Sustav stabilnosti na putničkim brodovima

Čandrlić, David

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:819453

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-29**

Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

DAVID ČANDRLIĆ

SUSTAV STABILNOSTI NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

SUSTAV STABILNOSTI NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

STABILITY OF PASSENGER SHIPS

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Sredstva pomorskog prometa 1

Mentor: Prof. dr. sc. Igor Rudan

Komentor: Mag.ing. Davor Šakan

Student: David Čandrlić

Studijski smjer: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079081

Rijeka, srpanj, 2022.

Student: David Čandrlić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079081

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom*Sustav stabilnostina putničkim brodova*

izradio samostalno pod mentorstvom *prof. dr. sc.* Igor Rudan te komentorstvom *mag.ing.* Davor Šakan.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citiraosam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

David Čandrlić

Student: David Čandrlić

Studijski program: Nautika i tehnologija pomorskog prometa

JMBAG: 0112079081

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornogograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na http://creativecommons.org/licenses/

Student– autor

SAŽETAK

Stabilnost putničkih brodova pojašnjena je kroz devet poglavlja. Radi što boljeg razumijevanja stabilnosti prvo se spominje povijest i postepena upotreba na brodovima iznimnih veličina. Putnički brodovi su uz stabilnost glavna tema ovog rada, te njihova evolucija kroz zadnjih tri desetljeća. Dodatno su prikazane pojedine zakonitosti i pravila koja su neizostavan dio plovidbe. Objašnjeni su sustavi stabilizacije kao stavka koja pridonosi ugodnosti tijekom plovidbe i njihov doprinos na putničkim brodovima. Također se pridodaje važnost inovativnim rješenjima i napredak tehnologije u pomorskoj industriji. Nekada nezamislive stvari su danas nadohvat ruke i jednostavno prikazane časnicima radi što sigurnije plovidbe. Pomorska industrija od početaka konstantno evoluira i raste, novi izumi i unaprjeđenja nastaju svaki dan, no bez početaka određivanja i postavljanja kriterija stabilnosti današnji razvoj svijeta i pomorstva bio bi nemoguć.

Ključne riječi: Stabilnost, Plovnost, Stabilizatori, Eniram, NAPA

SUMMARY

Cruise ship stability is simplified throughout nine chapters. For the better understanding of stability, the history of stability and it's implementation on large ships is explained at the beginning. Along with stability, passenger ships are the main topic of this paper, and their evolution over the last three decades.Buoyancy laws without which navigation is impossible are illustrated in more detail, as well as stabilization systems which contribute to the comfort of passenger ships while at sea. There is also an emphasis on innovative solutions and technological advances in the maritime industry. Things that used to be unimaginable are now within reach of a hand and simply shown o monitors to officers for the safest possible navigation. The maritime industry has been constantly evolving and growing sice the beginning, new inventions are created every day, but without the beginnings of determing and setting stability criteria, today's world and maritime development would be impossible.

Keywords: Stability, Buoyancy, Stabilizers, Eniram, NAPA

SADRŽAJ

SAŽETAK ..... **II**

SUMMARY ..... **II**

SADRŽAJ ..... **III**

1.UVOD **1**

2.POVIJEST STABILNOSTI **2**

2.1. ARHIMED 3

2.2.OSTALI ISTRAŽIVAČI POVIJESTI STABILNOSTI 3

2.3. BOUGUER 5

2.4.EULER 6

3. PUTNIČKI BRODOVI ZA KRUŽNA PUTOVANJA **8**

3.1. PRVI PUTNIČKI BRODOVI 8

3.2.OD LUKSUZNIH LINJSKIH BRODOVA DO MEGA PUTNIČKIH BRODOVA 9

4.PLOVNOST **11**

4.1. PRVI UVJET PLOVNOSTI 11

4.2. DRUGI UVJET PLOVNOSTI 12

4.2.1. Utjecaj pomaka putnika na drugi uvjet plovnosti 12

4.3. TREĆI UVJET PLOVNOSTI 13

5. STABILNOST **14**

5.1. STANJA STABILNOSTI 16

5.1.1. Stabilan brod 16

5.1.2. Indiferentan brod 16

5.1.3. Labilan brod 17

5.2. KRITERIJI ZA STABILNOST PUTNIČKIH BRODOVA 17

5.2.1. Opći kriteriji za netaknuta stabilnost svih brodova 17

5.2.2. Dodatni zahtjevi za putničke brodove 18
5.2.3. Određivanje momenta prevrtanja kod putničkih brodova 19
6. SUSTAV STABILIZACIJE KOD PUTNIČKIH BRODOVA 21
6.1. AKTIVNI SUSTAVI STABILIZACIJE 21
6.1.1. Aktivna krila 22
6.1.2. Aktivni protuljuljni tankovi 22
6.1.3. Sustav aktivnog prebacivanja mase 23
6.1.4. Sustav žiro stabilizatora 24
6.2. PASIVNI SUSTAVI STABILIZACIJE 24
6.2.1. Ljuljna kobilica 24
6.2.2. Sustav pasivnih protuljuljnih tankova 25
6.2.3. Fiksna krila 26
6.2.4. Sustav pasivnog pomicanja težine 26
6.3. USPOREDBA STABILIZATORA PROTIV LJULJANJA 27
7. NAPA 28
7.1. POSEBNE FUNKCIJE 28
7.2. PROCJENA ŠTETE 30
7.3. MOTRENJE STABILNOSTI 31
8. ENIRAM 32
8.1. OPĆENITO 32
8.2. UPOTREBA ENIRAM-A NA PUTNIČKIM BRODOVIMA 33
9.ZAKLJUČAK 35
LITERATURA 37
KAZALO KRATICA 38
POPIS SLIKA 39
POPIS TABLICA 40

1.UVOD

Rad se sastoji od devet poglavlja i započinje uvodom. Drugo poglavlje opisuje početak stabilnosti, te potrebu za njom za uspješne i sigurne pomorske poduhvate. Također se spominju glavne osobe zaslužne za razvijanje kriterija stabilnosti i opisani primjeri prvih izračuna.

Slijedi općeniti opis putničkih brodova i njihovo porijeklo, kako su od oceanskih linijaša napredovali do ogromnih mega brodova. Opisuju se i aktivnosti koje postoje na putničkim brodovima. Četvrto poglavlje odnosi se na plovnost. Pobliže su pojašnjeni uvjeti plovnosti bez kojih brod ne može ploviti, te prikazane ilustracije samih uvjeta.

Peto poglavlje govorio općenito o stabilnosti, dok je u podnaslovima fokus usmjeren na kriterije stabilnosti za putničke brodove i pravila koja je postavila Međunarodna pomorska organizacija glede sigurnosti i zaštite okoliša koje mora poštivati svaki putnički brod u plovidbi. Šesto poglavlje detaljno opisuje stabilizatore. Započinje s uvodom u sustav stabilizacije i kakvi svi sustavi postoje. U podnaslovima se detaljno opisuju aktivni i pasivni stabilizacijski sustavi, te njihovo pojašnjenje i slikovni prikaz njihovih izvedbi.

Slijedi sedmo poglavlje gdje se opisuje NAPA. Softverski oblik programa za računanje stabilnosti na putničkim brodovima. Sve mogućnosti NAPA sustava su spomenute i potkrijepljene slikama.

Osmo poglavlje sadrži opis Eniram-a koji se temelji na optimizaciji pomorske plovidbe, od uštede goriva i samim time novaca do optimizacije trima kako bi manevriranje brodom bilo što efikasnije.Opisuje se i upotreba sustava kod putničkih brodova, gdje su najveće svjetske kompanije potpisale ugovore za korištenje takvih inovativnih sustava optimizacije.

Rad završava zaključkom.

2.POVIJEST STABILNOSTI

Prijevoz ljudi i dobara morem je vjerojatno najviše utjecao na razvoj svijeta kakvog danas poznajemo. Započeo je u drevnim vremenima i razvijao se kroz cijelu ljudsku povijest. Od samih početaka stabilnost broda je utjecala na prijevoz morem i bila prvi problem s kojim su se pomorci susretali pri gradnji brodova. Pretpostavlja se kako su se u početcima pomorske industrije, pomorci i brodograditelji oslanjali na intuiciju kod suočavanja s stabilnošću plovila, temeljenoj na zajedničkom iskustvu.

Prvi koji je postavio temelje za kvantitativnu procjenu brodske hidrostatske stabilnosti je bio Arhimed. Razvio je mjeru za stabilnost nalik onoj za „righting arm“. Pojam „righting arm“ se odnosi na udaljenost između sile uzgona i sile gravitacije. Rješenje problema kriterija za početnu stabilnost plovila se ustanovilo tek 20 stoljeća kasnije.

Sredinom 18.stoljeća Bouger u Francuskoj, te Euler u Rusiji su nezavisno jedan o drugome došli do podjednakih rješenja o teoriji brodske stabilnosti. Bouguer je razvio teoriju o metacentru broda koji je s pozicijom brodskog centra gravitacije mogao procijeniti stabilnost. Euler je tvrdio da ukoliko plutajuće tijelo izbacimo iz ravnoteže da bi tijelo trebalo imati moment koji će ga vratiti u uspravno stanje. Bouguerove i Eulerove teorije su došle do ekvivalentnih rezultata.

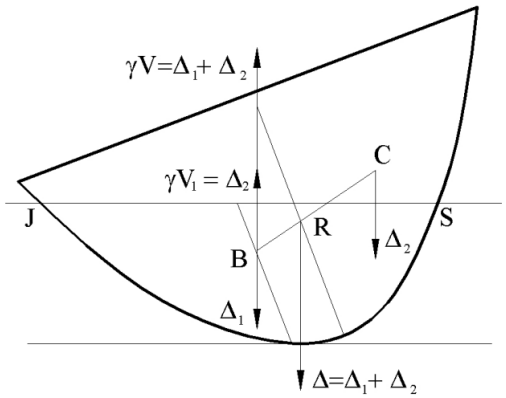
Razvijeni kriterij od Bouguera i Eulera se odnosio na početnu stabilnost. Metacentarska visina (MoG) se i dan danas koristi kod određivanja početne poprečne stabilnosti broda. No, pokazalo se kako metacentarska visina ne uključuje detalje o „kapacitetu stabilnosti broda“, koji su uklopljeni u krivulje stabiliteta. Kriterij za „kapacitetu stabilnosti broda“ se nije razvio sve dok Jaakko Rahola nije objavio svoj doktorski rad 1939.godine.

Spomenuti kriterij se odnosi na stabilnost normalno operativnog broda. Zatim, se počelo diskutirati o kriteriju stabilnosti kod oštećenih brodova. I dalje se nastoji razviti točnije kriterije za stabilnost u oštećenom stanju kako bi se predvidjela otpornost prevrtanja plovila u oštećenom stanju.

Brojke koje je objavila Međunarodna pomorska organizacija prikazuju da je godišnji prosjek gubitka života na manjim brodovima, pogotovo ribarskim brodovima iznimno velik. Rezultat toga su mnogi razlozi, no glavno je prevrtanje brodova tijekom plovidbe valovitim morem zbog toga što dinamička stabilnost brodova nije još standardizirana.

2.1. ARHIMED

Prvi koji je postavio temelje za stabilnost brodova je Arhimed (287-212 pr.Kr.). Tvrdio je kako je plovilo u ravnoteži odnosno stabilno ako prilikom pomaka iz centra ravnoteže ima svojstvo vraćanja u samu ravnotežu, što znači da se mora pojaviti moment koji vraća plovilo u prvobitno stanje ravnoteže. Kako bi riješio problem stabilnosti u tekućini pri mirovanju koristio je segment rotacijskog paraboloida homogenog materijala čija je specifična gustoća manja od fluida u kojem se nalazi, te geometrijski procijenio polugu između uzgona i sila težine.



