lényegesen kisebb vitorlafelülettel, orrsudár nélkül, jellemzően függőleges árboccal.

Az ilyen széles körű elterjedésének oka abban rejlik, hogy az ilyen vitorlázattal – a többihez képest – már akkor is kiválóan lehetett cirkálni, vagyis a hajóval elfogadható sebesség mellett lehetett élesen haladni. Ugyanakkor a kialakítás magában hordozta annak a lehetőségét, hogy kiegészítő, speciális

vitórlákkal háromnegyed- és hátszélben is kiváló teljesítményt lehet elérni. Ezen irányokon a bermuda szlup alapkivitelben jócskán elmarad egyes más vitórlázatok teljesítményétől.



http://www.wikiwand.com/en/Bermuda_rig

2.1.16. ábra: Az igazi klasszikus bermuda vitórlázat



<https://www.tradeboats.com.au/tradeboat-reviews/boats/1407/x-yachts-xp-33-review>

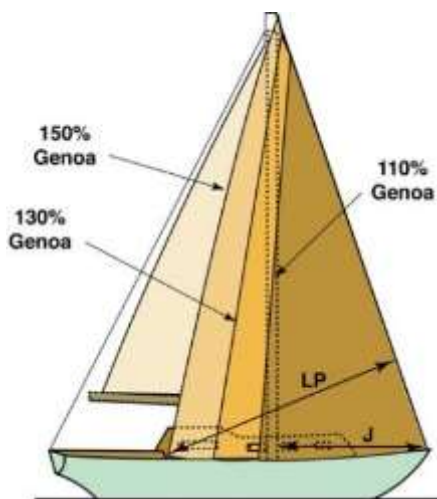
2.1.17. ábra: Modern bermuda szlup

A bermuda szlup vitórlázatot ma már sokszor a szlup szó elhagyásával, egyszerűen csak bermuda, vagy sok esetben marconi vitórlázatnak nevezik. Ez

utóbbi elnevezést először a kifejezetten magas, bermuda vitorlázattal rendelkező versenyvitorlások láttán használták, mert azok számos drótkötéllal merevített árboca nagyban hasonlított Marconi-nak, a drótnélküli távíró feltalálójának árbocszerű antennáihoz.

A bermuda szlup vitorlázathoz manapság általánosan használt kiegészítő vitorla a hátszélvitorla, vagy idegen szóval spinnaker. Ezen kívül számos orrvitorla-változat alakult ki az évek során, melyek közül a normál orrvitorla mellett már régóta széleskörűen elterjedt a génuva, egyes speciális vitorlák pedig – mint például a Code 0, gennaker, reacher, stb. – főleg, de nem kizárólag versenyhajókon láthatóak. Ennek oka az, hogy az átlagos túrahajó-tulajdonos ritkán enged meg magának a génuva, nagyvitorla és a spinnaker mellett egy negyedik, ötödik vitorlát. E speciális vitorlák alkalmazásának célja mindig az, hogy a lehető legnagyobb hajtóerőt adó vitorlát használják a különböző szélirányokhoz és szélerősségekhez – ez pedig alapvetően a versenyhajóknál fontos.

A cirkáláshoz használt vitorlák között a leggyakoribb a normál orrvitorla, avagy a magyar nyelvben is szokásossá vált nevéen focok és a génuva. A kettő közötti alapvető különbség az alsóél hosszában (és így a felület nagyságában) van, a génuva az árboc vonalán túl érő hátsó sarokkal rendelkezik, egy focok alsóéle pedig általában nem hosszabb, mint az előremerevítő és árboc decken mért távolságának 110%-a (2.1.18. ábra.).



<http://slideplayer.com/slide/8952820/27/images/17/Jib+Sizes.jpg>

2.1.18. ábra: A génuva és orrvitorla közötti különbség



<http://www.sailboatlistings.com/sailing/m/55183/main.jpg> és <http://www.stylejacht.hu/images/ftg85o29.jpg>

2.1.19. ábra: Balra egy orrvitorla, jobbra egy nagy átfedésű génua – jól látszik, hogy a vitorla alsó sarka az árboc mögé nyúlik

Az éles szembeszeles haladás érdekében mindkét vitorla merev, egyenes elsőlél kell rendelkezzen, ezt erősen megfeszített előremerevítővel lehet elérni. Régen az orrvitorlából több is készült különböző alsóél hosszokkal, amit aztán a vitorlázók a különböző szélereőséghez igazítva cserélgettek. Ezt a vitorlák leeresztésével, az első éléhez rögzített kapcsok (stagreiter-ek) előremerevítőről lekapcsolásával és az új vitorla fordított irányú felszerelésével érték el.



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/62/Stagreiter_03.jpg/512px-Stagreiter_03.jpg és <http://coratriton.blogspot.hu/2014/05/rursee-2014-klenkes-cup.html>

2.1.20. ábra: Orrvitorla stagreiterrel rögzítve felhúzott (balra) és leengedett állapotban (jobbra)

A mai modern hajókon ehhez képest már elterjedten használják az orrvitorla betekerő rendszereket, melynek lényege, hogy az előremerevítő drótkötél körül van egy merev, profilozott, núttal rendelkező elem, melybe egyrészt a vitorla behúzható, másrészt ez – és ezzel együtt a vitorla is – egy alsó és egy felső csapágy között egy kötél segítségével körbe tekerhető. A vitorla feltekerésével annak felülete így nagyon kényelmesen csökkenthető, és bár a vitorla hatékonysága romlik, előbb említett előnye miatt a rendszer ma már a túrahajók elengedhetetlen kelléke.



<https://www.mauriprosailing.com/mms5/Harken/images/pi/HAR741010.jpg>

2.1.21. ábra: A Harken cég orrvitorla-feltekerő rendszere

A bőszeles vitorlák már nem csak a háromnegyed- és hátszélre hagyományosan szimmetrikus formában készített spinnakerekből állnak, ezeket kiegészíti a gyakorlatilag futtatott cirkálástól kezdve minden szélirányra, különböző erősségű szelekre optimalizált, főleg aszimmetrikus vitorlák gazdag választéka.

Ide tartozik pl. a reacher, topgénua vagy másik angolszász nevén jib-top. Ez a vitorla alapvetően gyengészeles futtatott cirkálásra, félszelezésre lett kifejlesztve (az angol a „reaching” szóval illeti a 45°-135° azaz félszeles tartományban való vitorlázást, ezért a reacher elnevezés), és olyan hajókon használható, ahol az orrvitorla nem fut fel az árboc csúcsáig (ezért a topgénua név). A vitorlát, mely a normál orrvitorlákhöz hasonlóan feltekerhető, nagyon könnyű (és ezért nem olyan erős) anyagból készítik. Alsó-első sarka általában 50-60 cm-rel az előremerevítő elé nyúló rövid orrsudárra kötött, felső sarka pedig az árboc tetejére kerül felhúzásra.



http://porthole.hu/data/cikk/67/92/cikk_6792/adriatic_race004_S_OK.jpg

2.1.22. ábra: Egy szép nagy reacher

A Code o eredetileg a Föld-kerülő vitorlásverseny, a Volvo Ocean Race egyik versenyére lett kifejlesztve. Tudni kell, hogy az ilyen versenyeken szigorú szabályok rögzítik a használható vitorlák számát és típusát, és orrvitorlából relatíve keveset lehetett vinni. A Code o pedig úgy alakult ki, hogy egy olyan vitorlát akartak, amely még spinnakerként mérhető fel, de egyébként annál sokkal élesebben, mintegy foc-ként használható. A Code o tehát egy a reacher-hez hasonló alapvetően lapos, gúnya-szerű vitorla, mely gyenge és közepes szelekben futtatott félszéltől háromnegyed szélíg jól használható. Mára már nem csak az óceáni, hanem szinte minden más versenyen is használt vitorlává nőtte ki magát, sőt túraváltozata is létezik, Cruising Code o néven. A vitorlát lehet akár árboccsúcsra, akár frakcionálisan (vagyis nem a csúcsra, hanem az alá, az árbochossz bizonyos arányában) felhúzni, lehet akár betekerős is, itt azonban nem az árboc előremerevítőjére, hanem a saját nem csavarodó elsőél-kötelére tekerik.

A gennaker az előbb említett vitorlákhoz képest tompább, félszeles, futtatott félszeles irányokra optimalizált vitorla. Ennek jellemzője, hogy mind az első mind az hátsó él nagyobb íveltséggel rendelkezik, a vitorla az előzőeknél öblösebb, de nem annyira, mint egy spinnaker. A vitorla első-alsó sarka a fedélzethez vagy orrsudárhoz rögzített, az előző vitorlákhoz hasonlóan.

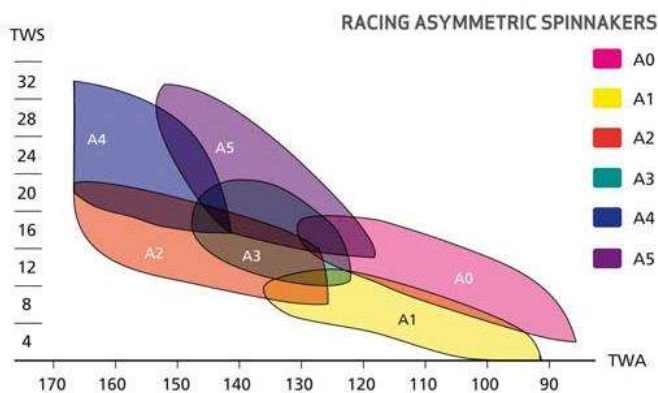
Az aszimmetrikus spinnaker elnevezést még inkább hátszél közeli, háromnegyed- ill. hátszélre tervezett aszimmetrikus vitorlákra szokás használni.



https://www.sail-world.com/photos/sailworld/photos/Large_DSC_7783_1.jpg

2.1.23. ábra: Code 0 a Puma nevű VOR hajón

Mindezeket az aszimmetrikus vitorlákat a gyártók általában már nem a fenti nevekkkel, hanem szinte általánosan A0-A5 kódokkal látják el.



<http://www.yachtingworld.com/features/how-to-choose-the-right-asymmetric-spinnaker-68317>

2.1.24. ábra: A különböző aszimmetrikus vitorlák használati tartománya (TWS: true wind speed, valódi szélesség, csomóban, TWA: true wind angle, valódi szél iránya, fokban)

Meg kell azonban jegyezni, hogy ettől még a vitorlák nem lesznek egyformák, ezek a kódok jobbra a vitorla alkalmazhatóságát jelölik széliránytól és

erősségtől függően, de nem tartalmaznak semmilyen információt a vitorla viselkedéséről. Lehet ugyanis egy A2 vitorlát kifejezetten partközeli, rövid versenyekre, vagy akár hosszabb szakaszokból álló nyílt-tengeri futamokra is optimalizálni, a két A2 vitorla alakja, méretei nyilvánvalóan a vitorlakészítő műhely szaktudását is magában rejtő különbségekkel fognak rendelkezni.

A hátszélvitorla vagy spinnaker pedig alapvetően egy olyan szimmetrikus vitorla, mely kifejezetten a hátulról jövő szélben is használható. Mindazonáltal nemcsak és nem elsősorban ilyen irányokon, hanem a teljes bőszeles tartományban előszeretettel használják, akár – ha nincs más, erre alkalmasabb vitorla – félszélíg is. A spinnaker jellemzője, hogy az ún. spinnaker-bumhoz rögzítik az egyik alsó sarkát, mely ennek egy megtámasztást ad, a másik alsó sarok szabadon van, illetve az állítókötéllel szabályozható helyen van. A vitorla használata a spi-bum miatt nagy tapasztalatot és odafigyelést igényel, az irányváltás, halzolás (egyik irányú szélből másikba fordulás, miközben a vitorla szelet fog) nem könnyű mutatvány.



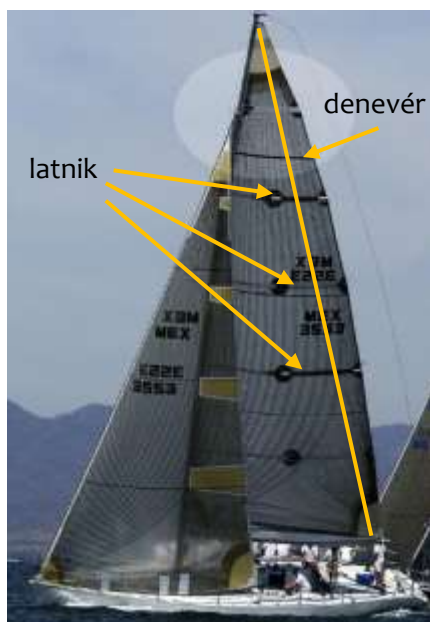
[https://www.sail-](https://www.sail-world.com/photos/sailworld/Photos_2015_01/Large_2015_01_06%20Dragons%20PPC%20Day%203_04131.JPG)

[world.com/photos/sailworld/Photos_2015_01/Large_2015_01_06%20Dragons%20PPC%20Day%203_04131.JPG](https://www.sail-world.com/photos/sailworld/Photos_2015_01/Large_2015_01_06%20Dragons%20PPC%20Day%203_04131.JPG)

2.1.25. ábra: Hajók spinnaker alatt

A nagyvitorlát illetően meg kell említeni, hogy a kezdeti bermuda szlup háromszögletű nagyvitorlájához képest a modern korban megjelent az egyre na-

gyobb „denevérrel” rendelkező nagyvitorla. Ezt az tette lehetővé, hogy a modern vitorlavarrók vitorlalécekkel (idegen szóval: latnikkal) merevítették a vitorla hátsó, a háromszög hátsó élénél nagyobb vitorlarészt, a denevért.



<https://static1.squarespace.com>

2.1.26. ábra: A denevér és a latnik a nagyvitorlán

Az egyre nagyobb denevér célja az volt, hogy a vitorla oldalnézeti alakját minél jobban közelítsék az optimális negyed-ellipszis formájához. Ezt az egyre nagyobb latnikkal és az árboc hátramerevítőjének elhagyásával és oldalsó hátramerevítők (backstag-ok) alkalmazásával meg is tudták tenni. A hátramerevítőt sok esetben egy, az árboccsúcsra szerelt rugalmas elemmel a vitorla irányváltásakor hátrébb lehet emelni, így az nincs útjában a nagy denevérű vitorlának (ilyen megoldás látható a 2.1.26. ábrán is).

A modern hajókon egyre inkább ún. tele-latnis nagyvitorlát alkalmaznak, itt a latnik nemcsak a denevért merevítik, hanem anyagukból következően ideális profilt is igyekeznek kölcsönözni a vitorlának. Ezzel (és különösen egy merevebb vitorlaanyaggal, mint pl. a laminált megoldás) a vitorla kevésbé érzékeny a beállítás pontosságára és így nagyobb teljesítményt tud nyújtani. A tudomány előrehaladásával aztán kiderült, hogy nem is feltétlenül a negyed-ellipszis, hanem a négyszögletes, felfelé rövidülő húr hosszú vitorla-alak az ideális, így manapság a versenyhajók szinte mind ilyen négyszögletes nagyvitorlával készülnek (2.1.27. ábra.)



<https://www.solosails.com/downwind-sails/>

2.1.27. ábra: Tele-latnis négyszögletű nagyvitorla egy modern versenyhajón

A mai modern tengeri túravitorlásokról nem hiányozhatnak az ún. viharvitorlák sem, melyek alapvető jellegzetessége a kis méret (sokszor még a nagyon kicsinek gondolt is sok), a nagyon erős alapanyag, a teljesen lapos kivitel és a háromszögletű kialakítás (még a nagyvitorlánál is) valamint az erős narancssárga szín, mely a mentőeszközök szokásos színe. Ezek funkciója mindössze a hajó irányban tarthatóságának biztosítása. Ilyeneket mutat a 2.1.28. ábra.

Végül kuriózumként megemlíjtjük, hogy ma már vannak olyan versenyhajók, melyeken nem is a vásznat utánozó műanyag-szálas nagyvitorlák vannak, hanem szimmetrikus profillal rendelkező merev, sokszor réselt ún. szárnyvitorlák. Ezek teljesítménye lényegesen nagyobb a hagyományos vitorlákénál, azonban kezelhetőségük és áruk nem a hétköznapi vitorlázó, de még csak nem is az átlagos versenyvitorlázó képességeit, hanem erre szakosodott profi csapat tudását és egy grandiózus támogató meglétét igénylik.



