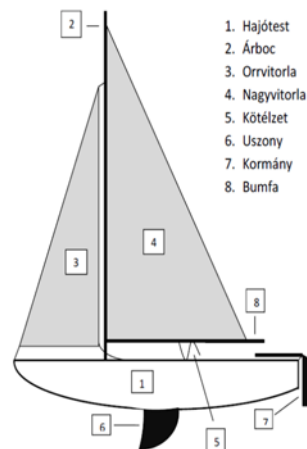


## A vitorlás hajó

### I. rész

Élőlények, tárgyak szállítására szolgáló, mozgatható, vízben úszó építményt hajónak nevezzük. A mozgató eszközök alapján a hajók feloszthatók evezős hajókra, vitorlás hajókra, gőzhajókra, Diesel-motoros hajókra és atommeghajtású hajókra. Fernando Magellán parancsnoksága alatt 1519. szeptember 20-án Spanyolországból kifut a nyílt tengerekre az az öt vitorlás hajó, amelyek közül egynek (Victoria elnevezésűnek) sikerült első ízben körülhajózni a Földet egyre nyugat felé hajózva, tizenkét nap hűján három esztendővel elindulása után. A 19. századig, amikor az óceánokon megjelentek a gőzhajók, az addig áru- és utasszállító nagy vitorlások eltűntek a tengerekről és a kisebb vitorlásokat hobbi és sport célokra kezdték használni a tengerpartok közelében és a tavakon. A vitorlászás olimpiáról olimpiára az egyik legtöbbet változó sportág, 32 különböző hajóosztályban rendeztek versenyeket. A közeli Balaton (Közép-Európa legnagyobb tava: 592 km<sup>2</sup>) évek óta egyre több kiemelkedő nemzetközi vitorlásversenynek ad otthont. Számos, érdekes fizikai probléma vehető fel a vitorlászással kapcsolatban. A továbbiakban néhány ilyen problémát tárgyalunk. Mielőtt azonban a szélről és a víztől a hajóra kifejtett erők részletezésére térnénk, tekintsük át egy vitorláshajó legfontosabb részeit (1. ábra).



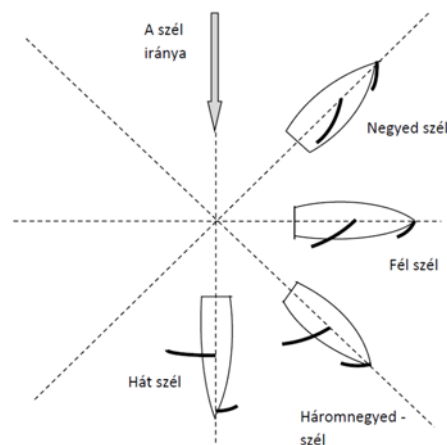
1. ábra

A cirkálóteljesítmény (a szél felé történő vitorlázásképesség) javítása érdekében orrvitorlát használnak. Ezt a hajó orrához, illetve az árbochoz rögzítik. Ennek a háromszög alakú vitorlának harmadik csúcsához kötél kapcsolódik, amelynek meghúzásával a vitorla feszesebbé, lazításával öblösebbé tehető.

A hátsó – derékszögű háromszög alakúra hasonlító – nagyvitorla első éle az árbocba vajt csatornába van behúzva, felső csücske pedig az árboz csúcsához rögzített. A háromszög vízszintes oldalát egy, az árbochoz csuklósan csatlakozó rúd, a bumfa rögzíti. A bumfához erősített kötél segítségével a vitorla kiengedhető a hajó tengelyére merőleges állásba, illetve behúzható a hajó középvonaláig. A jó sportoló aszerint engedi kinnebb vagy húzza beljebb a vitorlát, hogy hajója milyen irányban halad a szélhez képest (2. ábra).

A kisebb vitorlások esetében a hajótest lényegében egy egyszerű csónak, az eltérés csak annyi, hogy a hajó középvonalában egy vastag vaslemez, az uszony (svert) engedhető be a vízbe.

