

Dr. sc. **Pavao Komadina**, red. prof.  
Dr. sc. **Duško Vranić**, red. prof.  
Mr. sc. **Robert Mohović**, asist.  
Visoka pomorska škola  
Studentska 2, Rijeka

UDK: 532.3:629.5.015.143  
Prethodno priopćenje

## KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI BRODOVA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA ZA STANJE BRODA U BALASTU

*U radu je prikazan rezultat istraživanja utjecaja tehnologije broda na poprečnu stabilnost za stanje brod u balastu. Sustavno su sagledani parametri koji utječu na poprečnu stabilnost broda kao što su položaj sustavnog težišta broda, nadvođe, gaz, oblik podvodnog dijela broda i deplasman. Svi su ti parametri promatrani u interakciji kako bi se mogla provesti kvalitetna analiza, te iz nje izvesti vjerodostojni zaključci. Komparativna analiza izvedena je proučavanjem krivulje poluga i krivulje momenata statičke stabilnosti brodova iz odabranog uzorka za stanje brod u balastu.*

### 1. UVOD, DEFINIRANJE PROBLEMA I CILJ ISTRAŽIVANJA

U radu su prikazani rezultati istraživanja utjecaja vrste tehnologije broda na poprečnu stabilnost broda za stanje *brod u balastu*. Istražuju se i komparativno analiziraju utjecaji na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz rasutog tereta, brodova za prijevoz kontejnera i brodova za prijevoz generalnog tereta.

Proučavajući sigurnost broda općenito, stabilnost broda jedan je od glavnih utjecajnih parametara. Sustavno sagledavši to područje, nameće se problem odnosa između sigurnosnih i komercijalnih zahtjeva koji su često međusobno suprotstavljeni. Temeljni je problem kako zadovoljiti sigurnosne zahtjeve, a da se najviše što se može, zadovolje i komercijalni zahtjevi. Uz to, i postojeći brod sa svojim karakteristikama utječe na stabilnost, pa se uviđa da je interakcijska sprega između svih tih elemenata složena.

Različitosť utjecaja pojedine tehnologije na poprečnu stabilnost broda proizlazi iz specifičnosti, s obzirom na različitu konstrukciju i opremu brodova, na različite terete koje prevoze, na različite plovidbe rute, na različite tehnologije prijevoza, te ukrcaja i iskrcanja tereta, na različite načine poslovanja itd.

Osnovno je pitanje kako i koliko pojedina karakteristika brodova različitih tehnologija utječe na poprečnu stabilnost broda, a time i na sigurnost broda, posade i tereta, što je osnovni uvjet uspješna okončanja putovanja broda.

Važno je odgovoriti na pitanje koliko dimenzije broda ovise o vrsti broda s obzirom na tehnologiju, i koliko tehnologija indirektno utječe na poprečnu stabilnost broda. Tu je problematiku potrebno sagledati već kod naručivanja broda, odnosno pri kupnji broda za određene potrebe jer su dimenzije broda u eksploataciji fiksne. Nadalje, postavlja se pitanje kako pojedina tehnologija utječe na način prijevoza, a time jasno i na način slaganje tereta na brod, što direktno utječe na položaj sustavnog težišta.

Važnost proučavanja poprečne stabilnosti broda za stanje *brod u balastu* jasno je, imajući na umu činjenicu da brod bez tereta plovi upravo u balastu, a određene vrste brodova relativno velik dio vremena plove bez tereta. Na plovidbu u balastu, odnosno na vremensko trajanje i učestalost takve plovidbe, bitno utječe tehnologija prijevoza koja djeluje i na način poslovanja. Brodovi u slobodnoj plovidbi često plove u balastu od luke iskrcaja do nove luke ukrcaja, iako se taj "prazan hod" nastoji izbjeći odnosno što više skratiti. Brodovi za prijevoz tekućih tereta u balastu plove cijelo povratno putovanje. Plovidba u balastu za linijski način poslovanja rijetka je, a u ovom radu ta konstatacija odnosi se na brodove za prijevoz generalnog tereta, te na brodove za prijevoz kontejnera.

Iz navedenog proizlazi osnovni problem na koji ovaj rad mora odgovoriti – kakav je utjecaj pojedine tehnologije, i to direktni i indirektni, na poprečnu stabilnost broda za stanje *brod u balastu*.

Cilj je istraživanja sagledavanje interakcijske sprege između značajki brodova pojedine tehnologije i njihove poprečne stabilnosti za stanje *brod u balastu*. Prikaz utjecaja pojedine tehnologije prijevoza na poprečnu stabilnost broda istražen je komparativnom analizom u kojoj se u odnos postavljaju parametri poprečne stabilnosti više brodova za stanje *brod u balastu*.