Slika 1. Prikaz momenta povratka, udaljenost između sile uzgona i sile gravitacije za nagnuti paraboloid

Izvor: preuzeo student s https://www.prs.pl/uploads/history_of_stability_criteria.pdf

Uzgon djeluje vertikalno prema gore kroz točku B, dok težina djeluje kroz točku R u istom smjeru, ali suprotno orijentirano. Horizontalna projekcija |BR| je konvencionalna udaljenost sile uzgona i sile gravitacije.

2.2. OSTALI ISTRAŽIVAČI POVIJESTI STABILNOSTI

Osamnaest stoljeća nakon Arhimeda, nizozemski znanstvenik Simon Stavin (1548.-1620.), vjerojatno je bio prvi koji je predstavio koncept„distribucije hidrostatkog pritiska“ proporcionalnu težini vodene prizme iznad dubine u pitanju. Ovaj koncept mu je omogućio računanje opterećenja vode na stranama broda.

Francuski matematičar, Poul Hoste (1652.-1700.) bio je prvi koji je pokušao izmjeriti problem brodske stabilnosti, bez računice, koja do tada još nije bila formirana, bilo je vrlo

teško i učinio je nekoliko pogrešaka. No, opisao je eksperiment nagiba broda kako bi demonstrirao silu potrebnu da „nosi“ jedra.

La Criox (1690. – 1747.) je ispravno razumio ulogu djelovanja sila težine i uzgona u istoj vertikalnoj liniji u ravnoteži broda bez vanjskog utjecaja. Slijedio je Arhimeda u njegovoj odredbi kriterija stabilnosti tako da je proučavao kobilicu tijela i potrebnu pozitivnu udaljenost između sile uzgona i sile gravitacije, ali je netočno proveo izračun.

Problem koji je utjecao na stabilnost brodova su bili otvori na bočnom dijelu brodova uvedeni 1500.-ih godina koji su omogućavali ispaljivanje artiljerije iz trupa broda.
Otvori su značajno doprinijeli porastu vatrene moći brodova, no isto tako uz njih su došla dva problema. Brodovi bili znatno teži i s velikim otvorima u brodu, slobodno nadvođe se drastično smanjilo. Tragično potonuće dvaju brodova „Mary Rose“ (1545) i Vasa (1628) su dobri primjeri neprimijećenih područja stabilnosti u to vrijeme- voda na palubi.

Slika 2. Prikaz broda Mary Rose u Portsmuth Historic Dockyard-u

Izvor: preuzeo student s https://www.futurity.org/mary-rose-english-history-x-rays-ships-2657402/

Slika 3. Prikaz broda Vasa u muzeju u Stockholm, Švedska

Izvor: preuzeo student s https://lucaslaursen.com/vasas-curious-imbalance/

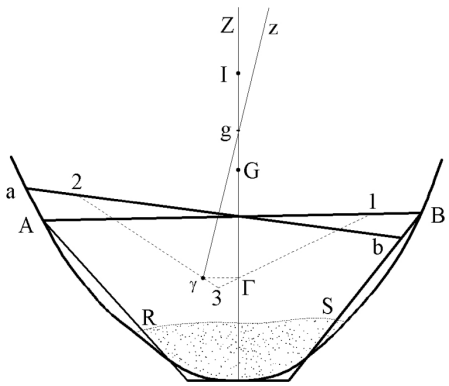
Kako bi riješio prije spomenuti problem, Anthony Deane (1638 – 1721) je razvio metode kako izračunati koliko oružja i vojne opreme, balasta i spremišta mogu biti na brodu

kako bi doveli brod do određene vodene linije. Deane je koristio brodske planove kako bi provjerio podvodni volumen broda, predviđajući područje podvodnog dijela okvira pomnoženog s razmakom okvira.

Razvoj beskonačno male računice je postao važan za praktičnu procjenu brodske stabilnosti. Jean Hyacinthe Hocquart (1720) koristio je trapeze jednakih širina kako bi procijenio područje na brodskoj oplati na kojem gazu brod pluta, dok je matematičar Thomas Simpson (1710 – 1761) razvio matematičko pravilo za numeričku procjenu integrala funkcije koja je omogućila praktičnu procjenu brodskih volumena, što znači deplasman i centara volumena. Ova pravila (numeričke metode), koje su i dalje primijenjena korištenjem kompjutera, uzrokovala su dinamičan razvoj kriterija stabilnosti.

2.3. BOUGUER

Pierre Bouguer (1698-1758) primijenio je metodu Hocquart-ovog trapeza kako bi procijenio područje na brodskoj oplati na kojem gazu brod pluta, a onda i volumen njegova trupa. On je razvio metodu sume momenata kako bi izračunao središte nekog objekta kao na primjer središte uzgona broda. Zatim je Bouguer zaključio kako se ovo pravilo računanja može primijeniti pri određivanju integrala funkcije jedne od varijabli ili funkcije od više varijabli, ako se primjeni rekurzivno. Kako bi razvio teoriju hidrostatike brodova, Bouguer je implicitno pretpostavio Arhimedova načela hidrostatike kako težina i uzgon tijela uronjenog u vodi i slobodno plutajućeg tijela su jednaki, djeluju u jednakoj vertikalnoj liniji i da su suprotno orijentirani. Također, tvrdi da je hidrostatski pritisak u fluidu proporcionalan dubini i da je svugdje „normalan“ do površine uronjenog tijela.



Slika 4. Poprečni presjek brod koji je koristio Bouguer za određivanje metacentra

Izvor: student preuzeo s https://www.prs.pl/uploads/history_of_stability_criteria.pdf

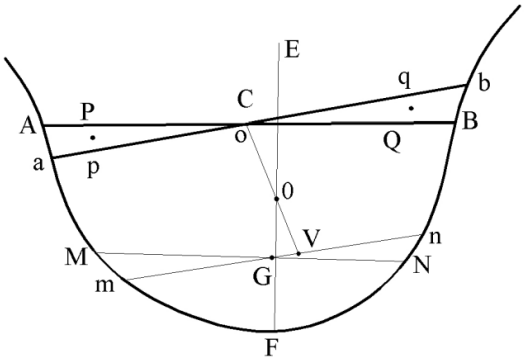
Na temelju hidstatskih načela i koristeći pravilo trapeze, Bouguer je razvio svoj kriterij stabilnosti s sljedećim obrazloženjima:

1. U uspravnom položaju centar brodske mase je u istoj vertikalnoj liniji kao i brodski centar uzgona.
2. Ukoliko brod promjeni uspravan položaj u neki drugi, što rezultira mali nagib, središte uzgona se pomiče iz Γ u γ i sila uzgona koja djeluje u liniji Γ – Z, mijenja svoju liniju djelovanja na liniju γ – z. Linije Γ – Z i γ – z sijeku se u točki g, koju je Bouguer nazvao metacentrom.
3. Ukoliko centar gravitacije na liniji Γ – Z leži iznad g, na primjer na poziciji I, onda težina broda, sa središtem u I, je na strani nagnuća u relaciji s centrom uzgona i teži još većem naginjanju broda, čineći brod nestabilnim. Ukoliko je centar brodske gravitacije ispod točke g, onda težina, sa središtem u točki G, je na suprotnoj strani od centra uzgona i nastoji povratiti brod u horizontalnu poziciju.

2.4.EULER

Drugačiji pristup određivanju kriterija stabilnosti primijenio je Leonard Euler (1707.-1783.). On se fokusirao na fizičku i matematičko ispitivanje mehanike broda. Euler je odredio svoj kriterij stabilnosti kroz sljedeće korake:

1. Ponovno je odredio Arhimedovo načelo hidsrostatike s modernijeg stajališta tako da je integracijom distribucije hidrostatskog pritiska u fluidu iznad površine tijela.
2. Odredio je, integracijom pritiska, sila uzgona i centar uzgona, kroz koju djeluje volumen centra uronjenog dijela broda i ponovno potvrdio da kod tijela koje je uronjeno u vodu i onog koje slobodno pluta, uzgon i sile težine moraju djelovati u istom vertikalnom pravcu i moraju biti iste magnitude i suprotne orijentacije.
3. Definirao je kriterij stabilnosti sljedećim izrazom: Stabilnost koju tijelo plutajući u vodi u ravnotežnom stanju održava, će biti određena momentom koji ju vraća u prvobitno tanje ukoliko je tijelo pomaknuto iz ravnoteže za beskonačno mali kut.
4. Evaluirao je kriterij. U prvom pristupu koristio je poprečni presjek proizvoljnog oblika kako bi proučio momente potrebne da se tijelo povrati u prvobitan položaj. Koristio je centar gravitacije G kao referentnu točku.



Slika 5. Poprečni presjek proizvoljnog oblika koji je koristio Euler kako bi proučio momente potrebne da se tijelo povrati u prvobitan položaj

Izvor: preuzeo student s https://www.prs.pl/uploads/history_of_stability_criteria.pdf

3. PUTNIČKI BRODOVI ZA KRUŽNA PUTOVANJA

Brod za krstarenje, koji se ponekad naziva i kruzer, je brod čija namjena nije prijevoz putnika od luke ishodišta do luke odredišta nalik nekim brodovima u linijskoj plovidbi, već brod namijenjen za uživanje tijekom putovanja i sadržajima koji su na samome brodu. Takav brod plovi u određenom kraćem vremenskom periodu, najčešće sedam do deset dana. Tijekom svoje plovidbe on posjeti nekoliko zanimljivih turističkih atrakcija odnosno destinacija. Mogu se podijeliti na temelju mnogih aspekata kako bi se što više prilagodili potrebama i zahtjevima svojih putnika. Putnički brodovi su danas jedan od važnijih dijelova turističke industrije, te imaju iznimno veliki značaj za svjetsku ekonomiju.

Slika 6. Primjer izgleda putničkog broda

Izvor: preuzeo student shttps://recommend.com/get-inspired/cruise/norwegian-viva-ncls-next-prima-class-ship/

3.1. PRVI PUTNIČKI BRODOVI

Prvi brod izgrađen posebno za luksuzna krstarenja bila je „Prinzessin Victoria Luise“. Dizajnirao ju je Alber Ballin, generalni direktor Hamburg-America Line-a. Brod je završen 1900.godine. Usavršavanje luksuznih krstarenja je polako počelo uvoditi u bolje uspostavljena transatlantska putovanja. Kako bi privukli što više putnika, oceanski linijski brodovi su dodali raskoši poput otmjenih večera, luksuznih usluga i sobe s finijim stvarima. U kasnom 19.stoljeću, Albert Ballin, prvi je poslao svoje transatalantske brodove na duga južnija putovanja tijekom jedne od najgorih Sjevernoatlantskih zimskih sezona. Ostale tvrtke su slijedile njegovim primjerom. Neke od njih su čak i gradile posebno prilagođene brodove dizajnirane za lakšu prilagodbu između ljetnih i zimskih putovanja. 1897.godine tri luksuzne tvrtke, sve porijeklom iz Europe nudile su prijevoz između Europe i Sjeverne Amerike. 1906.godine broj tvrtki je narastao na sedam.