A leengedett uszony megakadályozza, hogy a hajót a szél egyszerűen maga előtt tolja. Az uszony nagy felülete jelentős ellenállást képvisel a hajó tengelyére merőleges mozgásokkal szemben, viszont alig akadályozza a hajó hossz tengely irányú elmozdulását. Nagyobb vitorlášhajók esetén uszony helyett a hajó középvonalában mélyen a vízbe merülő ólomnehezéket, ún. tőkésúlyt alkalmaznak. A tőkésúly megfelelően kiképzett alakja biztosítja, hogy a hajó ne sodródjon oldalra, nagy tömege pedig gyakorlatilag felboríthatatlanná teszi a hajót. A vitorlás a hajótest végéről a vízbe eresztett kormánylapáttal irányítható.



2. ábra

## 2. A vitorlás hajó mozgását meghatározó erők

A hajó mozgását a szél, a víz, a vitorla és a hajótest kölcsönhatása szabja meg. Az erőhatások pontos, minden részletre kiterjedő leírása bonyolult és még a szakemberek által sem teljesen tisztázott kérdés. A vitorla és a szél kölcsönhatása az aerodinamika, a víz és a hajótest közt ébredő erők a hidrodinamika speciális módszereivel vizsgálhatók. A nagy tengeri vitorlásversenyek ma már nemcsak a résztvevő sportolók versenyei, hanem legalább annyira a háttérben maradó fizikusok, matematikusok, fejlesztőmérnökök vetélkedői is. A tervezők az optimális vitorlázatnak és a hajótest formájának meghatározására a legmodernebb számítógépeket veszik igénybe, modell-kísérletek sorozatát végzik el, majd az ezek alapján megépített hajó tulajdonságait óriási áramlási csatornáknak végzett mérésekkel ellenőrzik. A következőkben a versenyek sorsát eldöntő finom effektusok értelmezésére nem térünk ki, kevésbé szigorú feltételek mellett azonban olyan egyszerűsítések is megengedhetők, amelyek számunkra is értelmezhetővé teszik a problémát.

## 3. A szél által a vitorlára kifejtett erő

Tételezzük fel, hogy a szél nem túlságosan erősen, állandó irányból változatlan sebességgel fúj! Ekkor a vitorlára ható erők értelmezéséhez nem szükséges a vitorla körül kialakuló áramlási viszonyokkal és az ennek következtében a vitorla két oldala közt kialakuló nyomáskülönbséggel számolni, hanem elegendő a vitorlába „ütköző” szél tolóhatását figyelembe venni. Ha a kidomborodó vitorlát gondolatban merev sík lappal helyettesítjük, és rugalmas ütközést feltételezünk a levegő részecskéi meg a vitorla között, akkor a szél által a vitorlára kifejtett erő (3. ábra):

$$F=2A\rho c^2\cos^2i, \quad (1)$$

ahol  $A$  a vitorlafelület területe,  $\rho$  a levegő sűrűsége,  $c$  a szélnek a hajóhoz viszonyított sebessége és  $i$  a  $c$  sebességnek a vitorlafelület normálisával alkotott szöge (az 1-es formula levezetését a FIRKA 2003-2004/5. számában találjuk „A sárkány” című cikkben).

Jelöljük  $\alpha$ -val a hajó hossz tengelyének a széliránnyal alkotott szögét és  $\beta$ -val a vitorlának a hajó tengelyével bezárt szögét. A hajó tengelye, a vitorla felülete és a  $c$  sebesség iránya által alkotott háromszögnek  $\alpha$  külső szöge, tehát egyenlő a két nem mellette fekvő belső szög összegével:

$$\alpha=(90^\circ-i)+\beta, \text{ ahonnan } i=90^\circ-(\alpha-\beta).$$

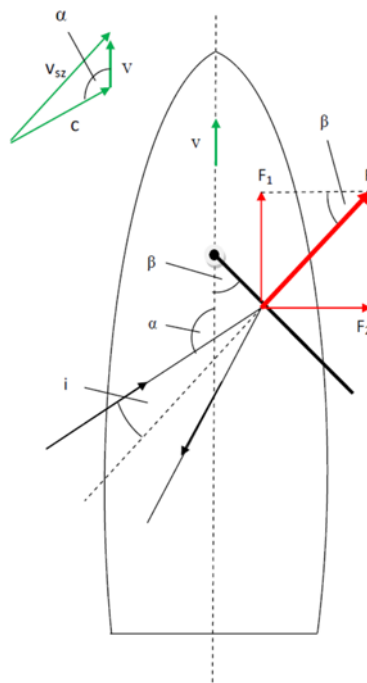
Ezt figyelembe véve az 1-es képlet átírható a következő alakban:

$$F=2A\rho c^2\sin^2(\alpha-\beta), \quad (2)$$

Mivel ez az erő a vitorla síkjára merőleges irányú, hatása kettős, egyrészt előre hajtja ( $F_1$ ), másrészt oldalirányba is igyekszik eltolni a hajót ( $F_2$ ). Ideális esetben az  $F_2$  oldalirányú erőkomponenst a víznek a nagyfelületű uszonyra vagy tókesúlyra kifejtett ellenállása közömbösíti. A vitorlára ható  $F$  erőnek a hajó tengelyére eső

$$F_1=F\sin\beta=2A\rho c^2\sin\beta \cdot \sin^2(\alpha-\beta) \quad (3)$$

komponense gyorsítja fel, illetve a közegellenállást „leküzdve” tartja mozgásban a vitorlás hajót.



### A vitorlák beállítása

A 3-as képletből kitűnik, hogy a vitorlás hajót előre mozgó erő a szél irányától ( $\alpha$ ) és a vitorla állítási szögétől ( $\beta$ ) függően változik. Tulajdonképpen az  $F_1$  erő változását az

$$f(\alpha,\beta)=\sin\beta \cdot \sin^2(\alpha-\beta) \quad (4)$$

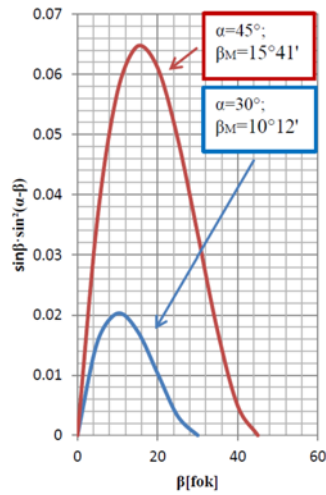
függvény szabja meg. A vitorla állítási szögének ( $\beta$ -nak) az optimális értéke meghatározása céljából, megrajzoljuk a 4-es függvény grafikonját az  $\alpha$  nyolc különböző értékére ( $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ ). Ennek érdekében előbb értéktáblázatokat készítünk, majd az EXCEL programmal megrajzoljuk a grafikonokat. Kezdjük az  $\alpha$ -nak a  $30^\circ$  és  $45^\circ$  értékeire!

1.táblázat

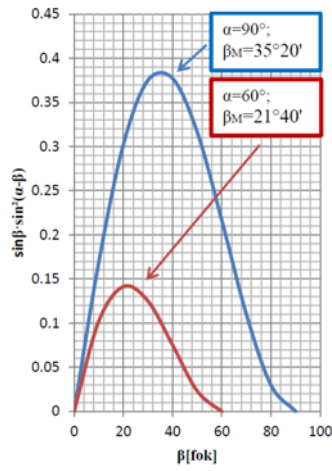
$\beta$ [fok]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$f(30^\circ,\beta)$	0	0,0156	0,0203	0,0173	0,0103	0,0032	0			
$f(45^\circ,\beta)$	0	0,0360	0,0571	0,0647	0,0611	0,0494	0,0335	0,0173	0,0049	0

Az 1. táblázat alapján az EXCEL programmal a következő két grafikont kapjuk (4. ábra):

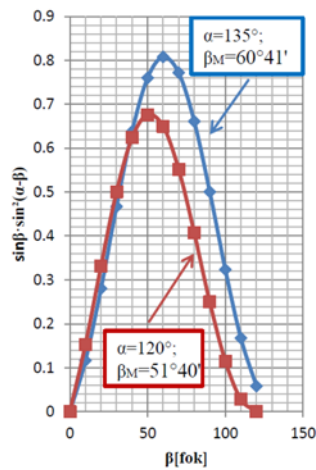
Hasonló eljárással rajzoljuk meg az 5., 6., és 7. ábrákon látható grafikonokat is.