Pojedinačni utjecaji pojedinih značajki analizirani su u literaturi iz ovog područja [1], [2], [3], [4]. Međutim, valja istaknuti razliku između teoretskih modela i ove komparativne analize, koja se sastoji u tome što se na ovome mjestu pojedini utjecaji promatraju u interakciji, što nije slučaj kod pojedinačnog modela.

Nakon analize dostupne dokumentacije o stabilnosti svih brodova broderskog poduzeća *Croatia line* iz Rijeke za 1991. godinu, u uzorak su uvršteni ovi brodovi: brodovi za prijevoz rasutog tereta *Kostrena* i *Malinska*, brodovi za prijevoz kontejnera *Sušak* i *Croatia express*, te brod za prijevoz generalnog tereta *Crikvenica* i višenamjenski brod *Primorje* jer, prema mišljenju autora, ti brodovi, između analiziranih, najbolje oslikavaju proučavanu problematiku i omogućavaju izvođenje dovoljno dobrih zaključaka o pojedinim utjecajima i svim utjecajima zajedno u interakciji [5].

U radu su prikazane krivulje poluga statičke stabilnosti, ali i krivulje momenata statičke stabilnosti, te tablice sa svim relevantnim podacima za meritornu procjenu određenih utjecaja na poprečnu stabilnost za stanje *brod u balastu*. Procjena stabilnosti izvedena je prema postojećim propisima o kriterijima stabilnosti [9], [10], [11]. Važnost sagledavanja značajki krivulja momenata statičke stabilnosti, uz krivulje poluga statičke stabilnosti, proizlazi iz činjenice da poprečnu stabilnost broda potpuno reprezentira samo moment statičke stabilnosti. Kad se analizira poprečna stabilnost nekog broda, uz parametre krivulje poluga statičke stabilnosti,

potrebno je imati na umu i ukupni učinak poluge stabilnosti i konkretnog depasmana, inače postoji opasnost krive prosudbe poprečne stabilnosti konkretnog slučaja.

## 2. KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI ZA STANJE BROD U BALASTU

U uvodu je istaknuta važnost proučavanja utjecaja pojedinih tehnologija prijevoza na stabilnost broda. Isto tako, istaknuta je važnost istraživanja za stanje *brod u balastu*. Stoga će u nastavku biti prikazana komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova iz izabranog uzorka za stanje *brod u balastu*.

Komparativna analiza i prikaz rezultata istraživanja upotpunjen je slikama 1. i 2., te tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje *brod u balastu* (I. dio)

Stanje brod u balastu	B (m)	H (m)	T (m)	Fb (m)	D (t)	MoG (m)	KG (m)	KMo (m)	FSC (m)	KGv (m)	rp (s)
Kostrena	32.20	18.34	5.87	12.47	32148	8.03	9.23	17.29	0.03	9.26	9.1
Malinska	23.08	14.75	7.13	7.62	32100	2.14	7.92	10.12	0.05	7.98	12.6
Croatia Express	32.20	19.40	7.30	12.10	23360	5.36	9.43	15.02	0.23	9.66	11.1
Sušak	21.50	11.20	5.82	5.38	9473	2.51	6.50	9.11	0.10	6.60	10.8
Crikvenica	20.60	12.52	4.81	7.71	9988	2.22	6.26	9.19	0.71	6.97	11.0
Primorje	24.77	14.00	5.00	9.00	14343	3.87	8.24	12.35	0.24	8.48	10.0

Krivulja poluga statičke stabilnosti 1 konstruirana je za brod namijenjen prijevozu rasutog tereta *Kostrena*. Krivulja prikazuje najveću početnu poprečnu metacentarsku visinu tog broda u odnosu prema ostalim brodovima iz izabranog uzorka, što je jasno imajući na umu njegovu širinu i položaj sustavnog težišta broda. Treba istaknuti da je to prevelika metacentarska visina ako se ima na umu veliki moment povratka kod malih kutova nagiba. Karakteristike stabilnosti pri velikim kutovima nagiba vrlo su dobre. Ta se činjenica može ponajviše pripisati velikom nadvođu. Sukladno tim karakteristikama, izuzetno su velike površine ispod krivulje, a i opća slika stabilnosti bolja je od one kod drugih brodova u promatranom uzorku, što se zorno može vidjeti na slici 2.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 2 konstruirana je za brod za prijevoz rasutog tereta *Malinska*. Krivulja ima manji nagib tangente u ishodištu, a time brod u stanju balasta manju metacentarsku visinu u odnosu prema prethodno obrađenom brodu. Ta činjenica proizlazi iz znatno manje širine ovog broda, a time i manje visine točke metacentra. Doduše, i visina sustavnog težišta nešto je manja, ali je taj utjecaj mnogo manji od prije spomenutog. Zbog manje visine nadvođa, manje su i karakteristike stabilnosti pri većim kutovima nagiba. Međutim, iako manje, sve su spomenute karakteristike mnogo veće od minimalno opisanih.

