



## Polarno svjetlo i magnetske oluje

Anton Botrić, Split

Porijeklo polarnog svjetla (*Aurora borealis*) i magnetskih oluja, što se gotovo uvijek ispoljavaju kao dvije međusobno povezane pojave, nije još potpuno razjašnjeno. Ali ipak se zna, da su obje pojave u vezi sa određenim periodičnim aktivnostima Sunca, i to: sa jedanaestogodišnjim ciklusom aktivnosti Sunčevih pjega i sa 27-dnevnim periodom okretanja Sunca oko svoje osi. U prvom slučaju nastaju 11-godišnji maksimumi Sunčevih pjega koji se odražuju u pojačanom intenzitetu i živopisnosti pojave aurore, a u drugom slučaju stanje pjega jednog lokalnog područja na Suncu, koje se, uslijed njegove rotacije pokazuje prema Zemlji u razmacima vremena od oko 27 dana također utječe na pojave aurore, ali se ona tada obično ispoljavaju sa manjim intenzitetom. Jedanaestogodišnji maksimum Sunčeve aktivnosti u novije doba bili su krajem 1937. g., krajem 1948. i početkom 1949., te posljednji početkom ove godine. Između maksimuma, a u razmaku vremena od 7—8 godina nakon svakog od njih, nastaju minimumi Sunčeve aktivnosti. Premda stvarne vanjske pojave polarnog svjetla i s njime povezanim manifestacijama magnetskih oluja nastaju po prilici u godini maksimuma, one ipak mogu nastati i u bilo koje doba jedanaestogodišnjeg ciklusa, osim možda oko godine apsolutnog minimuma Sunčeve aktivnosti. Osim toga, pojave su češće u mjesecima ekvinocija, nego u drugo doba godine, a u visokim širinama su intenzivnije, živopisnije i češće.

Najobičniji oblik polarnog svjetla je jednostavni ili mnogostruki luk, uzak i jasan, ili pak širok i rastrkan, a središte mu se nalazi nad magnetskim meridijanom. Kada je aktivnost slaba i prorijeđena, najobičnija mu je boja blijedo-zelenkasta, ali kad se aurora diže visoko prema zenitu u obliku zraka, zrakastih zastava i draperija, sa veoma brzim kretanjem sastavnih zraka, tada boje ponekad postaju mnogo jače i življe, te poprimaju otvoreno zelene, crvene i ljubičasti vid. Kada zastori aurore konvergiraju tako, da tvore krunu, koja može vrlo brzo da se okreće oko

tačke konvergencije, tada pojave mogu postati vrlo složene, ispunjavajući gotovo cijelo nebo i pružajući se daleko prema ekvatorijalnoj strani zenita, s mnogo bržim kretanjem i promjenom boja, od časa do časa.

Pojave polarne svjetlosti u visokim širinama obično traju po nekoliko sati, ali one znaju ne baš tako rijetko, potrajati i cijelu noć, od sumraka do zore. Za vrijeme takvih dugotrajnih pojava, pokazuju se samo na mahove od 15 do 30 minuta stvarno intenzivni i jaki aktivni periodi sa živim i jakim bojama, a između njih nastaju periodi sa rasprostranjenim sijevanjem ili sa mirnim lučnim sistemom. Osim toga, u visokim širinama aurora može nastati u bilo koje doba noći, ali je ipak njena pojava najvjerojatnija i najčešća u kasnim večernjim satima, od 21 h do ponoći, ili nešto kasnije.

Apsolutna jačina polarnog svjetla rijetko je kada velika, tako da se krozanj obično vide sjajnije zvijezde kako tinjaju. Za vrijeme najživopisnijih i najjačih pojava aurore, svjetlo može biti jednako svjetlu pune mjesecine za vedra neba, ali ga rijetko kada nadmašuje. Ono je sasvim dovoljno za čitanje. U takvim se prilikama aurora može vidjeti na izvjesnom prostranstvu i u djelomičnom sumraku.

Na sjevernoj poluci polarno svjetlo nastaje najčešće duž zone približno ovalnog oblika, sa prosječnim polumjerom od 23° i središtem na sjeverozapadnom dijelu Greenlanda. Ova zona maksimalne učestalosti aurore prolazi poprijeko Hudsonovog zaliva i obale Labradoru na geogr. širini od 58° N, zaitm južno od rta Farewella i duž obale Islanda, te neposredno sjeverno od Sjevernog rta (North Cape), dotiče krajnji sjeverni dio Nove Zemlje i rt Čeljuskim, a zatim ide prema istoku, prolazeći neposredno sjeverno od otoka Wrangel i ulazi u sjeverni dio Alaske. Duž opisane zone može se, za vedra neba, svake noći vidjeti izvjesna vrsta polarnog svjetla. Na 250 milja južno od ove zone, učestalost polarnog svjetla naglo opada, tako da se ono vidi prosječno u 70—100 noći na godinu, a na uda-

ljenosti od 500 milja, prosječno u 20—25 noći na godinu. Na području same opisane zone najčešćih pojava aurore nije dobro određena geografska podjela učestalosti, ali ova po svojoj prilici postepenije opada nego izvan zone. Osim toga, aurora se sa jednakom učestalošću pojavljuje na sjevernoj i na južnoj strani zenita, ali što se više udaljujemo od spomenute zone prema jugu, pojava aurore se usredsređuje više na sjevernoj strani neba. Obrnuto se događa kada se udaljujemo prema unutrašnjosti zone.

