

Mr. sc. **Robert Mohović**
Visoka pomorska škola u Rijeci
Studentska 2, Rijeka

Prethodno priopćenje
UDK 629.5.015.141:629.54

KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI BRODOVA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA ZA STANJE PRAZAN BROD

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

1. UVOD, DEFINIRANJE PROBLEMA I CILJA ISTRAŽIVANJA

U radu su predstavljeni rezultati istraživanja utjecaja vrste tehnologije broda na poprečnu stabilnost broda za stanje prazan brod. 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 je uz plovnost i čvrstoću jedan od glavnih čimbenika sigurnosti. Sigurnosni i komercijalni zahtjevi često su međusobno suprotstavljeni te je potrebno sustavno sagledati njihov međusobni odnos. Temeljni je problem kako zadovoljiti sigurnosne zahtjeve, a da se u najvećoj mogućoj mjeri zadovolje i komercijalni zahtjevi. Postojeći brod sa svojim obilježjima također bitno utječe na problem stabilnosti, što uzrokuje vrlo složenu interakcijsku spregu između svih čimbenika.

Utjecaji pojedine vrste (tehnologije) broda na poprečnu stabilnost broda proizlaze iz specifičnosti različitih konstrukcija i opreme brodova, različitih tereta koje prevoze, različitih plovidbenih ruta, različitih tehnologija prijevoza te načina ukrcaja i iskrcaja tereta, različitih načina poslovanja itd. Osnovno je pitanje kako i koliko pojedina značajka broda različitih tehnologija utječe na poprečnu stabilnost broda, a time i na sigurnost broda, posade i tereta, što je osnovni uvjet za uspješan završetak putovanja broda.

Imajući na umu prethodna razmatranja, potrebno 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 pri naručivanju broda, odnosno pri kupnji broda za određene

potrebe jer su dimenzije broda u eksploataciji fiksne. Kako u stanju prazan brod na brodu nema tereta, do izražaja dolaze njegove konstruktivne karakteristike. Osnovne dimenzije broda i ostale značajke direktno utječu na stanje prazan brod, čije će se značajke poprečne stabilnosti razmatrati u ovom radu.

Stanje prazan brod specifično je stanje koje se vrlo rijetko javlja u eksploataciji jer brodovi bez tereta ne plove prazni već u stanju balasta. To stanje podrazumijeva prazan brod spreman za plovidbu. U sličnom stanju brod će se naći prije svakog dokovanja, pri čemu se javlja specifičan problem stabilnosti broda pri dokovanju. Tom specifičnom slučaju u kojem će se naći brod pri dokovanju, potrebno je posvetiti dužnu pažnju, a sama stabilnost broda pritom je u direktnoj svezi s parametrima stabilnosti broda za stanje prazan brod. Obrada je tog stanja u kontekstu ovog rada zanimljiva jer do izražaja dolaze pojedine specifičnosti određene tehnologije prijevoza.

Iz navedenog proizlazi osnovni problem na koji ovaj rad mora odgovoriti, a to je kakav je utjecaj pojedine tehnologije na poprečnu stabilnost broda za stanje prazan brod.

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

Utjecaji pojedinih značajki pojedinačno su analizirani u literaturi iz ovog područja [1], [2], [3], [4]. Međutim, valja istaknuti razliku između teoretskih modela i ove komparativne analize, a sastoji se u tome što se u ovom radu 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 sljedeći 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*. Prema mišljenju autora, ti brodovi, između svih analiziranih, najbolje oslikavaju proučavanu problematiku i omogućavaju izvođenje dovoljno dobrih zaključaka o pojedinim utjecajima i svim utjecajima zajedno u međusobnoj interakciji [5].

U radu su prikazane krivulje poluga statičke stabilnosti, te krivulje momenata statičke stabilnosti. Uz to, prikazane su tablice sa svim važnim podacima za meritornu procjenu utjecaja konstruktivnih dimenzija na poprečnu stabilnost za stanje prazan brod. Procjena stabilnosti izvedena je prema postojećim propisima o kriterijima stabilnosti [9], [10], [11]. Potreba i važnost sagledavanja značajki krivulji momenata statičke stabilnosti, uz razmatranje značajki krivulje poluga statičke stabilnosti, proizlazi iz činjenice da poprečnu stabilnost broda potpuno može opisati i prikazati 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 deplasmana jer inače postoji opasnost krive prosudbe poprečne stabilnosti konkretnog slučaja.

2. KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI ZA STANJE PRAZAN BROD

U uvodu je istaknuta važnost proučavanja utjecaja pojedinih tehnologija prijevoza na stabilnost broda. Istaknuta je važnost istraživanja i poznavanja parametara stabilnosti za stanje prazan brod te će u nastavku biti prikazana komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova iz izabranog uzorka za to stanje.

Komparativna analiza i prikaz rezultata istraživanja upotpunjeni su slikama 1. i 2., te tablicama 1. i 2.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 1 konstruirana je za brod za prijevoz rasutog tereta *Kostrena*. Krivulja prikazuje ekstremno veliku početnu metacentarsku visinu toga broda. Takva metacentarska visina može se pripisati velikoj širini ovog broda i vrlo malom gazu, a time i volumenu podvodnog dijela broda, što utječe na veliku visinu početnoga poprečnog metacentra. Velika širina broda na neki se način može pripisati tehnologiji prijevoza rasutog tereta. Zna se da rasuti teret spada u tzv. masovne terete, tj. odjednom se obično prevoze velike količine tereta, te su prema tome prilagođene i dimenzije broda, pa tako i širina, da bi mu se osigurala dovoljna nosivost. Krivulja se nadalje odlikuje velikom maksimalnom polugom stabilnosti, ali relativno malim kutom pri kojem ona nastupa. Opseg stabilnosti također je velik. Relativno mali kut pri kojem nastupa maksimalna poluga stabilnosti, pripisuje se malom gazu praznog broda, a time i izronu uzvoja broda pri malom kutu nagiba. Ipak ovaj brod za to stanje ima velik opseg stabilnosti zbog vrlo velikog nadvođa. U skladu s tim karakteristikama su i površine ispod krivulje. Kao negativne karakteristike stabilnosti ovog broda za to stanje nakrcanosti, mogu se istaknuti ekstremno velika početna metacentarska visina i veliko nadvođe, a time i velika bočna površina izložena vjetru.

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

stanje prazan brod	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	2.06	16.28	9979	32.43	10.30	42.73	0.00	10.30	4.5
Malinska	23.08	14.75	2.48	12.27	10165	9.12	10.40	19.53	0.00	10.40	6.1
Croatia Express	32.20	19.20	3.87	15.53	11197	7.98	12.52	20.49	0.00	12.52	9.1
Sušak	21.50	11.20	3.19	8.01	4539	2.14	8.85	10.99	0.00	8.85	11.7
Crikvenica	20.60	12.52	2.56	9.96	5031	4.82	8.81	13.63	0.00	8.81	7.5
Primorje	24.77	14.00	3.00	11.00	7935	7.29	10.34	17.63	0.00	10.34	7.3

Krivulja poluga statičke stabilnosti 2 prikazuje značajke poprečne stabilnosti broda za prijevoz rasutog tereta *Malinska*. Brod ima manju širinu nego prethodni pa sukladno toj činjenici ima za ovo stanje i manju početnu metacentarsku visinu. Međutim i ta je metacentarska visina jako velika, što je značajka brodova za prijevoz rasutog tereta. Brod s manjom širinom, a iste tehnologije, namjerno je uvršten u uzorak

da bi se izbjeglo izvođenje krivih zaključaka o utjecaju pojedine tehnologije. Različite veličine brodova za prijevoz rasutih tereta mogu se pripisati različitim zahtjevima koji se postavljaju pred tu vrstu brodova, od kojih je među važnijima područje plovidbe za koje su građeni. To treba shvatiti u komercijalnom smislu, dakle količina tereta koja se prevozi i prijevozni put, te u maritimnom smislu dubina mora, širina kanala itd. Maksimalna poluga stabilnosti broda za ovo je stanje velika, iako ne kao i kod prethodnog broda, što je jasno ako se imaju na umu obilježja ta dva broda. Kut pri kojem nastupa maksimalna poluga također je relativno mali zbog istog razloga koji je spomenut i za krivulju 1. Relativno je mali i opseg stabilnosti, što se može pripisati interakciji između gaza, nadvođa te sustavnog težišta praznog broda.