<http://slideplayer.com/slide/8952820/27/images/> és <http://cdn.sailingscuttlebutt.com/wp-content/uploads/2016/03/2.jpg>

2.1.28. ábra: Viharvitorlák



<https://sailboats.wordpress.com/2011/01/21/ac45-catamaran-4060/>

2.1.29. ábra: A modern kori America Kupa 45 lábás katamaránja a merev szárnyvitorlával

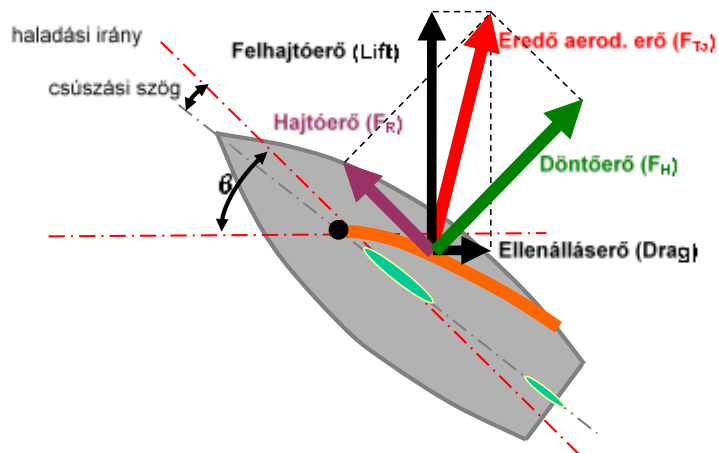


<http://medberths.com/2013/12/bursting-the-sailing-sound-barrier/>

2.1.30. ábra: Egy vitorlás sebességi rekordot elérő szárnyas vitorlás merev vitorlával

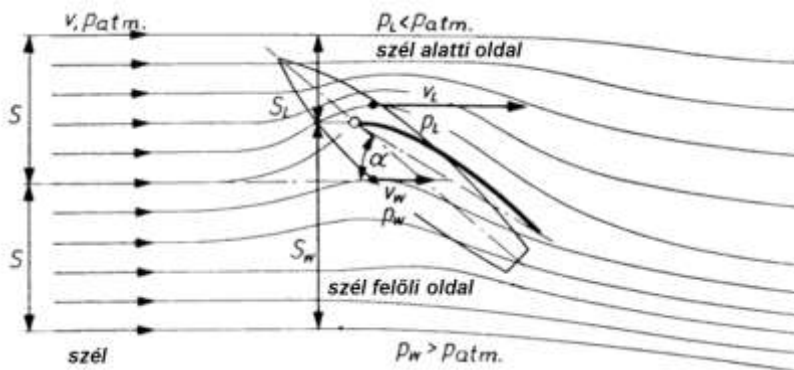
2.2 A vitorlákon keletkező erők

A Kishajók jegyzet 3. fejezetében már láthattuk a vitorlázaton keletkező eredő aerodinamikai erőt és annak különböző felbontásait. Eszerint a vitorlán vagy vitorlákon egyidejűleg keletkező eredő aerodinamikai erő az áramlás (lát-szólagos szél) irányának vonatkozásában felbontható felhajtóerő és ellenállás-erő komponensekre, a hajó haladási irányát tekintve pedig hajtóerő és döntő-erő komponensekre.



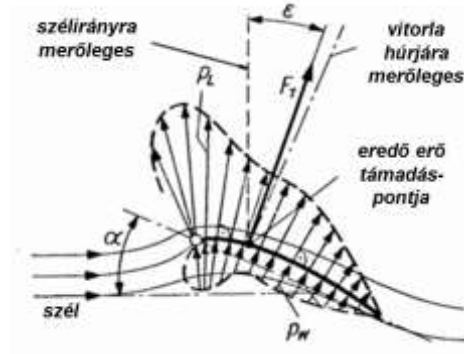
2.2.1. ábra: Az eredő aerodinamikai erő felbontása

Az eredő aerodinamikai erőt a vitorla két oldalán kialakuló nyomáskülönbség hozza létre (a tőkesúlyon kialakuló erővel teljesen analóg módon, ld. a Kishajók jegyzet 5.3. fejezetét). A vitorla jelenlétéből következően az áramlás már a vitorla előtt eltér a zavartalan áramláshoz képest. A levegő, mintha megérezné, hogy hamarosan valami az útját állja, elkezd egy kicsit felfelé (a szél alatti oldal felé) áramolni (upwash). A 2.2.2. ábrán S-sel jelöltünk két egyforma nagyságú keresztmetszetet, melynek határoló vonala az áramvonal, ami pontosan a látszólagos szél irányához képest α szöggel beállított vitorla torlópontjába fut, a másik oldala pedig a vitorla által már nem zavart áramlásig tart. E középső áramvonal a vitorla miatt kanyarodik felfelé. Mivel az áramvonalak nem metszhetik egymást, a feláramlás miatt a vitorla szél alatti oldalán kisebb keresztmetszet (S_L) áll rendelkezésre ugyanakkora közegetmennyiség számára, így ezen a részen az áramvonalak sűrűsödnek, a sebesség (a zavartalan áramlás sebességéhez képest) nagyobb lesz ($v_L > v$). A szél felőli oldalon éppen fordított a helyzet, a levegő számára rendelkezésre álló keresztmetszet (S_W) a feláramlás miatt nagyobb, az áramvonalak ezért ritkulnak, a sebesség itt csökken ($v_W < v$). Ennek megfelelő a vitorla körül kialakuló nyomásmegoszlás is, a szél alatti oldalon, különösen a vitorla első harmadában – ahol a legnagyobb az áramlási sebesség – lesz a legkisebb a nyomás (kisebb, mint a zavartalan áramlásban), a szél felőli oldalon pedig ehhez képest nagyobb, azaz túlnyomás alakul ki. Ennek eredményeképpen az eredő aerodinamikai erő általában a húr irányára merőleges vonal előtt, azaz a húr irányával kisebb, mint 90° -ot bezáróan alakul ki, de ez az irány sok, a következő fejezetben tárgyalt paraméter függvénye.

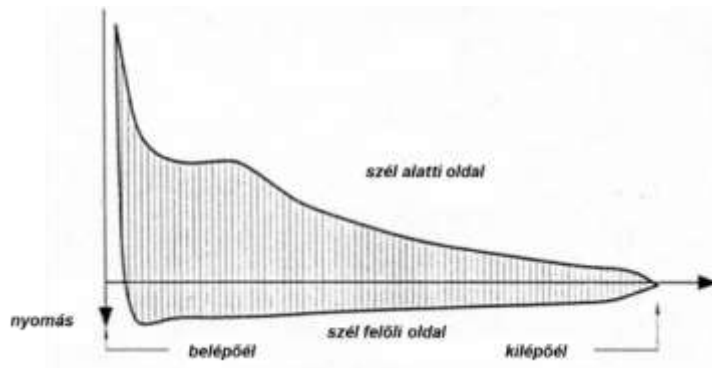


forrás: Marchaj

2.2.2. ábra: A vitorla körül kialakuló áramkép...



forrás: Marchaj



forrás: Larsson

2.2.3. ábra: ... és nyomásmegoszlás

Az erőkomponensek a tökesúlyon keletkező erőkhöz hasonlóan itt is elsősorban a közeg sűrűségétől és sebességétől, a vitorlafelület nagyságától és számos, a geometriával és beállítással kapcsolatos tényezőtől függ, ennek megfelelően az erők itt is a következőképpen írhatók:

$$L = \frac{\rho}{2} \cdot v_A^2 \cdot SA \cdot C_L \quad \text{és} \quad D = \frac{\rho}{2} \cdot v_A^2 \cdot SA \cdot C_D$$

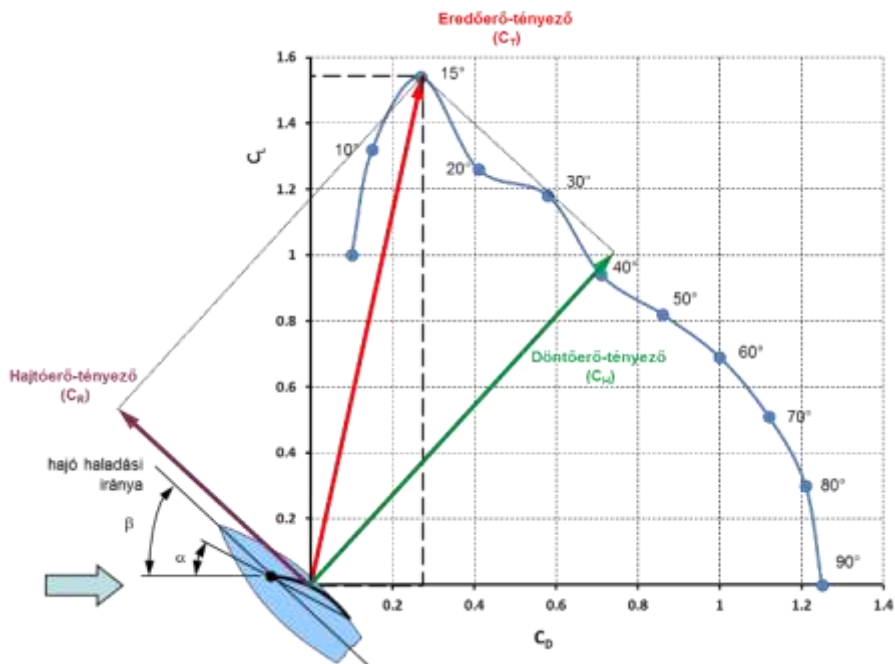
ahol ρ a közeg sűrűsége (kg/m^3), v_A a látszólagos szél sebessége (m/s), SA a vitorlafelület nagysága (m^2), C_L és C_D pedig a felhajtóerő- és ellenállás-erő-tényezők.

A vitorlák tulajdonságainak elemzéséhez, összehasonlításához sokkal kényelmesebb a tényezőket használni, mert így nem vagyunk kötve az aktuális méretekhez, sem a szél sebességéhez. Természetesen a valóság jellemzéséhez

a C_L és C_D értékei itt is a háromdimenziós vitorlához, és nem a profil jellemzőihez kell tartozniuk.

A tényezők értékeit méréssel lehet meghatározni. A méréseket általában vagy a valós vitorlákon és hajón, annak természetes közegében, vagy modelleken szélcsatornában végzik. Manapság a CFD is számos lehetőséget rejt magában, azonban meg kell jegyezni, hogy míg a széllal szembeni vitorla-állításokhoz igen jó eredmények nyerhetők, addig a tompább irányokon a vitorlákon jelentkező nagy intenzitású, de sajnos pontosabban, nehezebben modellezhető turbulenciák erősen elbizonytalanítják az eredményeket, csökkentik a számítások megbízhatóságát.

Ákarmilyen módon is történik az erőkomponensek meghatározása, azokat általában polár-diagramban szokták ábrázolni (2.2.4. ábra). Ez a polár-diagram a vitorlára vagy vitorlázatra vonatkozik, és nem keverendő össze a 2.4 fejezetben tárgyalt hajóra vonatkozó polár-diagrammal. A diagram x tengelyén a C_D , y tengelyén a C_L vagy az ezeknek megfelelő erők találhatók. A diagram egy-egy pontja összetartozó L és D (C_L és C_D) értékeket jelöl ugyanahhoz a vitorlához, de különböző α állásszögek mellett. Mivel definíció szerint az L és D merőleges egymásra és az eredő aerodinamikai erő két komponense, ezért nyilvánvaló, hogy a görbe egy pontjához húzható vektor az eredő erőt (vagy annak tényezőjét, C_T -t) adja az adott állásszöghöz tartozóan.



2.2.4. ábra: A vitorla polárdiagramja

A diagramban közvetetten látható a látszólagos szél iránya is, hiszen az a D-nek megfelelő, tehát az x tengely irányába mutat. A vitorla α állásszöge a húr és a látszólagos szél iránya által bezárt szög, így a vitorla állása az x tengelyhez képest szintén berajzolható. Ha berajzoljuk a hajó haladási irányát (β), akkor az eredő erő (vagy annak tényezője) haladási irányú és arra merőleges komponense is megszerkeszthető.

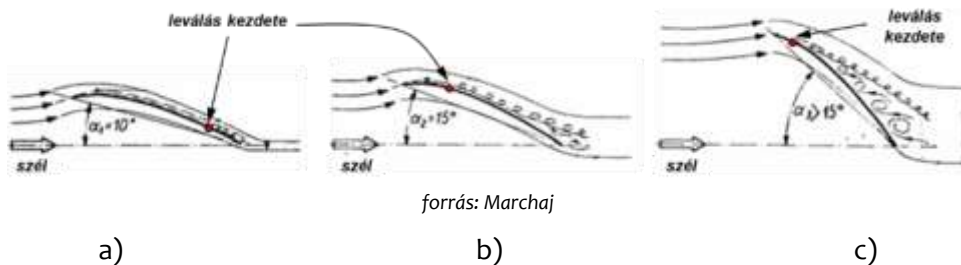
2.3 Az erőket befolyásoló tényezők

A Kishajók jegyzetben tárgyalt tökesúlyokon keletkező erők elméletét az előzőekben gyakran idéztük. Az erőket befolyásoló tényezők kapcsán is számos ponton megjelenik a hasonlóság, azonban abból a jellegzetességből következően, hogy a vitorlák (az esetek túlnyomó többségében még) nem merevek, számos olyan paraméter változtathatósága, állíthatósága adódik lehetőségként, melyekkel korábban nem foglalkoztunk. A következőkben ezek hatását vizsgáljuk általánosan, de területmi okok miatt sajnos nincs lehetőségünk a versenyvitorlázók számára is teljes képet adó részletességgel tárgyalni minden tényező hatását. Éppen ezért itt utalunk az irodalomjegyzékben az adott fejezethez tartozó szakirodalomra, mely további betekintést nyújt a témába.

2.3.1 A beállítási szög (α)

A vitorla beállítási szöge, vagyis a szárny állásszöge alapvető befolyással van a vitorla körül kialakuló áramképre, ezáltal a nyomásmegoszlásra és így az erőkre is.

A 2.3.1. ábrán látható egy, a szélirányhoz képest kiengedett (a), egy megfelelően beállított (b) és egy túlságosan behúzott vitorla (c) és a körülötte kialakuló leválások. A leválások az a) esetben a szél felőli az c) ábrán pedig a szél alatti oldalon jelentkeznek, a leválás kezdetét piros pont jelöli. A leválások minden esetben jelentősen befolyásolják a kialakuló nyomásmegoszlást. A b) esetben a leválás még nem húzódik annyira előre, hogy a vitorla első harmadán kialakuló nagy sebességből származó depressziót befolyásolja, így nagy felhajtóerőt adó nyomáskülönbség tud kialakulni. Ehhez képest a c) ábrán az előző, optimálisnak tekinthető szögnél nagyobb az állásszög, a leválások rögtön a vitorla elején megkezdődnek, eltűnik a nagy depresszió, egyértelmű az eredő aerodinamikai erő nagyságának csökkenése.



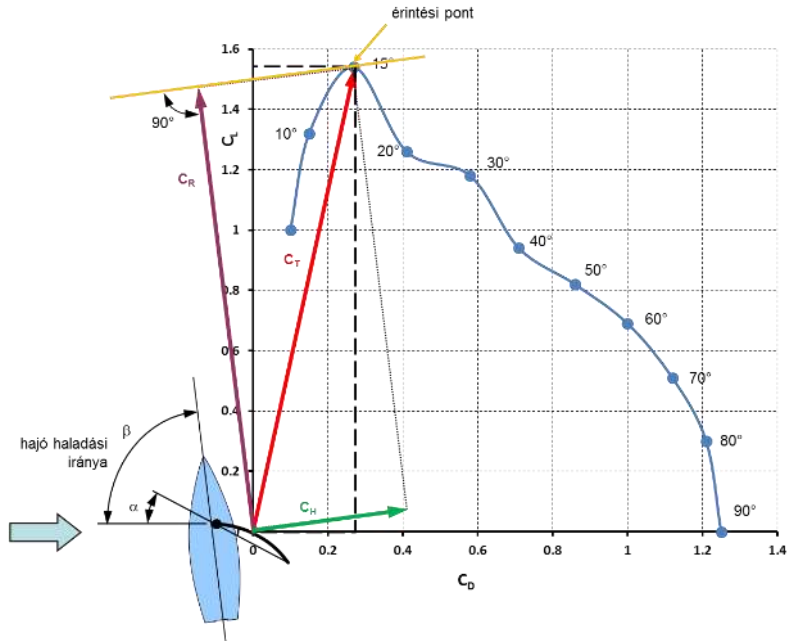
2.3.1. ábra: A beállítás hatása az áramképre

Mindezek hatása a polárdiagramon is nyomon követhető. A diagramban a különböző beállítási szögekhez tartozó pontok más meredekségű eredő vektort adnak, ennek következtében a C_R/C_H arány is változik. A 2.3.2. ábrán egy megfelelő beállítást, a 2.3.3. ábrán pedig egy túlságosan behúzott, tehát nagyobb α értékkel rendelkező vitorlára jellemző állapot látható.

