

3. A szárnyas hajók stabilitása

a) A stabilitásról általában

A hajó stabilitása alatt azt az ellenállást értjük, amelyet az egyensúlyi helyzet valamilyen megzavarása hatására bekövetkező megdőlés ellenében kifejt. A hajók hossza és szélessége közötti nagy méretkülönbség miatt a stabilitásnak elsősorban keresztirányban van jelentősége, de szárnyas hajók esetében a hosszirányú stabilitás kérdése is fontos.

A hajó egyensúlyi helyzetét a víz hullámozása, az utasterhelés vagy a rakomány megváltozása, fordulóokban fellépő centrifugális tömegezők, vagy a szél nyomása zavarhatja meg. Bármilyen rendszerű hajóról is legyen szó, kielégítő stabilitással kell rendelkeznie és ezeknek a zavarásoknak feladatától függő mértékben ellen kell állnia.

Első pillanatban talán kétségesnek tűnhet, hogy a hajó, amely hagyományos úszó helyzetében sem minden esetben rendelkezik kellő stabilitással, a vízfelszín fölé emelkedve mégis biztos egyensúlyi helyzetben maradhat. Ez a kétség azonban alaptalan, mert a szárnyas hajókat is tetszőleges stabilitási fokkal lehet kialakítani, bár stabilitási viszonyaik a vízkiszorításos hajókénál sokkal bonyolultabbak. Nem csupán úszó, hanem szárnyra emelkedett helyzetbe, sőt a két állapot közötti átmeneti (kiemelkedési) szakaszon tanúsított magatartásuk is fontos.

A szárnyas hajó álló helyzetben vízkiszorításos úszóműként működik. Ebben a helyzetben akkor tekintjük egyensúlyi helyzetét stabilnak, ha nyugalmi helyzetéből kimozdítva a test által kiszorított víztérfogat alakja úgy változik meg, hogy azzal a nyugalmi helyzet felé visszatérítő nyomatékot eredményez. Ezt a következő példán világosítjuk meg:

A vízbemerült testek egyensúlyi helyzete akkor stabil, ha a test súlypontja a kiszorított folyadéktérfogat súlypontja alá esik. Lehetséges azonban bizonyos elfordulási határokon belül akkor is stabil egyensúlyi helyzet, ha a test súlypontja a kiszorított folyadéktérfogat súlypontja fölött van. Ezzel az utóbbi esettel állunk szemben a vízkiszorításos hajók esetében.

A 108. ábrán látható hajó G súlypontja a hajótest függőleges szimmetriasíkjában van. A szimmetrikus kialakítás folytán nyugvó helyzetben a test által kiszorított víztérfogat súlypontja (a forma-súlypont) is a szimmetriasíkban van. A formasúlypont egyúttal a statikus felhajtóerő támadási pontja is. Ha a hajótest valamely zavarás hatására megdől, a formasúlypont nem marad helyben, hanem a vízbemerült rész alakjának megváltozása miatt eltolódik. Az ábra szerint φ dőlésöghöz tartozó WL_φ vízvonalnál az ABC pontokkal jellemzett ék alakú test a dőlés következtében kiemelkedett a vízből, de ugyanakkor a mások oldalon bemerült az azonos térfogatú $A'B'C'$ pontokkal jellemzett ék alakú test. Ha most ezen éktestek V_1 és V_2 térfogatát a kiemelkedő oldalon levonjuk, a bemerülő oldalon pedig hozzáadjuk az eredeti V térfogathoz, akkor nyilvánvaló, hogy bár az össztérfogat nem változik meg, a formasúlypont – és ezzel a statikus felhajtóerő hatásvonala is – eltolódik a bemerült oldal felé. A felhajtóerő új támadáspontja tehát F' .

A megdőlt hajó szimmetriasíkját a felhajtóerő eltolódott és F' ponton átmenő hatásvonalára az M pontban, a *látszólagos metacentrumban* metszi. Az F' pontban ható V felhajtóerő tehát G hajósúllyal nem egy függőlegesben hat és ezért a \overline{GH} karú erőpár:

$$M_{stab} = \gamma \cdot V \cdot \overline{GH} = \gamma \cdot V \cdot \overline{MG} \sin \varphi \quad (50)$$

stabilizáló nyomatékot hoz létre.

Ha a hajó súlypontja a metacentrum alatt van, akkor a dőlés miatt keletkező nyomaték a φ szögelfordulással ellenkező értelmű és az egyensúlyi helyzet stabil.

A gahótest egyensúlyi állapota nyilvánvalóan attól függ, hogy a formasúlypont a dőlés következtében a dőlés irányához viszonyítva merre tolódik el. Ha a metacentrikus magasság – azaz az \overline{MG} távolság – nulla, akkor az egyensúlyi helyzet indifferens, negatív \overline{MG} értéknél pedig labilis.