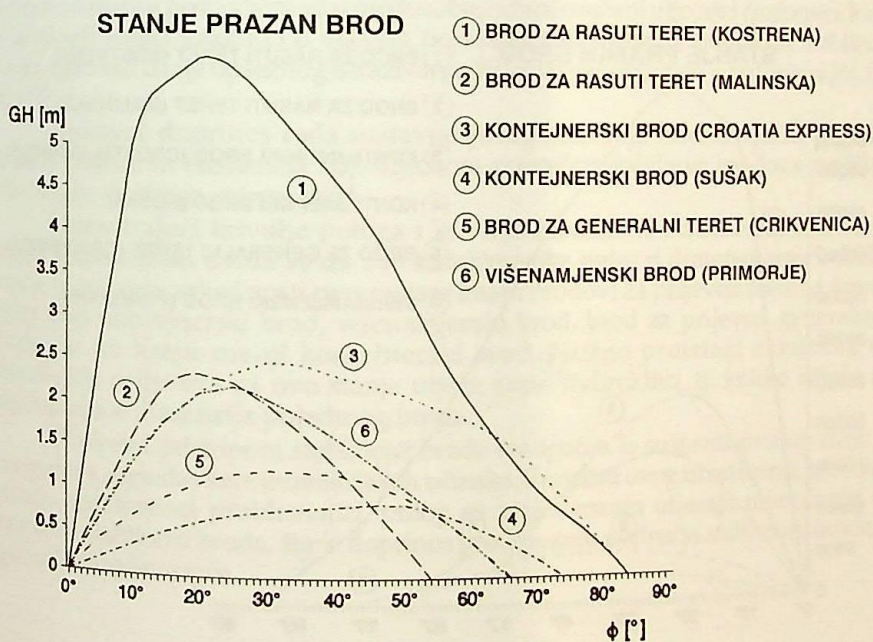
Krivulja poluga statičke stabilnosti 3 konstruirana je za kontejnerski brod *Croatia Express*. Brod u ovom stanju ima veliku metacentarsku visinu, iako puno manju od one koju prikazuje krivulja 1. Usporedbu je važno napraviti jer ta dva broda imaju istu širinu, a ipak su im početne metacentarske visine znatno različite. To je ujedno i zoran primjer kako treba razne utjecaje sagledati u međusobnoj interakciji, a ne pojedinačno. Ta razlika proizlazi prije svega od različite visine točke metacentra. Znatna razlika u visini točke metacentra, unatoč istoj širini, proizlazi iz većega gaza praznoga kontejnerskog broda, a time i većeg volumena podvodnog dijela broda. Treba spomenuti da postoji razlika i u obliku podvodnog dijela broda. Ovaj brod ima nešto viši položaj sustavnog težišta naprama uspoređivanom brodu za prijevoz rasutog tereta, međutim, to ima mali utjecaj na početnu poprečnu metacentarsku visinu jer je prvospomenuti utjecaj mnogo veći. Krivulja 3 odlikuje se velikim vrijednostima obilježja stabilnosti pri većim kutovima nagiba. Veći kut pri kojem nastupa maksimalna poluga stabilnosti ovog broda naprama uspoređivanom, proizlazi iz nešto većega gaza, a veći opseg stabilnosti pripisuje se međusobnoj interakciji gaza, nadvođa i položaja sustavnog težišta, te obliku podvodnog dijela broda. U skladu s tim obilježjima su i površine ispod ove krivulje. Utjecaj momenta vjetra na ovaj brod, kao i na prethodna dva, značajan je zbog velikog nadvođa, a može se istaknuti i da su im prevelike početne metacentarske visine, te stoga proizlaze sve negativne popratne pojave u vezi s tim problemom.

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

stanje prazan brod	POVRŠINA			GH max. [m]	φ GH max. [°]	φ_e [°]
	<30° [m-rad]	<40° [m-rad]	30°-40° [m-rad]			
Kostrena	2.464	3.337	0.873	6.009	21.0	83.9
Malinska	0.894	1.183	0.289	2.349	19.6	54.4
Croatia Express	0.844	1.271	0.426	2.494	31.3	85.0
Sušak	0.245	0.385	0.140	0.857	47.3	74.1
Crikvenica	0.431	0.646	0.215	1.246	31.0	66.1
Primorje	0.802	1.125	0.323	2.202	24.2	65.6