Na južnoj poluci nije još potpuno poznata učestalost i geografska podjela pojava aurore. Vjerovatno je da se polarno svjetlo češće vidi na moru, između meridijana 50° E i 175° W (dakle u pojasu od oko 135°), nego na područja ostalih geografskih dužina. Vrlo lijepe pojave aurore bile su prigodno opažene u Australiji i prilikom prelaza preko Južnog oceana. No uza sve to, čini se da je aurora rjeđa pojava na južnoj, nego na sjevernoj poluci. To je po svojoj prilici zato, što — osim ruta istraživačkih ekspedicija — sve ostale rute brodova općenito ne dosežu do tako visokih geogr. širina kao na sjevernoj poluci.

Zona maksimalne učestalosti aurore na južnoj poluci ima po prilici prstenasti oblik i nalazi se približno na periferiji kružnice sa polumjerom od oko 1080 Nm i središtem na približnoj poziciji 75° S i 129° E. Veliki dio ove zone nalazi se na kontinentu Antarktika. Učestalost pojave polarnog svijetla opada, kako izvan zone, tako i u njoj samoj.

### Utjecaj magnetskih oluja na kompas i radio saobraćaj

Jaka magnetska oluja je uvijek popraćena sjajnim aktivnim polarnim svjetlom. Izrazito obojeno polarno svjetlo, sa jače istaknutom crvenom i zelenom, a katkada i plavom i ljubiačstom bojom, uvijek je u vezi sa nekom magnetskom olujom znatno velikom ili vrlo jakim intenzitetom. Jedna o-

vakva magnetska oluja uzrokuje u isto vrijeme polarno svjetlo na objema polutkama. Za vrijeme najjačih magnetskih oluja može se na nekim dijelovima oceana vidjeti izvjesno polarno svjetlo čak i do 20° sjeverne šarine, osobito na području između meridijana 40° W i 140° W.

Trajanje magnetskih oluja je veoma različito: one mogu da potraju nekoliko minuta, kao i nekoliko dana. Obično su jače za vrijeme tame. Dugotrajne magnetske oluje se obično ispoljavaju sa velikim kolebanjima i sa periodima potpune ili djelomične smirenosti pojave. Isto tako i jednovremena pojava polarnog svijetla varira između aktivne i blage, mirne forme.

Kada se pojavi sjajno polarno svjetlo, osobito ako je ono izrazitije boje i brzo se kreće, a posebno pak, kada se ono pojavi u niskim geografskim širinama, treba uvijek imati na umu mogućnost otklanjanja magnetskog kompasa uslijed magnetske oluje, koja je sigurni pratilac te pojave. Otklon kompasa tada obično iznosi 0,5°—1°, a rjeđe 2°—4°.

Za vrijeme neke znatno jake magnetske oluje mogu nastati i smetnje kod radio-prijema na nekim valovnim dužinama, dok na kratkim valovima može nastati i potpuni prekid (fading). Dvojne međusobne radio-veze osobito u smjeru W—E ili E—W, mogu biti i prekinute. Takvo stanje može, u izvjesnom stepenu, potrajati i nekoliko dana, u doba kada je Sunce neobično aktivno. Tišine na kratkim valovima također nastaju prigodom i uslijed raznih manifestacija sunčane smetnje, poznate pod imenom »jasna erupcija«, kada je ona vrlo jaka. Takva tišina na radio-aparatu (fading) počinje od 7 minuta poslije izbijanja »jasne erupcije« i može potrajati 5—10 minuta, da postepeno iščezne u periodu od 40—45 minuta. Ovakve vrsti tišine u radio-saobraćaju nastaju samo na osvijetljenoj hemisferi (danju), dok one uzrokovane magnetskim olujama mogu nastati i danju i noću.

(Prema »The Antarctic Pilot«, izd. Hydrographis Department — Admiralty, London).

## Nešto o stabilitetu broda

I ako su principi o stabilnosti broda vrlo jednostavni, više se puta u životu događa, da se kod toga griješi. Ponekad se tvrdi, da su brodovi sa većim uručenim stabilnijim, jer, navodno, da imaju veći oslonac u vodi, dok, nekada se kaže da kada se jedan brod prevrne, da je izgubio centar gravitacije, ili da je prešao tačku stabiliteta.

Razlozi zašto jedan brod pluta u jednom položaju a ne u drugom, nije teško shvatiti i u daljnjem tekstu nastojat ćemo to objasniti.