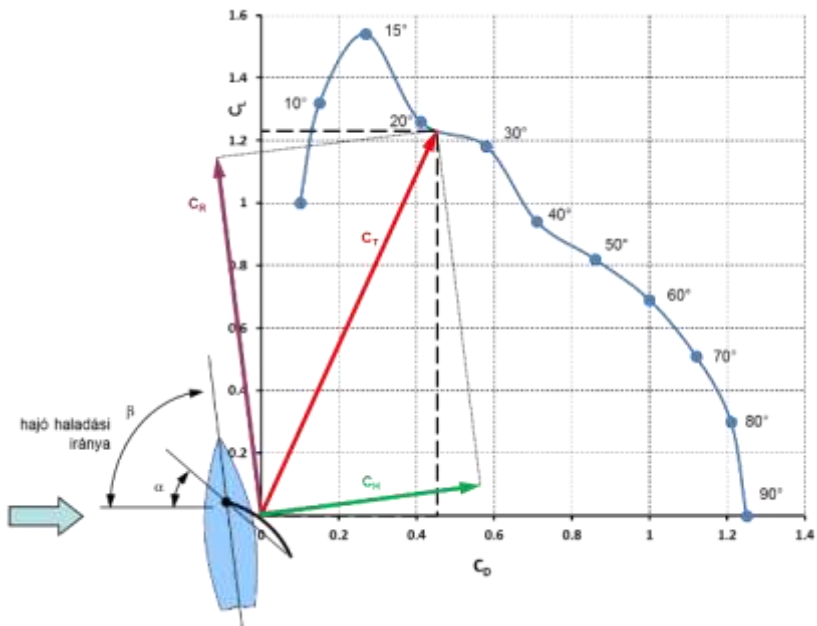
Az optimális beállítás a legnagyobb C_R -hez tartozik, ez szerkesztéssel könnyen meghatározható: a haladási irányra merőleges vonalat állítva keressük a vonal és a polárgörbe érintőjét. A 2.3.3. ábra láthatóan eltér ettől, észrevehető a tényezők drasztikus csökkenése is.

A beállítási szög hatásának tárgyalása egyelőre csak egy szárnymetszetre vonatkozott, a jelenséget mintegy két dimenzióban tárgyalva. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy a valódi szél sebessége a földfelszíntől távolodva egyre nő (hiszen a vitorlás a földfelszín közeli határrétegben hajózik), így a látzólagos szél a magasság függvényében mind irány, mind nagyság szerint is változik. Ez maga után vonja azt, hogy az optimális beállítási szög metszetről metszetre változik (2.3.4. ábra).

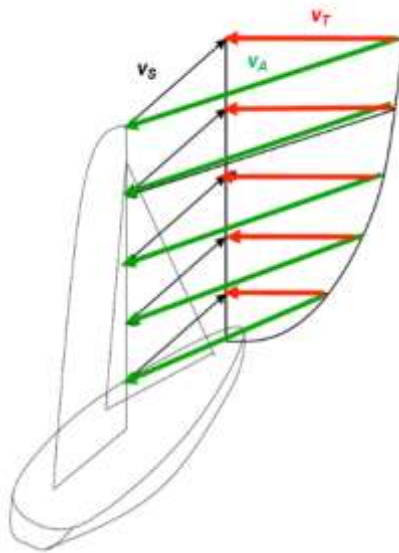
A vitorlás hajókon bizonyos határokon belül van lehetőség a vitorla metszeteinek magasságirányban változó beállítására. Ezt a vitorla hátsó sarkának függőleges irányú állításával lehet elérni, melyre több eszköz is adott lehet egy hajóban. Ilyen a nagyvitorla behúzó keresztirányú kocsin mozgatása (traveller alkalmazása), melynek használatával az állásszög a kocsival, az elcsavarodás megakadályozása pedig a kötéllel történik. Ezzel a megoldással a lehúzópont mindig a bum alá kerülhet és a lehúzással függőleges erőt tudunk kifejteni, a vitorla hátsó sarka tényleg fel-le mozgatható. Másik, sokszor az előbbivel együtt alkalmazott megoldás az ún. alba (angolul *kicking strap* vagy *vang*) használata (2.3.5. ábra), mely az árboc tövét és a bumot összekötő szerkezet, melylyel a bum függőleges síkban lehúzható, és így a vitorla elcsavarodása (vagy vitorlás nyelven a hátsó él nyitása) szabályozható.



2.3.2. ábra: Az α hatása a keletkező erőkre (optimális beállítás)



2.3.3. ábra: Az α hatása a keletkező erőkre (túlhúzott beállítás)



2.3.4. ábra: A változó v_T hatása a látszólagos szél irányára és az optimális α értékére



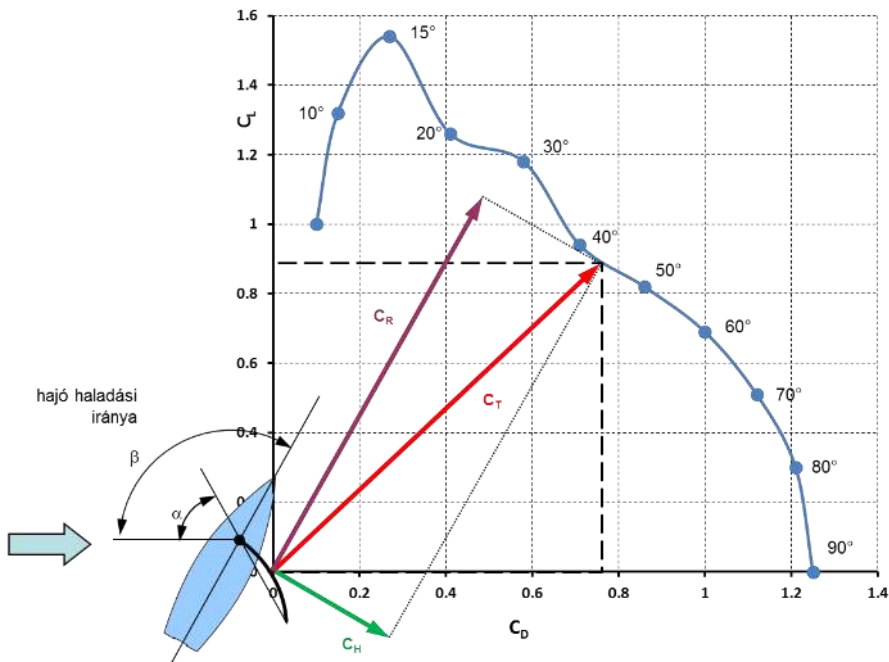
<https://www.boatandboats.com/magazine/lets-use-the-kicking-strap.html>

2.3.5. ábra: Az alba és hatása

2.3.2 A haladás iránya (β)

A vitorlás hajó változatlan irányú és nagyságú szélben sem halad minden irányon egyforma sebességgel – ahogy azt egy motoros hajó tenné. Ennek oka, hogy a vitorlán keletkező eredő aerodinamikai erő haladás irányú komponensének (F_R) nagysága függ a látszólagos szél és a haladási irány által bezárt szögtől (β).

A 2.3.2. ábrán a 2.2.3. ábrához képest egy tompább irányon haladó hajón keletkező erőket lehet látni abban az esetben, amikor a vitorla beállítási szöge (α) még azonos tud lenni (a fizikai korlátok, mint pl. az oldalmarevítő kötelek jelenléte ezt még nem akadályozzák, mindkettő az optimális érték körüli). Ezekhez képest a 2.3.6. ábra már annyira tompa haladási irányhoz tartozó helyzetet mutat, amelyben az α értéke is kényszerűen változik. Az erőkomponensekben mutatkozó különbségek mindhárom esetben jól láthatóak, és alapvetően befolyásolják a hajó sebességét és dőlésszögét is.



2.3.6. ábra: Tompa irányon haladó hajón keletkező erők

2.3.3 A vitorla oldalnézeti formája és a karcsúság

A 2.1 fejezet részletesen bemutatta a különböző vitorla típusokat, és már ott említésre került, hogy az egyes változatok különbözőképpen teljesítenek a különböző haladási irányokon, ezért itt ezt is részletesen vizsgáljuk.

A különböző vitorla-alakok és a karcsúság fogalma nem választható el egymástól, éppen ezért a téma tárgyalásához mindenképpen szükség van a vitorlák karcsúságának definiálására. A Kishajók jegyzet tőkesúlyokról szóló fejezetében írtak analóg módon itt is alkalmazhatók. A karcsúsági tényező általános formája:

$$AR = \frac{b^2}{SA}$$

ahol b a vitorla magassága (m), SA pedig a vitorlafelület nagysága (m²).

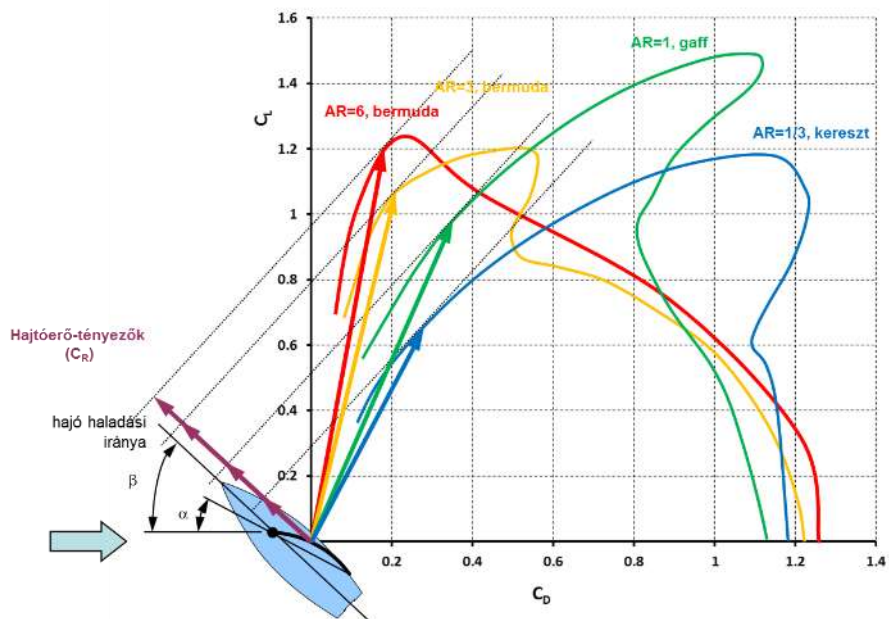
A kedvtelési célú hajózás kezdetén az volt az elképzelés, hogy a sebességet leginkább meghatározó tényező a vitorlafelület nagysága. Éppen ezért minden eszközzel igyekeztek a vitorlák nagyságát növelni, azonban stabilitási megfontolásból ezt csak a vízvonaltól nem távol tudták célszerűen megtenni, így aztán a vitorlák mérete a hajó hossza mentén növekedett, melyet igyekeztek még orrsudárral is növelni. Így ezek a vitorlák – mivel a „ b ” méret a vitorla felületéhez relatíve kicsi volt – a kis karcsúságú vitorlák közé tartoztak.

Az aerodinamika fejlődésével azonban előtérbe kerültek egyéb, a sebességet befolyásoló tényezők is, és kezdtek egyre nagyobb figyelmet fordítani a felület alakjának és a vitorlák egymásra hatásának vizsgálatára is. Az emberben természetes módon jelen levő versenyszellem miatt egyre inkább a nagy tolóerőt (F_R) nyújtó és a szélhez közelebbi vitorlázást lehetővé tevő vitorlákat részesítették előnyben. E fejlesztések során került előtérbe többek között a karcsúság növelése is (hamarosan látjuk, miért).

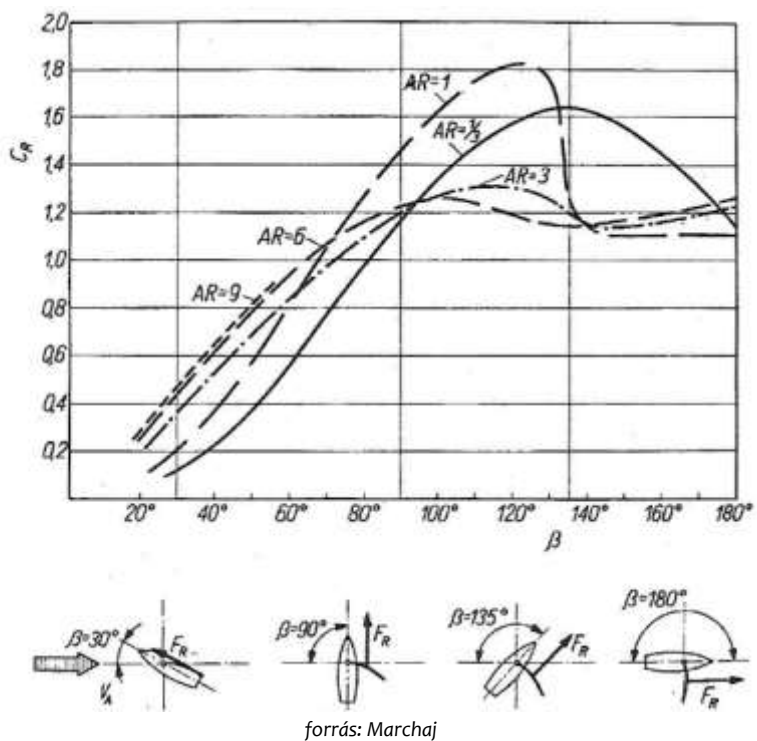
A már 1910-ben Eiffel által különböző alakú merev, lemezből készített, azonos öblösség-aránnyal rendelkező vitorlákon végzett szélcsatorna-kísérletek kimutatták az alak jelentőségét. A 2.3.7. ábra 4 különböző vitorlához (egy nagy és egy kisebb karcsúságú bermuda, egy gaffos és egy keresztvitorlához) tartozó mérési eredményeket mutat.

Jól látható, hogy a cirkálásnak megfelelő irányon a legjobban a legnagyobb karcsúsággal rendelkező bermuda vitorla teljesít, a sorrend gyakorlatilag a karcsúságnak megfelelő. Már ebből a diágramból is érzékelhető, de a 2.3.8. ábra még nyilvánvalóbban mutatja, hogy tompább irányokon (nagyobb „ b ” szög-nél) viszont nem a karcsúság „fizet”, itt a kisebb karcsúságú gaffos és keresztvitorlák lényegesen nagyobb hajtóerőt tudnak produkálni.

A karcsúság ennyire egyértelmű befolyása – a tőkésúlyoknál leírtakhoz hasonlóan – a szárnyvégi indukált örvénnyel és az ebből következő indukált ellenállással magyarázható. Erről a Kishajók jegyzet megfelelő fejezetében részletesen szoltunk, így itt már nem tárgyaljuk.

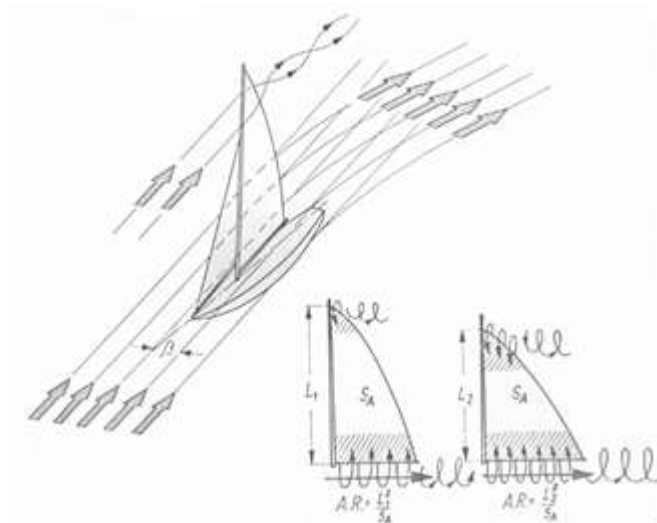


2.3.7. ábra: A vitorla alakjának hatása polárdiagramban



2.3.8. ábra: Az alak hatása a hajtóerőre a haladási irány függvényében

A 2.3.9. ábra a) része a szárnyvégi örvényeket mutatja sematikusan, látható, hogy nemcsak az árboc csúcsánál jelentkezik ez a kedvezőtlen hatás, hanem a hajótest és a vitorlák között is kiegyenlítődhet a nyomás, kialakulhat indukált örvény, mely az ellenállást tovább növeli. (ld. még a 2.3.7. fejezetet.). Az ábra b) részén pedig a szárny végi örvények spontán megjelenése látszik a 2001-2002-es Volvo Ocean Race versenyhajói után, melyek az alacsonyan levő köd-zónában váltak ilyen jól láthatóvá (a képet Daniel Forster készítette).



a)



<https://physicstoday.scitation.org/doi/full/10.1063/1.2883908>

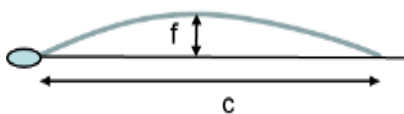
b)

2.3.9. ábra: Az indukált örvények a vitorlázaton, a) sematikus ábrán, b) a valóságban

Fontos megjegyezni, hogy e diagram csak a különböző alakú nagyvitorlákat hasonlítja össze, és nem veszi figyelembe az olyan, egyébként éppen a bermuda vitorla itt tárgyalt gyengesége miatt használt, kiegészítő vitorlákat, mint pl. a spinnaker. Kijelenthető tehát, hogy egy gaffos vitorlázatú hajó raumban minden bizonnyal veri a bermuda szlupot, hacsak az nem használ éppen a raumra fejlesztett speciális vitorlákat.

2.3.4 Az öblösség

Az öblösség a vitorlaív tetőpont magasságának (f) a húr hosszához (c) viszonyított aránya (2.3.10. ábra).