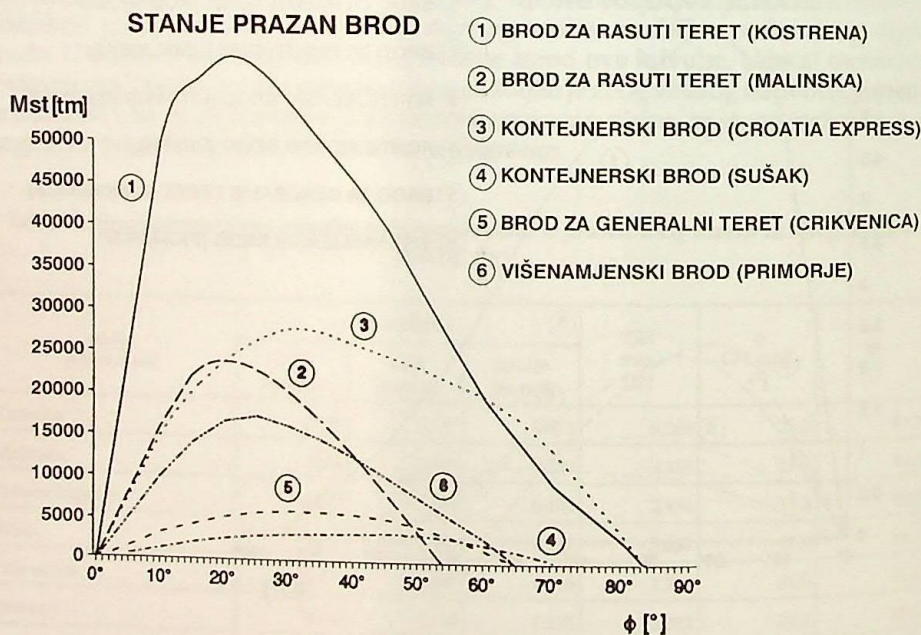
Krivulja poluga statičke stabilnosti 4 konstruirana je za kontejnerski brod *Sušak*. Taj brod ne spada u istu kategoriju kontejnerskih brodova u koju se svrstava prethodni

brod. To je stariji brod manjeg kapaciteta, a uvršten je u uzorak upravo stoga da bi ga, osim s ostalim brodovima, mogli usporediti i s modernim kontejnerskim brodom. Brod za ovo stanje ima najmanju početnu metacentarsku visinu u odnosu prema svima ostalim promatranim brodovima. Ta se činjenicu objašnjava interakcijom između visine točke metacentra i visine sustavnog težišta broda. Manja visina točke metacentra od one koju predstavlja krivulja 5, unatoč većoj najvećoj širini broda, pripisuje se obliku broda. Oblik je ovog broda za male gazove oštrije, pa je time manja visina točke početnoga poprečnog metacentara, a manje su i veličine iz dijagrama pantokarena izoklina, tj. horizontalne udaljenosti težišta istisnine od kobilice. U odnosu prema ostalim krivuljama, ova se krivulja odlikuje najmanjom maksimalnom polugom, što je u skladu s prije spomenutim razlozima. Međutim, krivulja ima relativno velik kut pri kojem nastupa maksimalna poluga, a isto tako i opseg stabilnosti, što se može pripisati velikom nadvodu u interakciji sa širinom broda, te položajem sustavnog težišta. Međutim i iz slika 1. i 2. dobiva se zoran prikaz najslabijih općih karakteristika stabilnosti u odnosu prema svim promatranim.



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

Krivulja poluga statičke stabilnosti 5 izrađena je za stanje prazan brod, broda za prijevoz generalnog tereta *Crikvenica*. Krivulju je zanimljivo usporediti s prethodnom krivuljom 4, jer se radi o dvama brodovima sličnih dimenzija i parametara važnih za stabilnost. Isto kao što je spomenuto u obrazlaganju krivulje poluga statičke stabilnosti 4, u ovom primjeru javlja se jedna, naizgled, nelogična pojava. Naime, početna metacentarska visina u ovom je slučaju veća od one u prethodnom primjeru, unatoč vrlo sličnim visinama sustavnog težišta i većoj širini prethodno obrađenog broda. Kad se govori o širini broda, zna se da je to najveća širina i ona ne mora biti jednaka onoj na malim gazovima, što je ovdje i slučaj. Tako se ova činjenica, vezana za početnu metacentarsku visinu, obrazlaže većom punoćom forme podvodnog dijela ovog broda naprama prethodnom. Maksimalna poluga stabilnosti veća je nego za prethodno analiziranu krivulju. Kut pri kojem nastupa nešto je manji, a isto tako i opseg stabilnosti. Takvi rezultati posljedica su činjenice da ovaj brod, kad je prazan, ima nešto manji gaz, pa nastaje raniji izron uzvoja broda. Za opseg stabilnosti važan je i oblik ovog broda, pa unatoč većoj visini nadvođa, vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina pri velikim kutovima nagiba manji su od onih kod prethodnog broda. Promatrajući međusobno krivulje za sve brodove, ipak se vidi manja razlika u parametrima stabilnosti između tih dvaju brodova u odnosu prema drugim brodovima, što je jasno ako se ima na umu odnos razlika dimenzija između brodova u promatranom uzorku.