Slika 7. Prikaz prvog luksuznog broda za krstarenje

Izvor: preuzeo student

shttps://en.wikipedia.org/wiki/Cruise_ship#/media/File:Prinzessin_Victoria_Luise_LOC_det.4a15439.jpg

3.2.OD LUKSUZNIH LINJSKIH BRODOVA DO MEGA PUTNIČKIH BRODOVA

S dolaskom mlaznih zrakoplova 1960.-ih godina koji mogu primiti veliki broj putnika, interkontinentalni putnicu su prešli s brodova na zrakoplove i time osudili oceanski linijski promet u postepeno propadanje. Oceanska linijska usluga usmjerena na transport putnika je stala 1986.godine, s primjetnom iznimkom transatlantskih prijelaza kojima je upravljala Britanska brodarska tvrtka Cunard Line. U pokušaju da pomaknu fokus s prijevoza putnika na krstarenje s ugostiteljskim sadržajem, Cunard Line predvodio je luksuznu transatlantsku uslugu krstarenja na oceanskom linijašu Queen Elizabeth 2. Međunarodne slavne osobe su bile angažirane kako bi izvodile plesne točke na brodu. Sam prijelaze preko Atlantika se oglašavao kao odmor.

Slika 8. Prikaz oceanskog linijaša Queen Elizabeth 2

Izvor: preuzeo student shttps://owlcation.com/humanities/QE2

Suvremeni putnički brodovi su građeni kasnih 1980.-ih godina, poput Sovereign klase koja je nakon više desetljeća oborila rekord broda Norway i pokazala karakteristike veličine i snage koja je nekada bila rezervirana za oceanske linijaše. Brodovi Sovereign klasesu bili prvi mega brodovi izgrađeni za tržište masovnih krstarenja, također su bili prva serija brodova koja je uključivala atrij s više katova i staklenim dizalom.

Slika 9. Prikaz prvog mega broda za kružna putovanja- Sovereign of the Seas

Izvor: preuzeo student shttps://thepointsguy.com/news/remembering-cruise-ship-icon-sovereign-of-the-seas/

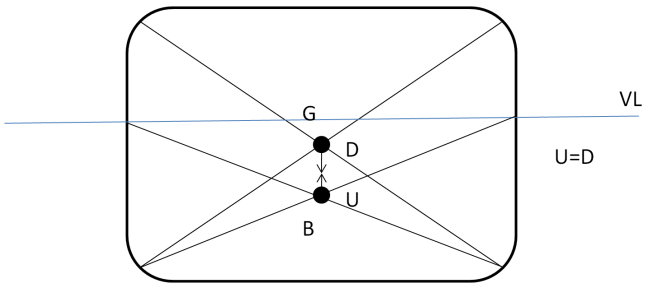
Od 1975.-1980. Brodovi su pružali jednostavne usluge kao na primjer *shuffleboard* igru, stolice na palubu i još malo toga za par stotina putnika. Poslije 1980.godine počeli su uvodi mnoge druge pogodnosti i atrakcije. Od 2010.godine brodovi imaju na desetke zanimljivosti i usluga za svoje putnike. Svake godine od 2001.godine devet, deset ili više putničkih brodova je izgrađeno uz postupno povećanje koje je omogućilo prijevoz većeg broja putnika, mnogo više zanimljivosti, atrakcija i pogodnosti koje i pridonose veću zaradu.

4.PLOVNOST

Plovnost broda je jedno od važnijih osnovnih svojstava. Za plovnost možemo reći kako je to zapravo plutanje broda na određenoj vodenoj plovnoj liniji (VL)pod opterećenjem tereta. Plovnost je usko povezana s Arhimedovim zakonom, koji glasi: Na tijelo koje je u tekućini u mirovanju djeluje sila koja ga gura prema gore i zove se sila uzgona, te je jednaka težini fluida koju tijelo istisne. Ukoliko je tijelo u potpunosti uronjeno, volumen istisnutog fluida jedna je volumenu tijela. Plovnost je također uvjetna sposobnost broda, što znači da svojim djelovanjem se može utjecati na nju. U ovisnosti je o obliku tijela uronjenog u vodu, gustoći tijela, te gustoći tekućine. Brod će uranjati u vodu sve dok se sile uzgona i sile deplasmana broda ne izjednače. Do sile deplasmana dolazimo umnoškom volumena podvodnog dijela trupa broda i gustoće fluida. U slijedećim podnaslovima opisati će se tri osnovna uvjeta plovnosti.

4.1.PRVI UVJET PLOVNOSTI

Prvi uvjet plovnosti nam govori da na svako tijelo uronjeno u tekućinu djeluje sila uzgona, koja odgovara težini istisnute tekućine. U težištu oblika podvodnog dijela trupa broda nalazi se točka B. Iz težišta B je hvatište sile uzgona koja djeluje okomito na vodenu liniju vertikalno prema gore i tjera brod da izroni iz tekućine. Sve sile koje postoje na bočnim stranama broda se poništavaju jer su iste samo suprotnog predznaka. Time ostaju samo one sile koje djeluju ispod broda i svojim djelovanjem guraju brod vertikalno gore na vodenu liniji iz težišta točke B. Iz težišta sustava cijelog broda gdje su koncentrirane sve mase koje se nalaze na brodu uz masu praznoga broda označava se točkom G i iz nje djeluje sila deplasmana (D) koja ponovno djeluje okomito na vodenu liniju, ali prema središtu Zemlje. Kod tijela koje pluta sile deplasmana i uzgona moraju biti izjednačene što uzrokuje plutanje broda na određenom gazu. Ovime je zadovoljen uvjet U=D odnosno prvi uvjet plovnosti. Deplasman je jednak umnošku volumena podvodnog dijela trupa broda i gustoće fluida.

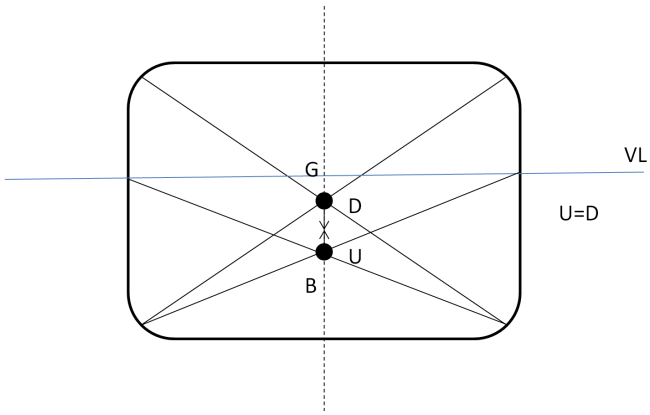


Slika 10. Prikaz prvog uvjeta plovnosti

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

4.2. DRUGI UVJET PLOVNOSTI

Težište istisnine B i težište sustava G nalaze se na istoj okomici na vodenu plovnu liniju.



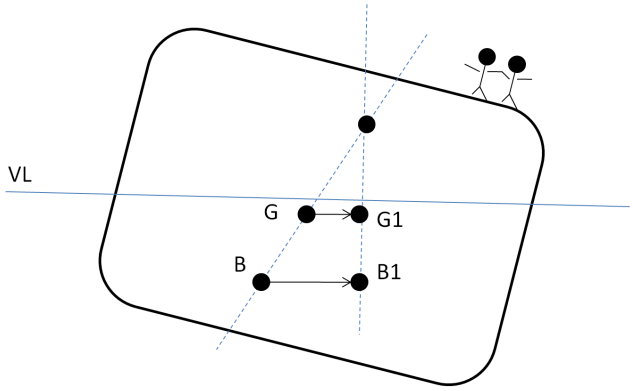
Slika 11. Prikaz drugog uvjeta plovnosti

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

4.2.1. Utjecaj pomaka putnika na drugi uvjet plovnosti

Kod većih i manjih putničkih brodova, ovaj utjecaj ne predstavlja problem pri plovidbi broda zbog načina na koji putnički brod održava svoju uspravnost te stabilnost. Putnički brodovi koriste softverske programe kao i posebne sustave stabilizacije kako bi nagib broda i samo ljuljanje broda bilo neprimjetno. Kao primjer se uzima prijelaz svih putnika na jednu stranu broda. Ukoliko se zanemare svi sustavi i sve mjere predostrožnosti, naginjanjem broda bi se točka B pomicala na tu određenu stranu. Time se mijenja oblik podvodnog dijela brodai značajno je veći na strani gdje se nalaze svi putnici. Točke B i G

obje nisu na istom mjestu kao i prije i pomiču se za putnicima. Brod će se naginjati sve dok se točke na nalaze na istoj okomici i drugi uvjet plovnosti bude zadovoljen kao na slici ispod (Slika 12- Zamišljeni prikaz utjecaja putnika na drugi uvjet plovnosti).

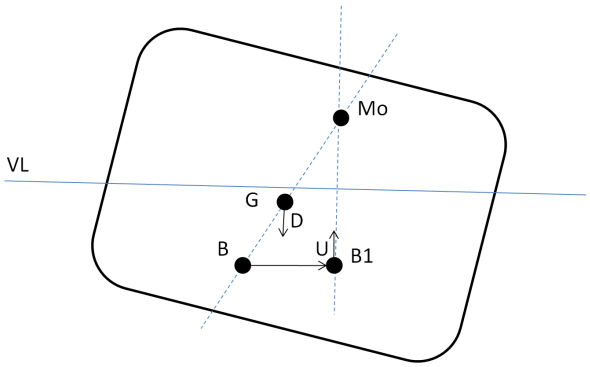


Slika 12. Zamišljeni prikaz utjecaja putnika na drugi uvjet plovnosti

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

4.3. TREĆI UVJET PLOVNOSTI

Brod mora ploviti u stabilnom položaju, što bi značilo ukoliko dođe do utjecaja neke vanjske sile, kao što može doći do utjecaja vjetra, valova itd., i brod se nagne za neki kut, sam se mora vratiti u prvobitan položaj nakon prestanka djelovanja sile koja je izazvala nagib. Dolazi do sprega sila jer se mijenja samo oblik podvodnog dijela trupa broda i pomiče se točka B dok točka G se ne pomiče, već ostaje na istom mjestu kao i prije djelovanja vanjske sile.

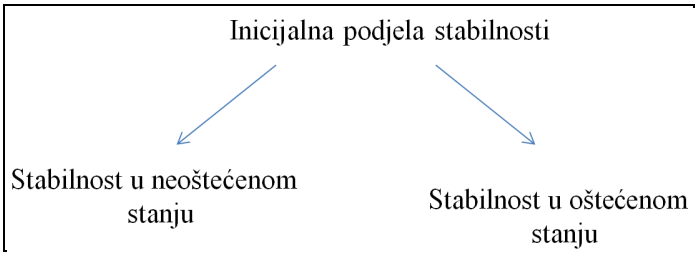


Slika 13. Prikaz trećeg uvjeta plovnosti uslijed djelovanja vanjske sile

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

5. STABILNOST

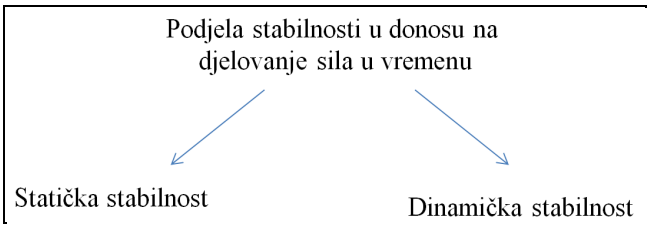
Stabilnost se definira kao sposobnost broda da se vrati u uspravan položaj nakon prestanka djelovanja sile oko pojedine osi, odnosno sposobnost broda da se odupre silama koje ga pokušavaju nagnuti.