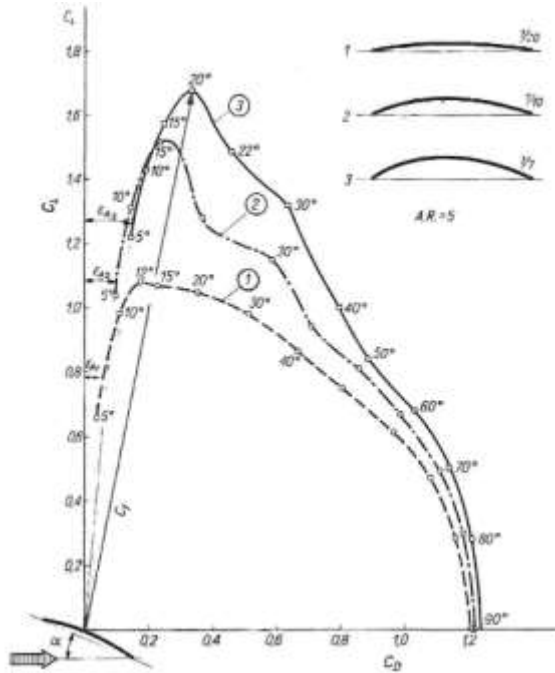


2.3.10. ábra: Az öblösség értelmezése

A vitorla öblösségének hatását szintén szélcsatorna-méréseken alapuló polárdiagramok segítségével célszerű bemutatni. A 2.3.11. ábrán különböző öblösséggel rendelkező merev, négyszögletes, azonos karcsúságú, twist nélküli vitorlákon árbc nélkül végzett kísérletek eredményei láthatóak.

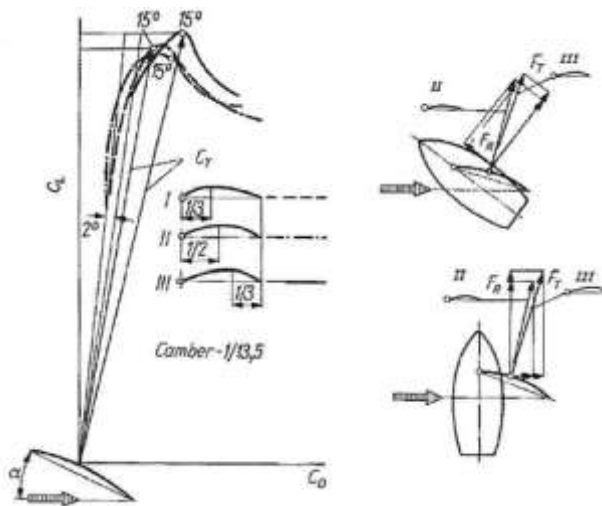
Általánosan elmondható, hogy minél nagyobb az öblösség, annál nagyobb a keletkező felhajtóerő-tényező, az ellenállás-tényező kismértékű növekedése mellett. A diagramból az is látható, hogy a legnagyobb eredőerő-tényezőt adó ponthoz más és más beállítási szög tartozik illetve, hogy a legkisebb öblösségű vitorlával lehet a legélesebben haladni (ehhez tartozik a legkisebb ε_A szög). A mérési eredményekből az is kivehető, hogy erős szélben, amikor a szél sebessége miatt egyébként is nagy erők keletkeznek a vitorlán, a túlzott dőlés elkerülése érdekében célszerű kisebb öblösséget alkalmazni, vagyis a vitorlát laposítani, gyenge szélben pedig növelhető a vitorlán keletkező hajtóerő a vitorlák öblösítésével.

Ezek mellett érdemes még megemlíteni, hogy a legnagyobb öblösség helyének is van befolyásoló hatása, mind az eredő erő nagyságára, mind annak irányára. A 2.3.12. ábra tanúsága szerint cirkáláskor (jobb oldali felső kis kép) a középre pozícionált legnagyobb öblösséggel rendelkező vitorla kisebb eredő erőt termel, de ennek iránya kedvezőbb, nagyobb lesz a hajtóerő komponens, mint a nagyobb eredő erőt tompább szögön produkáló, hátul öblösebb vitorlánál. Félshél esetén már fordított a helyzet: a hátul öblösebb vitorla nagyobb eredője nagyobb hajtóerőt is eredményez.



forrás: Marchaj

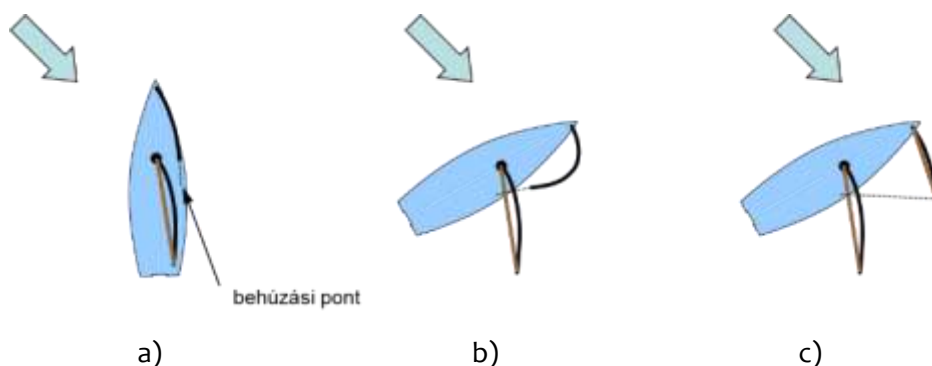
2.3.11. ábra: Az öblösség hatása



forrás: Marchaj

2.3.12. ábra: A legnagyobb öblösség helyének hatása különböző haladási irányokon

A vitorlák öblösségének szabályozására egy vitorlason több módszer is rendelkezésre áll. Nagyvitorla esetén az alsó- és elsőél feszítő köteleinek állításával, ill. az árboc görbítésével tág határok között változtatható az öblösség. Ugyanez az orrvitorlánál már nehezebben oldható meg, hiszen itt általában nincs bum és árboc, melyekhez a feszítőkötelek és a vitorla csatlakoztatható. Itt a behúzási pont hossz- és keresztirányú állításával (amennyiben erre technikailag fel van szerelve a hajó) lehet az öblösséget bizonyos mértékben szabályozni. Még ezekkel együtt is igaz, hogy az orrvitorla, különösen egy génua félsezes, raumos irányokon az optimális öblösségnél jóval nagyobbval rendelkezik, és itt már az előbb említett módszerrel sincs lehetőségünk az öblösségen állítani (ld. a 2.3.13. ábra b) részét). A probléma kiküszöbölésére régen többet alkalmaztak az orrvitorla-bumot (2.3.13. c) és 2.3.14. ábra), melyet manapság már lényegesen kevesebbet láthatunk. Nem azért mert nem jó megoldás, hanem mert napjainkban ilyen irányokon a teljesítménynövelésre jobban odafigyelő hajósok már inkább más vitorlát (pl. gennakert) húznak az orrvitorla helyett.



2.3.13. ábra: Az orrvitorla öblösségének állíthatósága különböző irányokon: a) cirkálás, b) és c) raum, orrvitorla bum nélkül (b) és orrvitorla bummal (c)

2.3.1 Az árboc jelenléte

Néhány kivételtől eltekintve, a vitorlások nagyvitorláját egy árbochoz rögzítik. Ez a függőlegesen álló, merevítő kötelekkel tartott rúd biztosítja a nagyvitorla első élének merevségét. Erre alapvetően két módszert alkalmaznak, a kisebb hajók jellemző megoldása, hogy a vitorla élkötele az árboc nútjában fut végig, a nagyobb hajók hosszabb árboca esetén pedig – ahol a vitorla élkötelének nútban való súrlódása már lehetetlenné tenné a vitorla felhúzását – az árboc hátsó, vitorla felőli oldalán egy sín található, amelyen a vitorla éléhez rögzített csapágyakkal ellátott kocsi futnak.



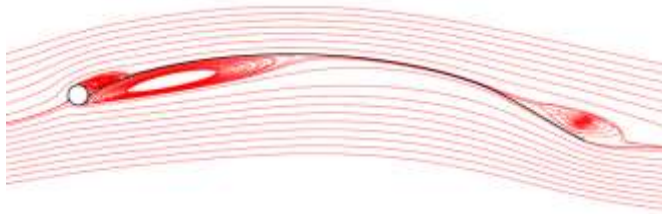
http://2.bp.blogspot.com/_v8moY8RoIjC/SolaviyXm9I/AAAAAAB5w/vqmcYaIY7Dw/s320/Cr%C3%A9gole.jpg



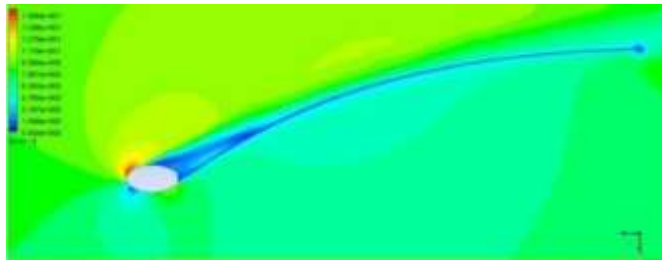
<http://forums.sailinganarchy.com/index.php?topic/174544-excessive-twist-in-self-tacking-jib/>

2.3.14. ábra: Orrvitorla-bum egy régi (felül) és egy modern vitorlásan (alul)

Mindkét megoldás esetén az árboc a vitorla első éle körüli áramlásban helyezkedik el, és óhatatlanul hatást gyakorol az ott kialakuló áramképre és nyomásmegoszlásra. Mivel a vitorla első éle után a szél alatti oldalon kialakuló depresszió nagymértékben hozzájárul a nagyvitorlán kialakuló aerodinamikai erőhöz, így az árboc nyomásképet befolyásoló hatását nagyon komolyan kell venni. A 2.3.15. ábrán egy cirkáláshoz beállított vitorla körüli nyomásmegoszlás látható, jól kivehető az árboc mögött kialakuló leválás, szélárnyék.

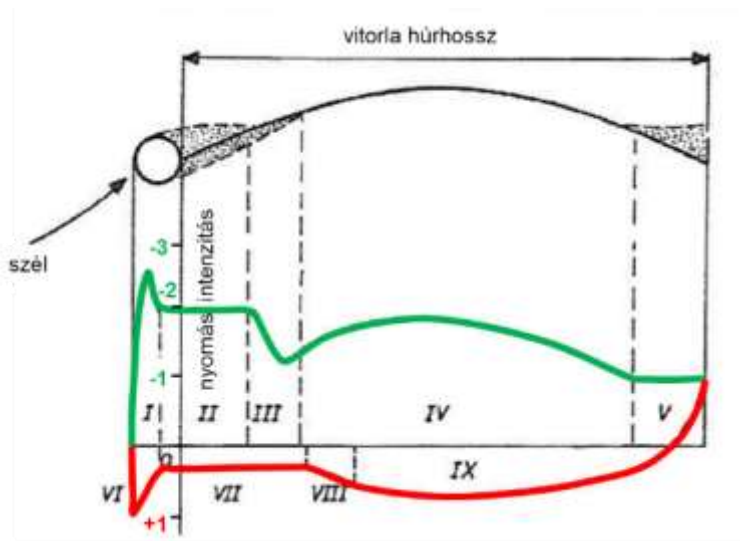


forrás: Renzsch



<http://www.doylesails.com/design/saildesign.html>

2.3.15. ábra: Az árboc és vitorla egymásrahatása

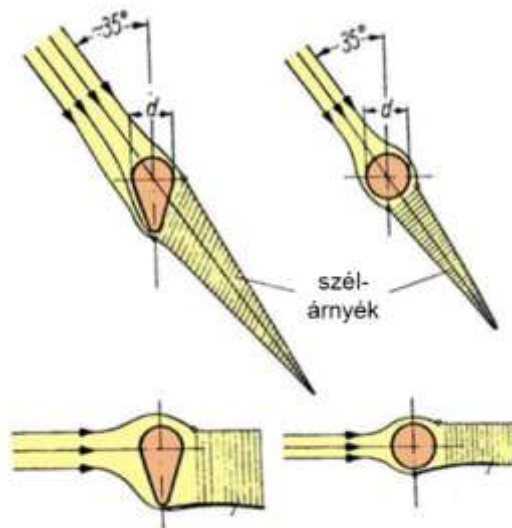


forrás: Marchaj

2.3.16. ábra: A nyomásmegoszlás jellege az árboc mögötti vitorlán. Az egyes szakaszok jelentése: I – árboc felső részéhez tapadt áramlási zóna, II – felső leválási zóna árboc miatt, III – felső visszasimulási zóna, IV – rásimuló áramlási zóna a felső részen, V – hátsó él leválási zóna felül, VI – árboc alsó részéhez tapadt áramlási zóna, VII – alsó leválási zóna, VIII – alsó visszasimulási zóna, IX – rásimuló áramlási zóna az alsó részen

Különösen fontos azt szem előtt tartani, hogy az árboc különböző szélhez képesti haladási irányokon különböző mértékű szélárnyékot produkál, ezzel tovább befolyásolva a kedvezőtlen hatást. Ezt illusztrálja a 2.3.17. ábra. Az elnyújtott keresztmetszettel rendelkező árboc ellenállása 0° -os megfúvás esetén lényegesen jobb lenne a kör keresztmetszetű változatnál, azonban cirkáláskor és félszélben láthatóan nagyobb a szélárnyék mögötte.

Nem szabad megfeledkezni azonban arról, hogy az árboc keresztmetszétének alakját nem csak áramlástanilag befolyásolják, az árbocnak kellő szilárdsággal kell rendelkeznie a terhelő erők hatásaival szemben. Ez mind a hossz- mind a keresztirányú inerciára, vagyis befoglaló méretekre minimális értékeket jelent, emellett kell hidrodinamikai szempontok szerint is optimális kialakítást létrehozni.



forrás: Marchaj

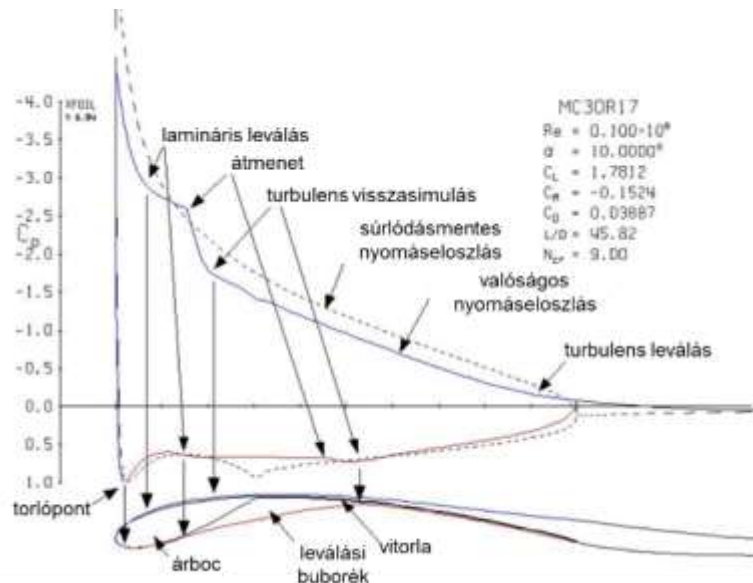
2.3.17. ábra: A szélárnyék nagysága különböző árbocok és szélirányok esetén

A megfelelő szilárdságot biztosító, mégis áramlástanilag minden szélirányhoz ideális árboc fixen rögzített kivitelben nem valósítható meg, de elforgatható, szimmetrikus szárnyprofil keresztmetszettel már igen. Az elforgatható árboc merevítése azonban kihívásokat rejt magában, így ez a megoldás egyszerű túrahajókon nem látható, inkább versenyhajókon, különösen is két- és háromtestűeken alkalmazzák. A 2.3.18. ábra ilyen forgatható árboc kialakítást mutat, a 2.3.19. ábrán pedig egy ilyen árboc vitorla rendszeren kialakuló nyomásmegoszlást láthatunk, melyet a 2.3.16. ábrán láthatóval érdemes összevetni.