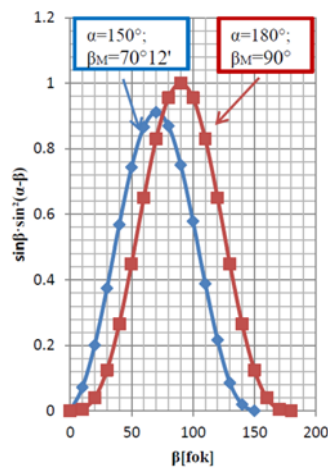
4. ábra



5. ábra



6. ábra



7. ábra

A görbék maximumához tartozó  $\beta_M$  szög épp az optimális vitorlázási szög értékét mutatja. Ennek közelítő értéke a grafikonról leolvasható, de pontos értékét úgy kapjuk meg, hogy az  $f(\alpha, \beta)$  függvény  $\beta$  szerinti deriváltját nullával tesszük egyenlővé:

$$\begin{aligned} \frac{df(\alpha, \beta)}{d\beta} &= \frac{d}{d\beta} [\sin\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta)] = \cos\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta) + \sin\beta \cdot 2\sin(\alpha - \beta) \cdot (-1) \cdot \cos(\alpha - \beta) = \\ &= \sin(\alpha - \beta) \cdot [\cos\beta \cdot \sin(\alpha - \beta) - 2\sin\beta \cdot \cos(\alpha - \beta)] = 0 \Rightarrow \operatorname{tg}(\alpha - \beta) = 2\operatorname{tg}\beta \Rightarrow \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{1 + \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\beta} = 2\operatorname{tg}\beta \Rightarrow \\ &\Rightarrow 2\operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}^2\beta + 3\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha = 0. \end{aligned}$$

Ennek a másodfokú egyenletnek két megoldása van:

$$\operatorname{tg}\beta_M = \frac{-3 + \sqrt{9 + 8\operatorname{tg}^2\alpha}}{4\operatorname{tg}\alpha} \quad (5)$$

és

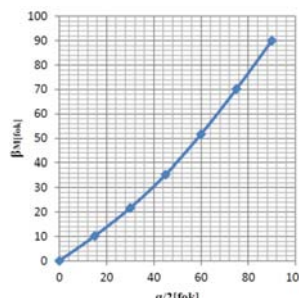
$$\operatorname{tg}\beta_M = \frac{-3 - \sqrt{9 + 8\operatorname{tg}^2\alpha}}{4\operatorname{tg}\alpha}. \quad (6)$$

Az első megoldást  $\alpha < 90^\circ$  esetében, míg a másodikat  $\alpha > 90^\circ$  esetben alkalmazzuk. Az előbbieknél elkészített 4., 5., 6. és 7. ábrákon feltüntetett adatok alapján grafikusán ábrázoljuk a  $\beta_M$  optimális vitorlázási szöget az  $\alpha/2$  függvényében (8. ábra). A 8. ábra grafikonjáról leolvasható, hogy hátszél ( $\alpha = 180^\circ$ ) esetében a legnagyobb a szél „húzóereje”, ha a nagyvitorla (bumfa) iránya épp felezi a hajó hossz tengelye és a hajóban észlelhető szélirány által alkotott szöget. Az  $\alpha < 180^\circ$  értékeire már  $\beta_M < \alpha/2$ . Az  $\alpha$  kicsi értékeire az 5-ös képlet a következőképp alakul:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\beta_M &= \frac{-3 + \sqrt{9 + 8\operatorname{tg}^2\alpha}}{4\operatorname{tg}\alpha} = \\ &= \frac{-3 + 3\sqrt{1 + \frac{8}{9} \cdot \operatorname{tg}^2\alpha}}{4\operatorname{tg}\alpha} \approx \\ &\approx \frac{-3 + 3\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{8}{9} \cdot \operatorname{tg}^2\alpha\right)}{4\operatorname{tg}\alpha} = \frac{1}{3} \cdot \operatorname{tg}\alpha \end{aligned}$$

vagyis  $\beta_M \approx \alpha/3$ .

