

Milan Čuvalo \*  
Iva Janjić \*\*

ISSN 0469-6255  
(45-49)

## PREKRCAJ TERETA I OPTIMALIZACIJA KRCANJA BRODA

UDK 656.614.3:681.3.06

Stručni rad

### Sažetak

U članku je opisan program za krcanje broda i kontrolu uzdužne čvrstoće i stabiliteta. Ulazno - izlazni dio programa prilagođen je potrebama na brodu i u brodskom uredu. Program obrađuje prijevoz ovih vrsta tereta: homogenog tereta, rudače, žita i drva u skladištima i na palubi. Rezultati su interpretirani na ekranu grafički i numerički. Za potrebe lučkih vlasti ili ureda brodograditeljske predviđen je kompletni izještaj na printeru.

### U V O D

Provjera stanja pri krcanju broda odnosi se na proračun gazova i trima, smičnih sila, momenata savijanja i obilježja stabiliteta. Izvođenje potrebnih proračuna zamaran je i dugotrajan posao. Tradicionalni način provjere nije mogao biti proveden u potpunosti ni do kraja korektno. Posebno nisu postojale mogućnosti da se razmotre razne varijante krcanja broda, pa ni kontrola međustanja krcanja. Iz navedenih razloga pojavila se potreba izrade odgovarajućih programa i upotrebe računala na brodu. Novoizgrađeni brodovi danas su redovito opremljeni računalom i programskim paketom u kojem je i program za praćenje prijevoza tereta barem u vlasnikovu uredu. Program koji će ovdje biti opisan napravljen je na prijedlog domaćih brodara za prijevoz homogenog tereta, rudače, žita i drva, bilo u skladištima ili na palubi. Brodovi koji prevoze tekući teret (tankeri) mogu biti također uključeni u tu skupinu. Time je obuhvaćena većina potreba prijevoznika.

### ULAZNI PODACI

Dva su tipa ulaznih podataka: promjenljivi i nepromjenljivi podaci. Drugi od njih sastavni su dio izvršne verzije programa, pa su tako zaštićeni od

mogućih nedopuštenih promjena. To su podaci koji definiraju:

- formu broda (površine rebara, oblik krmene i pramčane statve, "S" - krivulje);
- raspored težina praznoga opremljenog broda;
- plan kapaciteta (raspored prostora s odgovarajućim podacima za svaki prostor);
- hidrostatske karakteristike (visina poprečnog metacentra, položaj težišta istisnine i vodne linije po duljini, istisnina, jedinični moment trima);
- značajke krcanja žita (momenti nagibanja žita za poravnato, nedoravnato ili žito u vrećama, odgovarajući volumeni za žito i položaj težišta po visini, dopušteni momenti nagibanja žita);
- ograničenja (dopuštene smične sile i momenti savijanja, dopuštena opterećenja dna i palube, maksimalni gaz i trim, IMO
- zahtjevi za stabilnost);
- ostali eventualno potrebni podaci.

Promjenljive ulazne podatke čine oni o ukrcanim težinama, balasta i zaliha.

### STRUKTURA PROGRAMA

Program je organiziran po sistemu menu-a. Na početku programa korisniku na raspolaganju stoji glavni menu (na vrhu ekrana). Ostali dio ekrana podijeljen je u dva dijela:

1. radni dio
2. dio za rezultate.

U prvom redu ekrana nalaze se opcije glavnog menua: File, Condition, Loading, Calc, Results, Naziv aktualnog stanja i datum. Glavni menu je u svakom trenutku dostupan korisniku.

Navedena stanja krcanja karakteristična su za brod i unaprijed su izvedena, a rezultati su memorirani.

\* dr. Milan Čuvalo, doc.,  
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb  
\*\* Iva Janjić, dipl. inž., asistent,  
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

File Condition Loading Calc Result Lightship

1.1 **File** - opcija za odabir početnog stanja i spremanje/brisanje rezultata

- Load
- New
- Save
- Save As
- Delete
- Quit

1.1.1 **Load** - opcija za izbor početnog stanja krcanja otvara prozor (vidi sliku 1)

	ACTUAL	MAX	TOTAL		
Deadweight	174	42249 [t]	Cargo	0 [t]	Draft Aft 3.19 [m]
Displacement	6679	48754 [t]	Ballast	0 [t]	Draft For 0.57 [m]
Mean Draft	1.00	11.23 [m]	Misc.	0 [t]	Trim 2.62 [m]