<http://www.s-boat.com.au/>

2.3.18. ábra: Forgatható szárnyprofil keresztmetszetű árboc egy katamaránon (jól látható a gömbcsukló, amin áll)



<http://www.tspeer.com/Wingmasts/teardropPaper.htm>

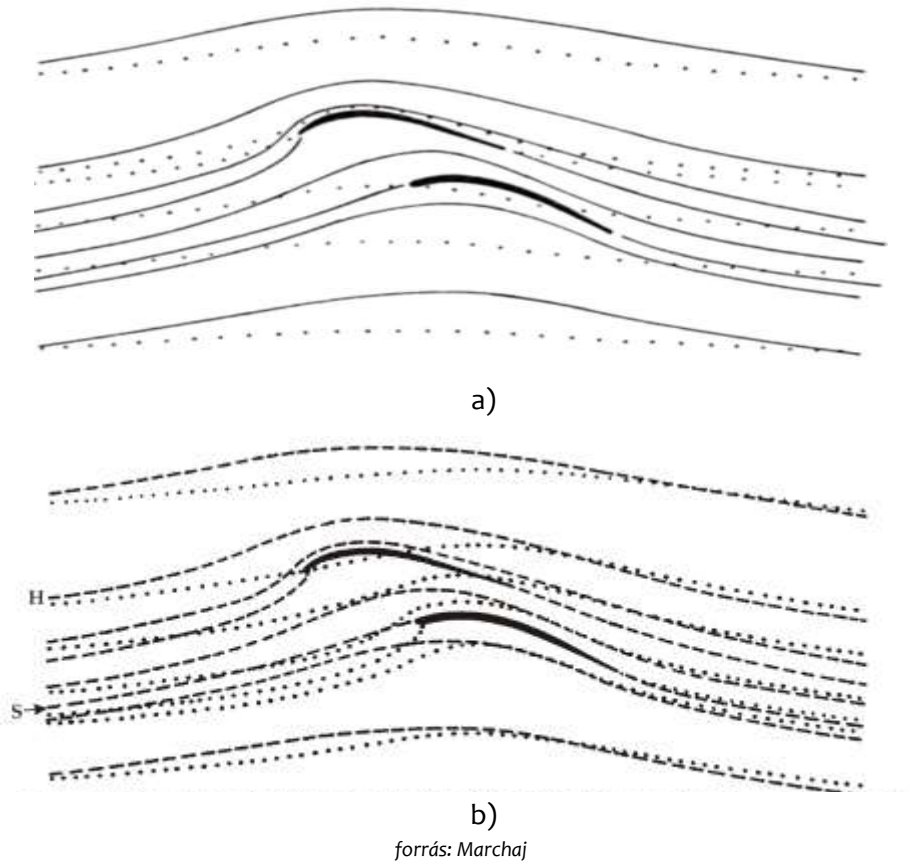
2.3.19. ábra: Szárnyprofil árboc és vitorla körüli nyomásmegoszlás

2.3.2 A vitorlák egymásra hatása

A vitorlák¹ egymásra hatásának fizikája, a látható jelenségek magyarázata régóta foglalkoztatja a vitorlázókat, de sajnos sok téves magyarázat kering a köztudatban ezzel kapcsolatban. A leggyakrabban idézett és a hajósok által leginkább elfogadott szemlélet az, amikor a két vitorla közötti szűkülő rést egy nagy Venturi csőnek tekintve azt állítják, hogy a vitorlákon keletkező megnövekedett erő, vagyis a kedvező hatás annak köszönhető, hogy az áramlás a két vitorla között felgyorsul (hiszen a kontinuitás törvénye alapján kisebb keresztmetszeten nagyobb sebességgel áramlik a közeg). A valóság – melyet már az 1970-es években is kísérletekkel be tudtak mutatni, de a mai CFD technikák is ugyanúgy igazolják – igencsak más, ugyanis téves az elméletnek azon része, hogy az orrvitorla és az árboc között ugyanakkora közegmennyiség áramolna át. A mérések is bebizonyították, hogy lényegesen kisebb az itt átáramló közeg, melynek az az egyenes következménye, hogy a rés előtt és a résben az áramlási sebesség valójában csökken, és a Bernoulli törvény értelmében a nyomás ezért nő. A közeg csak a rés végén gyorsul vissza az orrvitorla szél alatti oldala felől érkező közeg sebességére. A résben az orrvitorla jelenléte által az árbocnál és a nagyvitorla elején kialakuló, az orrvitorla nélküli állapothoz képest nagyobb nyomás egyrészt azt eredményezi, hogy a nagyvitorla két oldala között kisebb lesz a nyomáskülönbség, ezért a nagyvitorla kevesebb felhajtóerőt termel, de másrésztől a nagyobb nyomás az áramlás irányában kisebb nyomásnövekedést (ld. a nyomásmegoszlás görbéjét) jelent, mely hozzájárul ahhoz, hogy az árboc körüli áramlás ne váljon le. Ez az orrvitorla nagyvitorlára kifejtett hatása. Ugyanakkor a nagyvitorla is hat az orrvitorlára: egyrészt, mivel a két vitorla között kevesebb közeg tud csak áramlani (a két vitorla mintegy nagyobb akadályt képez a levegő számára), így nagyobb mennyiségű levegő áramlik az orrvitorla szél alatti oldalán, ez pedig az ott kialakuló sebességet növeli meg, aminek egyenes következménye a nyomás drasztikus csökkenése. Így az orrvitorlán a nagyvitorla miatt lényegesen nagyobb felhajtóerő keletkezik. További kedvező hatása a nagyvitorlának, hogy az áramlás meredekebben érkezik az orrvitorlára, mint érkezne nagyvitorla nélkül, így a hajó a valódi szél irányához kicsit közelebb tud fordulni, vagyis élesebben tud cirkálni.

¹ Itt alapvetően most a bermuda rigg orr- és nagyvitorlájára gondoljunk, az egyéb kiegészítő vitorlák, mint a spinnaker és a nagyvitorla kölcsönhatásával vagy a másfajta vitorlázatok vitorláival itt nem foglalkozunk.

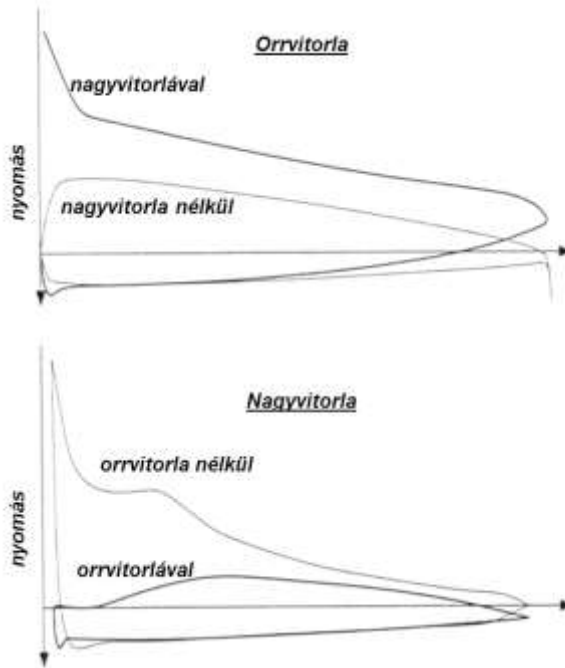
A fenti elméletet az alábbiakban ábrák segítségével szemléltetjük. A 2.3.20. ábra a) részén a pontozott vonal mutatja a nagyvitorla jelenléte nélküli, a folytonos pedig a nagyvitorlával együtt az orrvitorla körül létrejövő áramlási viszonyokat. Az ábra b) része a nagyvitorlát mutatja, a pontozott vonal itt egyedül a nagyvitorla körül, a szaggatott vonal pedig a két vitorla együttes jelenléte melletti áramképet szemlélteti. (A két részen a folytonos és szaggatott vonal azonos, hiszen mindkettő mindkét vitorla körüli áramlást mutatja.) Az ábrán jól megfigyelhető az orrvitorla belépője előtt kialakuló feláramlás (upwash), illetve a két vitorla között ritkuló áramvonalak, mely a kisebb közegmennyiségre utal.



2.3.20. ábra: A vitorlák körül kialakuló áramképek egymásrahatás esetén

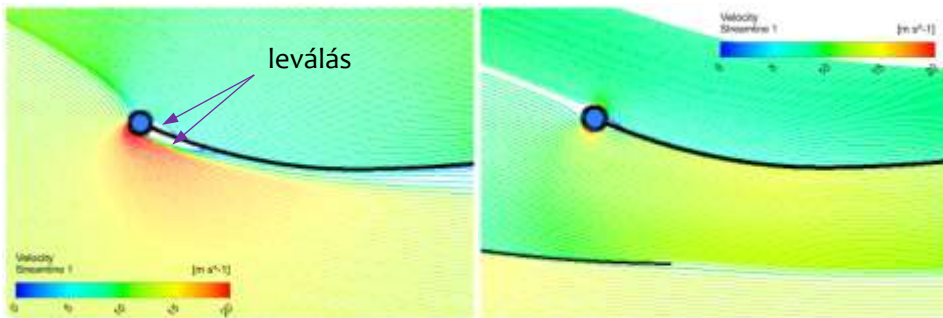
A 2.3.21. ábrák a vitorlákon kialakuló nyomásképet ábrázolják. Megfigyelhető az orrvitorlára vonatkozó diagramon, hogy a nyomáskülönbség eredő értéke, vagyis a felhajtóerő lényegesen nagyobb az orrvitorlán, ha mögötte ott

van a nagyvitorla, és a nagyvitorla képen pedig, hogy az orrvitorlával együtt a nagyvitorla első harmadán nem alakul ki a nagy depresszió, így a nyomás az áramlás irányában nem, vagy nem drasztikusan nő, ezáltal az itt egyébként kialakuló leválások nem jelentkeznek. Ez még jobban látható a 2.3.22. ábrán.



forrás: Larsson

2.3.21. ábra: Nyomáseloszlás a vitorlák rendszerén



forrás: Li'skiewicz

2.3.22. ábra: Sebességmegoszlás és áramvonalak a) nagyvitorla egyedül b) orrvitorlával

Meg kell jegyezni a fentiekhez, hogy a kedvező hatások érvényesülésének feltétele, hogy a vitorlák egymáshoz képest megfelelően legyenek beállítva. A

gyakorlatban a vitorlázók a relatív szélhez beállítják optimálisan az orrvitorlát (génuát) és ehhez igazítják hozzá a nagyvitorlát.

2.3.3 A hajótest és a vitorlák közötti távolság

A karcsúság kapcsán már említettük, hogy a vitorla mindkét végén, alul és felül is ki tud alakulni indukált örvény, amennyiben ezt nem gátoljuk meg valamilyen módon. Ennek egyik – elsősorban inkább versenyhajókon – alkalmazott módja, hogy az orrvitorlát teljesen a fedélzetre fekvő módon szabják (2.3.23. ábra), a nagyvitorla esetén pedig igyekeznek a bumot minél alacsonyabban elhelyezni a távolság csökkentése érdekében. Túrahajóknál a fedélzeti szerelvények (ablakok, bikák, korlátok) és a bum alatti állómagasság igénye általában ezt nem teszi lehetővé, így itt mindenképpen nagyobb veszteségre lehet számítani. A hatás a vitorlák és test közötti távolság függvényében akár jelentős is lehet, az ellenállás-tényező 10-20%-kal növekedhet, miközben a felhajtóerő-tényező 5-10%-kal csökken. Ez értelemszerűen azt is jelenti, hogy a hajóval nem lehet olyan élesen cirkálni, hiszen az ε_a szög nő.



<http://www.windcraftmoody.com/moody-54-deck-saloon/>



<http://bodensee-news.blogspot.hu/2015/05/pokalregatta-des-wyc-fur-scharenkreuzer.html>

2.3.23. ábra: Magasra (felül) és alacsonyra szabott orrvitorlák (alul)

2.3.4 Egyéb tényezők

Az eddigiek során pusztán a vitorlákon keletkező erőket vettük figyelembe. Azonban a hajó haladása szempontjából – és végső soron ennek optimalizálása a cél – a teljes rigg, vagyis a vitorlák ÉS minden egyéb szélnek kitett rész számít. A vitorlák mellett a hajótesten, a rudazat egyéb részein, annak merevítő kötélzetén, de még a hajó legénységén is keletkezik erő. Az esetek túlnyomó többségében ezeken csak ellenálláserő alakul ki, ez viszont erős szélben akár igen jelentős mértékben hozzájárulhat a teljes hajó ellenállásához és a vitorlákon keletkező ellenállás egy nagyobb, el nem hanyagolható arányát teszi ki. A hatás nagyságát szélcsatorna kísérletekkel lehet alapvetően kimutatni, de jellegét a polárdiagramban is megjeleníthetjük. Mivel csak ellenállásnövekedést jelentenek ezek a részek, az eredeti, vitorlákra vonatkozó görbe eltolódik (elfordul) a nagyobb ellenállások felé, vagyis, ugyanakkora felhajtóerőhöz nagyobb ellenálláserő tartozik és a hajó kevésbé tud élesen vitorlázni. Az eltolódás miatt azonban tompább irányokon javul a helyzet, nagyobb eredő erő keletkezhet, ez természetes is, hiszen itt már nem a felhajtóerő adja elsősorban a hajtóerőt.

2.4 Vitorlások teljesítménybecslése

Ahogy a motoros hajóknál fontos, hogy adott beépített teljesítmény és propeller mellett milyen sebességre képes egy adott hajó, úgy vitorlásoknál is jelentkezik a várható sebesség előzetes, tervezéskori ismeretének igénye. Azonban míg egy motoros hajónál a sebességet alapvetően a hajótest alakja és paraméterei valamint a propeller jellegzetességei jól és könnyebben becsülhetővé teszik, ugyanez egy vitorlás hajónál lényegesen komplexebb és ezért nehezebb feladat. Ennek oka a propulzió jellegében van, mind a szél, mind a vitorlázat lényegesen összetettebbé teszi a vizsgálandó rendszert. A szél vonatkozásában elmondható, hogy nyilvánvalóan más lesz ugyanannak a hajónak a sebessége különböző erősségű és a hajó haladási irányával különböző szöveget bezáró szelek esetén, hiszen már láttuk, hogy az egyes vitorlák milyen különbözőképpen teljesítenek különböző irányokon. Emellett a vitorlázat számos beállítható, változtatható paramétere (pl. árboc dőlése, görbítése, vitorlák élleinek feszessége, vitorlák öblössége, lehúzási pontok helye, stb.) valamint a menet közben a külső hatások eredményeképpen sztochasztikusan változó jellemzők (pl. a hullámozó vízen adott sebességgel haladó, de bólogató és

oldalirányú lengéseket is végző hajó vitorláinak körül kialakuló áramlások által keltett erők meghatározása) egyidejű és pontos figyelembevétele majdnem lehetetlen feladat.

Mivel a teljesítmény becslésére mégis igény van, így az előbb röviden részletezett komplex feladat egyszerűsítésére, a problémák leszűkítésére van szükség. Persze a fejlett tervezést támogató eszközök, mint a CFD vagy a modellkísérletek alkalmazása itt is pozitív hatással van a pontosabb eredmények megszerzésére, de meg kell jegyezni, hogy még ha sikerülne is minden külső tényezőt megfelelően figyelembe is venni, a vitorlázásban mindig jelen levő emberi tényező a hajó teljesítményét nagyon nagy mértékben tudja befolyásolni (pl. egy rossz kormányozdulat és az egyébként tervezőasztalon biztos nyertes hajóval is el lehet veszíteni egy versenyt).

2.4.1 A teljesítménybecslés egyszerűbb módjai

Az ide tartozó egyszerűbb módszerek nem a vitorlás hajó sebességének becslésére szolgálnak, hanem elsősorban a hajók sebességpotenciáljának összehasonlításához alkalmazhatók. Ennek érdekében általában az alábbiakban részletezett dimenzió nélküli arányszámokat használják a tervezők.

2.4.1.1 Vitorlafelület-vízkiSORÍTÁS arány

Ez az arányszám tulajdonképpen a hajó hajtására rendelkezésre álló potenciális hajtó teljesítményt a hajtott tömeggel hasonlítja össze. Természetesen a nagyobb szám nagyobb sebességpotenciált jelent. A vitorlafelület számításához pusztán a nagy- és orrvitorla névleges méretét, tehát a háromszögek felületét kell figyelembe venni (denevér elhanyagolva).

$$\frac{SA}{Disp^{2/3}} = \frac{(I * J + P * E)/2}{Disp^{2/3}}$$

ahol SA a névleges vitorlafelület m^2 -ben, $Disp$ a hajó vízkiSORÍTÁSA m^3 -ben, I , J , P , és E a háromszögek befogói m -ben. A különböző vitorlÁshajó-típusokra jellemző értékeket az alábbi táblázat mutatja.

Nem szabad elfelejteni, hogy a hajónak kielégítő stabilitása kell legyen az adott vitorlafelület hordására. Ennek részletes stabilitás-számítás nélküli, közelítő megállapítására a Dellenbaugh szög használható, melyet épp ezért itt részletezünk.

6. táblázat: Vitorlafelület-vízkişzorítás arány jellemző értékei

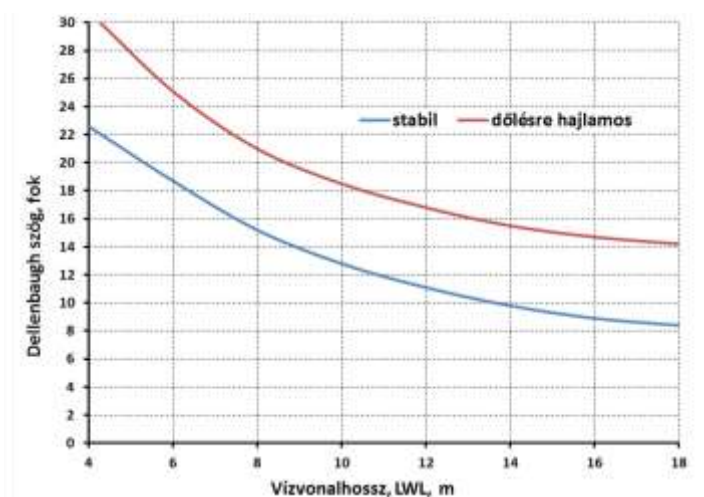
	SA/Disp ^{2/3}
Túrahajók	16-18
Gyors túrahajók	18-20
Versenyhajók	20-22
Nagy teljesítményű különleges versenyhajók	22-28
Többtestű hajók	28 felett

A Dellenbaugh szög (2.4.1. ábra) az a szög, melyre a hajó várhatóan megdől egy kb. 8 m/s-os szélben cirkálva. A szög az alábbi összefüggés szerint számítható:

$$DA = 279 \cdot \frac{SA \cdot HA}{m \cdot \overline{MG}}$$

ahol DA a Dellenbaugh szög, SA a névleges vitorlafelület m^2 -ben, HA a vitorlafelület és a laterálfelület geometriai súlypontja közötti függőleges távolság m -ben (ld. a 3.2.2. ábrát is), m a hajó tömege kg -ban, \overline{MG} pedig a kezdeti metacentrikus magasság.

