

**Dr.sc. Robert Mohović**  
**Dr.sc. Pavao Komadina**  
**Mr.sc. Đani Mohović**  
Pomorski fakultet u Rijeci  
Rijeka, Studentska 2

Prethodno priopćenje  
UDK: 629.5.015.141  
656.614.3  
Primljeno: 01. rujna 2005.  
Prihvaćeno: 02. rujna 2005.

## KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI BRODOVA RAZLIČITIH TEHNOLOGIJA ZA STANJE - BROD POTPUNO NAKRCAN HOMOGENIM TERETOM

*U radu je prikazan rezultat istraživanja utjecaja tehnologije broda na poprečnu stabilnost za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. Sustavno su sagledani čimbenici koji utječu na poprečnu stabilnost broda kao što su: položaj sustavnog težišta broda, nadvođe, gaz, oblik podvodnog dijela broda i deplasman. Svi ovi čimbenici promatrani su u međusobnoj interakciji kako bi se mogla izvršiti 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 potpuno nakrcan homogenim teretom.*

*Ključne riječi: poprečna stabilnost broda, sigurnost plovidbe, komparativna analiza*

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

U radu su prezentirani rezultati istraživanja utjecaja vrste tehnologije broda na poprečnu stabilnost broda za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. Istražuju se i komparativno analiziraju utjecaji na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz rasutog tereta, brodova za prijevoz kontejnera i brodova za prijevoz generalnog tereta.

Različito utjecaja pojedine tehnologije na poprečnu stabilnost broda proizlazi iz specifičnosti, obzirom na različitu konstrukciju i opremu brodova, na različite terete koje prevoze, na različite plovidbene rute, na različitu tehnologiju prijevoza, ukrcaja i iskrcaja tereta, na različite načine poslovanja itd. Osnovno je pitanje kako i koliko pojedina obilježja brodova različitih tehnologija utječu na poprečnu stabilnost, a time i na sigurnost broda, posade i tereta što je osnovni uvjet za uspješno izvođenje putovanja.

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" jer, po mišljenju autora, ovi brodovi između svih analiziranih, najbolje oslikavaju proučavanu problematiku i omogućavaju izvođenje dovoljno signifikantnih zaključaka o pojedinim utjecajima i svim utjecajima zajedno u međusobnoj interakciji [6].

Stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom važno je proučiti za sve brodove jer svaki od tih brodova može doći u priliku krcati i prevoziti sličan teret. Ova činjenica ne odnosi se jedino na kontejnerski brod "CROATIA EXPRESS" jer mu to onemogućavaju upravo tehnološka obilježja (vodilice u skladišnim prostorima). Međutim, i za ovaj brod proračunata je poprečna stabilnost za ovo stanje, kako bi se ona mogla usporediti sa stabilnošću drugih brodova. Pod pojmom «homogeni teret» mogu se svrstati razni tereti, različite gustoće, odnosno faktora slaganja. U proračunima je uzet u obzir homogeni teret prosječne gustoće, kako bi na neki način mogao što bolje reprezentirati cjelokupni homogeni teret.

Iz prethodnog razmatranja proizlazi osnovni problem na koji ovaj rad mora odgovoriti, a to je: kakav je utjecaj pojedine tehnologije, i to izravni i neizravni, na poprečnu stabilnost broda za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom.

Cilj istraživanja je sagledavanje interakcijske sprege između značajki brodova pojedine tehnologije i njihove poprečne stabilnosti za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. Prikaz utjecaja pojedine tehnologije prijevoza na poprečnu stabilnost broda istražen je komparativnom analizom u kojoj se postavljaju u odnos pokazatelji poprečne stabilnosti više brodova za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom.

Pojedinačni utjecaji pojedinih značajki analizirani su u literaturi iz ovog područja [1], [2], [3], [4] i [5]. Međutim, u ovoj komparativnoj analizi pojedini utjecaji promatraju se u međusobnoj interakciji, što nije slučaj kod pojedinačnog modela.

U radu su prikazane krivulje poluga statičke stabilnosti, ali i krivulje momenata statičke stabilnosti te tablice sa svim relevantnim podacima potrebnim za procjenu njihova utjecaja na poprečnu stabilnost za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. Procjena stabilnosti izvedena je prema postojećim propisima o kriterijima stabilnosti [12], [13], [14]. Važnost sagledavanja značajki krivulja momenata statičke stabilnosti, uz krivulje poluga statičke stabilnosti, proizlazi iz činjenice da poprečnu stabilnost broda u potpunosti reprezentira samo moment statičke stabilnosti. Kada se analizira poprečna stabilnost nekog broda, uz elemente krivulje poluga statičke stabilnosti, potrebno je imati u vidu i ukupni učinak poluge stabilnosti i konkretnog deplasmana jer u protivnom postoji opasnost krive prosudbe poprečne stabilnosti konkretnog slučaja.