Slika 14. Inicijalna podjela stabilnosti

Izvor: student samostalno izradio u aplikaciji MS Power point

Također, stabilnost možemo podijeliti u odnosu djelovanja sila u vremenu na:



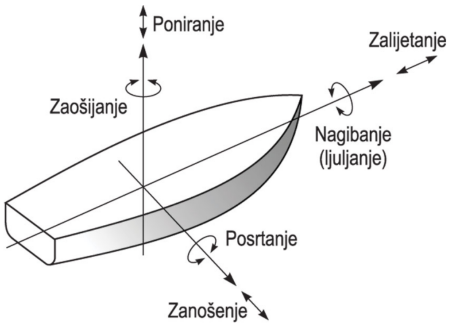
Slika 15. Prikaz podjele stabilnosti u odnosu na djelovanje sila uvremenu

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

Kod statičke stabilnosti karakteristična su spora i statička djelovanja sila, gdje moment koji one stvaraju je često toliko mali da se zanemaruje. Sile stalno i nepromjenjivo djeluju na brodu. Neki od primjera koji utječu na statičku stabilnost su ukrcaj tereta, pomak tereta, operacije s balasta, čak i vjetar ukoliko ima stalno djelovanje. Kod dinamičke stabilnosti sile koje naginju brod djeluju dinamički s prekidima ili trenutno. Zbog ubrzanja mase pojačani momenti koje sile proizvode moraju se uzeti u obzir. Primjeri takvih dinamičkih djelovanja su vjetar, valovi itd.

Stabilnost se može podijeliti i na osnovi kretanja broda. Ovdje se misli na podjelu stabilnosti s obzirom na smjer djelovanja sila na brod. Najčešće se dijeli na šest komponenti djelovanja samih sila odnosno kretanja broda.Razlikujemo gibanja po uzdužnoj, poprečnoj i vertikalnoj osi. Kretanja mogu biti rotacijska što znači gibanje oko koordinatne osi, te mogu biti translatorna odnosno linearna što podrazumijeva gibanje u smjeru koordinatne osi.

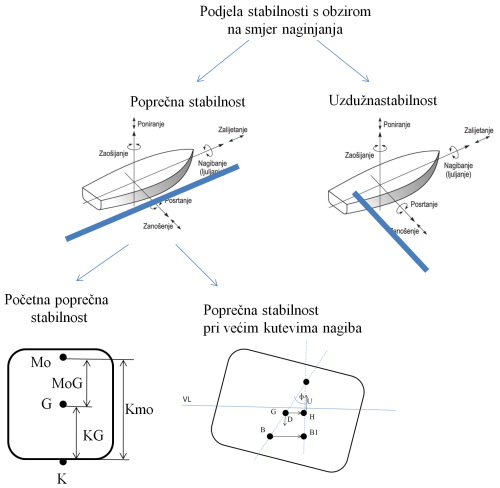
Rotacijska gibanja su ljuljanje, posrtanje i zaošijavanje, a translatorna/linearna gibanja su zastajanje, zanošenje i poniranje.



Slika 16. Prikaz stupnjeva slobode kretanja broda

Izvor: preuzeo student shttps://tehnicki.lzmk.hr/clanak.aspx?id=4505

Stabilnost također možemo podijeliti s obzirom naginjanja na poprečnu i uzdužnu stabilnost. Poprečna stabilnost se odnosi na naginjanje broda oko uzdužne osi. Uzdužna os je os koja prolazi sredinom broda i prostire se od pramca do krme. Kod nje se javlja gibanje broda u lijevu i desnu stranu. Uzdužna stabilnost podrazumijeva naginjanje oko poprečne osi. Uzdužna stabilnost je puno veća pa se kod nje ne govori o stabilnosti već o trimu broda. Brod je značajno stabilniji nego kod poprečne stabilnosti, te uranja i izranja pramcem i krmom.



Slika 17. Prikaz podjele stabilnosti u odnosu na smjer gibanja

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

Poprečna stabilnost se još može podijeliti na dvije podskupine. Na početnu poprečnu stabilnost, te stabilnost pri većim kutovima nagiba. Početna poprečna stabilnost se odnosi na sve kutove između deset do dvanaest stupnjeva, te njezin pokazatelj je metacentarska visina.

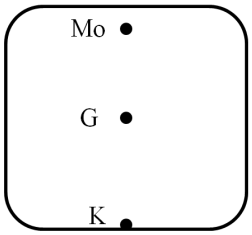
Poprečna stabilnost pri većim kutovima nagiba se odnosi na sve one kutove koji svojom veličinom prelaze dvanaest stupnjeva. Pokazatelj za ovu stabilnost je poluga GH.

5.1. STANJA STABILNOSTI

Postoje tri stanja stabilnosti broda. Ona se određuju s obzirom na veličinu udaljenosti metacentra od sustavnog težišta broda G. Tu udaljenost označavamo MoG.

5.1.1. Stabilan brod

Kod stanja stabilnog broda MoG je veći od nule. MoG je uvijek pozitivan kada se Mo nalazi iznad točke G, te je udaljenost između Mo do kobilice, koja se označava slovom K, veća od udaljenosti do točke G.

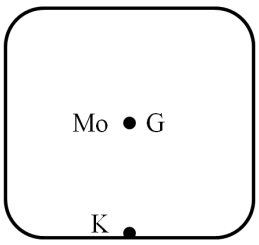


Slika 18. Prikaz stabilnog broda

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

5.1.2. Indiferentan brod

Do indiferentnog stanja dolazi kada je udaljenost metacentra od točke G jednaka nuli. Prilikom utjecaja neke vanjske sile tijelo se pomiče, ali nakon prestanka ostaje na mjestu do kojeg je došao uz pomoć vanjske sile.

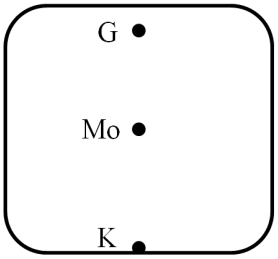


Slika 19. Prikaz indiferentnog broda

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

5.1.3. Labilan brod

Stanje labilnog broda se postiže kada se točka Mo nalazi ispod točke G odnosno kada je MoG manji od nule. Prilikom prestanka utjecaja neke sile nema zaustavljanja, niti vraćanja u stabilan položaj. Brod se nastavlja kretati u smjeru sile koja ga je izbacila iz ravnoteže.



Slika 20. Prikaz labilnog broda

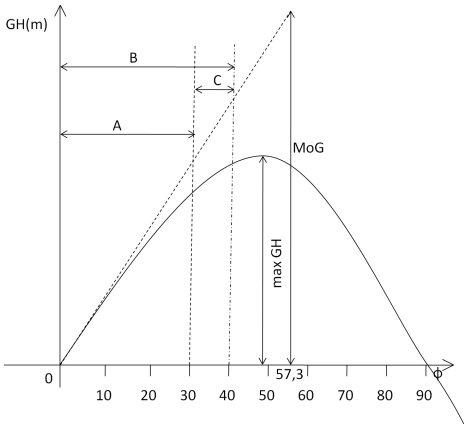
Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

5.2. KRITERIJI ZA STABILNOST PUTNIČKIH BRODOVA

U sljedećim podnaslovima opisati će se pojedini zahtjevi odnosno pravila za stabilnost brodova. Prvo će se prikazati općeniti kriteriji za netaknutnu stabilnost brodova, te preći na dodatne zahtjeve koje moraju ispunjavati putnički brodovi. Također će se spomenuti određivanje trenutka prevrtanja putničkih brodova.

5.2.1. Opći kriteriji za netaknuta stabilnost svih brodova

Površina ispod krivulje do kuta 30 stupnjeva pod oznakom A ne smije biti manja od 0,055 metar radijana. Površina ispod krivulje do kuta 40 stupnjeva ne smije biti manja od 0,09 metar radijana. Površina ispod krivulje između 30 i 40 stupnjeva pod oznakom C ne smije biti manja od 0,03 metar radijana. Maksimalna vrijednost GH poluge ne smije biti manja od 0,2 metra pri kutu nagiba od 30 stupnjeva ili većem. Najveća poluga statičke stabilnosti mora se po mogućnosti javiti pri kutu nagiba većem od 30 stupnjeva, ali nikako ne manjem od 25 stupnjeva (prema nadopunama iz 2013. godine postoje izuzetci). Udaljenost metacentra od sustavnog težišta broda ne smije biti manja od 0,15 metra.



Slika 21. Prikaz kriterija stabilnosti

Izvor: student samostalno izradio u programu MS Power point

U dodatku za putničke brodove, navodi se kako kut nagiba prilikom promjene kursa ne bi trebao preći deset stupnjeva kada se računa formulom:

$$M_R = 0{,}02\ \frac{Vo^2}{L}\ \Delta\ (\mathrm{KG} - \frac{\mathrm{d}}{2})$$

gdje je:

- M_R= nagibni moment u metričkim tonama,
- Vo= brzina u metrima po sekundi,
- L= duljina broda na vodenoj liniji u metrima,
- Δ= deplasman u tonama,
- d = srednji gaz u metrima,
- KG= udaljenost sustavnog težišta od kobilice.

Na brodu gdje su ugrađeni protuljuljni sustavi, gore spomenuti kriteriji moraju biti održavani dok je uređaj u funkciji. Također, trebaju postojati odredbe za sigurnu marginu stabilnosti prilikom svih faza putovanja, s pažnjom na dodatke težine koji mogu nastati uslijed upijanja vode i nastajanja leda i gubitke težine zbog razloga poput potrošnje goriva i ostalih potrepština za život na brodu.

5.2.2. Dodatni zahtjevi za putničke brodove

Putnički brodovi razlikuju se od svih drugih brodove jer prevoze „živi“ teret odnosno ljude. Ta posebnost zahtjeva prilagodbu putničkih brodova posebnijim zahtjevima od drugih brodova. Stabilnost putničkih brodova mora se provjeravati za sljedeće uvjete ukrcaja:

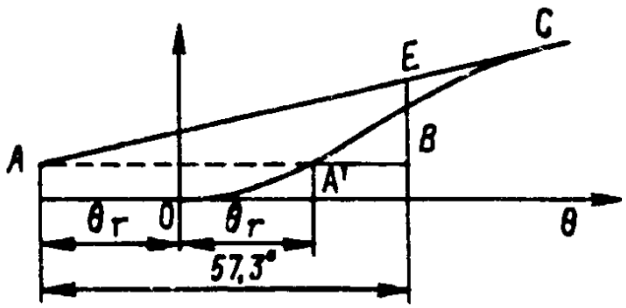
1. Brod je potpuno nakrcan pri odlasku, ima gaz na ljetnoj vodenoj liniji, s teretom, punim spremištima i gorivom i s punim brojem putnika i njihovom prtljagom
2. Brod je potpuno nakrcan pri dolasku, s teretom, punim brojem putnika i njihove prtljage, ali sa samo 10 posto preostalog prostora u spremištu i preostalog goriva.
3. Brod bez tereta, ali s punim spremištem i gorivom i s punim brojem putnika i njihovom prtljagom
4. Brod u istom stanju kao i pod 3. ali samo s preostalih 10 posto prostora u spremištu i preostalog goriva
5. Brod bez tereta i putnika, ali s punim spremištem i gorivom
6. Brod u istom stanju kao i pod 5. ali samo s preostalih 10 posto prostora u spremištu i preostalog goriva
7. Brod u istom stanju kao i pod 2. ali samo s preostalih 50 posto prostora u spremištu i preostalog goriva.

Za svakog putnika pretpostaviti će se prosječna težina od 75 kg, te netaknuta stabilnost broda mora biti takva da u slučaj prelaska putnika na jednu stranu, što je bliže moguće zaštitnoj ogradi broda na glavnoj palubi, ne smije preći 10 stupnjeva nagiba.

5.2.3. Određivanje momenta prevrtanja kod putničkih brodova

Moment prevrtanja Mp, uzimajući u obzir efekt ljuljanja, može se odrediti s krivuljom dinamičke ili statičke stabilnosti. Krivulja može odrediti moment prevrtanja uz kut plavljenja ili bez njega. Određivanje momenta prevrtanja može se odrediti koristeći dinamičku krivulju bez kuta plavljenja.