Prvenstveno mora se istaknuti da stabilitet jednog broda, u mnogome zavisi o rasporedu težina na brodu, kao i o njegovom obliku. Poznato je, da kada se neka težina postavi na prednji ili stražnji dio broda, postiže se da brod na onoj strani na kojoj je veća težina, povećava svoj gaz. Kad se težina orkloni, gaz se smanjuje.

Kod plutanja broda u mirnom i uspravnom stanju, potrebit je uslov, da centar gravitacije istisnute vode i centar gravitacije predmeta koji pluta, budu na istoj vertikalnoj liniji. Ako se zadovoljilo ovom zahtjevu kod broda koji pluta u mirnom stanju, brod neće imati nikakovu tendenciju da skrene sa ove tačke ravnoteže.

Ako se predstavi da jedna vanjska sila djeluje bočno na brod, on će se naginjati sve dok sila otpora ne bude jednaka sili koja naginje brod. U ovom času brod se neće više naginjati jer bočna sila naginjanja je jednaka sili otpora broda.

Ove dvije oprečne sile koje djeluju na brod, jedna sa težnjom da stabilizira brod, a druga sa težnjom da poremeti ovu stabilizaciju, redovito se mjere i njihov efekat je izražen u momentima.

Na primjer, predstavimo da sila od 10 tona djeluje bočno na brod i to 50 stopa poviše centra bočnog otpora broda. U ovom slučaju moment naginjanja broda bit će 10 tona  $\times$  50 stopa = 500 tona/stopa. U času kada se brod prestane naginjati, ova sila je jednaka momentu stabiliteta broda. Moment stabiliteta broda uslovljen je tlakom uzgona broda, koji djeluje na stanovitu polugu. Ako je pak težina broda ili tlak uzgona 1000 tona, dužina ove poluge

bit će 500 : 1000 = 0.5 stopa. Prema tome, ne može se govoriti o snazi stabiliteta broda sve dok se ne odredi kolika je poluga na koju djeluje sila poravnanja.

Kod izraza *stabilitet* podrazumijeva se momenat sile sa kojom jedan brod, kada je pokrenut iz svog uspravnog položaja, usljed djelovanja neke vanjske sile, nastoji da se vrati u prvobitan položaj. Ovaj momenat sile ili stabilitet, zavisi o broskom obliku, raspodjeli težina na brodu, teretu i t. d.

Kod brodova stare konstrukcije, bilo je slučajeva da su teško stali uspravno kada su bili prazni, pa prije putovanja ih je trebalo uvijek balastirati. Kod jedrenjaka je to bila redovita pojava.

Ranije smo objasnili pojam »tona/stopa«, naime da jedna tona sile pomnožena sa polugom koja je duga 1 stopu, daje 1 tona/stopa. Ako, na primjer, predpostavimo da je jednom brodu od 1000 tona deplasmana, momenat uzgona 2000 tona/stopa kod nagiba od 30°, to znači da tlak uzgona djeluje preko poluge koja je duga 2 stope. Prema tome 1000  $\times$  2 = 2000 tona/stopa. Ovo je mjera sile za vraćanje broda u ravno stanje, koju on posljedično kada je nagnut 30°.

Za momenat stabiliteta broda važne su, prema tome, dvije stvari t. j. sila uzgona broda i poluga na koju ova sila djeluje.

Sila težine jednog broda kao i sila uzgona broda, djeluju obe na istoj vertikalnoj liniji, kada je brod u stanju mira. Kod poremećaja mirnog stanja, brod se nagne i usljed promjene položaja sile uzgona, stvara se poluga, preko koje djeluju spomenute dvije sile.

Prva slika presjeka jednog broda, pokazuje nam djelovanje sile gravitacije broda kao i sile uzgona broda, dok brod pluta u mirnom stanju. Ove dvije sile, kod normalnih prilika, djeluju jedna prama drugoj na istoj vertikalnoj liniji i brod nema tendenciju pokretanja.

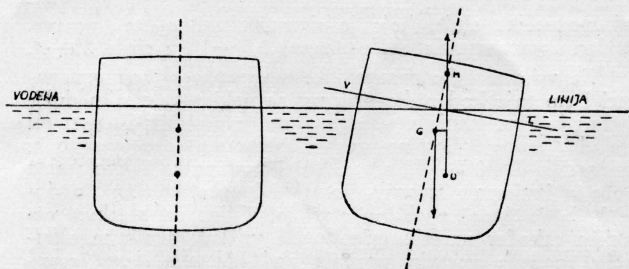
U drugoj slici, sila uzgona broda pomakla se iz svog prvašnjeg položaja i njeno djelovanje je nešto udaljeno od djelovanja sile gravitacije. Između ove dvije sile, u ovom

slučaju, stvorila se poluga preko koje se brod nastoji povratiti u svoj prvobitni položaj. Centar gravitacije u ovom položaju ostaje na svom starom mjestu, sve dok je isti raspored težina na brodu. Ova udaljenost između okomica sile gravitacije i sile uzgona, važan je faktor kod mjerenja stabiliteta jednog broda.

Kako se iz druge slike vidi, okomica koja ide iz sile uzgona broda sječe vertikalnu liniju broda u jednoj tački. Ovu novu tačku nazivljemo *metacentar* i nalazi se uvijek na sjecištu ovih dvaju pravaca.