## **2. KOMPARATIVNA ANALIZA POPREČNE STABILNOSTI ZA STANJE - BROD POTPUNO NAKRCAN HOMOGENIM TERETOM**

U uvodu je istaknuta važnost proučavanja utjecaja pojedinih tehnologija prijevoza na stabilnost broda. Isto tako istaknuta je važnost istraživanja za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. Stoga će u nastavku biti prikazana komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova iz izabranog uzorka za ovo stanje. Komparativna analiza i prikaz rezultata istraživanja upotpunjen je slikama 1. i 2 te tablicama 1. i 2.

Krivulja poluga statičke stabilnosti **1** konstruirana je za brod namijenjen prijevozu rasutog tereta "KOSTRENA". Brod ima veliku metacentarsku visinu koja je manja samo od one u primjeru 3. Obilježja stabilnosti pri većim kutovima nagiba vrlo su dobra. Sva spomenuta obilježja mogu se pripisati velikoj širini broda, položaju sustavnog težišta te velikom nadvođu

unatoč gotovo maksimalnom deplasmanu. Potonje je uobičajeno konstrukcijsko obilježje ove vrste brodova koji moraju imati dovoljno nadvođe koje im osigurava dovoljan rezervni uzgon. Prava vrijednost ovakvih obilježja u potpunosti se može uočiti analizirajući krivulju momenata statičke stabilnosti 1 na slici 2. Stabilnost ovog broda je najveća u odnosu na sve promatrane u uzorku za ovo stanje nakrcanosti.

*Tablica 1. Rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod potpuno nakrcan homogenim teretom (I dio)*

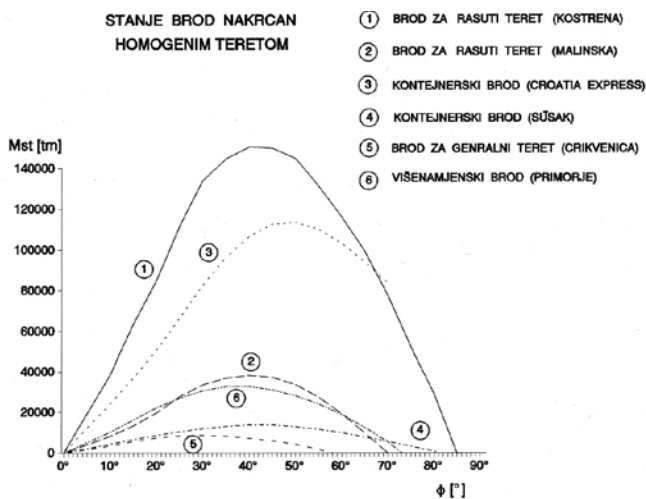
STANJE BROT POTPUNO NAKRCAN HOMOGENIM TERETOM	B (m)	H (m)	T (m)	Fb (m)	D (t)	MoG (m)	KG (m)	KMo (m)	FSC (m)	KGv (m)	rp (s)
KOSTRENA	32,20	18,34	12,21	6,3	72571	3,20	10,10	13,31	0,01	10,11	14,3
MALINSKA	23,08	14,75	9,72	5,3	44917	1,00	8,76	9,80	0,04	8,79	18,4
CROATIA EXP.	32,20	19,40	10,60	8,0	36771	3,85	10,65	16,61	0,12	10,77	13,1
SUŠAK	21,50	11,20	8,59	2,1	15570	1,56	7,83	9,45	0,06	7,89	13,7
CRUKVENICA	20,60	12,52	9,20	3,2	20200	0,76	7,46	8,57	0,35	7,81	18,8
PRIMORJE	24,77	14,00	10,20	3,80	31470	1,82	8,54	10,44	0,08	8,62	14,6

Krivulja poluga statičke stabilnosti 2 konstruirana je za brod namijenjen prijevozu rasutog tereta "MALINSKA". Ovaj brod ima manju početnu poprečnu metacentarsku visinu u odnosu na onu prethodnog broda (krivulja 1.) Unatoč manjoj visini sustavnog težišta broda, metacentarska visina je manja zbog manje visine točke početnog poprečnog metacentra. Manja visina proizlazi iz manje širine ovog broda naprema uspoređivanom brodu iz prethodnog primjera. Sukladno ovim obilježjima te njihovoj interakciji s visinom nadvođa i formom broda, proizlaze i obilježja stabilnosti pri velikim kutovima nagiba. Ova obilježja, iako manjih vrijednosti nego li kod prethodnog broda, daju vrlo dobre rezultate stabilnosti. Ova tvrdnja postaje još uočljivija ako se analizira krivulja momenata statičke stabilnosti 2.