Dellenbaugh javaslata szerint a hajó kellően stabil, ha a szög az alábbi diagramon levő két vonal közé esik. Fontos megjegyezni, hogy e megközelítés nagyszerűsége egyszerűségében van, de nem veszi semmilyen módon figyelembe a szél billentő hatását kompenzáló, a hajón esetleg megjelenő belső nyomatókat, mely pl. a legénység aszimmetrikus elhelyezkedéséből vagy keresztirányú vízballaszt használatából származik.



2.4.1. ábra: Dellenbaugh szög

2.4.1.2 Vitorlafelület-nedvesített felület arány

E tényező hasonló az előzőhöz, de alapvetően a hajók gyengeszeles sebességpotenciáljának összehasonlítására szolgál. Ahogy előbb láttuk, a vitorlafelület egyfajta módon a hajtó teljesítménnyel arányos, a nedvesített felület pedig a kis sebességgel haladó hajó ellenállását jelképezi, hiszen kis sebességnél az ellenállás szinte teljesen a súrlódási ellenállásból származik, ez pedig lineárisan függ a nedvesített felület nagyságától (többek között). A tényező számítása egyértelmű, csak arra kell figyelni, hogy a felületek azonos mértékegységben legyenek számításba véve.

Nehézséget a nedvesített felület meghatározása jelenthet, hiszen vonal-terv és hajótervezői ismeretek nélkül ez ismeretlen lesz. A szakirodalomban található empirikus összefüggések a nedvesített felületre, de ezek használata sem egyszerűbb, hiszen az ehhez szükséges paraméterek is a hajó bővebb ismeretét igénylik. Ez mindenképpen nehezebbé teszi az összehasonlítást, de annak fontosságát meg nem kérdőjelezi.

Dave Gerr a Nature of Boats c. könyvében javasol tapasztalaton alapuló határértékeket a lassú-átlagos-gyors hajókra, ezt foglaljuk össze a 7. táblázatban.

7. táblázat: Vitorlafelület-nedvesített felület arány értékei

	SA/WS
Gyenge szélben lassú hajók	<2
Gyenge szélben átlagos hajók	2,2 < SA/WS < 2,4
Gyenge szélben kifejezetten gyors hajók	>2,6

2.4.1.3 Hossz-vízkişzorítás arány

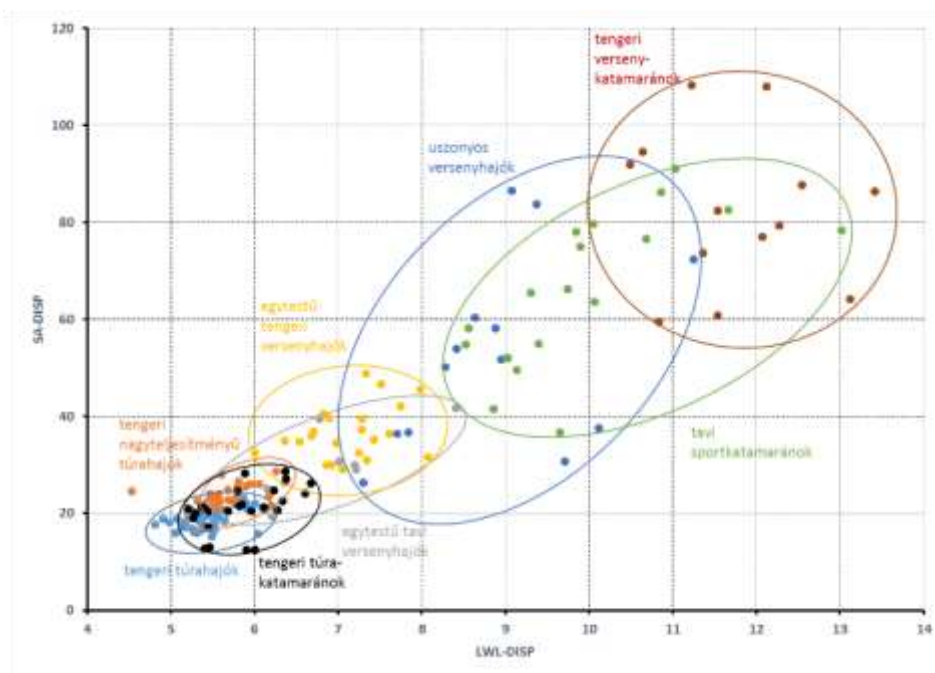
Ahogy már korábban az ellenállást befolyásoló paraméterek számbavételénél láttuk (4.3.2. fejezet), a hossz-vízkişzorítás arány (vagy másik nevén: karcúsági tényező) az elérhető sebességre ad egy utalást. Nem annak számszerű értékére, hanem pusztán csak annak jelzésére, hogy minél nagyobb hosszra jut egységnyi tömeg, várhatóan (ha ehhez van elég teljesítmény, pl. vitorlafelület, szél, stb.) annál nagyobb lesz a hajó elérhető sebessége (újra hangsúlyozzuk, hogy mindez kielégítő stabilitást feltételez). A szakirodalom szerint az 5,7-es érték meghaladása szükséges ahhoz, hogy a hajó a kb. $Fr = 0,45$ -nél jelentkező ellenállás-púpon át tudja küzdeni magát.

Az arány a következőképpen számítható:

$$\frac{LWL}{Disp^{1/3}}$$

ahol LWL a vízvonalhossz m-ben, $Disp$ a hajó vízkiszorítása m^3 -ben.

A téma lezárásaként érdemes megvizsgálni, hogyan alakulnak a különböző, egymástól igen eltérő célú vitorlás-típusok fontosabb arányszámai. A 2.4.2. ábrán látható, hogy az egyes típusok egymástól jól elkülöníthető tartományba esnek, még akkor is, ha az egyes típusoknál nagy szórás tapasztalható. Az is megfigyelhető, hogy mely típusok között, milyen mértékű átfedés tapasztalható. Fontos megjegyezni azonban, hogy a diagramban tavi és tengeri hajók is találhatóak, ezeket nem célszerű különösebben összevetni. (A diagram mintegy 180 modern vitorlás katalógus-adatainak felhasználásával készült.)



2.4.2. ábra: A különböző arányszámok viszonya a jellemző hajótípusoknál

2.4.2 A vitorlás hajók sebességének számítási módszere

A hajó sebességét egy állandósult állapotra lehet vizsgálni, ekkor a hajó egyensúlyban van, vagyis a rá ható erők és nyomatékok eredője zérus. Az állandósult állapotot a következőképpen lehet kifejezni: a hajó egyenes vonalú

pályán egyenletes sebességgel, állandó dőlés- és csúszási szöggel halad. Az erők és nyomatékok egyensúlyának kérdésével a 3.1. fejezetben részletesen is foglalkoztunk, itt csak röviden ismételjük a különböző irányokra tehető megállapításokat:

- a víz feletti részeken keletkező aerodinamikai hajtóerő megegyezik a hajótest és a víz feletti részek teljes ellenállásával (x irány);
- a víz feletti részeken keletkező oldalerő megegyezik a víz alatti részeken keletkező oldalerővel (y irány);
- a hajótestre ható felhajtóerő megegyezik a hajó súlyával és az oldalirányú erők függőleges komponensei is kiejtik egymást (z irány);
- a víz feletti részeken keletkező erőkől származó billentő nyomaték azonos a stabilizáló nyomatékkal (x tengely körüli nyomaték);
- a hajtóerőből származó orr-ra billentő nyomatékot a felhajtóerő előrébb vándorlása kiegyenlíti (y tengely körüli nyomaték);
- az aero- és hidrodinamikai erők komponens-párjainak függőleges tengely körüli nyomatéka zérus (z tengely körüli nyomaték).

Minden iránynak és minden nyomatéknak felírható a maga egyensúlyi egyenlete. A sebesség általában kielégítő pontosságú meghatározásához a következő egyszerűsítésekkel lehet élni:

- az y tengely körüli nyomaték egyensúlyát automatikusan biztosítottnak vesszük, de a hajótest ellenállásának számításánál nem vesszük figyelembe az e nyomaték miatt bekövetkező trimmváltozást;
- a z irányú erők egyensúlya egyértelmű és szintén automatikus;
- a z tengely körüli nyomatékok azonossága csak kiegyensúlyozott hajónál valósulhat meg. A 3.2 fejezetben láttuk, hogy ez egyrészt betervezhető, másrészt a kormány elfordításával létrehozható. A sebesség számításához általában feltételezzük, hogy ez a nyomaték-egyensúly a kormány elfordítása nélkül fennáll, és így a kitérített kormány ellenállást növelő hatása nem jelentkezik (o állásszögű kormányt feltételezünk).

A fenti egyszerűsítések mellett meg kell jegyezni, hogy a számításhoz egy statikus egyensúlyi állapotot veszünk alapul, vagyis a hullámzó víz lengéseket gerjesztő hatását és az ennek következtében kialakuló periodikusan változó egyensúlyt annak komplexitása miatt figyelmen kívül hagyjuk.

Ezek után már megállapítható, hogy a számítás ismeretlenei a hajó sebessége, dőlés- és csúszási szöge. A statikus állapotot leíró szükséges paraméterek/jellemzők pedig a következők:

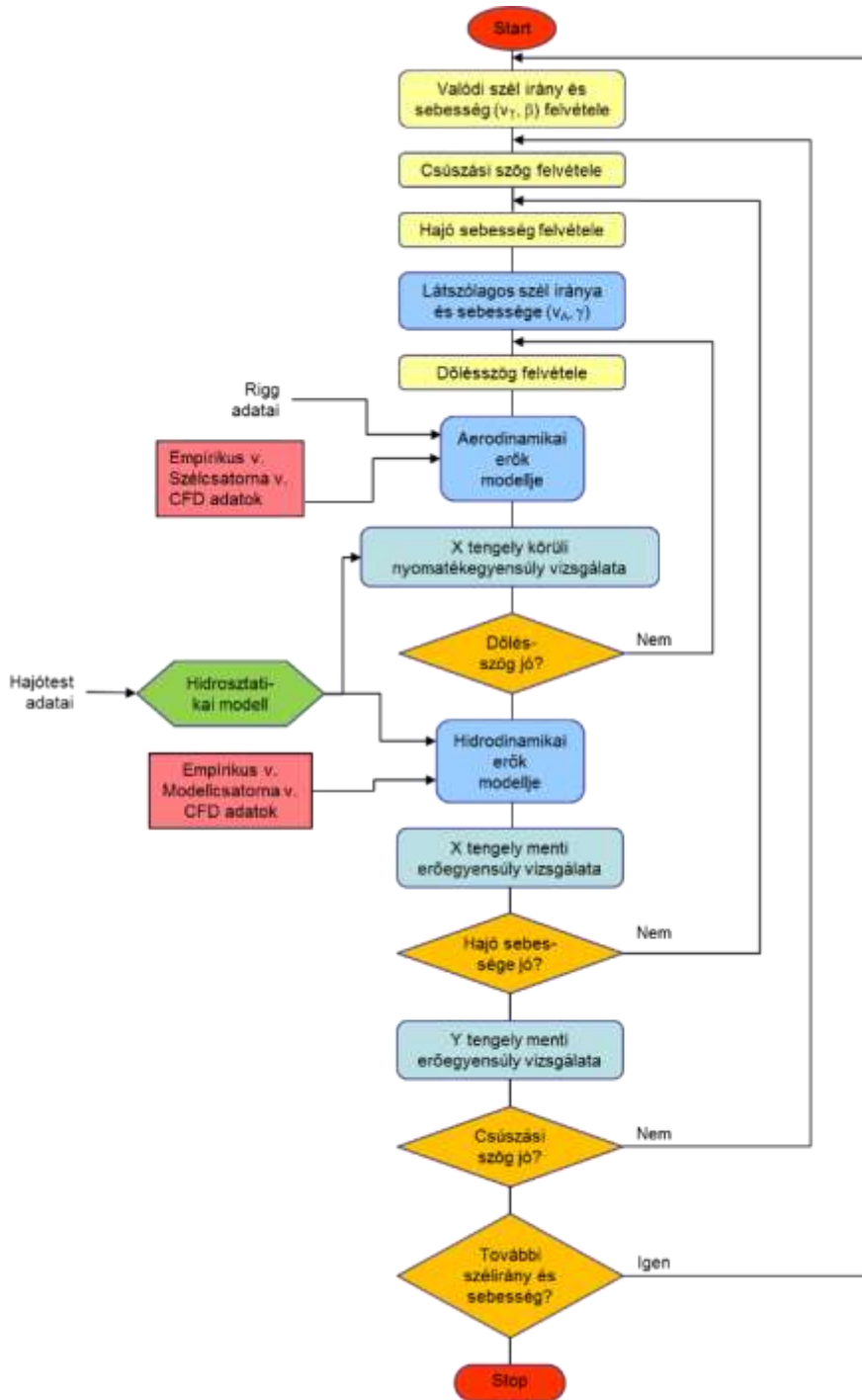
- hajótest, tökesúly (akár bulbával) és kormány geometriája;
- a rudazat és merevítő kötélzet geometriája;
- a vitorlák geometriája;
- a vitorlák kombinációja, esetleg információ a vitorla csökkentésével kapcsolatosan;
- a valóságos szél nagysága és iránya;
- tömeg- és tömegközéppont adatok (hajó és legénység egyaránt).

E szükséges információk egy ismert/tervezett hajónál némi munka árán megszerezhetők a megfelelő formában. Ezek után már „csak” a bemenő paraméterek és az ismeretleneket is tartalmazó erők és nyomatékok összefüggéseire van szükség. Ennek megoldása nem explicit, hanem a fokozatos közelítés elvét alapul vevő iteráció segítségével valósítható meg. E számítás folyamatát a 2.4.3. ábra mutatja.

2.4.2.1 A VPP, vagyis Velocity Prediction Program

A bemutatott iterációs folyamat elvégzésére ma már számos cég kifejlesztett számítógépes programot, melyek kereskedelmi forgalomban a hajótervezők rendelkezésére állnak. Az ilyen programot általánosan VPP-nek, azaz Velocity Prediction Program-nak, vagyis sebességbecslő programnak hívják. A felhasználás célja változó, lehet a tervezés során kialakuló különböző változatok közötti optimalizálásra használni, de akár alapulhat ilyen programon a különböző kialakítású, és ezért nehezen összemérhető vitorláhajók versenyeredményeit korrigáló előnyszám-rendszer is.

A folyamatábra sárga mezői vagy felhasználói adatbevitelt vagy az iteráció során a program által automatikusan elvégzett adatfelvételt jelentenek.



2.4.3. ábra: A sebesség iterálásának folyamatábrája

A kék mezők számítási modult jelölnek. Az első ilyen alapvető bemenő adatai a szélirány és -erősség valamint a felvett hajósebesség, ennek ismeretében a látszólagos szél jellemzői számíthatóak. A nyomatékok és erők egyensúlyának ellenőrzéséhez szükséges az aero- és hidrodinamikai erők számítása. Az aerodinamikai erőkhöz elengedhetetlen a rigg geometriai adatainak ismerete, ezeket általában a felhasználó adja meg. Itt nagyon fontos tudni, hogy a program által kért méretek pontosan mit jelentenek, mely pontok között kell mérni őket. Az esetek többségében éppen ezért egy, a programmal összhangban levő felmérési adatlapot szoktak készíteni, mely grafikus ábráival megkönnyíti a szükséges adatok pontos összegyűjtését. A rigg adataiból aztán a matematikai összefüggések ismeretében számítható a vitorlázaton keletkező felhajtó- és ellenálláserő (L és D), amit a széladatok segítségével hajtóerőre és oldalerőre (F_R és F_H) lehet már bontani. A sebesség becslésének az egyik legkomolyabb része az említett összefüggések minél pontosabb ismerete. Ezek meghatározására ma már több, különböző költségvonzatú módszer kínálkozik. Az egyik ilyen lehetőség a szakirodalomban nyilvánosan elérhető empirikus összefüggések alkalmazása, ezek azonban sokkal általánosabbak annál, hogy a sok egyedi hajóhoz pontos eredményt tudjanak szolgáltatni. Látható a szokásos kapcsolat a költségek és a pontosság között: az olcsón vagy éppen ingyen elérhető információval kisebb pontosságot lehet elérni ezen a területen is. A pontosság és a költségesség létráján a következő fokozat a CFD alkalmazása a vitorlák alakját meghatározó paraméterek és a keletkező erők közötti összefüggések meghatározására. A CFD azonban elsősorban a cirkálás-félszél irányokra használható csak, ahol a hajtóerőt elsősorban a felhajtóerő adja. Raumos, hátszeles irányokon a hajtóerő alapvetően ellenállásból adódik, és a vitorlák körül kialakuló leválások modellezésére a CFD még jelentős bizonytalanságokat mutat. A lehetőségek harmadik nagy csoportja a méréseken alapuló összefüggések felhasználása. Méréseket sok esetben modellen, szélcsatornában végeznek. A szisztematikusan variált paraméterekkel végzett mérésorozatok eredményei az első csoportban említett empirikus összefüggések, melyeket idővel publikálnak is. A másik ide tartozó kör az egyedi modelleken ill. azok változatain végzett mérési eredmények alkalmazása a VPP-ben. Ez tekinthető ma a legszofisztikáltabb megoldásnak a sebességbecslés témakörében.