## KRIVULJA STABILITETA

• SLIKA 1.

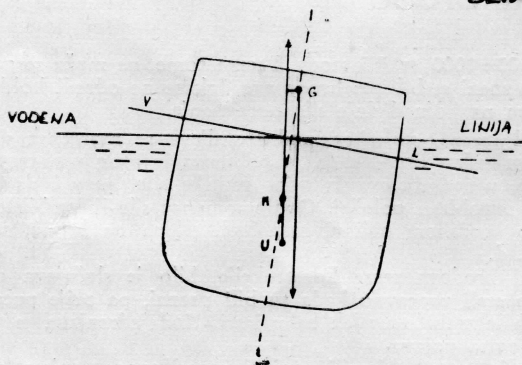


### BROD PLUTA USPRAVAN I NAGNUT 14°

Kada se metacentar nalazi poviše centra gravitacije, poluga stvorena kod nagnutog broda, djelovanjem oprečnih sila preko sebe, nastoji da vrati brod u ravan položaj. U ovom slučaju, sila uzgona vraća brod prama gore.

U protivnom slučaju, kada se metacentar nalazi ispod centra gravitacije broda, postiže se obratni efekat, t. j. brod se sve više naginje.

SLIKA 2.



U ovom položaju, kao i kod prve slike, mogu se lako izračunati momenti stabiliteta, bilo pozitivnog ili negativnog, ako se deplasman u tonama pomnoži sa polugom u stopama, čiji rezultat nam daje stabilnost broda izražen u tone/stopa, za odgovarajući kut nagiba.

Kada god se centar gravitacije i sila uzgona broda ne pokrivaju u svojim djelovanjima, stvara se poluga, i brod, ako ga se slobodno pusti, neće ostati miran ili uravnotežen u nagnutom stanju. Sve što je dulja poluga t. j. što je sila uzgona i sila gravitacije dalje jedna od druge, brod ima jači moment stabiliteta koji ga vraća u uspravno stanje, ili u negativnom slučaju, moment stabiliteta nastoji da prevrne brod.

Kako je prije spomenuto, kada se sila teže i sila uzgona međusobno pokrivaju, brod je uspravan. Ali ako se brod usljed neke sile nagne i ako se u ovom položaju metacentar nađe ispod centra gravitacije, brod će se sve više naginjati t. j. dok se potpuno ne prevrne. U ovom slučaju, vertikalna linija sile gravitacije i sile uzgona, prolazit će kroz vertikalnu liniju broda, ali u oprečnom smjeru i neće se poklapati.

Ako brod pliva uspravno, a da mu se pri tome metacentar nalazi ispod centra gravitacije, ovo stanje može trajati samo trenutno i to nazivljemo nesigurna ravnoteža.

U protivnom slučaju kada se metacentar nalazi iznad centra gravitacije, potrebna je jedna vanjska sila koja će nagnuti brod. Čim ove vanjske sile nestane, brod se sam vraća u uspravno stanje.

Iz gornjeg proizlazi da se između metacentra i centra gravitacije pojavljuje neko ostojanje, koje ovdje nazivljemo »metacentrička visina«, koja može biti pozitivna ili negativna, već prema slučaju. Pozitivna, da vrati nagnuti brod u uspravno stanje, ili negativna, da ga sasvim prevrne.

Kod velike pozitivne metacentričke visine, moment stabiliteta kod nagnutog broda, koji nastoji da povrati brod u uspravno stanje je velik, dok kada je ova visina mala t. j. kada je i poluga kratka, moment stabiliteta je mali i brod se sporo vraća u uspravno položaj.

Kod nikakve metacentričke visine, t. j. kada se metacentar pokriva u istoj tački sa centrom gravitacije, moment stabiliteta broda ne dolazi do izražaja.

Ako je metacentrička visina poznata, poluga stabiliteta kod malih kuteva nagnuća može se naći, ako se ova udaljenost (MV) pomnoži sa sinusom kuta nagiba. Tada poluga izražena u stopama, pomnožena sa deplasmanom izraženim u tonama, daje moment tlaka uzgona broda u tone/stopa. Ovaj stabilitet broda koji se dobija pomoću metacentričke visine, t. j. udaljenosti između metacentra i centra gravitacije, nazivlje se metacentrički stabilitet.

Centar sile uzgona broda nalazi se uvijek u centru deplasmata. Ovo je isto i kod broda koji pliva uspravno, samo što se položaj centra sile uzgona kao i položaj deplasmata mijenjaju sa promjenom gaza broda.

Metacentar je također stalna tačka kod uspravnog broda, koja se opet mijenja samo sa promjenom gaza.

Ali kod računanja ove tačke mijenjajući gaz broda, može se lako konstruisati krivulja, pomoću koje će se dobiti položaj metacentra za svaku promjenu gaza. Dobijenu krivulju nazivljemo »krivulja metacentra«.