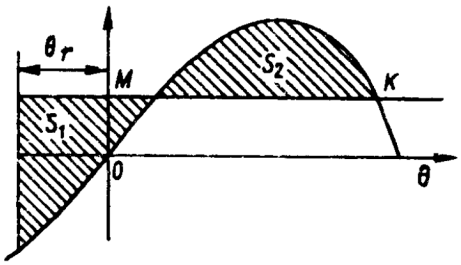
Kada se koristi krivulja dinamičke stabilnosti, prvo pronalazimo presliku točke A. U ovu svrhu, amplituda ljuljanja je ucrtana duž apscise desno od ishodišta koordinata i njezina preslikana točka A’ je fiksirana na krivulju dinamičke stabilnosti. Zatim, ravna crta paralelna uz os apscisa je povučena kroz točku A’ i segment A’A jednak dvostrukoj amplitudi ljuljanja je položen lijevo od preslikane točke A’.



Slika 22. Prikaz momenta prevrtanja koristeći krivulju dinamičke stabilnosti

Izvor: preuzeo student s https://www.crs.hr/Portals/0/adam/KlasifikacijskaPravila/pwJfna0t30O2EPr91hgiPA/Dokument/STABILITY.pdf

Određivanje momenta prevrtanja koristeći statičku krivulju bez kuta plavljenja. Kada se koristi krivulja statičke stabilnosti, moment prevrtanja se može odrediti pretpostavljajući da utjecaj prevrtanja i momenata ispravljanja je jednak i uzimajući u obzir efekt ljuljanja. Za ovu svrhu, krivulja statičkog stabiliteta nastavlja se u područje negativne osi apscisa za dužinu jednaku amplitude ljuljanja, i takva ravna linija MK paralelna uz os apscise je odabrana uz to da su područja određena kosim crtama S1 i S2 jednaka.

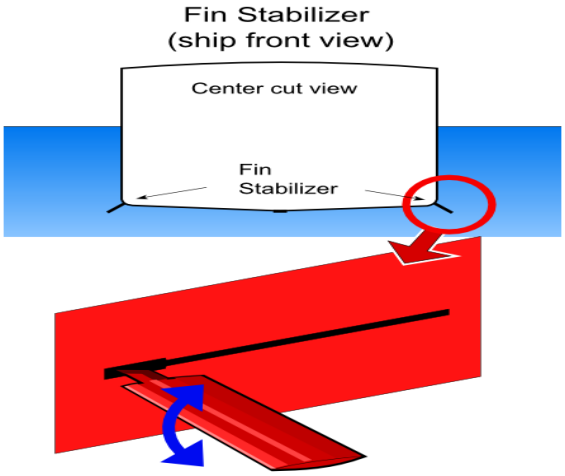


Slika 23. Prikaz momenata prevrtanja koristeći krivulju statičke stabilnosti

Izvor: preuzeo student s https://www.crs.hr/Portals/0/adam/KlasifikacijskaPravila/pwJfna0t30O2EPr91hgiPA/Dokument/STABILITY.pdf

6. SUSTAV STABILIZACIJE KOD PUTNIČKIH BRODOVA

Sustav stabilizacije odnosno upotreba stabilizatora kod putničkih brodova je od iznimne važnosti. Glavni cilj putničkih brodova je zadovoljavanje potreba putnika i osiguravanje njihove udobnosti. Bez upotrebe stabilizatora brodovi bi bili podložni većem naginjanju odnosno ljuljanju i samim time narušavali ugodnost plovidbe. Srećom, moderni putnički brodovi iskorištavaju najnoviju tehnologiju kako bi minimalizirali ljuljanje i valjanje broda i potpuno uklonili efekt koji bi inače utjecao na goste.



Slika 24. Prikaz stabilizatora

Izvor: preuzeo student s https://en.wikipedia.org/wiki/Stabilizer_(ship)

Stabilizatori na putničkim brodovima izvode istu funkciju nalik zakrilcima kod zrakoplova. Stabilizatori na brodu se nalaze s obje strane broda i protežuse izvan širine broda pod vodom, sprječavajući pretjerano valjanje s jedne na drugu stranu. Ovo pomaže brodu efektivniji prolaz kroz vodu. Dodatna potrošnja goriva zbog težine stabilizatora postoji, no ta se potrošnja nadoknađuje time što zbog stabilizatora brod ima bolji prolaz kroz vodu pri kretanju unaprijed.

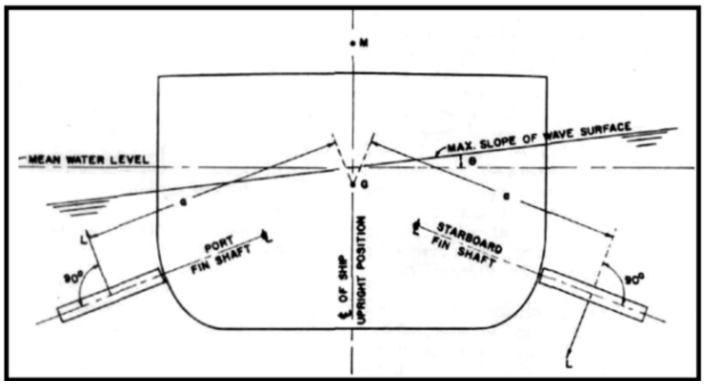
6.1. AKTIVNI SUSTAVI STABILIZACIJE

Aktivni sustavi stabilizacije se koriste kada stvaramo moment koji se suprotstavlja momentu valjanja na način da prebacuju težinu ili kontrolom površine stabilizatora.

Aktivni sustavi stabilizacije mogu podijeliti na: aktivna krilca uz pomoć žiroskopa, aktivne protuljuljne(*anti rolling*)tankove, sustave koji funkcioniraju na način aktivnog prebacivanja mase, te sustav žiro stabilizatora.

6.1.1. Aktivna krila

Kod aktivnih krila, vrlo osjetljivi sustav žiroskopa osjeti valjanje broda i šalje signal sustavu za pokretanje, koji zauzvrat uzrokuje pomicanje krila u određenom smjeru kako bi uzrokovao sile koje se suprotstavljaju valjanju. Sustav za pokretanje je uobičajeno hidrauličke izvedbe.



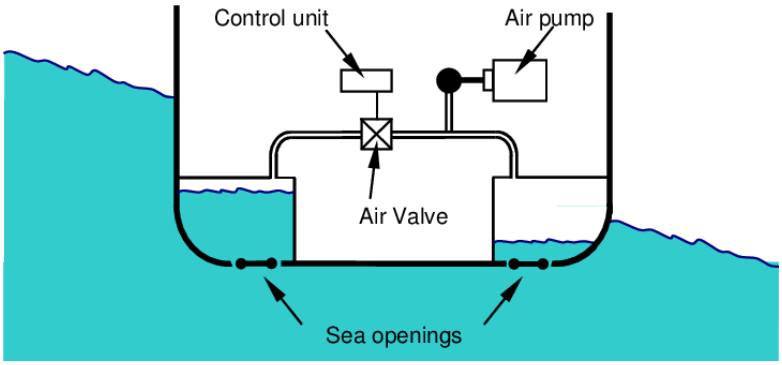
Slika 25. Prikaz položaja aktivnih krila

Izvor: preuzeo student s https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/

Krila, koja imaju mogućnost uvlačenja u trup broda, postavljena su na djelu oplate koji je između kobilice i vertikalnih strana kako bi se osigurala maksimalna poluga prema silama koji djeluju na njih.

6.1.2. Aktivni protuljuljni tankovi

Razlika između kontrolirane-pasivne i aktivne stabilizacije nije toliko velika. Aktivna stabilizacija uobičajeno podrazumijeva sustav koji zahtjeva upotrebu strojeva s značajnom snagom. Sustav mora biti što efektivniji u sprječavanju ljuljanja broda kako bi opravdao svoju visoku cijenu. Voda u tankovima je kontrolirana pumpama ili zračnim pritiskom iznad površine vode.



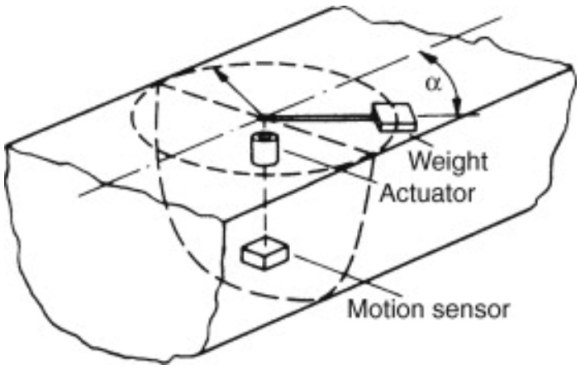
Slika 26. Prikaz aktivnog stabilizacijskog tanka

Izvor: preuzeo student s https://www.semanticscholar.org/paper/Roll-reduction-of-ships-using-anti-roll-n-tanks-Moaleji-Greig/ab0827ef4977707cbbd648f401849c1980c15c92

Tankovi na suprotnim stranama broda mogu biti povezani donjim poveznicama ili se mogu koristiti dva odvojena tanka. Izvedbe anti rolling tankova mogu biti: aktivni stabilizatori tanka ili aktivni stabilizatori tanka s obnovom energije.

6.1.3. Sustav aktivnog prebacivanja mase

Sustavi aktivnog prebacivanja mase mogu se izvesti u više različitih formi, no osnovni princip rada je ilustriran shemom pod Slikom 17. Težina označena slovom W je prihvaćena za rotirajuću „ruku“ i kreće se po određenom radijusu R i otklanja se od središta broda pod određenim kutom α.



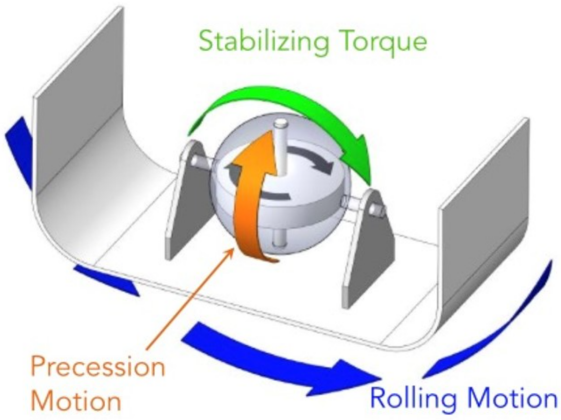
Slika 27. Prikaz sustava aktivnog prebacivanja mase

Izvor: preuzeo student s https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/active-weight

Sustav funkcionira na način da senzor pokreta osjeti ljuljanje i uzrokuje pomak težine po radijusu. Kut pomicanja težine ovisi o potrebnom kutu da se utjecajem težine u rotaciji suprotstavi ljuljanju broda.

6.1.4. Sustav žiro stabilizatora

Žiro stabilizator je u principu veliki, rotirajući disk, koji se okreće velikim brojem okretaja po minuti. Kako se brod ljulja, okretajući kotač će se prirodno naginjati prema pramcu ili krmi, prenašajući silu na trup broda koja se suprotstavlja ljuljanju broda. Kako više serija valova nastoji ljuljati brod, žiro se konstantno naginje naprijed ili nazad, unutar limita hidrauličkih cilindra koji ga kontroliraju.



Slika 28. Prikaz sustava žiro stabilizatora

Izvor: preuzeo student s https://www.imtra.com/learning-center/articleid/48/fins-vs-gyros-boat-stabilizers

Precesijom žira upravlja softver koji detektira pokret trupa broda i kontrolira precesiju kako bi se izbjegla neprirodna i neugodna kretnja.

