

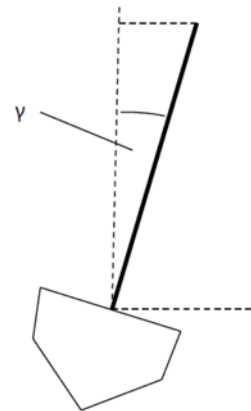
A vitorlás hajó

II. rész

6. A hajó dőlése

a) A dőlés hatása a sebességre

Erős szélben nagy sebességgel haladó vitorlások többé-kevésbé mindig megdőlnek. Ezek a hajók is még nagyobb sebességre tehetnének szert, ha legénységük a dőlést korrigálni tudná. Két okból kifolyólag csökken a hajó sebessége a dőlás miatt. Egyrészt a szélből a hajóra kifejtett F_1 húzóerő függ a vitorlafelület területének a nagyságától (pontosabban a szélre merőleges vitorlafelület területétől). Megdőlt hajó esetén a tényleges vitorlafelületnek csak az $\text{Acos}\gamma$ függőleges vetülete marad hatásos (9. ábra). Másrészt ismert hidrodinamikai tény, hogy a szimmetrikus kiképzésű úszó testek menetellenállása kisebb, mint az aszimmetrikus testeké. A vitorlás megdőlésével a hajótest vízbe merülő része aszimmetrikusá válik, így a víz a hajóra kifejtett fékezőereje megnő.



9. ábra

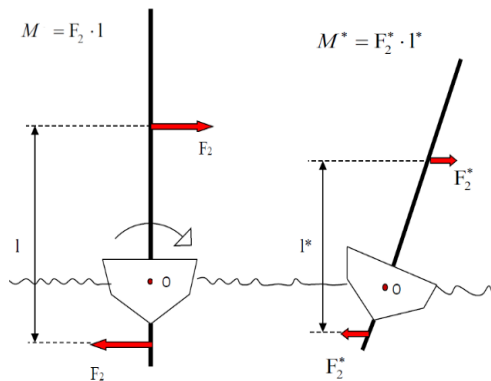
b) A vitorlás dőlését befolyásoló erők

A vitorlás dőlését egyrészt a szélből a vitorlára kifejtett F erőnek a hajó hossz tengelyére merőleges irányú:

$$F_2 = 2A \cdot \rho \cdot c^2 \cos\beta \cdot \sin^2(\alpha - \beta)$$

összetevője okozza, amely hatásvonala jóval a hajó O súlypontja fölött van (10. ábra).

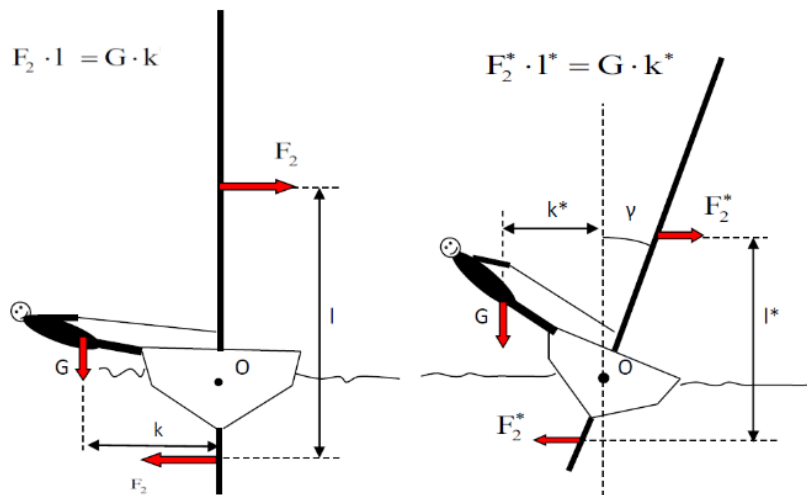
Másfelől a vízbe merülő nagyfelületű uszonyra vagy tőkésúlyra ható ellenállás, amely Newton III. törvénye értelmében épp egyenlő nagyságú a szél által a vitorlára kifejtett erőnek a hajó hossz tengelyére merőleges irányú komponensével, ugyanolyan irányú, de ellentétes irányítású. Ez az uszonyra ható F_2 erő megakadályozza, hogy a hajó oldalirányban elcsússzon (A valóságban egy kicsiny oldalcsúszás mindig fellép).