*Tablica 2. Rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod potpuno nakrcan homogenim teretom (II dio)*

STANJE BROT POTPUNO NAKRCAN HOMOGENIM TERETOM	POVRŠINA			GH <sub>max</sub> (m)	Φ <sub>GH max</sub> (°)	Φ <sub>c</sub> (°)
	< 30° (m-rad)	< 40° (m-rad)	30° - 40° (m-rad)			
KOSTRENA	0,462	0,809	0,348	2,086	41,9	86,0
MALINSKA	0,176	0,318	0,143	0,854	40,6	69,7
CROATIA EXPRESS	0,549	1,005	0,456	3,096	48,4	> 90,0
SUŠAK	0,218	0,364	0,147	0,893	41,7	81,0
CRUKVENICA	0,138	0,210	0,072	0,436	29,1	57,8
PRIMORJE	0,269	0,449	0,180	1,048	37,7	73,4

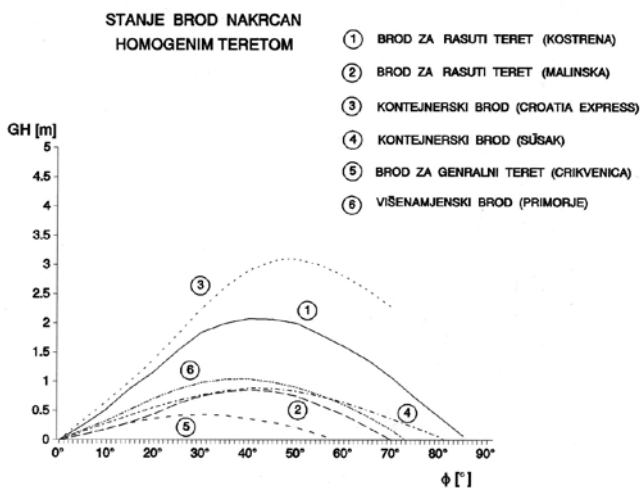
Krivulja poluga statičke stabilnosti **3** konstruirana je za kontejnerski brod "CROATIA EXPRESS". Iako ovaj brod ne može prevoziti homogeni teret ovaj proračun je uvršten u analizu iz prije spomenutih razloga. Brod se za ovo stanje nakrcanosti odlikuje velikom početnom stabilnošću kao i stabilnošću pri velikim kutovima nagiba. Brod ima najveću početnu metacentarsku visinu za ovo stanje nakrcanosti u odnosu na ostale brodove iz promatranog uzorka. Tu činjenicu može se objasniti velikom širinom ovog broda te položajem sustavnog težišta. Uspoređujući ovu početnu metacentarsku visinu s onom iz primjera 1 dolazi se do naizgled nelogične pojave, ako se promatraju samo osnovni čimbenici koji utječu na stabilnost broda. Naime, visina sustavnog težišta ovog broda je čak i veća od one u primjeru 1 pa ovo obilježje doprinosi smanjenju, a ne povećanju metacentarske visine. Međutim, valja imati u vidu da je razlika relativno mala. Primarni čimbenik koji utječe na veću metacentarsku visinu treba tražiti u većoj visini točke početnog poprečnog metacentra. Imajući u vidu iste širine dva promatrana broda ovaj rezultat je na neki način također nelogičan, iako i za ovu pojavu postoji sasvim racionalno obrazloženje. Na visinu točke metacentra u prvom redu utječe metacentarski radijus, a za njegovo određivanje potrebno je poznavati moment tromosti vodene linije koji izravno ovisi o širini broda na određenoj vodenoj liniji te volumenu uronjenog dijela broda, koji je obrnuto proporcionalan veličini ovog radijusa. U konkretnom slučaju volumen promatranog broda je manji od onoga kod uspoređivanog broda u primjeru 1, a ovaj brod ima i nešto veću visinu težišta istisnine, iz čega proizlazi zaključak zašto je visina početnog poprečnog metacentra veća u ovom primjeru. Isto tako, u promatranom uzorku, ova se krivulja odlikuje najvećom polugom statičke stabilnosti, kutom pri kome ona nastupa te opsegom stabilnosti.