6.2. PASIVNI SUSTAVI STABILIZACIJE

Pasivni sustavi stabilizacije su sustavi gdje odvojeni izvor energije nije potreban. Pod ovakve sustave spadaju: ljuljna kobilica, pasivni protuljuljni tankovi, fiskna krila, te sustav koji se koristi pasivnim pomicanjem težine.

6.2.1. Ljuljna kobilica

Ljuljne kobilice su najpopularniji sustav stabilizacije i postavljene su na velikom udjelu brodova. To su zapravo ploče koje se prostiru od prostora između kobilice i vertikalne strane na sredini do dvije trećine brodske dužine. Kako bi se izbjegla šteta one se najčešće ne prostiru izvan brodske širine ili linije kobilice broda, no moraju preći granični sloj oko trupa broda. One uzrokuju pomak mase vode s brodom i stvaraju turbulenciju, čime prigušavaju pokret i uzrokuju porast u perioda, a smanjenja amplitude. Kretanje broda prema naprijed poboljšavana njihovu efektivnost.

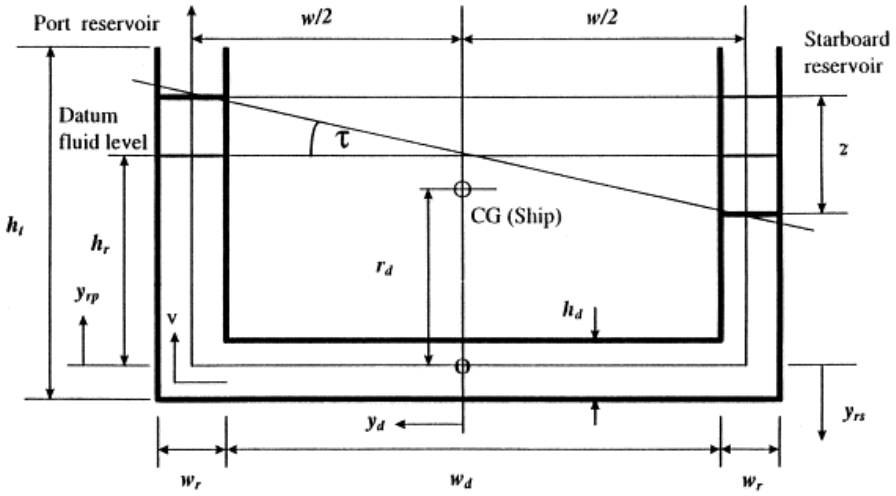
Slika 29. Prikaz ljuljne kobilice

Izvor: preuzeo student s https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/

U mirnoj vodi su u ravnini s protokom vode uz trup broda kako bi smanjili njihovo povlačenje. Kada se brod ljulja njihovo povlačenje se povećava i time malo uspori brod.

6.2.2. Sustav pasivnih protuljuljnih tankova

Razlika između pasivnih i aktivnih protuljuljnih tankova je u nedostatku prisutnosti snage pumpe. Pasivni sustavi rade bez ikakve snage pumpe. Također zahtijevaju velike količine tekućine kako bi mogli ublažiti značajno veliku količinu energije do koje dođe ljuljanjem. Izvedbe pasivnih protuljujnih tankova su tankovi sa slobodnim površinama, tankovi oblika „U“, te vanjski stabilizacijskih tankovi.



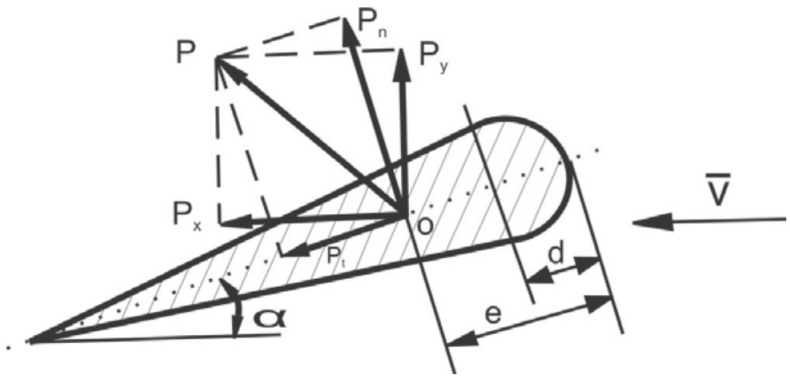
Slika 30. Prikaz sustava pasivnog protuljuljnog tanka

Izvor: preuzeo student s https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801800000159

Pod ovu skupinu se može pridodati i kontrolirani sustav pasivnih protuljuljnih tankova. Takav sustav je sličan tanku U oblika, ali je prijelazni kanal gdje voda prolazi znatno veći i prostor gdje zrak prolazi sadrži servo kontrolirani sustav odušnika.

6.2.3. Fiksna krila

Fiksna krila kao i ljuljne kobilice nemaju mogućnost pomicanja, već smanjuju ljuljanje broda postizanjem hidronamičkog otpora. Ovaka sustav se upotrebljava i kod zrakoplova, čak i kod raketa kako bi održavala stabilizaciju prilikom leta. Na brod se stavljaju uvijek u paru, s desne i lijeve strane. Po potrebi se ugraditi jedan par ili dva para. Ukoliko se ugrađuje jedan par onda se postavljaju na dvije trećine brodske dužine, a u slučaju dva para se prvi par postavlja na jednoj trećini brodske dužine dok drugi par na dvije trećine brodske dužine.

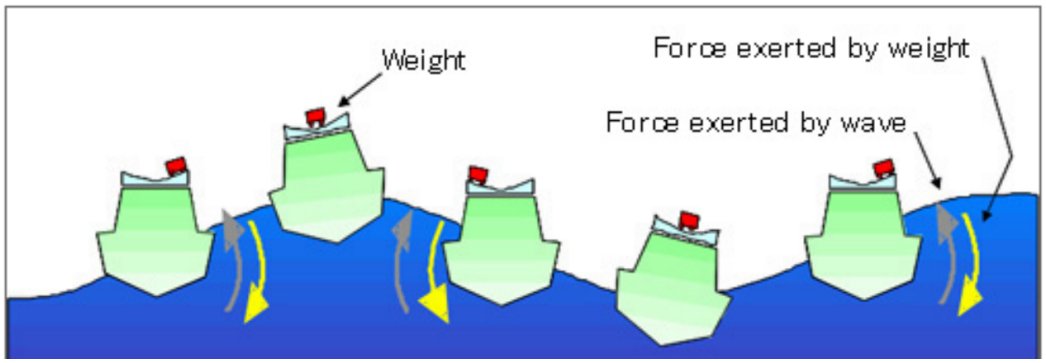


Slika 31. Prikaz sila pasivnog kormila

Izvor: preuzeo student s https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2016_Issue2/MES/260-266.pdf

6.2.4. Sustav pasivnog pomicanja težine

Kod pasivnog sustava, kada se brod ljulja težina koja se pomiče se njiše po okviru koji je u obliku luka. Ovo stvara silu koja se suprotstavlja sili valova i smanjuje ljuljanje broda.



Slika 32. Prikaz sustava pasivnog pomicanja težine

Izvor: preuzeo student s https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2016_Issue2/MES/260-266.pdf

6.3. USPOREDBA STABILIZATORA PROTIV LJULJANJA

Svaki stabilizator ima svoje značajke po kojim se razlikuje od drugih. Prilikom biranja odgovarajućeg stabilizatora uzimaju se u obzir određeni aspekti koji prikazuju neke od odlika stabilizatora, te njihovo ponašanje.

Tabela 1. Podaci za usporedbu stabilizatora protiv ljuljanja

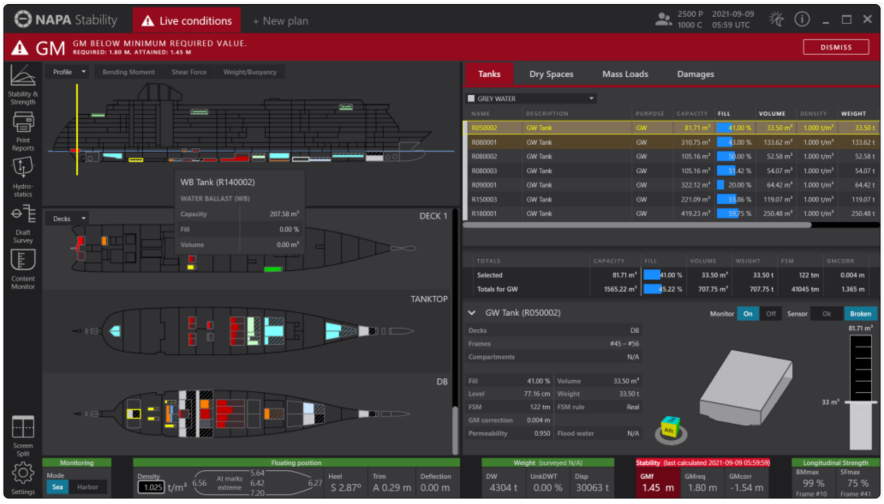
Vrsta	Aktivna krila	Pasivni tankovi	Aktivni tankovi	Ljuljna kobilica
Postotak smanjenja ljuljanja	90%	60-70%	Nema podataka	35%
Efektivnostpri niskoj brzini	Ne	Da	Da	Da
Porast otpora	Tijekom uporabe	Ne	Ne	Ne
Potreba pomoćne snage	Mala	Nema	Velika	Nema
Mogućnost oštećenja	Nema, kada su uvučena	Ne	Ne	Da
Trošak	Visok	Umjeren	Visok	Malen
Održavanje	Normalno	Rijetko	Normalno	Vrlo često

Izvor: izradio student prema https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/

Prikazani podaci ukazuju kako svaki stabilizacijski sustav ima svoje prednosti i nedostatke, tako da se sve više fokusira na hidrostatiku i hidrodinamiku prolaska brodskog trupa kroz valove, kako bi se smanjila potreba za ovim sustavima.

7. NAPA

NAPA je inovativno rješenje koje se kroz zadnjih nekoliko godina sve više upotrebljava na putničkim brodovima. To je softverski sustav upravljanja stabilnošću kroz razne aspekte. NAPA pruža korisnicima moderni, informativni i intuitivni grafički prikaz podataka, procjenu stabilnosti broda u netaknutom i oštećenom stanju, te je dizajnirana kako bi ispunila IACS UR (eng. International Association of Classification Societies Unified Requirements)L5 Type 4 zahtjeve za siguran povratak u luku. Pruža i kontinuirano održavanje te sigurnosna *cyber* ažuriranja.



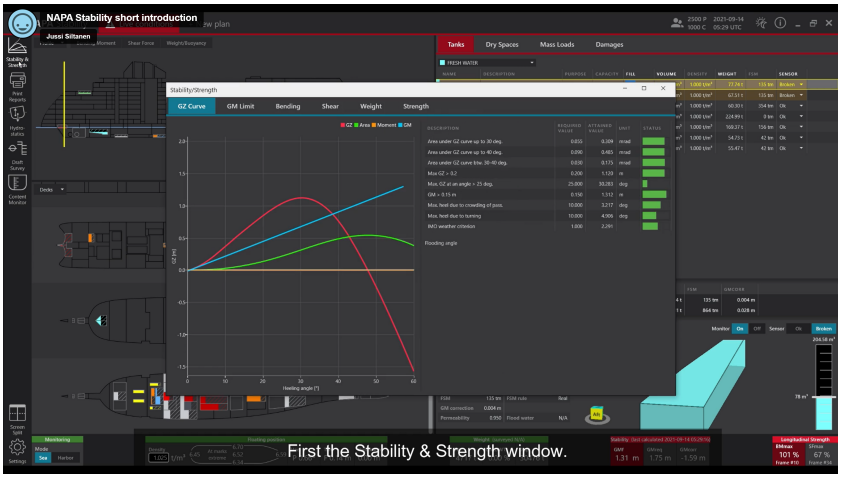
Slika 33. Prikaz izgleda NAPA sučelja

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/

Na slici 32.iznad vidimo prikaz NAPA sučelja. Ono pokazuje neke od najvažnijih podataka vezanih uz stabilnost broda koje moramo pratiti. Na lijevoj strani možemo upravljati kroz razne dodatne informacije poput momenata savijanja ili sila smicanja. Na desnoj strani postoji opcija dodatnih informacija o tankovima i ostalim podacima.