1.2.1 **Draft** - izbor oznake nadvođa na kojoj brod plovi (Summer, Tropical, Tropical fresh, Fresh Winter)

1.2.1. **Sea** - izbor područja plovidbe (Sea going, Harbour)

1.2.3. **Sea density** - izbor specifične okolne vode:

Mogućnost izbora:

- 1 000 t/m<sup>3</sup>
- 1 025 t/m<sup>3</sup>
- 1 026 t/m<sup>3</sup>
- custom

1.3. **Loading** - krcanje broda

- Cargo
- Ballast
- Miscellaneous
- Constant weight

1.3.1. **Cargo** - izbor vrste tereta:

- Homogeneous
- Ore
- Grain
- Lumber

Slika 1. Tablica postojećih stanja krcanja

1.1.2. **New** - opcija za kreaciju novog stanja krcanja. Njezino značenje jednako je onome pod 1.1.1, s tim što je u ovom slučaju početno stanje lagani brod s konstantnim

1.1.3. **Save** - opcija za spremanje rezultata i pripadajućih podataka o krcanju

1.1.4. **Save as** - jednako kao pod 1.1.3, uz promjenu imena stanja

1.1.5. **Delete** - opcija za brisanje suvišnih stanja

1.1.6. **Quit** - izlazak iz programa

1.2. **Condition** - izbor uvjeta plovidbe

- Draft
- Sea
- Sea density

	ACTUAL	MAX	TOTAL		
Deadweight	174	42249 [t]	Cargo	0 [t]	Draft Aft 3.19 [m]
Displacement	6679	48754 [t]	Ballast	0 [t]	Draft For 0.57 [m]
Mean Draft	1.00	11.23 [m]	Misc.	0 [t]	Trim 2.62 [m]

Slika 2. Tablica za krcanje tereta



- 1.3.2. **Ballast** - unos podataka o ukrcanim težinama balasta (vidi sliku 3)

File Condition Loading Calc Result LS+174 11: 1:1991

Ballast Tanks					
COMPARTMENT	Density t/m <sup>3</sup>	Weight t	Free Surf. t <sub>0</sub>	MAX WEIGHT t	FILL %
FORE PEAK TANK	1.025	---	---	861	---
N01 W.B TANK P	1.025	---	---	1590	---
N01 W.B TANK S	1.025	---	---	1590	---
N02 W.B TANK P	1.025	---	---	530	---
N02 W.B TANK S	1.025	---	---	531	---
N03 W.B TANK P	1.025	---	---	1276	---
N03 W.B TANK S	1.025	---	---	1276	---
N01 TOP SIDE TANK P	1.025	---	---	925	---
N01 TOP SIDE TANK S	1.025	---	---	925	---
N02 TOP SIDE TANK P	1.025	---	---	539	---
N02 TOP SIDE TANK S	1.025	---	---	539	---
N03 TOP SIDE TANK P	1.025	---	---	977	---
N03 TOP SIDE TANK S	1.025	---	---	977	---
AFT PEAK TANK	1.025	---	---	561	---

	ACTUAL	MAX	TOTAL		
Deadweight	174	42249 [t]	Cargo	0 [t]	Draft Aft 3.19 [m]
Displacement	6679	48754 [t]	Ballast	0 [t]	Draft For 0.57 [m]
Mean Draft	1.08	11.23 [m]	Misc.	0 [t]	Trim 2.62 [m]

Slika 3. Tablica za krcanje balasta

- 1.3.3. **Miscellaneous** - unos podataka o ukrcanim težinama zaliha. Otvara se tablica slična onoj za teret ili balast u koju ulaze podaci o ukrcanim težinama zaliha.