Kis dőlésszögeknél (kb. $\varphi = 10 - 12^\circ$ -ig) a vízkiszorítás F súlypontja közelítőleg az M középpontú köríven mozog. Nagyobb dőlésszögeknél a felhajtóerő hatásvonalának metszéspontja eltolódik a szimmetriasík függőlegesén.

Arra, hogy egy hajó milyen könnyen lendül ki nyugalmi helyzetéből, a *kezdeti stabilitás* jellemző. Igen kicsiny súlyeltolódások az egyensúlyi helyzetet csak kevésbé zavarják meg, és a hatásukra bekövetkező megdőlés szöge is differenciálisan kicsiny.

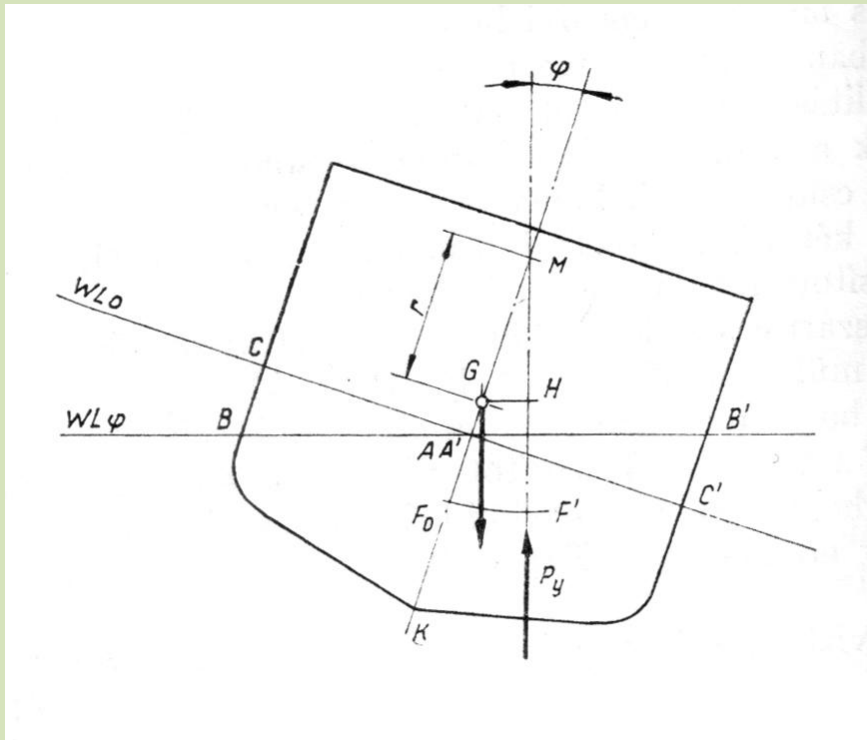
A keletkező stabilizáló nyomaték:

$$dM_{st} = \gamma \cdot V \cdot \overline{MG} \cdot d\varphi$$

illetve használhatóbb formában:

$$\overline{MG} = dM_{st} / (\gamma \cdot V \cdot d\varphi) \quad (51)$$

A hajó annál érzékenyebben reagál kis billentőnyomatékokra, mennél kisebb az \overline{MG} távolság. Ilyenkor „lágý” hajóról beszélünk, de nagy \overline{MG} értékeknél a hajó érzéketlen a kis zavarásokkal szemben és kemény, hirtelen reagál, ha a billentőnyomaték bizonyos határon túl nőtt.



108. ábra.
Az úszó hajótest stabilitásához

A hajó kezdeti stabilitási viszonyaira az \overline{MG} távolság jellemző. Egy ismert geometriai kialakítású hajóra nagyságát a **108. ábra** alapján számíthatjuk ki. A metacentrum távolsága a vízkiszorítás súlypontjától:

$$\overline{MF} = \frac{I}{V}$$

azaz a vízvonalfelület I másodrendű nyomatékának és a V vízkiszorításnak a hányadosa. A G rendszer- és az F vízkiszorítás súlypont helyének ismeretében ezután:

$$r = \overline{MG} = \overline{MF_0} - \overline{GF_0} = \frac{I}{V} - \overline{GF_0} \quad [m]$$