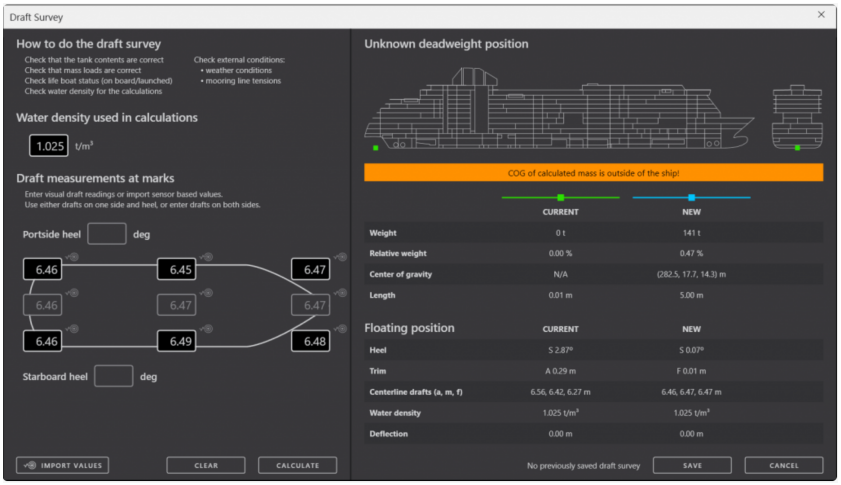
7.1. POSEBNE FUNKCIJE

Također, postoje posebni prozori za dodatne funkcije, poput „Stability & Strength“ odjeljka, posebnog odjeljka za „Draft survey“, te „Content monitor“ koji nam prikazuje povijest odabira i upotrebe tankova.



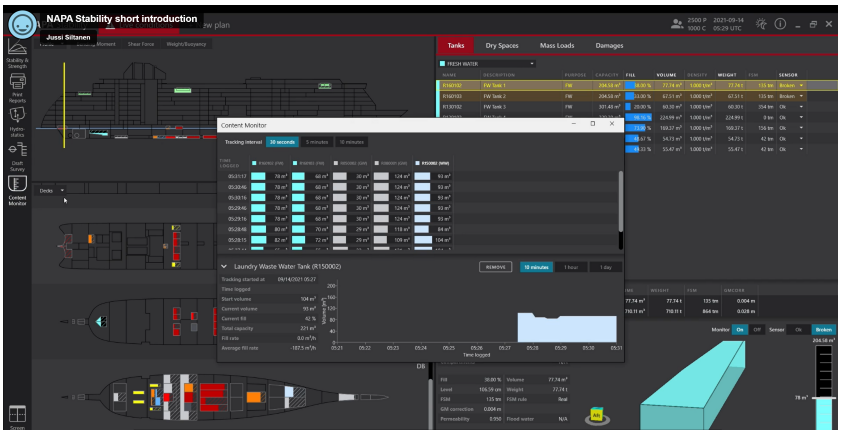
Slika 34. Prikaz odjeljka „Strength & Stability"

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/



Slika 35. Prikaz odjeljka „Draft survey"

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/



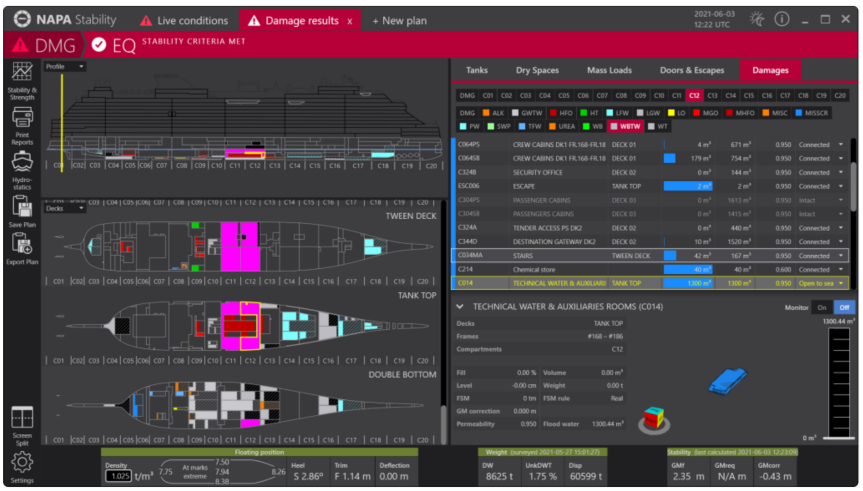
Slika 36. Prikaz odjeljka„Content monitor"

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/

Na iznad prikazanim slikama, prvo se prikazuje odjeljak koji se odnosi na „Strength and Stability“ gdje su prikazana područja ispod krivulja i njihove vrijednosti koje moraju zadovoljavati određene zahtjeve. Zatim je prikaza odjeljak „Draft survey“ unutar kojeg se nalaze podaci vrijednosti gaza izmjerenog na svih šest zagaznica i gustoća vode u kojoj se brod nalazi. Prikazan je i odjeljak „Content monitor“ koji omogućuje uvid u povijest odabranih tankova prilikom neke radnje.

7.2. PROCJENA ŠTETE

Nakon što je šteta automatski prepoznata ili ručno stvorena, *NAPA Stability* ima opciju pokazivanja svake faze naplavljivanja uz obavijesti o kriteriju nastale štete. Također, *NAPA Stability* prati status vodonepropusnih vrata i ima mogućnost procjene kuta uranjanja ruta za nuždu, što bi značilo da sam sustav pokazuje koji izlazak u nuždi je najefikasniji i najbitnije najsigurniji za ljudski život s obzirom koliko se vode nalazi kod određenog izlaza



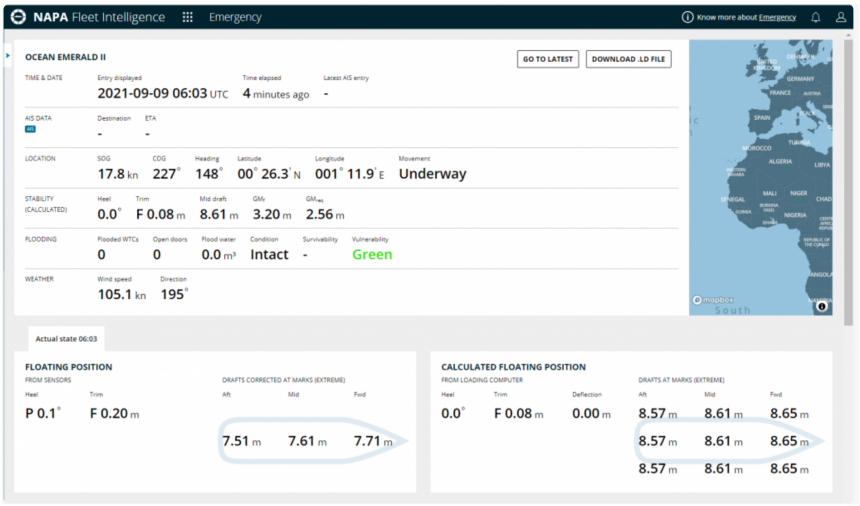
Slika 37. Prikaz procjne nastalog oštećenja

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/

Na slici je prikazano jedno izvješće nakon prodiranja vode u trup broda. Pod odjeljkom „Damge results“ prikazuju nam se sve posljedice novonastalog oštećenja, odnosno kako je ono utjecalo na brod. Pojedinosti obuuhvaćenog dijela broda su detaljno prikazane u tablicama, te na samom prikazu broda je rozom bojom naznačeno mjesto prodiranja vode.

7.3. MOTRENJE STABILNOSTI

NAPA Fleet Intelligence je „cloud platform" što znači da je operativni sustav i hardver server temeljen na internetskoj bazi podataka, što omogućuje bolju komunikaciju i dijeljenje podataka s osobljem na kopnu. Ovo novo rješenje stvara sustav s više korisnika koji mogu pratiti stabilnost u stvarnom vremenu i sigurnosne uvjete bilo kojeg broda u floti. Također, ovakav sustav je vrlo praktičan za odjele poput FOC (eng. Fleet Operation Center) ili ERS (eng. Emeregency Response Service).



Slika 38. Prikaz primjera praćenja broda u floti

Izvor: preuzeo student s https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/

Na slici je prikazan brod „Ocean Emerald II" uz sve njegove podatke u stvarnom vremenu. Pojedini podaci kao što su koordinate broda, brzina, kurs te mnogi drugi daju osobama u kompaniji na kopnu dodatni uvid u sam brod i njegovo stanje.

8. ENIRAM

Eniram Finski startup, osigurava pomorskoj industriji uštedu goriva, emisije štetnih plinova te smanjenje potrošnje novaca. Tvrtka, bazirana u Helsinki-ju i utemeljena 2005.godine trenutno ima zaposlenih 40 ljudi i u stalnom je trendu rasta posljednjih nekoliko godina.

8.1. OPĆENITO

Eniram sustav kada je instaliran na brodu, gdje sakuplja i analizira podatke za momentalnu optimizaciju broda, na primjer, uranjanje pramca, omogućava bržu vožnju pritom koristeći manje goriva. Na kopnu, podaci se sakupljaju u podatkovnom centru Enirama, gdje se može analizirati dugoročna optimizacija, na primjer kada je vrijeme za čišćenje trupa broda.

Eniram koristi informatičku tehnologiju, poznatu pod kraticom „IT“, u starijoj industriji. On integrira svoj sustav mjerenja u brodovima, i sa jednostavnim korisničkim sučeljem posada može optimizirati performanse svojeg broda. Instalacija traje otprilike dva dana i može se napraviti tijekom plutanja broda na privezu kako ne bi utjecao na vožnju broda. Može se instalirati na svim vrstama plovila, od putničkih do kontejnerskih brodova. Godišnja uštedamože doći od 400.000 američkih dolara po brodu i otplata sustav može varirati između dva do četrnaest mjeseci. Sustav se posebice isplati na putničkim brodovima koji su u neprestanoj plovidbi i manevrima pristajanja i isplovljavanja. Značajno može uštediti vrijeme a najbitnije novac koji kod putničkih brodova je jedna od najvažnijih stavki.

Eniram ima prednost što je mlada kompanija s velikim potencijalom i što u zadnjih nekoliko godina bilježi pozitivan rast. Sustav je instaliran na preko 40 brodova i brojka raste iz godine u godinu. Jedan od savjetnika kompanije je naglasio kako su oni prvi došli s idejom na optimizaciju samog puta broda, no u zadnji nekoliko godina su primijetili porast konkurencije, što znači da obavljaju dobar posao i da će se pomorska industrija sve više i više razvijati.

8.2. UPOTREBA ENIRAM-A NA PUTNIČKIM BRODOVIMA

Jedan od najvažnijih dijelova Eniram-a je njegova asistencija pri dinamičkoj regulaciji trima (eng. Dynamic Trimming Assistant (DTA)). DTA je Eniram sustav na brodu koji dinamički prati i optimizira trim na individualnom brodu kako bi uštedio gorivo i unaprijedio očuvanje okoliša. Također, važan dio cijelog sustava je FLEET, što je inovativno *web-based* rješenje javljanja izvješća flote kompaniji. FLEET radi na temelju analiziranja cjelokupnih podataka prikupljenih od brodova opremljenih s DTA.