- 1.3.4. **Constant weight** - odabir konstantne težine

Mogućnost izbora:

0 t
174 t

- 1.4. **Calc** - proračun

Trim All
----------

- 1.4.1. **Trim** - proračun gazova i trima (samo)

- 1.4.2. **All** - proračun gazova, trima, stabiliteta

- 1.5. **Result** - prikaz rezultata proračuna

Screen Table
Screen Graphic
Print Table

- 1.5.1. **Screen Table** - prikaz rezultata na ekranu tablično i histogramom

Mogućnost izbora:

Stress Stability	uzdužna čvrstoća stabilitet
------------------	-----------------------------

- 1.5.2. **Screen Graphic** - grafički prikaz rezultata na ekranu:

Mogućnost izbora:

Stress Stability
------------------

- 1.5.3. **Print Table** - ispis rezultata na papir

Mogućnost izbora:

Stress Stability Loading
--------------------------

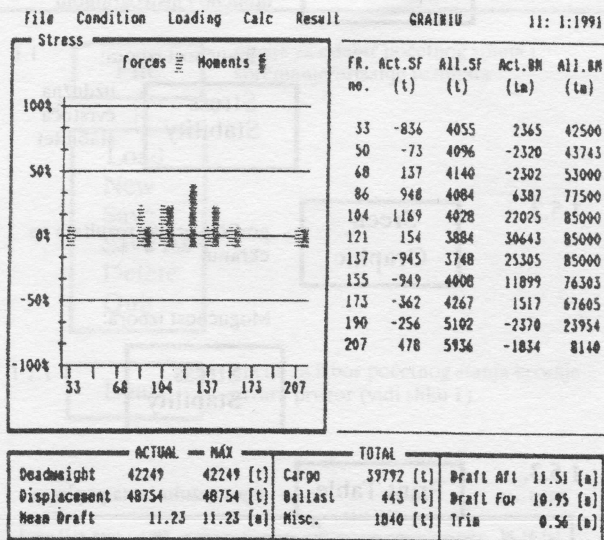
Iz File Menu-a odabire se stanje koje može poslužiti za kreiranje novog stanja ili za pokazivanje rezultata memoriranog stanja. Kad je stanje odabrano, na ekranu se ispisuju rezultati proračuna čvrstoće, stabiliteta i gazova odabranog stanja. Ako se želi kreirati novo stanje krcanja promjenom postojećega, treba promijeniti ulazne podatke koristeći se opcijom Condition i Loading glavnog menija.

## PRORAČUN

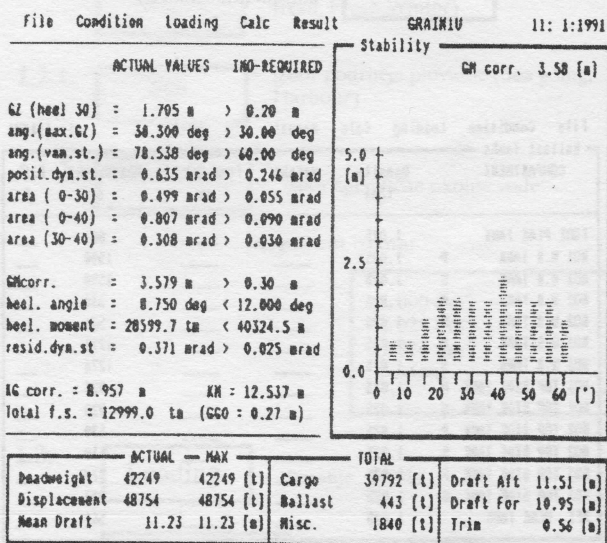
Kontrolu gazova, trima, čvrstoće i stabiliteta moguće je provesti u bilo kojem trenutku krcanja broda (za kontrolu međustanja ili definitivnog stanja natovarenosti broda). Aktivirajući opciju Calc korisnik može birati proračun samo gazova i trima ili kompletan proračun čvrstoće i stabiliteta. Mogućnost proračuna samo gazova i trima olakšava korisniku dovođenje broda na zahtijevanu vodnu liniju.

Iterativnim postupkom iz podataka o površinama rebara integracijom se računa istisnina i položaj njezina težišta po duljini. Rezultati se uspoređuju sa sumom težina i položajem njihova težišta po duljini dok brod ne zauzme ravnotežni položaj. Smične sile i momenti savijanja određuju se klasičnom metodom integracije krivulje opterećenja broda, odnosno krivulje smičnih sila. Za alternativno krcanje broda (rudača) provodi se korekcija smičnih sila na pregradama skladišta. Predviđena je mogućnost računanja elastične linije broda i odgovarajuće korekcije gazova za stvarni progib broda.

Proračun stabiliteta uključuje proračun metacentarske visine, krivulje poluga statičkog stabiliteta i obilježja dinamičkog stabiliteta prema zahtjevima IMO - propisa i preporukama. Posebna pažnja posvećena je stabilitetu kod prijevoza žita prema IMO propisima i konvenciji SOLAS.