10. ábra

A két ellentétes irányítású, ugyanolyan irányú de különböző hatásvonalú és egyező nagyságú erő egy erőpárt alkot, amely $M=F_2 \cdot l$ nagyságú forgatónyomatéka az O pont körül megdönti a hajót. Amint azt a 10. ábra is szemlélteti, az erőpár forgatónyomatéka a hajó dőlésével rohamosan csökken, mert a hatékony vitorlafelülettel csökken az erő, s ugyanakkor csökken az erők hatásvonalai közötti távolság is. Uszonyos kishajók esetén a hajó dőlését a legénység saját testsúlyának ellennyomatékával, a hajó „kiülésével” tudja csökkenteni.

A kiülés hatékonyságát a versenyző súlya és ügyessége határozza meg. Adott súlyú sportoló esetén a kiülés annál eredményesebb, minél tovább kerül a versenyző súlypontja a hajótól. Egyes versenyhajókon (pl. a repülő hollandi) a hajó árbocához drótkötelet rögzítenek, amelyhez hozzákapcsolható a hajóból kilógó versenyző heveder-mellénye. Így a sportoló lábát a hajó fedélzetének támasztva szinte fekként a víz felett. Ez az ún. trapézolás. A 11. ábra a hajó kiülésének helyes technikáját mutatja be. A 11. ábra alapján érzékelhető, hogy a dőlés növekedésével még a tökéletes technikájú kiülés is egyre veszít hatékonyságából. Ez az oka annak, hogy az uszonyos hajók erős szélben gyakran felborulnak.

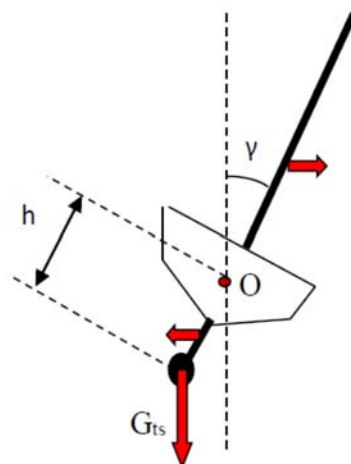


11.ábra

Tőkesúlyos vitorlásokban a kiülés nem szükséges, mert ha egy ilyen hajó a szél nyomásának a következtében megdőlt, akkor a hajófenékről a vízbe nyúló ólomsúly szintén kibillen függőleges helyzetéből és ellennyomatékot biztosít (12. ábra):

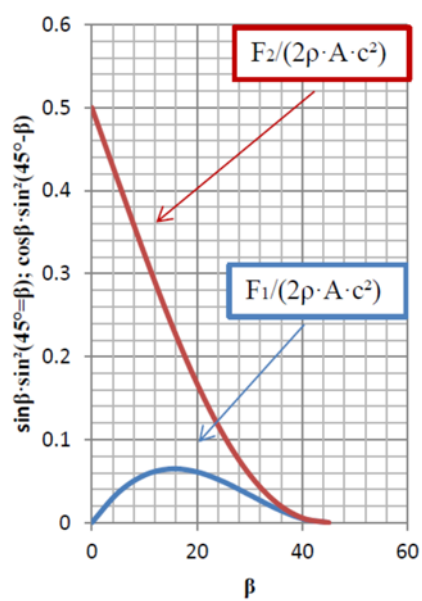
$$M_{ts} = G_{ts} \cdot b \cdot \sin \gamma.$$

Megfelelően tervezett hajón a tőkesúly elegendően nehéz ahhoz, hogy annak M_{ts} forgatónyomatéka a vitorlás felborulását megakadályozza. Míg a szélből származó, a vitorlást megdőltető nyomaték a dőlés γ szögének a koszinuszával négyzetesen csökken, addig a tőkesúly visszaforgató nyomatéka a dőlési szög szinuszával növekszik. Így egy bizonyos dőlési szög esetében a két nyomaték egyenlővé válik, vagyis a hajó egyensúlyba kerül.