A víz alatti részeken keletkező erők meghatározása két részre bontható. Az egyik rész a hidrosztatikai számítások része, mely gyakorlatilag a hajó 3D-s modelljét és egyéb, felhasználó által megadott hajóadatokat (pl. tömeg) hasz-

nálva eredményezi a hajó úszáshelyzetét és stabilizáló nyomatékát a szükséges változók függvényében. Ezt a részt a ma használatos programokban általában LPP-nek, vagyis Lines Processing Program-nak nevezik. Az aerodinamikai erők modelljéből nyert eredményeket a hidrosztatikai számítások eredményeivel összevetve a nyomatéki egyensúly ellenőrizhető, ha a stabilizáló nyomaték és az aerodinamikai oldalerő nyomatéka az adott dőlésszögnél azonos, akkor tovább lehet lépni, ha nem, akkor a dőlésszöveget korrigálva a számítást újra kell kezdeni. Tovább lépés esetén a víz alatti részeken keletkező erők másik része, nevezetesen a hidrodinamikai ellenállás és oldalerő (R és F_s), a hidrodinamikai erők modelljének segítségével már kalkulálható. Ez a modell a VPP-k másik legfontosabb része, ebben vannak elrejtve a hajót testen keletkező x , y irányú erők összefüggései a merülés, dőlésszög, csúszási szög és a hajó geometriája függvényében. Ezen összefüggéseket egyszerűbb esetben itt is empirikus módszerekkel határozhatjuk meg, de az előzőekhez hasonlóan a CFD és a modellkísérletek ezen a területen is pontosabb kapcsolatot tudnak adni a vizsgált paraméterek között.

Az összefüggéseket felhasználva a modell számítási eredményeként adódik a teljes ellenállás és a hidrodinamikai oldalerő. Az aerodinamikai erők modelljéből már rendelkezésre álló adatokkal az x és y tengely menti erők páronként összehasonlíthatók. Az x irányú egyensúly esetén megvan a végleges kialakuló hajósebesség, az y irányú erők azonossága pedig a csúszási szög tényleges értékét is megadja. Korábról a dőlésszög végleges értéke is rendelkezésre áll.

Ezt a számítási ciklust minden kívánt szélirányra és szélesebességre elvégezve megismerhetjük a hajó sebességét a különböző haladási irányokon és szélerősségekben. Ezzel egy olyan komplex eredményt kapunk, mely a hajó sebességét a várható üzemi tartomány teljes egészében mutatja. Az eredményeket nem csak táblázatos (2.4.4. ábra), de a lényegesen látványosabb ún. polárdiagram (2.4.5. ábra) segítségével grafikus formában is meg lehet jeleníteni. Ez a diagram a hajó sebességét koncentrikus körökkel skálázza, a hajó haladási iránya pedig a körökhöz tartozó radiális irány. A különböző valódi szélesebességekhez különböző eredményvonalak tartoznak, a szél sebességét általában a vonalak mellett tüntetik fel. Szintén meg szokás jeleníteni a széllel szembeni és a szél irányának megfelelő cél irányába eső legnagyobb sebességkomponenshez tartozó pontokat, az előbbi az ábrán pirossal, utóbbi késsel van jelölve. A pontok segítségével meghatározható nemcsak a hajó legnagyobb

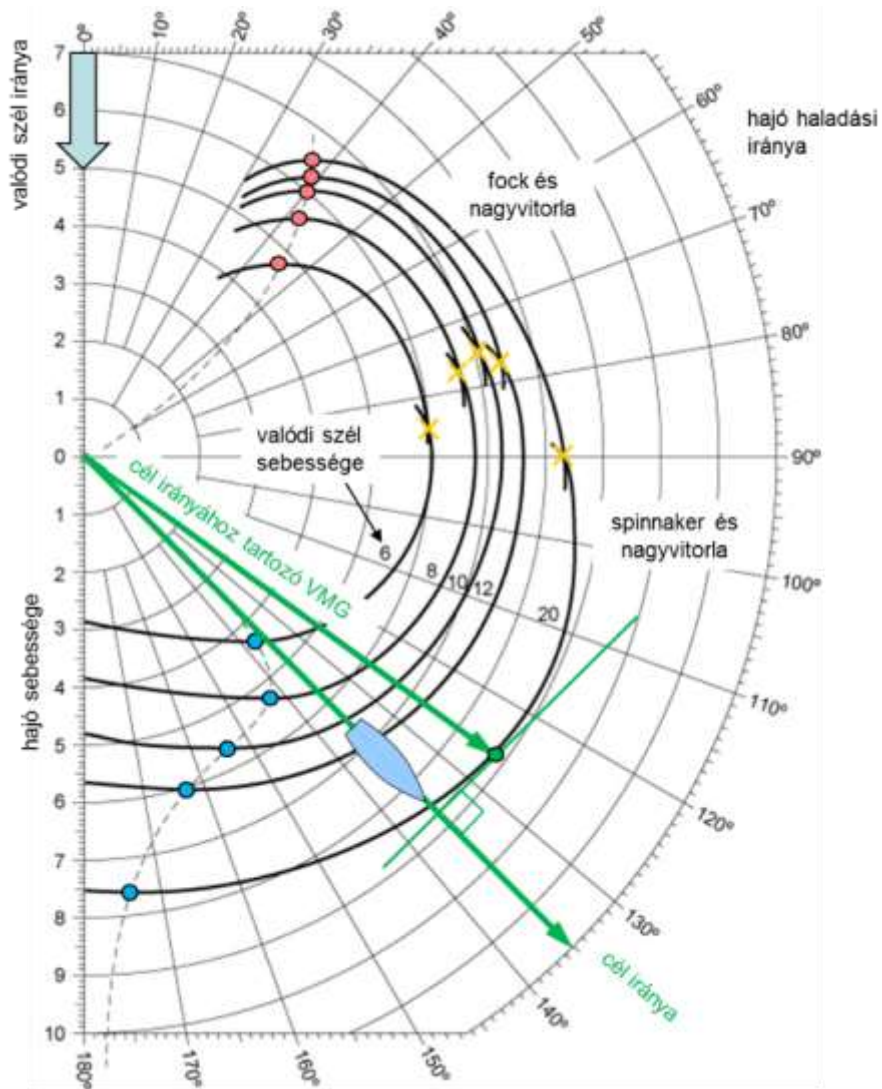
VMG²-je, hanem az ehhez szükséges haladási irány is. Ezt ugyanakkor tetszőleges cél irányához is megszerkeszthető a 2.4.5. ábrán látható módon. A cél irányát kijelölve, e vonalra olyan merőleget állítunk, amely egyben az adott szél-erősséghez tartozó hajósebességet reprezentáló vonal érintője is egyben. Az érintési pont (itt zölddel jelölve) megadja az ehhez az irányhoz tartozó VMG-t. A 2.4.5. ábrán látható narancssárga kereszték a spinnaker felhúzásának célszerű szögét adják meg az egyes valódi szélebségeknél.

Velocity Prediction in Knots for True Wind Speeds							
Wind Velocity	6 kt	8 kt	10 kt	12 kt	14 kt	16 kt	20 kt
Beat Angles	43,3°	42,1°	40,8°	38,9°	37,6°	36,7°	37,0°
Beat VMG	3,90	4,73	5,39	5,74	5,93	6,05	6,10
52°	5,98	7,17	7,85	8,12	8,26	8,34	8,44
60°	6,37	7,52	8,07	8,35	8,51	8,62	8,73
75°	6,72	7,77	8,24	8,61	8,94	9,16	9,36
90°	6,74	7,94	8,25	8,60	9,00	9,44	10,07
110°	6,73	7,89	8,52	9,05	9,40	9,66	10,21
120°	6,44	7,79	8,44	9,00	9,58	9,92	10,64
135°	5,77	7,12	7,96	8,46	9,01	9,66	11,37
150°	4,73	5,92	7,01	7,80	8,29	8,76	9,97
Run VMG	4,10	5,13	6,08	6,81	7,41	7,88	8,73
Gybe Angles	140,4°	144,3°	145,7°	154,5°	160,8°	168,6°	164,5°

<http://www.giornaledellavela.com/news/2015/03/23/cambiano-le-regole-orc-e-le-barche/>

2.4.4. ábra: VPP eredményének táblázata

² VMG – Velocity made good, a cél irányába eső sebesség nagysága



eredeti forrása: <http://www.ockam.com/2013/06/03/what-are-polars/>

2.4.5. ábra: Polár-diagram

2.5 Vitorlások segédhajtása

Mint azt korábban említettük, a vitorlás hajók haladása függ attól, hogy van-e egyáltalán szél. Tengeri hajóknál ma már teljesen nyilvánvaló, tavi hajóknál a múlt század végén még nem volt annyira egyértelmű, hogy a hajónak célszerű, ha van valamilyen segédhajtása, mely a szélhiány, kedvezőtlen szélirány esetén vagy a kikötőbe ki- be manőverezéskor segítséget nyújthat. Ez a leg-

több esetben valamilyen belsőégésű motor, nagyobb hajókon beépített, kisebbeken külmotor. A Balatonon a múlt század közepén még – motor híján – a kikötőbe kijutáshoz előszeretettel használták a „boci”-t, vagyis a nagyhajó után kötött kisméretű evezős csónakot.

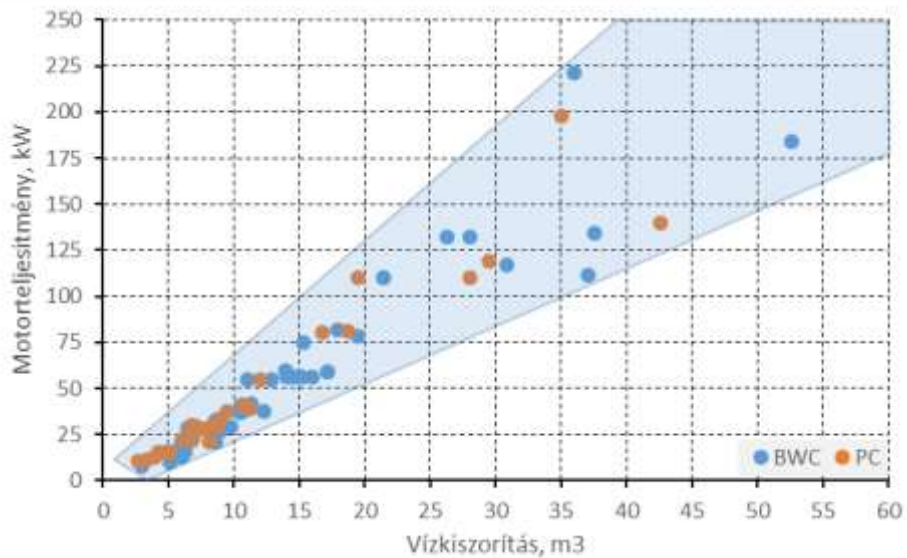
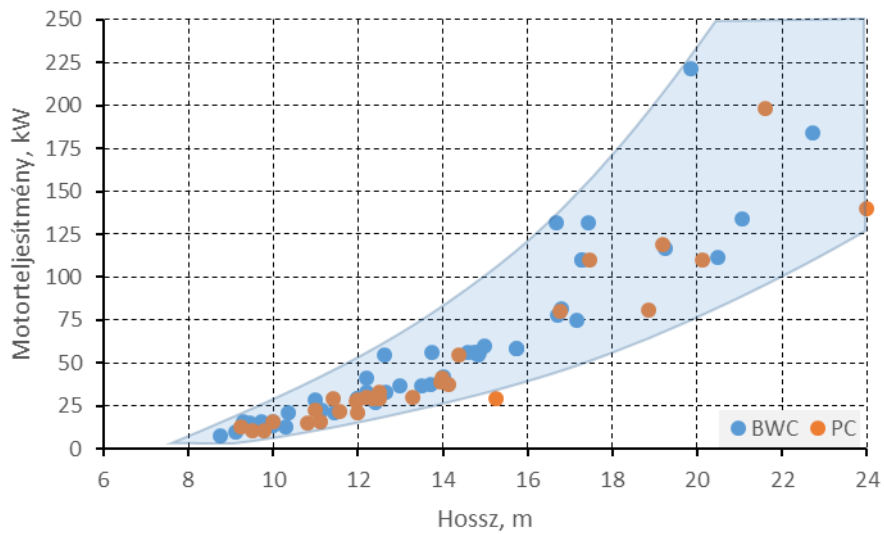
A következőkben röviden áttekintjük a segédhajtás elemeit: a motorokat, a vitorlás hajó tipikus hajtásrendszerét és a speciális, vitorlásokra szerelt propellerfajtaikat.

2.5.1 A motorok

A vitorlásokon használt motorok gyakorlatilag semmiben nem különböznek a motoros hajókéttól, mindössze a teljesítményszint és a motor besorolása más. Ezeknek a motoroknak a feladata, hogy a hajót biztonságosan kikötőbe juttassa, a kikötőben kellő manőverképességet biztosítson, rövidebb szélcsendes időszakokban a haladást elfogadható sebesség mellett lehetővé tegye. Éppen ezért a motorok teljesítményét nem az elvárt sebesség alapján, hanem főleg a hajó tömegéhez és/vagy hosszához viszonyítva szokták meghatározni. Mivel ezek a motorok relatíve keveset járnak, mindenképpen tipikus a „light duty” besorolás (ld. a Hajógépek tantárgyban tanultakat is).

Mai vitorláshajók katalógusadatait felhasználva készült a 2.5.1. ábra, mely a hossz és a vízkiszorítás függvényében mutatja a gyártók által ma elégségesnek tartott (beépített) motorteljesítmény értékét. A diagramokban csak az elsősorban tengeri használatra készült túrahajókat ábrázoltuk – a versenyhajóknak, ha van egyáltalán motorja, ettől lényegesen kisebb teljesítményű. A túra hajóknál ábrázolásra kerültek a sportosabb, vagyis könnyebb hajók is, észrevehető ezek kisebb teljesítménye a hossz függvényében ábrázolt diagramon.

Manapság a dízelmotorok mellett megjelentek az elektromos motorok is, mint a vitorlások segédmotorja. A motorokat általában rövid idejű kikötőből ki illetve oda behajózásra használják, ez relatíve kis energiafelhasználást jelent, melyhez nem szükséges óriási méretű akkumulátor-pakkot a hajóba beépíteni. A rendszert általában kiegészítik az akkumulátorokat hatékonyan tölteni képes napelem-rendszerrel is, sőt egyes gyártók a vitorlázás közben a hajócsavart turbinaként használva így is tudják tölteni a telepeket (ez persze nagyobb ellenállást jelent a vitorlázás közben, de ez egy túrahajónál nem feltétlenül szempont, többet jelent, ha menet közben is több elektromos fogyasztót lehet használni).



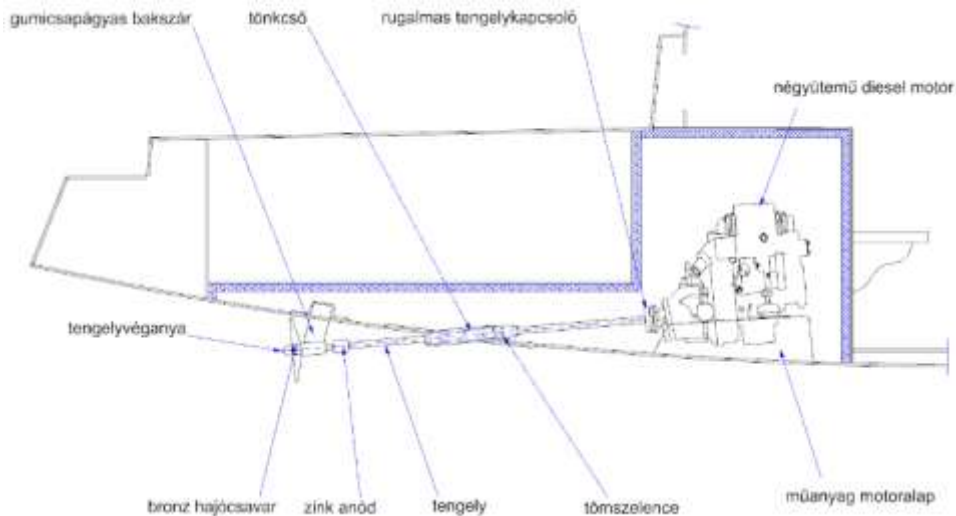
2.5.1. ábra: Vitorláshajók motorteljesítménye a hossz és a vízkiszorítás függvényében (BWC – túrahajók, PC – sportos túrahajók)

2.5.2 A hajtáslánc

A vitorlások segéd-hajtómotorjaként használt berendezést általában a hajó középső részén a kajütbe való lejárás biztosító lépcső alatt szokták (tudni) elhelyezni. Ez itt célszerű is, hiszen a relatíve nagy koncentrált tömeg kellően ala-

csonyra és a hajó vízkiszorítás-súlypontja környékére tehető. A hajók gerincvonalán szokásosan hátrafelé kis szögben emelkedő, ezért még a kis átmérőjű hajócsavarok esetén is relatíve hosszú tönkcsőre, hosszú tengelyre és annak végén tengelybakra van szükség a hajócsavar megfelelő megtartása érdekében. Ennek beállítása nehezebb, ezért ma már kevésbé kedvelt megoldás.