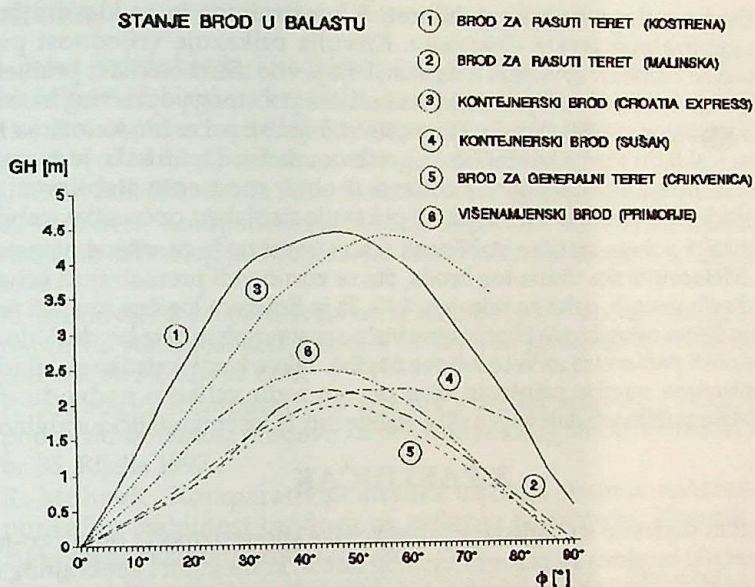
Tablica 2. Rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod u balastu (II. dio)

Stanje brod u balastu	Površina			GH max. (m)	$\phi$ GH max. (°)	$\phi_e$ (°)
	<30° (m-rad)	<40° (m-rad)	30° – 40° (m-rad)			
Kostrena	1.078	1.813	0.735	4.487	46.4	>90.0
Malinska	0.347	0.677	0.330	2.212	44.4	90.0
Croatia Express	0.777	1.382	0.606	4.453	56.0	>90.0
Sušak	0.376	0.685	0.310	2.245	55.3	>90.0
Crikvenica	0.346	0.638	0.291	1.987	47.3	85.0
Primorje	0.568	0.976	0.408	2.504	43.7	87.0