Formula za dobijanje metacentra bi bila:

Metacentar inercije na vodenoj liniji = Visina metacentra po Deplasman u kubičnim stopama više tačke sile uzgona

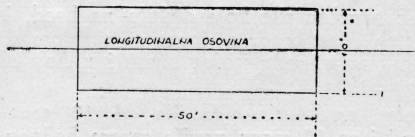
Moment inercije može se shvatiti kao mjera nastojanja koju posjeduje vodena površina svakog plivajućeg tijela da ostane miran i nepokretan. Mora se imati na umu da se moment inercije odnosi samo na onaj dio broda koje je pod vodenom površinom t. j. koji je uronjen. To može biti brod, kutija, trupac ili tome slično. Dakle ovdje se govori samo o vodenoj površini.

Treba napomenuti da metacentar nije jedna zasebna tačka, kao što je centar gravitacije ili centar sile uzgona. Kod običnog nagiba broda, metacentar zauzima stanoviti položaj kod određenog gaza, ali kod longitudinalnog nagiba broda, položaj metacentra je drukčiji i obično je visičiji. Zapravo, kod svakog gaza postoje dva metacentra, jedan za bočni a drugi za longitudinalni nagib broda. Prema tome, moment inercije vodene površine može se računati prema longitudinalnoj ili transversalnoj osovini broda. Za transversalni metacentar, osovina sile inercije uzimlje se po prilici na sredini između prednjeg i stražnjeg dijela broda, dok za longitudinalni metacentar, moment inercije računa se na transversalnoj osovini broda.

Ako uzmemo jedno pravokutno tijelo, formula za moment inercije vodene površine kod običnog nagiba, bila bi sljedeća:

Kubira se površina tijela i ova se pomnoži sa dužinom vodene linije tijela i dobijeni rezultat se podijeli sa 12

SLIKA 3.



### HORIZONTALNA PROJEKCIJA BRODA PRAVOKUTNOG OBLIKA

Gornja slika nam pokazuje horizontalnu projekciju vodene površine broda pravokutnog oblika, koji je 50 stopa dug, 10 stopa širok i koji gazi 8 stopa. To znači da bi mo-

menat inercije izgledao ovako:

$$\frac{10^3 \times 50}{12} = 4166.66 \text{ jest momenat inercije}$$

Da bi se našla visina transversalnog metacentra poviše centra sile uzgona, postupa se tako da se momenat inercije (4166.66) podijeli sa deplasmanom izraženim u kubičnim stopama. Dobijeni rezultat je udaljenost između centra sile uzgona i metacentra.

U slučaju da je brod pravokutnog oblika, centar sile uzgona bit će na polovini visine gaza tj. 4 stope od dna broda. Deplasman u kubičnim stopama bit će zapremnina samo jednog dijela uronjenog broda t. j.

$$50 \text{ dužina} \times 10 \text{ širina} \times 8 \text{ gaz} = 4000 \text{ kub. stopa} = \text{deplasman}$$

$$\frac{4166.66}{4000} = 1.04 \text{ stope} = \text{visina između metacentra i centra sile uzgona}$$

Netko može pitati kakvu vrijednost ima ovaj rezultat za stabilitet broda, kad je već poznat položaj centra gravitacije?

Ako pretpostavimo da je visina centra gravitacije 3 stope od dna i dok je metacentar  $1.04 + 4 = 5.04$  stope od dva pravokutnika, onda će udaljenost centra gravitacije ispod metacentra biti  $5.04 - 3 = 2.04$  stope, što znači da je to metacentrička visina.

Recimo dok pravokutnik pliva uz spomenuti gaz da se jedna težina od 20 tona, koja je već na brodu, podigne na visinu od 13 stopa. Sad će nastati novo djelovanje. Naime, deplasman, centar sile uzgona i metacentar isti su kao i prije, te ni kod gaza nije nastala promjena. Ali usljed promjene položaja težine, nastala je promjena kod položaja centra gravitacije. Svaka vertikalna promjena položaja težine mora, ili povisiti ili sniziti položaj centra gravitacije. Prema tome, i u našem slučaju, sa uzdignućem težine od 20 tona, podigao se i centar gravitacije našeg pravokutnika. Da bi znali gdje se centar gravitacije sada nalazi postupit ćemo na sljedeći način:

Pomnožit ćemo težinu sa visinom za koju je pomaknuta i rezultat podijeliti sa deplasmanom u tonama.

$$(4000 \text{ kub. stopa} = 114.2 \text{ tona}) \text{ t. j.}$$

$$\frac{20 \times 13}{114.2} = 2.2 \text{ stope t. j. udaljenost za koju se je centar gravitacije pomaknuo prema gore.}$$

Sada vidimo da se je centar gravitacije, koji je ranije bio ispod metacentra, povisio ( $2.2 - 2.04$ ) za 0.16 stope poviše metacentra. Ako pravokutnik sada ostane uspravan, nalazi se u jednom nesigurnom položaju i svaka najmanja vanjska sila prouzrokovat će nagnuće.

Postavlja se sada pitanje, pošto brod nema pozitivnog stabiliteta, da li će se prvernuti?