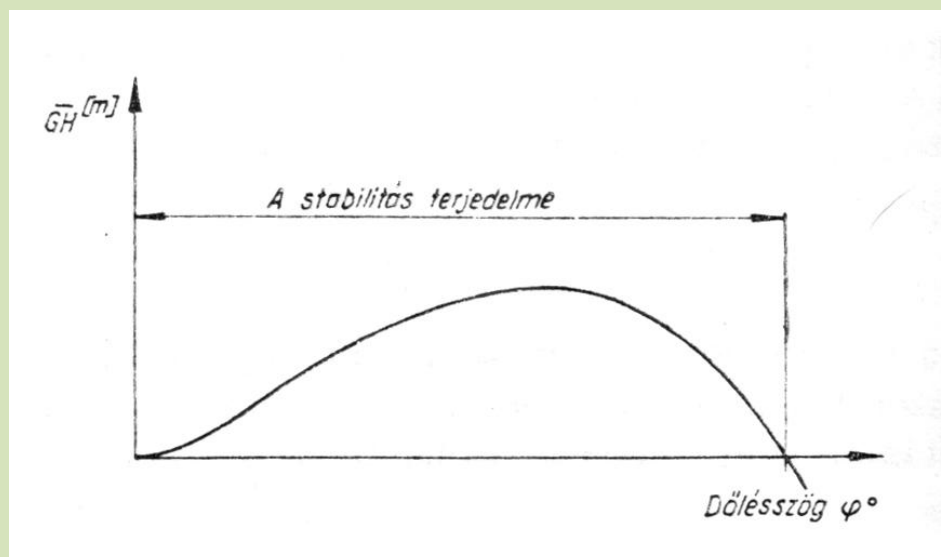
A következő kérdés: mekkora metacentrikus magassággal kell rendelkeznie egy hajónak? Ez a rendeltetéstől függő, meglehetősen változó méret. Személyhajóknál akkorának kell lennie, hogy a normális üzemben előforduló legnagyobb dőlés ne haladja meg a $\varphi_p = 12^\circ$ un. *pánikszöget*, de belvízi hajónál minimálisan 0,25 m legyen. A hajófajta, ill. felhasználás szerint:

Teherhajóknál 0,4-0,8 m,
vontató hajóknál 0,5-0,8m,
személyhajóknál általában 0,5-1,0 m.

Mivel a hajó vízkiszorítása független a megdőlés mértékétől és állandó nagyságú, nagyobb dőlési szögek esetén nem annyira a stabilizáló nyomaték ismerete a fontos, mint inkább a nyomaték \overline{GH} karjának nagysága (**108. ábra**):

$$\overline{GH} = \overline{MG} \cdot \sin \varphi$$

melynek változását az ún. *Reed*-diagramon tüntetik fel adólésszög függvényében. Mivel $\overline{GH} = 0$ értéknél a stabilizáló nyomaték nagysága is 0, azaz a hajó stabilitása megszűnik, igen fontos annak a szögnek az ismerete, ahol ez bekövetkezik. Ezt nevezzük a *stabilitás terjedelmének* (109. ábra).



109. ábra.

Reed-diagram. A stabilitás terjedelme

Szárnyas hajók stabilitása úszó helyzetben általában igen nagy, mert a mélyen a víz alá merülő, általában nagy súlyú szárnyak a G rendszer-súlypontot alacsonyra viszik le. Amint a hajó elindul és felgyorsulva egyre inkább kiemelkedik a vízből, a test vízkiszorítása fokozatosan csökken és stabilizáló szerepét egyre inkább a szárnyaknak kell átvenniük. Teljesen kiemelkedett helyzetben aztán a szárnyak megfelelő kialakítása biztosítja a kielégítő stabilitást.

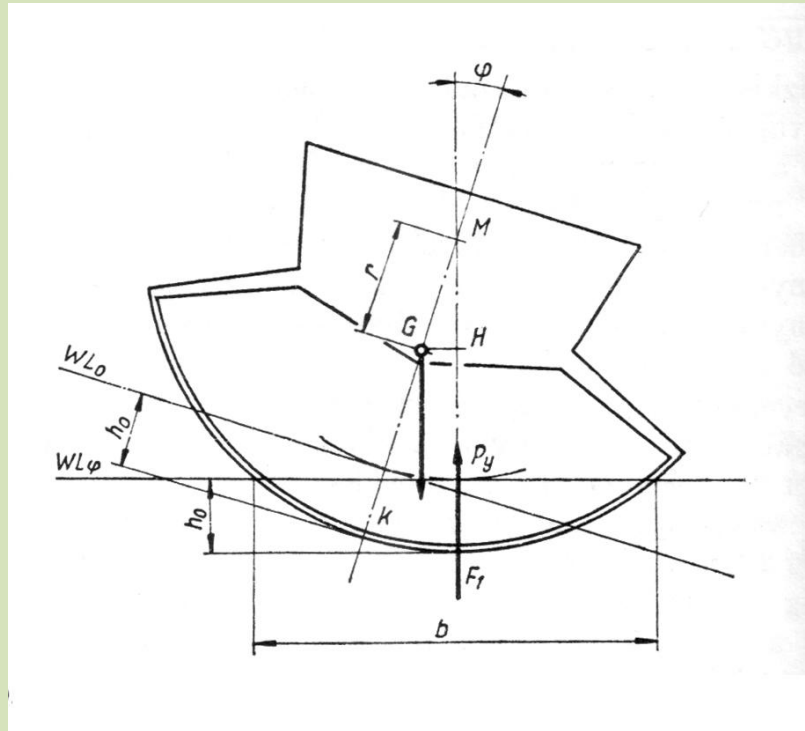
A stabilitás jellemzői szárnyakon haladva is hasonlóak az előzőekben definiáltakhoz. Most is beszélhetünk metacentrumról, és a stabilitás mértékét most is jellemezhetjük az \overline{MG} metacentrikus távolsággal, ill. a \overline{GH} erőkarral.