Slika 4. Rezultati proračuna čvrstoće



Slika 5. Rezultati proračuna stabiliteta

REZULTATI

Prikaz rezultata proračuna predviđen je u dva nivoa: na ekranu i izvještaj na papiru. Postoje tri grupe rezultata:

- ispod radnog dijela ekrana su rezultirajući gazovi, trim, istisnina, nosivost, težina ukrcanog tereta, balasta i zaliha koji se ažuriraju nakon svake ukrcane težine;
- rezultati proračuna čvrstoće i stabiliteta pohranjeni su u me moriji računala i dostupni su aktiviranjem odgovarajuće opcije.

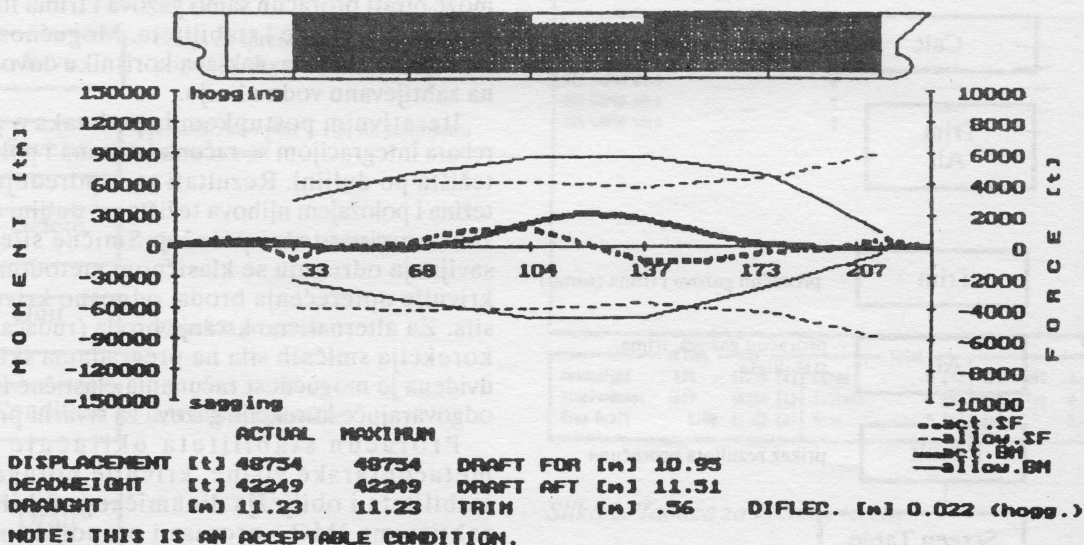
Smične sile i momenti savijanja prikazani su histogramima u po stotku dopuštenih vrijednosti te tablično s apsolutnim vrijednostima, stvarnim i dopuštenim, na karakterističnim presjecima broda. Ukoliko je došlo do prekoračenja dopuštenih vrijednosti smičnih sila i/ili

momenata savijanja, odgovarajuće je signali zirano (vidi sliku 4);

- rezultati proračuna stabiliteta prikazani su histogramom i tablično sa stvarnim i graničnim karakterističnim vrijednostima. Ako nije udovoljeno bilo kojem uvjetu za stabilitet, korisnik će dobiti odgovarajuću poruku (vidi sliku 5).