DTA je temeljen na dinamičkim podacima automatski dobivenih s operativnog sučelja instalirane aplikacije i namjenski ugrađenih senzora koristeći senzorsku tehnološku mrežu. Jezgra DTA softvera je multidimenzionalni model analize, koji neprestano računa utjecaj ključnih sila na ponašanje broda.

Tvrtke koje sklope ugovor s Eniram-om za njihov DTA, moći će analizirati performanse jednog ili više brodova i primiti česta izvješća o raznim aspektima optimizacije. Cijela flota će koristiti od sustava pri značajnom smanjenju potrošnje goriva i stvaranja ispušnih plinova. DTA dinamičko prima i analizira podatke prevladavajućeg trima, snage propulzije i upotrebe stabilizatora. Sustav kombinira podatke s trenutnim prevladavajućim uvjetima poput valova, vjetra i brzine, ina temelju svih prikupljenih podataka određuje optimalni trim za svaki situaciju.

DTA cijelo vrijeme pomaže časnicima na brodu optimizirati trim, minimalizirati otpor vode, smanjiti potrošnju goriva i smanjiti ispuštanje štetnih plinova. S time što prikazuje časnicima podatke o brodu u stvarnom vremenu u grafičkom obliku jednostavnom za čitanje, sustav olakšava brže i bolje informirano donošenje odluka i omogućava reakciju na vrijeme pri promjeni okolnosti.

Eniram-ov sustav potpore pri donošenju odluka je dizajniran od strane raznih timova pomorskih stručnjaka, softverskih arhitekata, programera, brodograditelja i kapetana kreirajući unikatnu kombinaciju stručnosti.

Slika 39. Prikaz Eniram DTA sučelja

Izvor: preuzeo student s https://www.wartsila.com/insights/article/breaking-new-ground-in-operational-performance

Slika prikazuje sučelje kod Eniram sustava. Na sučelju su podaci poput trima, brzine, same performanse broda u smislu očekivane i stvarne potrošnje goriva, te stanje motora.

9.ZAKLJUČAK

Stabilnost brodova od davnih vremena je predstavljala problem bilo kojem pomorcu koji se uputio u pomorsku avanturu. Problemi su se javljali zbog nevremena, pomaka tereta na brodu, prekrcanosti i drugi raznih razloga. Povijesne ličnosti predvođene Arhimedom posvetile su veliki dio života stabilnosti i postavljanju kriterija koji omogućuju održavanje broda uspravnim i sigurnim za plovidbu. Putnički brodovi su trend koji je porastao pojavom zrakoplova. Ljudi su zamjenjivali neudobne i često vrlo duge vožnje brodovima za zrakoplove koji su bili jednostavniji i brži.

Kako pomorska industrija tako i svjetska ekonomija je dobila značajni pozitivni trend rasta otkad su se na oceanskim linijašima pojavile atrakcije i zanimacije. Preuređivanje običnih brodova u prave atrakcije dovelo je do toga da brodovi više nisu bili prijevozno sredstvo, već se sam put smatrao odmorom. Naravno, putnički brodovi su evoluirali i izrasli u mega brodove koji se nazivaju i plutajućim hotelima. Kako je došlo do modernizacije određenih sustava i tehnologije tako su proizvedeni i sustavi koji dodatno olakšavaju plovidbu brodova i pospješuju prvobitan cilj putničkih brodova, udobnost putnika.

Razvijeni su sustavi stabilizacije brodova gdje se inovativnim rješenjima omogućuje smanjenje ljuljanja broda u plovidbi. To je uvelike pomoglo u razvoju samih putničkih brodova jer su osiguravali mirno i jedinstveno iskustvo koje svatko može poželjeti. Putnički brodovi su u neprestanom rastu od kasnog 20.stoljeća pa sve do današnjih vremena i s time raste broj putnika koji mogu biti ukrcani. Tijekom razvoja putničkih brodova razvijale su se i organizacije koje nastoje pridonositi zaštiti mora, putnika, te sveukupno pomorske industrije. Uz organizacije dolaze i setovi pravila koje putnički brodovi moraju zadovoljavati kako bi osigurali što veću sigurnost svoje posade, putnika i na kraju cijeloga broda.

Danas se pojavljuju tehnološke inovacije koje pomorstvo i cijelu pomorsku industriji vode na razinu više. Sustav poput NAPA sustava gdje softver uzima podatke od broda i grafički pokazuje određene faktore stabilnosti kako bi lakše upravljali cjelokupnom stabilnošću broda je značajno unaprijedio pomorstvo. Također, još jedan od značajnijih primjera je Eniram i njegova mogućnost dinamičke asistencije pri određivanju trima. Nakon nekoliko godina poslije izuma Enirama već vidimo napredak u pomorstvu. Povećanje efikasnosti svi brodova, od koji najviše koriste putnički brodovi jer im omogućuje optimizaciju trima pri svim uvjetima i grafički pokazuje brodske podatke kako bi se efikasnost plovidbe povećala, te pritom smanjila potrošnja goriva.

Završni dio rada ukazuje na veliki značaj razvijanja stabilnosti kroz povijest za sve brodove, a posebice putničke brodove, te kako bez samih početaka stabilnosti i prvih postavljenih pravila odnosno pretpostavki današnji svijet bi bio nezamislivo drugačiji.

LITERATURA

Knjige

1. Uršić, J. 1962. Stabilitet broda I.dio (osnovni pojmovi)
2. Uršić, J. 1964. Stabilitet broda II.dio (praktična primjena)

Internet izvori:

1. https://www.prs.pl/uploads/history_of_stability_criteria.pdf
2. https://www.cruiseandferry.net/articles/solving-cruise-ship-stability-with-innovative-solutions-1
3. https://www.napa.fi/software-and-services/ship-operations/napa-stability/
4. file:///C:/Users/Dell/Downloads/ISSW2019_Proceedings_Intactstabilityofpassengerships_safetyissueordesignconcern_Neither.pdf
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Cruise_ship
6. https://cruisedeals.expert/how-cruise-ship-stabilisers-work/
7. https://www.quora.com/How-do-cruise-ship-s-stabilizers-work-in-rough-seas
8. https://www.quora.com/What-is-the-waterplane-area-of-a-ship-and-why-are-we-concerned-about-this
9. https://www.futurity.org/mary-rose-english-history-x-rays-ships-2657402/
10. https://lucaslaursen.com/vasas-curious-imbalance/
11. https://thepointsguy.com/news/remembering-cruise-ship-icon-sovereign-of-the-seas/
12. https://owlcation.com/humanities/QE2
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Antiroll_tanks
14. https://www.marineinsight.com/naval-architecture/roll-stabilization-systems/
15. https://en.wikipedia.org/wiki/Stabilizer_(ship)
16. https://www.quora.com/How-effective-are-fin-stabilizers-on-ships
17. https://www.scribd.com/document/138637756/ENIRAM-Guide-to-dynamic-trim-optimization-280611-pdf
18. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/active-weight
19. https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2016_Issue2/MES/260-266.pdf
20. https://en.wikipedia.org/wiki/Ship_stability
21. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801800000159

22. https://www.semanticscholar.org/paper/Roll-reduction-of-ships-using-anti-roll-n-tanks-Moaleji-Greig/ab0827ef4977707cbbd648f401849c1980c15c92
23. https://tehnicki.lzmk.hr/clanak.aspx?id=4505
24. https://www.crs.hr/Portals/0/adam/KlasifikacijskaPravila/pwJfna0t30O2EPr91hgiPA/Dokument/STABILITY.pdf
25. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/AssemblyDocuments/A.749(18).pdf
26. https://www.offshore-energy.biz/norwegian-cruise-line-optimizes-fleet-performance-through-services-agreement-with-eniram/
27. https://www.cruiseindustrynews.com/cruise-news/2926-7609-enirams-dynamic-trimming-assistant-to-be-deployed-on-epic.html
28. https://arcticstartup.com/eniram-is-optimizing-the-maritime-industry/
29. https://maritime-executive.com/corporate/new-speed-optimization-tool-from-eniram
30. https://www.wartsila.com/insights/article/breaking-new-ground-in-operational-performance
31. https://www.imtra.com/learning-center/articleid/48/fins-vs-gyros-boat-stabilizers
32. https://recommend.com/get-inspired/cruise/norwegian-viva-ncls-next-prima-class-ship/

KAZALO KRATICA

IACS UR- International Association of Classification Societies Unified Requirements

DTA- Dynamic Trimming Assistant

FOC- Fleet Operation Center

ERS- eng. Emeregency Response Service

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz momenta povratka, udaljenost između sile uzgona i sile gravitacije za nagnuti paraboloid 3

Slika 2. Prikaz broda Mary Rose u Portsmuth Historic Dockyard-u 4

Slika 3. Prikaz broda Vasa u muzeju u Stockholm, Švedska 4

Slika 4. Poprečni presjek brod koji je koristio Bouguer za određivanje metacentra 5

Slika 5. Poprečni presjek proizvoljnog oblika koji je koristio Euler kako bi proučio momente potrebne da se tijelo povrati u prvobitan položaj 7

Slika 6. Primjer izgleda putničkog broda 8

Slika 7. Prikaz prvog luksuznog broda za krstarenje 9

Slika 8. Prikaz oceanskog linijaša Queen Elizabeth 2 9

Slika 9. Prikaz prvog mega broda za kružna putovanja- Sovereign of the Seas 10

Slika 10. Prikaz prvog uvjeta plovnosti 12

Slika 11. Prikaz drugog uvjeta plovnosti 12

Slika 12. Zamišljeni prikaz utjecaja putnika na drugi uvjet plovnosti 13

Slika 13. Prikaz trećeg uvjeta plovnosti uslijed djelovanja vanjske sile 13

Slika 14. Inicijalna podjela stabilnosti 14

Slika 15. Prikaz podjele stabilnosti u odnosu na djelovanje sila uvremenu 14

Slika 16. Prikaz stupnjeva slobode kretanja broda 15

Slika 17. Prikaz podjele stabilnosti u odnosu na smjer gibanja 15

Slika 18. Prikaz stabilnog broda 16

Slika 19. Prikaz indiferentnog broda 16

Slika 20. Prikaz labilnog broda 17

Slika 21. Prikaz kriterija stabilnosti 18

Slika 22. Prikaz momenta prevrtanja koristeći krivulju dinamičke stabilnosti 20

Slika 23. Prikaz momenata prevrtanja koristeći krivulju statičke stabilnosti 20

Slika 24. Prikaz stabilizatora 21

Slika 25. Prikaz položaja aktivnih krila 22

Slika 26. Prikaz aktivnog stabilizacijskog tanka 23

Slika 27. Prikaz sustava aktivnog prebacivanja mase 23

Slika 28. Prikaz sustava žiro stabilizatora 24

Slika 29. Prikaz ljuljne kobilice 25

Slika 30. Prikaz sustava pasivnog protuljuljnog tanka 25

Slika 31. Prikaz sila pasivnog kormila 26

Slika 32. Prikaz sustava pasivnog pomicanja težine 26
Slika 33. Prikaz izgleda NAPA sučelja 28
Slika 34. Prikaz odjeljka „Strength & Stability" 29
Slika 35. Prikaz odjeljka „Draft survey" 29
Slika 36. Prikaz odjeljka „Content monitor" 29
Slika 37. Prikaz procjne nastalog oštećenja 30
Slika 38. Prikaz primjera praćenja broda u floti 31
Slika 39. Prikaz Eniram DTA sučelja 34

POPIS TABLICA

Tabela 1. Podaci za usporedbu stabilizatora protiv ljuljanja 27