Slika 1. Krivulje momenata statičke stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod potpuno nakrcan homogenim teretom

Sva ova obilježja mogu se pripisati interakciji između visine nadvođa, forme broda i položaja sustavnog težišta. Vrlo dobra obilježja i opća slika stabilnosti proizlaze iz slike koja prikazuje krivulju momenata stabilnosti 3. Krivulja se odlikuje samo nešto slabijom općom slikom stabilnosti od one prikazane krivuljom 1. Ovakva obilježja stabilnosti broda za ovo stanje nakrcanosti mogu se pripisati tehnologiji za koju je ovaj brod građen. Naime, kako je već napomenuto tehnološko obilježje ove tehnologije prijevoza tereta je prijevoz kontejnera na palubi, a time i nešto viši položaj sustavnog težišta broda. Da bi brod imao zadovoljavajuća obilježja stabilnosti u svom redovitom eksploatacijskom poslovanju, brod se konstruira tako da forma broda zadovolji tražene uvjete. Upravo zbog toga, kada se ovaj brod hipotetski ukrcata teretom samo u skladišne prostore, dobiveni rezultati pokazuju obilježja stabilnosti koja su bolja od uobičajenih.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 4 predstavlja obilježja poprečne stabilnosti kontejnerskog broda "SUŠAK". Ona prikazuje umjerenu metacentarsku visinu broda za ovo stanje nakrcanosti. Ova činjenica obrazlaže se konkretnom širinom, formom broda te položajem sustavnog težišta. Krivulja ima velik opseg stabilnosti i kut pri kome ona nastupa, a maksimalna poluga stabilnosti nešto je manja. Ovakva obilježja stabilnosti pri velikim kutovima nagiba ne može se objasniti samo osnovnim dimenzijama broda, već u obzir treba uzeti i formu broda koja mu osigurava relativno velike vrijednosti iz dijagrama pantokarena izoklina za ovaj deplasman. Ovakve vrijednosti mogu se također, kao što je to učinjeno u prethodnom primjeru, objasniti utjecajem tehnologije na konstrukciju broda. Sve vrijednosti, iako prosječne u promatranom uzorku, sasvim su dovoljne veličine u odnosu na propisane.



Slika 2. Krivulje poluga statičke stabilnosti brodova iz promatranog uzorka za stanje brod potpuno nakrcan homogenim teretom

Krivulja poluga statičke stabilnosti 5 konstruirana je za brod namijenjen prijevozu generalnog tereta "CRIKVENICA". Krivulja 5 odlikuje se najmanjim kutom uspona tangente na krivulju u njenom ishodištu što odgovara najmanjoj metacentarskoj visini ovog broda za ovo stanje nakrcanosti. Ova činjenica objašnjava se širinom te formom broda u interakciji s položajem sustavnog težišta. Krivulja ima relativno slaba obilježja stabilnosti pri velikim kutovima nagiba. Promatrajući i krivulju momenata stabilnosti 5 uočava se najslabija opća slika stabilnosti ovog broda u promatranom uzorku.

Krivulja poluga statičke stabilnosti 6 konstruirana je za višenamjenski brod "PRIMORJE". Brod ima metacentarsku visinu koja je u skladu s odnosima širine promatranih brodova i položajima sustavnog težišta. Metacentarska visina je veća od svih u promatranom uzorku osim od metacentarske visine brodova u primjeru 1 i 2, što je razumljivo imajući u vidu visine točke metacentra odnosno širine ovih brodova. Ova krivulja odlikuje se relativno velikom maksimalnom polugom stabilnosti i kutom pri kome ona nastupa, te opsegom stabilnosti. Ovakav odnos spomenutih obilježja sasvim je u skladu s odnosom dimenzija koje utječu na stabilnost broda unutar promatranog uzorka. Na toj razini je i opća slika stabilnosti, što se zorno uočava ako se promatra krivulja momenata statičke stabilnosti 6 u odnosu na druge krivulje.

### 3. ZAKLJUČAK

Ovim radom sustavno su sagledane interakcijske sprege između tehničko-tehnoloških značajki brodova za prijevoz rasutog tereta, kontejnera i generalnog tereta iz odabranog uzorka i njihove poprečne stabilnosti za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom. 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 predstavlja dio vrlo široke problematike čiji je dio već objavljen u radovima [7], [8], [9], [10] i [11].

Osnovni doprinos rada je sustavno sagledavanje interakcijskih učinaka između pojedinih elemenata koji utječu na stabilnost brodova različitih tehnologija za stanje brod potpuno nakrcan homogenim teretom.

Povežu li se međusobno rezultati proračuna poprečne stabilnosti brodova pojedine tehnologije za stanje - brod potpuno nakrcan homogenim teretom, uočavaju se razlike u vrijednostima pojedinih parametara stabilnosti. Pritom je za razumijevanje učinaka na poprečnu stabilnost broda potrebno sagledati složene interakcijske odnose pojedinih čimbenika.