U ovom slučaju, pošto brod ima dosta veliko nadvođe, odgovor je negativan, jer, nakon što se nagne do jednog kuta od oko  $18^\circ$ , ostati će stalno miran uvijek sa istim nagibom.

Uslovi za ovo su sljedeći: Za vrijeme nagiba centar gravitacije ostao je nepomičan. Jedan mali transversalni pokret nastao je kod centra sile uzgona sa starog na novi položaj centra deplasmana. Kod početka ovog nagibanja, vertikalna linija koja prolazi kroz centar sile uzgona sječe transversalnu liniju broda u metacentru. Ovo je posljedica težine i sile uzgona koje vertikalno djeluju t. j. jedna kroz centar gravitacije a druga kroz centar sile uzgona. Ovo sječiste koje se sada nalazi ispod centra gravitacije (pošto je metacentrička visina negativna), prouzrokuje daljnji nagib.

Pošto se brod nagnuo oko  $18^\circ$ , praksa je pokazala da se centar sile uzgona pomaknuo iz svog ranijeg položaja toliko da dođe ispod centra gravitacije. Ove dvije sile sada se podudaraju na istoj vertikalnoj liniji. Pošto je na ovaj način nestalo poluge koja bi djelovala k većem nagibanju, sada naš pravokutnik pluta uravnotežen, bez jačeg momenta k nagibu ili k uspravljanju, u koliko nebi bilo nekog jačeg vanjskog uticaja.

Kod brodova cilindričnog oblika, metacentar se nalazi u središtu kruga, za sve kuteve nagiba. Kada je ovo poznato, vidjet ćemo kako se, za sve kuteve nagiba određuje stabilitet.

*Elementi koji djeluju na metacentričnu visinu.* Dva važna faktora kod broda koji djeluju na visinu kod transversalnog metacentra, su širina i deplasman. Već smo spomenuli formulu za dobijanje momenta inercije, te prema

tome ako se povisi širina, dobit će se povećani momenat inercije na vodenoj liniji broda.

Za dobiti visinu metacentra poviše centra sile uzgona, postupi se tako da se momenat inercije na vodenoj liniji broda podijeli sa volumenom deplasmana. Jasno je, prema tome, da što je deplasman manji, proporcijalno je manji i momenat inercije na vodenoj liniji. Znači, visina metacentra poviše centra sile uzgona bit će veća.

Ako bi deplasman pravokutnika bio smanjen usljed zaobljenja njegovih uglova, tako da bi se dobila neka kao trouglasta forma i ako bi se zadržala ista vodena površina, rezultat bi bio povišenje metacentra. Prema tome, brodovi sa velikom širinom i lijepim vodenim linijama imaju visoki metacentar.

N. pr. ako našem pravokutniku povećamo širinu za dvije stope, dok gaz ostavimo isti.

$$\text{Momenat inercije bit će jednak } \frac{50 \times 12^3}{12} = 7200$$

$$\text{Deplasman jednako } 50 \times 12 \times 8 = 4800 \text{ kubič. stopa}$$

$$\text{Visina metacentra poviše } \frac{7200}{4800} = 1.5 \text{ stopa}$$

U prvom slučaju smo imali da je visina metacentra poviše centra sile uzgona 1.04 stope i 2.04 stope poviše centra gravitacije. Sa proširenjem pravokutnika od dvije stope, metacentar se podignuo za  $(1.5 - 1.04) 0.46$  stopa i, prema tome, povisila se i metacentrička visina za  $(2.04 \text{ više } 0.46) 2.5$  stope, povećavajući s tim stabilni položaj broda.

Da se postigne jaka stabilnost broda, prema gornjem, postoje dva načina, naime, prvo da se teški tereti postave što moguće niže (centar gravitacije će se spustiti i prema tome odalečiti od metacentra), i, drugo, sa povećanjem širine broda, uslijed čega se povisuje metacentar.

*Promjene položaja metacentra kod krcanja.* Razumljivo je zašto neki brodovi kod svršetka krcanja postaju osjetljiviji na svoj stabilitet. Kod obične forme teretnjaka, kada je pri kraju svršetak krcanja tereta, vodena površina broda malo se povećava. Prije početka krcanja, metacentrička visina može biti mala, što nije neobičan slučaj kod praznih brodova. Postavimo da se centar gravitacije kod praznog broda nalazi na polovini visine skladišta. Jasno je da kada se započne sa krcanjem i sve dok se teret slaže ispod centra gravitacije, ovaj će se, uporedo sa krcanjem spuštati i naš brod postaje čvrst u stabilitetu. Kada se krcanje nastavlja, centar gravitacije se opet podiže. Sve što se više tereta postavi poviše centra gravitacije praznog broda nego ispod, centar gravitacije se povisuje od svog originalnog položaja. Položaj metacentra se međutim mjenja sa promjenom gaza. Kad bi imali krivulju metacentra broda, moglo bi se odmah odrediti tačan položaj istog kod svakog pojedinačnog gaza. Kad bi se, na ovaj način, ustanovilo da se je brod tako nakrcao da se je centar gravitacije opet približio metacentru, ovo bi prouzrokovalo malu metacentričku visinu i brod bi postao osjetljiv na svoj stabilitet.