Tehát, amikor majdnem a széllel szemben akarunk haladni a vitorlás hajóval, akkor a vitorla optimális beállítási szöge a szélirány és a hajó mozgási iránya közötti szög harmadrészével egyenlő. A 4., 5., 6., és 7. ábrák grafikonjai alapján kiszámíthatjuk, hogy a szélnek a vitorlásra kifejtett  $F_1$  mozgató erő nagysága a vitorla optimális beállítása mellett negyed szél ( $\alpha = 45^\circ$ ) esetében 15,5-ször, félszél ( $\alpha = 90^\circ$ ) esetében 2,6-szor és háromnegyed szél ( $\alpha = 135^\circ$ ) esetében 1,25-ször kisebb mint hátszél ( $\alpha = 180^\circ$ ) esetében.



8. ábra

### A vitorlás maximális sebessége

A vitorlás mozgását a hajó hossztengetelyével párhuzamos két erő határozza meg:

$$F_1 = 2A \cdot \rho \cdot c^2 \sin\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta)$$

a szél által kifejlesztett mozgatóerő és  $F_k = C_h \cdot \rho_v \cdot v^2$  közegellenállási erő, amely négyzetesen függ a mozgás  $v$  sebességétől, függ a hajó vízbe merülő részének alakijától ( $C_h$ ) és arányos a víz  $\rho_v$  sűrűségével. A hajó haladó mozgása Newton II. törvényének megfelelően megy végbe:  $2A \cdot \rho \cdot c^2 \sin\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta) - C_h \cdot \rho_v \cdot v^2 = m \cdot a$ , ahol  $m$  a hajó tömege és a gyorsulása. Amikor az álló hajóban alkalmas módon beállítjuk a vitorlákat - „szelet fogunk” - hajónk a vitorlán ébredő húzóerő hatására gyorsulni kezd. A növekvő sebesség két következménnyel jár: egyrészt egyre gyorsuló ütemben nő a víz ellenállása, másrészt a hajóban észlelhető szélirány és sebesség is változik. A vitorlázónak tehát a változó körülményeknek megfelelően egyre beljebb kell húznia a vitorlát, ha a szél erejét optimálisan kívánja hasznosítani. A hajó mindaddig gyorsul, míg a vitorlán ébredő húzóerő nagyobb a menetellenállásból származó fékezőerőnél. Amikor ez a két erő egyenlővé válik, a gyorsulás nulla lesz, ekkor éri el a hajó a maximális sebességet:

$$2A \cdot \rho \cdot c^2 \sin\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta) - C_h \cdot \rho_v \cdot v_{\max}^2 = 0 \Rightarrow v_{\max} = \sqrt{\frac{2A \cdot \rho \cdot \sin\beta}{C_h \cdot \rho_v}} \cdot c \cdot \sin(\alpha - \beta).$$

### A felhasznált forrásmunkák

- 1) Bokor Péter, Teknős Péter: Felfedezők és hódítók, Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest, 1961
- 2) Horváth Gábor, Juhász András, Tasnádi Péter: Mindennapok fizikája, ELTE TTK Továbbképzési Csoportjának kiadványa, Budapest, 1989
- 3) Révai Nagy Lexikona, IX. Kötet, Hasonmás kiadás, Babits Kiadó, 1993
- 4) <https://hu.Wikipedia.org/wiki/Sportvitorlás>

Ferenczi János, Nagybánya

## LEGO robotok

XI. rész

### III.1.20. A ciklusbefejező blokk

A ciklusbefejező blokk (Loop Interrupt Block) a megadott szimbolikus nevű ciklust fejezi be. Egyszerűen arra kényszeríti a vezérlést, hogy azonnal lépjen ki a ciklusból, és a program a ciklus utáni blokkal folytatódjon. A ciklusbefejező blokk a normális befejezésnél hamarabb, vagy más feltétel beteljesedésekor fejezi be a ciklust akár a cikluson belülről, akár bármilyen más, párhuzamosan futó programszekvenciából.