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

Krivulja poluga statičke stabilnosti 6 konstruirana je za višenamjenski brod *Primorje* kad je prazan. Krivulja se odlikuje velikim kutom uspona tangente na krivulju u njezinu ishodištu. Taj je uspon nešto manji od uspona krivulja širih brodova. Širina je broda veća od onih u primjerima 4. i 5. pa je jasno da je veća i visina točke metacentra, što je uz konkretan položaj sustavnog težišta broda uzrok i većoj početnoj metacentarskoj visini. Krivulja se odlikuje dobrim karakteristikama stabilnosti pri većim kutovima nagiba. Jedina karakteristika kojoj bi se mogla naći zamjerka jest kut pri kojem nastupa maksimalna poluga stabilnosti. Ovakve se karakteristike mogu objasniti relativno malim gazom praznog broda te velikim nadvođem. Treba istaknuti da je početna metacentarska visina ovog broda vrlo velika, a to za sobom povlači sve negativne posljedice velike metacentarske visine.

Obrađene krivulje svih brodova iz uzorka, iako postoji jasna razlika u međusobnim odnosima, imaju mnogo veću metacentarsku visinu od one koja bi bila optimalna za ove brodove. Međutim, to je obilježje krivulja praznih brodova. U slučaju da brod mora ploviti bez tereta, upravo zbog ovog razloga, to se neće činiti u ovom stanju nakrcanosti već je potrebno brod balastirati, te ploviti u stanju brod u balastu. Vrijednosti parametara poprečne stabilnosti za to stanje mnogo su povoljnije.

3. ZAKLJUČAK

Ovim su radom sustavno 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 prazan brod. 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 opsežnog istraživanja čiji je dio već objavljen u radovima [6], [7], [8] i [9].

Osnovni doprinos rada sustavno je sagledavanje interakcijskih učinaka između pojedinih elemenata koji utječu na poprečnu stabilnost brodova različitih tehnologija za stanje prazan brod.

Promatrajući krivulje poluga i krivulje momenata statičke stabilnosti za stanje prazan brod uviđa se da ove karakteristike ovise o dimenzijama i obliku broda, tj. najveće vrijednosti parametara imaju brodovi za prijevoz rasutog tereta, zatim veći kontejnerski brod, višenamjenski brod, brod za prijevoz generalnog tereta, te na kraju manji kontejnerski brod. Nužno proizlazi zaključak da tehnologija prijevoza za ovo stanje utječe samo indirektno, tj. koliko utječe na odgovarajuće dimenzije pojedinog broda.

Ovakvim pristupom stabilnosti broda omogućen je sustavni pristup čime se omogućava sagledavanje interakcijskih učinaka. Rezultati ovog istraživanja kao i sam pristup cjelokupnoj problematici, prilog su sagledavanju utjecaja tehnologije na poprečnu stabilnost broda, što je doprinos proučavanju područja stabilnosti broda te sigurnosti broda uopće.

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] R. Mohović, Komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova različitih tehnologija za stanje brod u balastu, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, God. 12, Rijeka 1998.
- [10] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (Dio 4. – Stabilitet), Hrvatski registar brodova, Split 1996.
- [11] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (Dio 23. – Prijevoz tereta), Hrvatski registar brodova, Split 1996.
- [12] 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.
- [13] M/S "Kostrena" – Loading Manual and Stability Information, Hashihama shipbuilding Co., Ltd. Tadotsu Shipyard, Hashihama, 1989.
- [14] "Malinska" – Trim and Stability Book (Knjiga trimovanja i stabiliteta), 3. Maj Rijeka, Rijeka, 1987.
- [15] "Croatia express" – Stability and Trim Manual with ongitudinal Stress Calculation (Knjiga stabiliteta i trima sa uzdužnom čvrstoćom), Uljanik brodogradilište Pula, Pula, 1992.
- [16] M/V "Sušak" – Calculation of Stability and Trim, J.J. Sietas, Schiffswerft, Hamburg, 1977.
- [17] M/S "Crikvenica" – Trim & Stability Book, 3. Maj Rijeka, brodogradilište i tvornica dizel motora, Rijeka, 1972.
- [18] M/S "Primorje" – Stability information booklet, A/S Nakskov Skibsccrft, Nakskov, 1978.

Summary

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE TRANSVERSE STABILITY OF THE DIFFERENT SHIPS TECHNOLOGY FOR LIGHT SHIP CONDITION

This paper present research results of influence of different ship's technology (bulk carriers, container vessels, general cargo vessels) on the transverse ship's stability for light ship condition. The influence of some parameters such as position of the ship's center of gravity, freeboard, draft, hull form and displacement has been taking into consideration and has been examined systematically. All this parameters has been observed in interaction in order to make high-grade analysis and bring probable conclusions. Comparative analysis has been made studying righting arm curve and statical stability moment curve for different technology of light ship condition according to the observed statistical sample.