*Konstrukcija krivulje stabiliteta.* Da bi nam stvar bila lakše razumljiva, kod gradnje ove krivulje, pretpostavit ćemo da je naš brod cilindričnog oblika. Udaljenost (poluga) između metacentra i centra gravitacije je kod svih kuteva jednaka 1 stopu. Poluga pri raznim kutevima pomnožena sa sinusom dotičnog kuta, daje nam sljedeću tablicu:

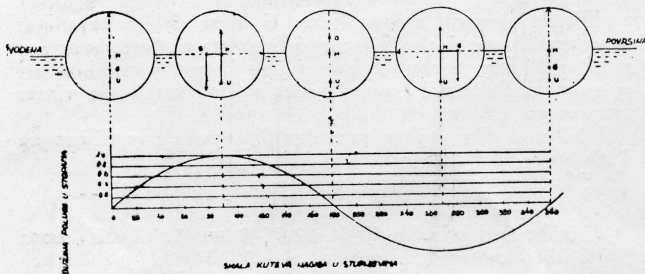
Poluga na $10^\circ$	$1 \times \sin$	kuta od $10^\circ$	jednako	0.1736
„ „ $20^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $20^\circ$	„	0.3420
„ „ $30^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $30^\circ$	„	0.5000
„ „ $40^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $40^\circ$	„	0.6427
„ „ $50^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $50^\circ$	„	0.7660
„ „ $60^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $60^\circ$	„	0.8660
„ „ $70^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $70^\circ$	„	0.9396
„ „ $80^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $80^\circ$	„	0.9848
„ „ $90^\circ$	$1 \times \sin$	„ „ $90^\circ$	„	1.0000

U gornjem prikazu se vidi kako centar gravitacije mjenja svoj položaj i udaljuje se od vertikalne broda. Kod nagiba od  $90^\circ$  najjače je djelovanje poluge, koje se pomalo umanjuje do  $180^\circ$ , gdje je djelovanje centra gravitacije obratno, sa daljnjim okretanjem, nastoji da vrati cilindar u svoj prvobitni položaj. Vidi se da kod svih kuteva nagiba, metacentar i centar sile uzgona su ostali uvijek na svojim istim položajima, isto kao i kod uspravnog položaja.

*Metacentričke krivulje.* Kod brodova kad nagib predstavlja vrlo mali kut, uronjeni i izronjeni dio broda,

praktično predstavljaju sektor kruga, što se vidi iz gornjih slika, gdje su ovi djelovi potpuno jednaki u volumenu i obliku. U ovim slučajevima, vertikalna linija koja polazi iz centra sile uzgona sječe brodsku vertikalnu metacentru. Kod većih kuteva nagiba, malo je teže odrediti novi položaj metacentra, jer se sa svakom promjenom gaza mijenja i položaj metacentra.

SLIKA 4.

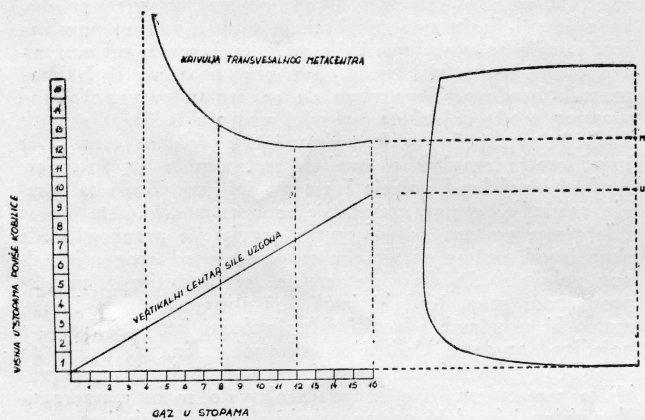


KRIVULJA STABILITETA

Sada ćemo pokazati gradnju krivulje metacentra i njezinu uporabu. Princip računanja metacentra kod jednog broda kod stanovitog gaza isti je kao i kod pravokutne kutije. Od ove se jedino razlikuje to što brod ima drukčiju vodenu površinu, te prema tome, mora se drukčije postupiti kod računanja momenta inercije.

Formula za ovo je sljedeća:

Moment inercije vodene površine, koji, podijeljen sa deplasmanom (kod određenog gaza), daje visinu metacentra poviše centra sile uzgona (za dotični gaz).