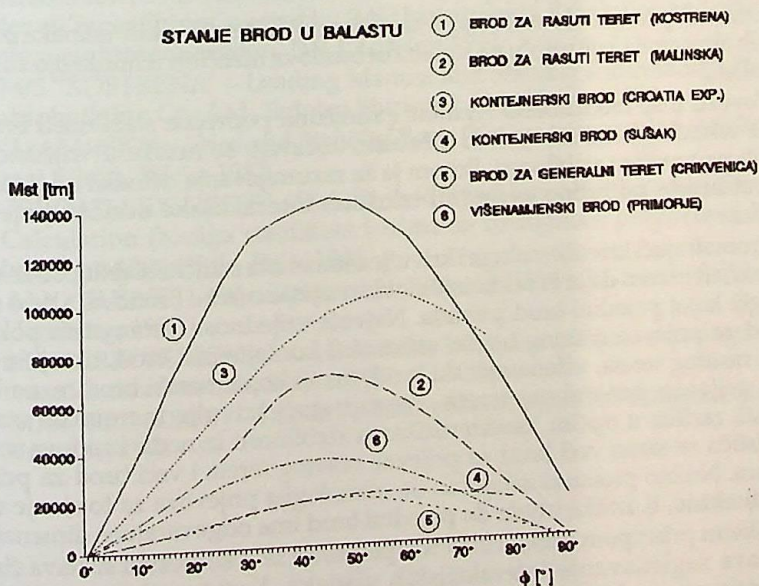
Krivulja poluga statičke stabilnosti 3 konstruirana je za kontejnerski brod *Croatia express*. Krivulja se odlikuje velikom metacentarskom visinom koja je po svojoj vrijednosti između dviju prije spomenutih. Zanimljivo je usporediti krivulje 1 i 3 jer su konstruirane za brodove iste širine. Manju metacentarsku visinu treba pripisati manjoj visini točke metacentra ovog broda, jer su im visine sustavnog težišta približno jednake. Manja visina točke metacentra ovog broda može se obrazložiti oštrijim oblikom podvodnog dijela broda. Krivulja se odlikuje izrazito velikom maksimalnom polugom stabilnosti i kutom pri kojem ona nastupa, te opsegom stabilnosti. Sve vrijednosti tih parametara veće su nego kod krivulje 1. Veći kut pri kojem nastupa maksimalna poluga posljedica je većega gaza, a ostala dva parametra posljedica su interakcije između vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina i visine težišta broda. Unatoč većoj visini sustavnog težišta koja bi morala rezultirati suprotnim karakteristikama, takav odnos između tih dviju krivulja postoji zbog većih vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina. Veće vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina pripisuju se obliku broda. Spomenute karakteristike očituju se i u općoj slici stabilnosti promatrajući momente statičke stabilnosti na slici 2.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 4 konstruirana je za kontejnerski brod *Sušak*. Krivulja se odlikuje umjerenijom početnom metacentarskom visinom u odnosu prema krivuljama 1 i 3, a vrlo sličnom s krivuljom 2, što je logično imajući na umu širinu tih brodova. Krivulja se, nadalje, odlikuje vrlo velikim opsegom, te kutom pri kojem nastupa maksimalna poluga stabilnosti. Maksimalna poluga stabilnosti ima također veliku vrijednost. Tu činjenicu treba objasniti malom visinom sustavnog težišta te relativno velikim vrijednostima iz dijagrama pantokarena izoklina. Vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina proizlaze iz konkretnog oblika podvodnog dijela broda, pa je opseg te krivulje, unatoč nešto manjem nadvodu, ipak veći negoli one u primjeru 2.

Međutim, kad se promatraju momenti statičke stabilnosti za brod u ovom stanju, uviđaju se znatno slabije karakteristike stabilnosti ovog broda u odnosu prema svim drugim brodovima, osim broda čiju stabilnost predstavlja krivulja 5.



Slika 1. Krivulje poluga statičke stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod u balastu



Slika 2. Krivulje momenata statičke stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod u balastu

Krivulja poluga statičke stabilnosti 5 konstruirana je za klasični brod za prijevoz generalnog tereta *Crikvenica*. Krivulja prikazuje vrijednost početne metacentarske visine za ovaj brod u balastu, koja je vrlo slična onima iz primjera 2 i 4. To je posljedica međusobna djelovanja visine točke početnog poprečnog metacentra i položaja sustavnog težišta broda. Parametri stabilnosti pri većim kutovima nagiba također su u skladu s prije izrečenim, te s visinom nadvođa. Ali kako je za potpunu ocjenu stabilnosti broda potrebno uzeti u obzir momente stabilnosti, to se promatrajući sliku 2. uviđa da krivulja 5 pokazuje najslabiju opću sliku stabilnosti.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 6 konstruirana je za višenamjenski brod *Primorje*. Metacentarska visina tog broda, što se zorno vidi promatrajući krivulju 6, veća je od svih drugih, osim za primjere 1 i 3. Ta je činjenica logična imajući na umu interakciju širine ovog broda i konkretne visine sustavnog težišta broda. Vrlo dobre su i vrijednosti parametra za veće kutove nagiba. Takve karakteristike stabilnosti pri većim kutovima nagiba pripisuju se u prvom redu velikom nadvođu. Dobre karakteristike stabilnosti daje i opća slika stabilnosti, tj. krivulja statičke stabilnosti 6.

### 3. ZAKLJUČAK

Ovim radom sustavno su sagledane interakcijske sprege između tehničko-tehno-  
loških značajki brodova za prijevoz rasutog tereta, kontejnera i generalnog tereta iz odabranog uzorka te njihove poprečne stabilnosti za stanje *brod u balastu*. Komparativnom analizom postavljeni su u međusobni odnos osnovni utjecajni čimbenici, kako bi se mogli izvući zaključci o utjecaju pojedine tehnologije na poprečnu stabilnost broda. Sam rad dio je široke problematike čiji je dio već objavljen u radovima [6], [7] i [8].

Osnovni prinos rada sustavno je sagledavanje interakcijskih učinaka između pojedinih elemenata koji utječu na stabilnost brodova različitih tehnologija za stanje *brod u balastu*.