Promatrajući krivulje poluga i krivulje momenata statičke stabilnosti za stanje- brod potpuno nakrcan homogenim teretom, uočavaju se manja odstupanja između pojedinih tehnologija, iako i ovdje postoje razlike. Razlike su uočljivije ako se promatraju krivulje momenata statičke stabilnosti, a to treba pripisati u prvom redu bitnoj razlici u deplasmanu brodova iz uzorka.

Ovakvim 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 za stanje- brod potpuno nakrcan homogenim teretom, kao i sam pristup cjelokupnoj problematici doprinosu su sagledavanju utjecaja tehnologije na poprečnu stabilnost broda, čime se daje doprinos proučavanju područja sigurnosti broda uopće.

## LITERATURA

- [1] J. Fatur, Teorija broda, Uredništvo časopisa "Brodogradnja", Zagreb 1954.
- [2] J. Uršić, Stabilitet broda I dio, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 1962.
- [3] I.C. Clark, The Management of Merchant Ship Stability, Trim and Strength, The Nautical Institute, London, 2002.
- [4] D.R. Derett, Ship Stability for Master and Mates, Revised by Barrass, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1999.
- [5] M. Milošević, Nauka o brodu III dio, Pomorska škola Kotor, Kotor 1961.
- [6] R. Mohović, Komparativna analiza poprečne stabilnosti kod brodova različitih tehnologija, Magistarski rad, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka 1995.
- [7] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost kod brodova za prijevoz generalnog tereta, prethodno priopćenje, Pomorski zbornik br. 34, Rijeka 1996.
- [8] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz rasutog tereta, prethodno priopćenje, Pomorski zbornik br. 35, Rijeka 1997.
- [9] R. Mohović, Komparativna analiza utjecaja stupnja nakrcanosti na poprečnu stabilnost brodova za prijevoz kontejnera, prethodno priopćenje, Zbornik radova Pomorskog fakulteta, God. 12, Rijeka 1998.
- [10] P. Komadina, D. Vranić, R. Mohović, Komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova različitih tehnologija u balastu, Pomorstvo, br. 13, Rijeka, 1999.
- [11] R. Mohović, Komparativna analiza poprečne stabilnosti brodova različitih tehnologija za stanje prazan brod, prethodno priopćenje, Pomorstvo, br. 14, Rijeka, 2000.
- [12] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 4. - STABILITET), Hrvatski registar brodova, Split 1999.
- [13] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova (DIO 23. - PRIJEVOZ TERETA), Hrvatski registar brodova, Split 1999.
- [14] 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.
- [15] M/S "KOSTRENA" - Loading Manual and Stability Information, Hashihama shipbuilding Co., Ltd. Tadotsu Shipyard, Hashihama, 1989.
- [16] "MALINSKA" - Trim and Stability Book (Knjiga trimovanja i stabiliteta), 3. Maj Rijeka, Rijeka, 1987.
- [17] "CROATIA EXPRESS" - Stability and Trim Manual with longitudinal Stress Calculation (Knjiga stabiliteta i trima sa uzdužnom čvrstoćom), Uljanik brodogradilište Pula, Pula, 1992.
- [18] M.V. "SUŠAK" - Calculation of Stability and Trim, J.J. Sietas, Schiffswerft, Hamburg, 1977.
- [19] M.S. "CRIKVENICA" - Trim & Stability Book, 3. Maj Rijeka, brodogradilište i tvornica dizel motora, Rijeka, 1972.
- [20] M.S. "PRIMORJE" - Stability information booklet, A/S Naskov Skibsærft, Naskov, 1978.

*Summary***A COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT SHIP'S TECHNOLOGIES ON  
TRANSVERSE STABILITY WHEN THE VESSEL IS FULLY LOADED WITH  
HOMOGENOUS CARGO**

*This paper presents research results of the influence of distinct ship's technologies (bulk carriers, container vessels, general cargo vessels) on the transverse stability of ships in loaded condition with a homogenous cargo. The research work has taken into consideration and systematically examined such parameters as position of the ship's center of gravity, freeboard, draft, hull form and displacement. All these parameters have been observed in interaction in order to make a high-grade analysis and come to well-grounded conclusions. The comparative analysis has been made by studying the righting arm curve and statical stability moment curve for the different technologies of ships in loaded condition with a homogenous cargo according to the observed statistical sample.*

*Key words: transverse stability of ships, safety of navigation, comparative analysis*

*Faculty of Maritime Studies Rijeka  
Studentska 2, 51000 Rijeka  
Croatia*