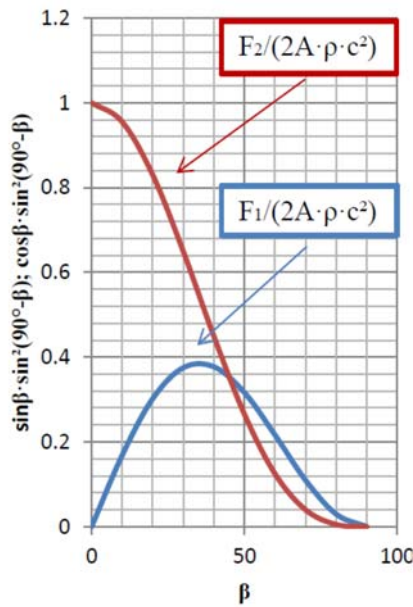


12. ábra

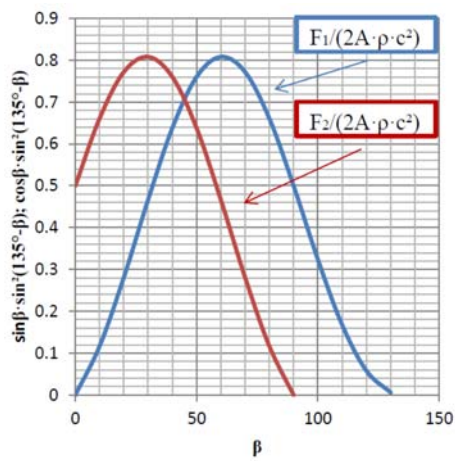
Vizsgáljuk még meg, hogy a helytelen vitorlabeállítás a hajó dőlését miként befolyásolja? Ennek érdekében előbb készítettünk 3 grafikont: negyedszél ($\alpha=45^\circ$), félszél ($\alpha=90^\circ$) és háromnegyedszél esetében.



13. ábra



14. ábra



15. ábra

A 13., a 14., és a 15. ábrákon megrajzolt grafikonokról leolvasható, hogy ha a vitorlát a haladás szempontjából optimális szögnél jobban behúzzuk, akkor a hajót döntő erő rohamosan növekszik, s ez erős szélben az uszonyos hajóknál borulásveszélyt jelent. Így a vitorla túlzott behúzása sokkal nagyobb hiba, mint az optimálist meghaladó kiengedése.

7. A vitorlás hajó kormányzása

A hajó irányítása a hajófarrol a vízbe merülő kormánylapáttal történik (Tőkesúlyos vitorlások esetén szokásos a kormánylapátot a tőkesúly hátsó éléhez csatlakoztatni). A kormánylapát egy vaslemez, amely alapállapotban a hajó szimmetria síkjában helyezkedik el, ilyenkor gyakorlatilag nem befolyásolja a hajó mozgását. Irányváltoztatás céljából a kormányfelületet kifordítjuk a hajó szimmetria síkjából, s ennek hatására a hajó elfordul.

Lássuk a hajó kormányzásának fizikai magyarázatát! Abból indulunk ki, hogy az áramló közeg (víz) részecskéi a kormánylapátba ütközve eltérülnek eredeti irányuktól. Rugalmas ütközést feltételezve a δ szögben elfordított kormánylapátra ható erő (16. ábra):

$$F_k = 2A_k \cdot \rho_v \cdot v^2 \cos^2(90^\circ - \delta) = 2A_k \cdot \rho_v \cdot v^2 \cdot \sin^2 \delta$$