A másik lehetőség az ún. „sail-drive” használata, mely a V hajtás vitorlásokra adaptált változata. A hajtáslánc itt is egy speciális, 2 kúpfogaskerékpárt alkalmazó hajtómű közbeiktatásával kerül kialakításra, de a tengely nem a tükrön (mint a motoros hajóknál) hanem a hajó fenekén megy keresztül. Ilyen rendszert mutat a 2.5.3. ábra. Az ábrán drapp színrel látható a hajtómű, melynek a külmotorokhoz hasonló „csizmája” kellően hosszú ahhoz, hogy a hajócsavar elférjen a hajótest alatt. Ma már minden motorgyártó, aki vitorlás hajóhoz kínál motort, általában kínál hozzá ilyen hajtóművet is, a motorral közgyári műanyag alappal együtt (a képen fehéren látható). A hajtómű nem körbeforgatható, így a hajócsavar aktív kormányként nem tud funkcionálni, de arra általában van lehetőség, hogy a behajtó tengely 180°-kal elfordítható legyen, biztosítva ezzel a motor hátrébb helyezhetőségét.



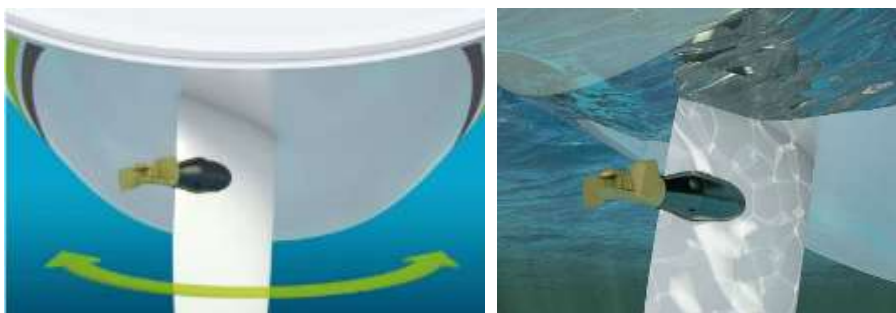
2.5.2. ábra: Vitorlášhajó egyenes kihajtással



<https://www.vetus.com/en/engines-and-around-the-engines/engines/engine-m3-29-suitable-for-saildrive.html>

2.5.3. ábra: Sail-drive

A két hajtásrendszer előnyeit és hátrányait a 8. táblázatban foglaljuk össze. Érdekes új megoldás az elektromos motorok fejlődése révén lehetővé váló kormányra szerelt elektromotor+hajócsavar egység (2.5.4. ábra), mely kisebb kb. 10 m-es hajókra még kellő teljesítményt biztosít nem csak kikötői manőverezéshez, de a marketing anyagok szerint akár 6 csomós sebességű nyíltvízi haladáshoz is.



<https://www.hanseychts.co.uk/readnews.asp?article=106>

2.5.4. ábra: Kormányhajtás

A megoldás előnye a nagy manőverképesség, hiszen a kormánylap elfordításával a tolóerő hatásvonalja is elfordul. A leírások szerint egy speciális kormányrendszerrel a kormány $\pm 50^\circ$ -ra kitérítése is megoldható, így a megoldás tényleg kiváló lehet a kikötőben.

8. táblázat: A hagyományos és saildrive összehasonlítása

	Hagyományos hajtás	Sail-drive
Előnyök	<ul style="list-style-type: none"> – lényegesen olcsóbb megoldás; – régi, jól bevált, megbízható megoldás – a hajócsavar közelebb van a kormányhoz, nagyobb manőverképességet biztosít; 	<ul style="list-style-type: none"> – a motor és a hajócsavar közel van, nincs hosszú tengely, nincs rezgés; – a hajó építője számára előny, hogy lényegesen könnyebben beépíthető, nincsen egyenesbe-vezetési probléma, ez olcsóbb gyártást tesz lehetővé (sorozatgyártásnál nincs nagy jelentősége); – a motor és a hajócsavar kapcsolódása robosztusabb, erősebb, kisebb a sérülés valószínűsége;
Hátrányok	<ul style="list-style-type: none"> – kedvezőtlenebb tömegelosztás; – a hajótesten kívüli alkatrészek mindenképpen nagyobb ellenállást jelentenek; – a tolóerő iránya nem párhuzamos a vízvonallal; – általában van tömszelence és külső csapágy, mellyel törödni kell; 	<ul style="list-style-type: none"> – a csizma általában alumíniumból készül, potenciális elektrokémiai korrózióveszély; – egy nagy lukat kell vágni a hajótesten; – a tömítést időszakosan cserélni kell, ez drága és macerás feladat; – ha a tömítés sérül, az a hajó elárasztódását eredményezheti;

2.5.3 Propellerek

A vitorlás hajók propellereivel (melyek általában hajócsavarok) szemben támasztott legfőbb követelmény a kis ellenállás vitorlázás közben. Ezt alapvetően többféle módon lehet elérni, de sajnos mindegyik megoldás a hajtás hatásfokának csökkenésével jár.

A csavar ellenállásának nyilvánvaló csökkentési lehetősége a méret csökkentése. Ez általában kisebb átmérőt, kevesebb szárnyat és kisebb felületet jelent, viszont mindez – mint az a Hajók hajtása c. tárgyból már nyilvánvaló – kisebb előállítható tolóerőt, vagy nagy teljesítmény esetén nagy propellerterhelést és kavitációt eredményez. Ezek figyelembevételével – megfelelő motorteljesítmény választásával – a vitorlások tipikus propellere a kisméretű, relatíve keskeny szárnyakkal rendelkező, 2-szárnyú, nagyobb teljesítmény esetén 3-szárnyú hajócsavar. Adott átmérő mellett ezek a változatok kínálják a legjobb hatásfokot, de egyben a legnagyobb ellenállást is (a többi változathoz képest).

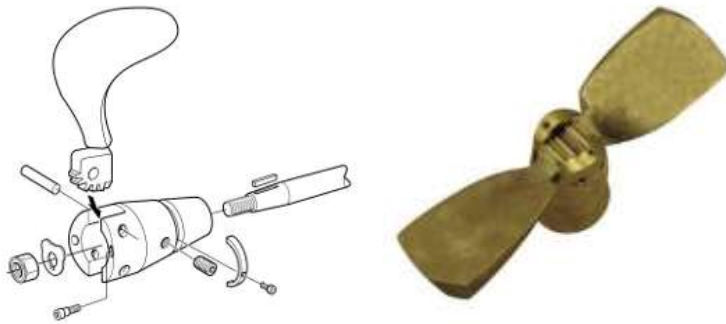


<https://www.thepropellerspecialist.com.au/products/yacht-propellers/fixe-sailboat-propellers/>

2.5.5. ábra: Fix hajócsavarok vitorlásra

A vitorlázás közbeni ellenállás csökkentésének másik módja az, hogy az áramlás irányába eső felületet csökkentjük, de ezt úgy érjük el, hogy a motor használatakor a felületcsökkentés ne éreztesse annyira a hatását, mint az előző változat esetén. Ennek egyik megoldása az összecsukódó hajócsavar (*folding propeller*), másik pedig a magától beálló szárnyú hajócsavar (*self-pitching* vagy *feathering propeller*).

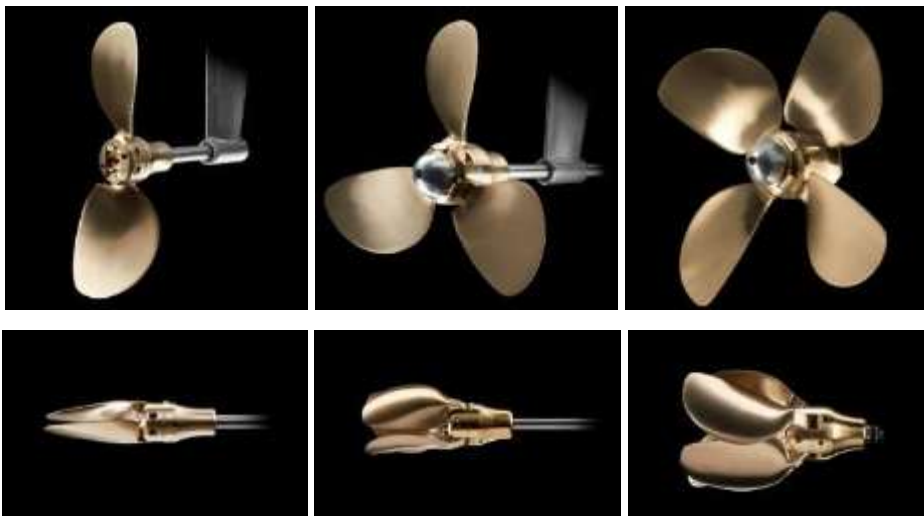
Az összecsukódó propellerek szárnyai egy hajócsavar-tengelyre merőleges síkban elhelyezett csap körül – ha a hajócsavar nem forog – áramló víz hatására képesek elfordulni, és így összecsukódni (2.5.6. ábra).



<http://www.marinepartsexpress.com/propellers.html>

2.5.6. ábra: Az összecsukódo propeller kialakítása

Az összecsukódo propellerek között találunk 2, 3, és 4 szárnyú csavart is (2.5.7. ábra), melyek jól párosíthatók minden vitorlás hajón várható teljesítményszinthez. Annak érdekében, hogy a csavar ne forogjon, és ne akarjon kinyílni vitorlázás közben, a motort sebességben kell hagyni. E változat előnyei: nagyon kicsi ellenállás összecsukott állapotban, nem hajlamos összeszedni semmit, hiszen a szárnyak gyakorlatilag a tengely mögé becsukódnak, egyszerűbb és így olcsóbb megoldás. Hátrányok között lehet megemlíteni, hogy a hátramenet problémásabb, hiszen a hátrameneti tolóerő iránya a szárnyakat be akarja hajtani, csak a centrifugális erő tartja kinn őket.



<https://flexofold.com/>

2.5.7. ábra: 2, 3 és 4 szárnyú összecsukódo hajócsavar

Az előzővel azonos célból, de más megoldással működik a magától beálló szárnyú hajócsavar (2.5.8. ábra). Ennek szárnyai a szárnyak csavartengelyre merőleges saját tengelye körül elfordulni képesek, amennyiben a csavartengely forgása miatt a szárnyakon kialakul a felhajtóerő. A szárnyak megfelelő kiképzése révén a szárnyon keletkező felhajtóerő automatikusan (innen a *self-pitching* elnevezés) elfordítja a szárnyakat, mégpedig a csavar-forgásiránynak megfelelő irányban. Az emelkedést egy állítható, elfordulást gátló elem maximalizálja, mind előre-, mind hátrameneti irányban. A szárnyak állásszögének változtatására tehát semmilyen mechanikus megoldás nincs beépítve, így ezek nem tekinthetők klasszikus CPP-nek, viszont kialakításuk, a mechanika hiányában, lényegesen egyszerűbb.



<http://www.submarineboat.com/images/sailboat/max%20prop.jpg> és <http://www.nauticexpo.com/prod/berg-propulsion/product-31981-452336.html>

2.5.8. ábra: A magától beálló szárnyú csavar felépítése

A magától beálló szárnyú hajócsavarok között is megtalálhatóak 2, 3 és 4 szárnyú változatok is, ilyeneket mutat a 2.5.9. ábra. A kialakítás előnyei: a megoldás biztosítja az állítható emelkedést, így az optimalizálható, kisebb az ellenállása a fix propellereknél, robosztusabb, kevésbé sérülékeny kialakítás (az összecukódóhoz képest). Hátrány a magasabb árszint és az, hogy a csavar a fix kialakításhoz hasonlóan hajlamos összeszedni víz alatti úszó darabokat (hínárt, nejlonzacskót, stb.), ellenállása némileg nagyobb az összecukódóhoz képest.



<http://www.varipropusa.com/en/home.html>

2.5.9. ábra: Változtatható szárnyú vitorlás hajócsavarok

3 FELHASZNÁLT ÉS AJÁNLOTT IRODALOM

1. fejezet

Kovács A. és Benedek Z. A hajók elmélete. Budapest, Tankönyvkiadó, (1988). ISBN 963 180491 7.

D. Gerr, Nature of Boats, International Marine, 1992

Carlton, J. S. Marine Propellers and Propulsion. – 2nd ed. Oxford, U.K., Butterworth-Heinemann, (2007). ISBN 978 07506 8150 6.

G. van Oortmerssen, 'A Power Prediction method and its application to small ships', International Shipbuilding Progress Vol.18, no 207

Dr. Sander M. Çalişal & Dan McGreer, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada. 'Model resistance tests of a systematic series of low L / B vessels' A paper presented to the spring meeting of the Pacific Northwest section of the society of naval architects and marine engineers.

Edward V. Lewis, Editor, Principles of Naval Architecture, Second Revision, Volume II - Resistance, Propulsion, and Vibration, Published by The Society of Naval Architects and Marine Engineers 601 Pavonia Avenue, Jersey City, NJ

Gregory Grigoropoulos, Recent Advances In The Hydrodynamic Design Of Fast Monohulls, <https://www.researchgate.net/publication/276309496>

Bryson J. Metcalf, Lisa Faul, Elissa Bumiller, Jonathan Slutsky, Resistance Tests of a Systematic Series of U.S. Coast Guard Planing Hulls, Carderock Division, Naval Surface Warfare Center, NSWCCD-50-TR-2005/063 December 2005, Hydromechanics Department Report

Lahtiharju et al: Resistance and Seakeeping Characteristics of Fast Transom Stern Hulls with Systematically Varied Forms, SNAME Transactions, VOL 99, 1991, pp. 85-118

J.A. Mercier & D. Savitsky, 'Resistance of transom shear craft in the pre-planing range' Davidson Laboratory Report 1667, Stevens Institute of Technology, June 1973.

D. Savitsky 'Hydrodynamic design of planing hulls', Marine Technology, Vol.1, No.1, Okt. 1964, pp. 71-75.

Donald L. Blount & David L. Fox 'Small craft power prediction', Marine Technology Vol.13, No.1, Jan. 1976, pp. 14-45.

J.A. Keuning, J. Gerritsma and P.F. van Terwisga, 'Resistance tests of a series planing hull forms with 30 degrees deadrise angle, and a calculation model based on this and similar systematic series', International Shipbuilding Progress 40, No.424, (1993) pp. 333-385.

Dejan Radojic, Jeffrey Bowles, On High Speed Monohulls in Shallow Water, The Second Chesapeake Power Boat Symposium, Annapolis, Maryland, March 2010

Kowalyshyn D., Metcalf B., 2006, A USCG systematic series of high speed planing hulls. Trans

The Masthead, News from Westlawn Institute of Marine Technology, Vol2 Issue 2, 2008 June

The Masthead, News from Westlawn Institute of Marine Technology, Vol2 Issue 3, 2008 September

SNAME, 268–309.

<http://www.jimmyrogersyachtbroker.com/the-different-types-of-yacht-propulsion-benefits-and-drawbacks/>

<http://www.catbuildingblog.com/propulsion/>

<https://www.boatingmag.com/boats/basics-surface-drives>

<http://www.seafury.com/a/About-Surface-Drives>

2. fejezet

L. Larsson, R. E. Eliasson, Principles of Yacht Design, 2nd edition, Adlard Coles Nautical, London, 2000;

C. A. Marchaj, Aero- and Hydrodynamics of Sailing, Adlard Coles Nautical, London, 1979;

C. A. Marchaj, Sail Performance – Theory and Practice, Adlard Coles Nautical, London, 1996;

D. Gerr, Nature of Boats, International Marine, 1992;

Claughton, Wellicom, Sheno, Sailing Yacht Design – Theory, Addison Wesley Longman, 1998;

Claughton, Wellicom, Sheno, Sailing Yacht Design – Practice, Addison Wesley Longman, 1998;

S. Killing, D. Hunter, Yacht Design Explained, W. W. Norton & Company, New York, 1998;

<http://www.yachtingworld.com/features/how-to-choose-the-right-asymmetric-spinnaker-68317>

Hannes Florian RENZSCH: Development Of A System For The Investigation Of Spinnakers Using Fluid Structure Interaction Methods, PhD disszertáció, <http://repository.tudelft.nl/>.

Arvel Gantry, The aerodynamics of sail interaction, Proceedings of 3rd AIAA Symposium, California, 1971

Arvel Gantry, More on slot effect, SAIL Magazine, 1973

Arvel Gantry, A review of modern sail theory, Proceedings of 11th AIAA Symposium, Seattle, 1981

Grzegorz Lińskiewicz, Krzysztof Sobczak, CFD analysis of the sail interaction, Institute of Turbomachinery, Technical University of Lodz, <https://www.researchgate.net/publication/232809374>

valamint a képek alatti Internet hivatkozások