KRIVULJA METACENTRA

**Krivulja stabiliteta.** Tri glavna faktora o kojima ovisi stabilitet broda su: širina, nadvođe i položaj centra gravitacije. Za bolju ilustraciju primjera uzet ćemo brod četverouglastog oblika sa sljedećim podacima:

Br.	Dužina, širina, gaz u stopama	Nadvođe	Vis. cent gravitacije	Metac. visina	Opis
1.	100 × 12 × 10	5.0	6.3	0.10	Širina se povećava
2.	100 × 15 × 10	5.0	6.3	0.57	va, drugo ostaje isto
3.	100 × 30 × 10	5.0	6.3	6.2	isto
4.	100 × 20 × 10	1.0	6.3	2.0	Nadvođe se povećava, drugo ostaje isto
5.	100 × 20 × 10	8.0	6.3	2.0	isto
6.	100 × 20 × 10	1.6	8.1	0.25	Pokazuje promjenu položaja centra gravitacije, drugo ostaje isto.
7.	100 × 20 × 10	1.6	2.3	6.0	isto
8.	100 × 30 × 4	16.0	14.5	6.2	isto

**Uticao širine.** Brodovi pod brojem 1, 2 i 5 sa odgovarajućim krivuljama, služiti će nam kao primjer. U sva tri slučaja centar gravitacije je 6.3 stope od dna broda, dok ostali elementi ostaju isti. Već smo ranije spomenuli da sa povećanjem širine metacentar se podiže.

U krivulji broj 1, metacentar se nalazi 0.1 stopa ispod centra gravitacije. Ovo je slučaj negativnog stabiliteta, gdje

brod ne može plivati uspravno. Prema krivulji se vidi da se neće prevrnuti. Brod će se lagano nagnuti i tako ostati. Ako se usljed neke sile još više nagne, poluga stabiliteta (ispravljajnja) će još više porasti. U ovom slučaju uzela se u obzir samo metacentrička visina, što nam daje da je brod dosta osjetljiv u svom stabilitetu. Da se to pojača, povećat će se balast u dvodnu ili premjestiti teret, da se centar gravitacije spusti što više i, prema tome poviši metacentrička visina.

Krivulja broj 2 razlikuje se od one broj 1 u tome što je širina broda u ovom slučaju povišena za 3 stope, te je prema tome povišena metacentrička visina na 0.57 stope. Krivulja pokazuje veću polugu stabiliteta već kod 75°. Brod se osjeća stabilniji i jači mu je moment uspravljajnja.

Kod krivulje broj 3, širina broda je 30 stopa, metacentar se podiže i vidimo da je metacentrička visina 6.2 stope.

Iz gornjeg se zaključuje sljedeće:

Prvo. Sa povećanjem širine broda i sa time povećanjem metacentričke visine, krivulje stabiliteta su jače (okomitije), pokazujući time jači stabilitet i veći otpor kod nagnjanja broda.

Drugo. Svaka daljnja krivulja dobija veću visinu, što znači da poluga stabiliteta postaje dulja i time jači moment kod uspravljajnja.

Treće. Kod svake sljedeće krivulje maksimum poluge stabiliteta postizava se kod manjeg kuta nagiba.

**Uticao nadvođa.** Povećanjem nadvođa kod nepromjenjene metacentričke visine, povećava se ne samo dužina poluge stabiliteta, već je maksimum dužine poluge u svakom slučaju, kod većeg kuta nagiba.

**Uticao položaja centra gravitacije.** Konačno, metacentrička visina može se postići ako se spusti centar gravitacije ili ako se poviši visina metacentra. Kod trgovačkih brodova ovo se postizava ako se teški tereti postavljaju niže. U ovom slučaju, kod svake promjene gaza broda i centar gravitacije spušta se na niže, kod čega se povećava metacentrička visina. U ovom slučaju produžuje se poluga stabiliteta. Krivulje rastu i postaju jače (okomitije), što znači da je brod jači u stabilitetu.

**Slučaj praznog broda.** Ovaj primjer predviđa mali brod, koji je 270 stopa dug, 41 širok i 26 stopa dubok, sa 112 tona balasta. sa samim ovim balastom i bez ikavog tereta, brod ima nadvođe od 17½ stope.

Krivulja stabiliteta pokazuje da je poluga stabiliteta kratka. Ovo je zato jer dok je brod u praznom stanju, teški tereti koji se nalaze povišeni, kao jarboli, dimnjak, vinčevi i ostalo, podižu centar gravitacije dosta visoko.

Pravilo je, da što je višičiji centar gravitacije, poluga stabiliteta je kraća. Isti ovaj brod kod punog tereta, sa 5½ stope nadvođa i 3 stope metacentričke visine, ima dužu polugu stabiliteta, jer se centar gravitacije nalazi niže.

Ovdje treba napomenuti da je deplasman kod praznog broda vrlo mali i prema tome, momenti koji djeluju na uspravljajnje broda su vrlo mali, upoređujući ih sa momentima uspravljajnja kada je brod pun. Nesmije se ovdje zaboraviti da kod stabiliteta glavni faktor je »moment ispravljajnja«, t. j. produkt poluge ispravljajnja i deplasmana. Dok se govori o dužini poluge kod ispravljajnja broda, praveći pri tome usporedbu stabiliteta kod raznih brodova ili stabiliteta istog broda u raznim prilikama, ove usporedbe mogu nas krivo informirati u koliko se kod toga nema uvijek na pameti uloga deplasmana.

SLIKA 6.