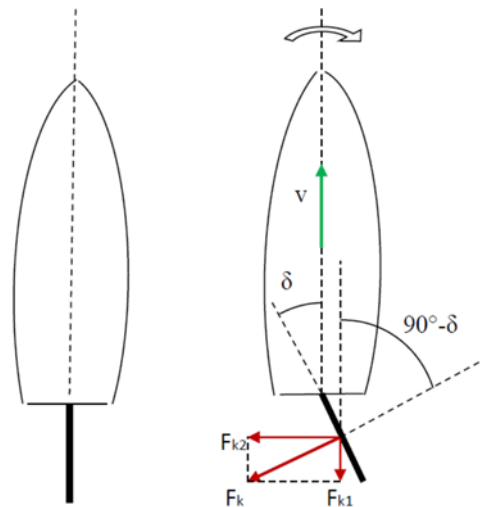
nagyságú, ahol v a hajó sebessége, A_k a kormányfelület vízbe merülő részének a területe és ρ_v a víz sűrűsége. Az F_k erő iránya merőleges a kormánylapát felületére, és célszerű a hajó hossz tengelyével megegyező irányú és arra merőleges összetevőkre bontani. A hossz tengellyel párhuzamos

$$F_{k1} = 2A_k \cdot \rho_v \cdot v^2 \cdot \sin^2 \delta \cdot \sin \delta$$

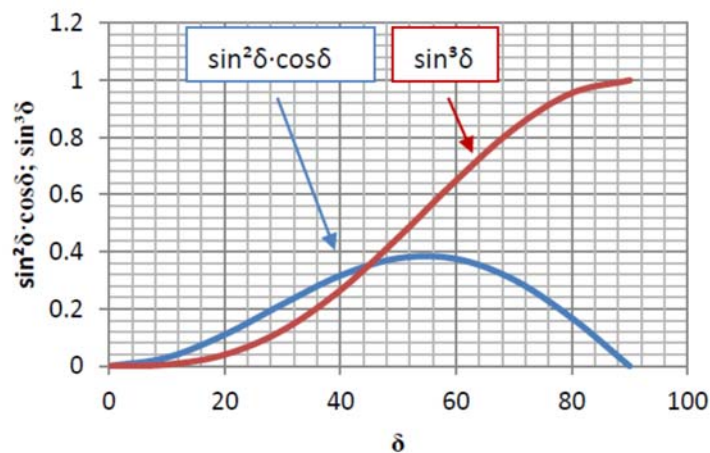
erőkomponens fékezi a hajót, míg az erre merőleges

$$F_{k2} = 2A_k \cdot \rho_v \cdot v^2 \cdot \sin^2 \delta \cdot \cos \delta$$

erőösszetevő a hajótestet súlypontja körül forgatja. A kormánylapát elfordításával keltett forgató hatás az F_{k2} erőösszetevővel arányos, és amint azt a képlet mutatja, függ a kormány δ elfordítási szögétől.



16. ábra



17. ábra

A 17. ábra azt mutatja, hogy hogyan változik az $F_{k1}/(2A_k \cdot Q_v \cdot v^2)$ és $F_{k2}/(2A_k \cdot Q_v \cdot v^2)$ a kormányfelület állásszögének a függvényében. A grafiknról leolvasható, hogy az F_{k2} erőkomponens forgató hatása kb. az 55° -nál a maximális, viszont a kormányt nem célszerű 40 - 50 foknál nagyobb szögben kifordítani, mert a túlságosan nagy elfordítás már a hajó jelentős fékezéséhez vezet. A hajó elforgatását eredményező F_{k2} erőkomponens kifejezésében a sebesség a négyzetben szerepel, ami azt jelenti, hogy a hajó kormányzásához megfelelő nagyságú sebességre van szükség. Gyakorlati tapasztalatok alapján ismeretes, hogy a gyors, erőteljes kormánymozdulat hatékonyabb, mint a kormányrúd lassú elfordítása. Elméleti magyarázatát ennek szintén az F_{k2} erő képlete alapján adhatjuk meg: a kormányfelület gyors elforgatásakor a kormánylapát és a víz viszonylagos sebessége megnő, így az erőhatás is nagyobbá válik.

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