Povežu li se međusobno rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova pojedine tehnologije za stanje *brod u balastu*, uočavaju se razlike u vrijednostima pojedinih parametara stabilnosti. Pritom je za razumijevanje učinaka na poprečnu stabilnost broda potrebno sagledati izložene interakcijske odnose pojedinih čimbenika.

Promatrajući krivulje poluga i krivulje momenata statičke stabilnosti za stanje *prazan brod*, uvidamo da te karakteristike ovise najviše o širini brodova, a ne o samoj tehnologiji kojoj pojedini brod pripada. Najveće vrijednosti parametara pokazuje veći brod za prijevoz rasutog tereta, zatim veći kontejnerski brod, manji brod za prijevoz rasutog tereta, višenamjenski brod, manji kontejnerski brod te, na kraju, brod za prijevoz generalnog tereta. Promatrajući krivulje momenata statičke stabilnosti, razlike u općim karakteristikama stabilnosti između brodova vrlo su male, a ističu se samo veći brod za prijevoz rasutog tereta i veći brod za prijevoz kontejnera. Nužno proizlazi zaključak da tehnologija prijevoza za to stanje utječe samo indirektno, tj. koliko utječe da pojedini brod ima odgovarajuće dimenzije.

Takvim pristupom stabilnost broda promatra se u kontekstu sustava čime se omogućava sagledavanje interakcijskih učinaka. Komparativnu analizu kao metodu pristupa problemu, moguće je primijeniti i u eksploataciji. Rezultati ovog istraživanja, kao i sam pristup cjelokupnoj problematici, prinos su sagledavanju utjecaja tehnologije na poprečnu stabilnost broda, čime se pridonosi proučavanju područja sigurnosti broda općenito.

## LITERATURA

- [1] J. Fatur, Teorija broda, Uredništvo časopisa "Brodogradnja", Zagreb 1954.
- [2] M. Milošević, Nauka o brodu III dio, Pomorska škola Kotor, Kotor 1961.
- [3] H. J. Pursey, Merchant Ship Stability (metric edition), Brown, Son & Ferguson, Ltd., Nautical Publishers, Glasgow 1971.
- [4] J. Uršić, Stabilitet broda I dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1962.
- [5] R. Mohović, Komparativna analiza poprečne stabilnosti kod brodova različitih tehnologija, Magistarski rad, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1995.
- [6] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost kod brodova za prijevoz generalnog tereta, Pomorski zbornik br. 34, Rijeka 1996.
- [7] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz rasutog tereta, Pomorski zbornik br. 35, Rijeka 1997.
- [8] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz kontejnera, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, god. 12., Rijeka 1998.
- [9] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (Dio 4. – Stabilitet), Hrvatski registar brodova, Split 1996.
- [10] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (Dio 23. – Prijevoz tereta), Hrvatski registar brodova, Split 1996.
- [11] Resolution A. 749 (18) Adopted on 4 November 1993 Code on Intact Stability for all Types Ships Covered by IMO Instruments, Resolution and other decision, eighteenth session, IMO, London 1994.
- [12] M/S "KOSTRENA" – Loading Manual and Stability Information, Hashima shipbuilding Co., Ltd. Tadotsu Shipyard, Hashihama, 1989,
- [13] "MALINSKA" – Trim and Stability Book (Knjiga trimovanja i stabiliteta), 3. maj Rijeka, Rijeka 1987.
- [14] "CROATIA EXPREESS" – Stability and Trim Manual with ongitudinal Stress Calculation (Knjiga stabiliteta i trima sa uzdužnom čvrstoćom), Uljanik brodogradilište Pula, Pula, 1992.
- [15] M.V. "SUŠAK" – Calculation of Stability and Trim, J.J. Sietas, Schiffswerft, Hamburg, 1977.
- [16] M.S. "CRIKVENICA" – Trim & Stability Book, 3. maj Rijeka, brodogradilište i tvornica dizel motora, Rijeka, 1972.
- [17] M. S. "PRIMORJE" – Stability information booklet, A/S Nakskov SkibsFrft, Nakskov, 1978.

### Summary

#### A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSVERSE STABILITY OF DIFFERENT TECHNOLOGY SHIPS IN BALLAST

*This paper aims at presenting the result of the research on the influence of the ship's technology (bulk carriers, container ships, general cargo ships) on the transverse stability of ships in ballast. The influence of some parameters, such as the position of the ship's center of gravity freeboard, draft, hull form and displacement has been taken into consideration and systematically examined. All these parameters have been analysed in an interaction in order to be able to make high-grade analysis and draw reliable conclusions thereof. The comparative analysis has been made by studying the righting arm and statical stability curves for different technology ships in ballast according to the observed statistical sample.*