Vízkiszorításos hajóknál a vízbemerült rész alakjának megváltozása következtében tolódik el a felhajtóerő eredője a dőlés irányába, és így jön létre helyreállító, stabilizáló nyomaték. Ha a szárnyas hajó kiemelkedett helyzetében megdől, a stabilizáló nyomaték létrehozásához a szárnyakon keletkező dinamikus felhajtóerők –eddig a szárnyak szimmetriásíkjában hatóeredőjének kell megfelelő irányban eltolódnia.

Legegyszerűbben egy előlnézetben körív alakú szárnyon vizsgálhatjuk a viszonyokat. Ha a hajó sebessége állandó, akkor az ilyen szárny h_0 merülési mélysége nem változik meg akkor sem, ha valamilyen okból φ szöggel megdől. Amíg a szárnynak csupán a körív alakú része merül a vízbe, addig a felhajtóerő feszítávmenti eloszlása sem változik meg a dőlés következtében. a problémát ezért pusztán geometriai feladatra vezethetjük vissza.

A felhajtóerő hatásvonala a zavartalan vízfelszínre mindig merőleges, ezért a szimmetriásíkot mindig azonos pontban metszi, bármilyen legyen is a szárny dőlésének szöge. Ez a pont a szárny körívének O középpontja.

Körív alakú szárnyak metacentrikus magassága tehát állandó (**110. ábra**):



110. ábra.
Szárnyas hajó stabilitása a legegyszerűbb esetben

$$\overline{MG} = \overline{OG}$$

az

$$M_{st} = P_y \cdot \overline{GH}$$

nagyságú stabilizáló nyomaték karját az ismert módon fejezhetjük ki:

$$\overline{GH} = \overline{MG} \cdot \cos \varphi$$

azaz a dőlésszöggel szinuszosan változik. A körív alakú szárnyak másik sajátos tulajdonsága, hogyha a vízbemerült rész minden dőlésszög esetében körív marad, akkor az eredő –a szárny állandó szimmetriája folytán- mindig $\frac{b}{2}$ -ben és függőleges irányban hat. Oldalirányú erő összetevő tehát nem érvényesül.

A körívtől eltérő alakú szárnyak stabilitása bonyolultabb módon határozható meg, azonban bármilyen, a következőkben ismertetendő rendszeren alapul is a működésük, közös vonásuk, hogy a stabilizáló nyomaték a felhajtóerő fesztáv menti eloszlásának asszimmetrikussá válása következtében jön létre.

Hullámszás mentes, nyugodt vízenés egyenes irányban $\varphi = 0^\circ$ dőlésszöggel haladva a szárnyakon keletkező felhajtóerő eloszlása a fesztáv mentén mindig szimmetrikus. A

hullámzás, a forduló és egyéb külső hatások a szimmetrikus eloszlást eltorzítják. A célszerű szárnykialakítás feladata, hogy ez a torzulás a külső zavarás ellen működő eredő erőt hozzon létre. Önstabilitással nem rendelkező szárnyakon erre alkalmas segédeszközökkel kell a felhajtóerő eloszlását a megfelelő módon szabályozni.

A felhajtóerő alapképlete:

$$P_y = c_y \cdot q \cdot F$$

Adott sebességnél a q torlónyomás állandó nagyságú, tehát a felhajtóerő a c_y felhajtóerőtényező, vagy az F felület nagyságának változtatásával befolyásolható. A kialakult szárnyrendszereket ennek megfelelően stabilizáló elv szempontjából az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

1. A nedvesített szárnyfelület nagyságát változtató rendszerek:
 - a) vízfelszint áttörő szárnyak,
 - b) létraszárnyak.
2. A felhajtóerőtényezőt befolyásoló rendszerek:
 - a) felszín-vezérlésű szárnyak,
 - b) állásszög-vezérlésű szárnyak.