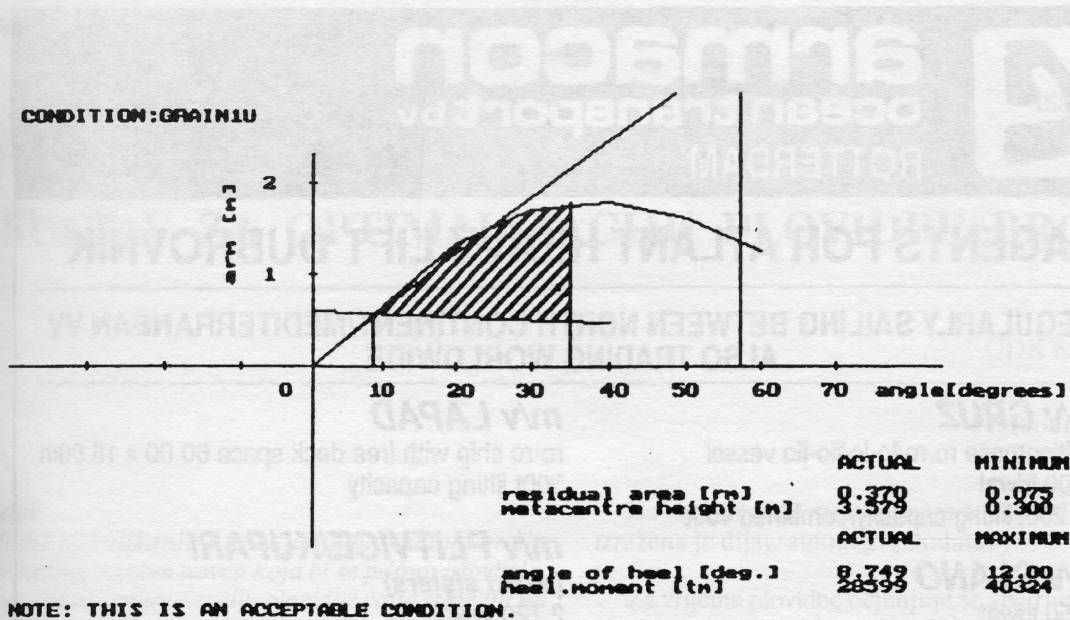
Osim spomenutih izvještaja o rezultatima proračuna korisnik ima na raspolaganju i njihovu grafičku in-pretaciju. Ispod siluete broda s prikazom popunjenosti teretnih prostora, nacrtane su krivulje stvarnih i dopuštenih vrijednosti smičnih sila i momenata savijanja. Grafički prikaz rezultata stabiliteta sadrži krivulju poluga statičkog stabiliteta i ostale najznačajnije podatke o stabilitetu broda dotičnog stanja nakrcanosti (vidi slike 6. i 7).

CONDITION:GRAINIU



Slika 6. Grafički prikaz rezultata čvrstoće





Slika 7. Grafički prikaz rezultata stabiliteta

## ZAKLJUČAK

Program je razvijen kao zamjena za mukotrpane i dugotrajne ručne proračune u projektnim uredima brodogradilišta i na brodovima. Daljnji je cilj optimalizacija iskorištenja broda u razdoblju projektiranja i u eksploataciji. Funkcija cilja u optimalizaciji krcanja broda je smanjeno naprezanje konstrukcije, smanjena količina balasta i njegov optimalan smještaj, postizanje optimalnog trima broda, smanjeno vrijeme potrebno za prekrcaj tereta itd. Postizanje optimalnih rješenja pri krcanju broda nemoguće je ostvariti bez jednog programa kakav je za primjer ovdje opisan. Nakon testiranja programa, krcanjem svih predviđenih vrsta tereta, dobiveni rezultati, uspoređeni s knjigom trima i stabiliteta, u potpunosti su zadovoljavali. Program je priređen za osam brodova domaćih brodovlasnika i instaliran je u uredima i na brodovima uz odobrenje klasifikacijskog zavoda. Prema povratnim informacijama s brodova i iz ureda može se konstatirati da je želji korisnika u potpunosti udovoljeno. Posebno je istaknuta jednostavnost upotrebe, velik broj mogućnosti preglednosti kod manipuliranja teretima te preglednost i cjelovitost rezultata proračuna. Modificiran oblik programa uspješan je u procesu osnivanja broda. Izrada uobičajene knjige trima i stabiliteta u projektnim uredima na osnovi ovog programa znatno će pojednostavniti i cijeli će postupak ubrzati. U toku je razvijanje programa za brodove s drugom vrstom tereta i za brodove koji prevoze kontejnere.

## Napomena:

Osnova ovog programa razvijena je prije 15 godina na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu za inozemnog naručioca na čijim brodovima je program bio instaliran i korišten dulji niz godina.

U proteklim godinama, za potrebe brodarstva razvijeni su moderni programi koji su, sa modernom kompjuterskom opremom, ugrađeni na brodove. Takve programe i opremu kupuju i naši brodari kod svjetski poznatih proizvođača. Analizom postojećih programa došlo se do zaključka da je to višestruko korisno kako za brodarku tako i za brodograđevnu znanost. Ovdje opisani program je jedan u nizu modernih programa za korištenje broda.

## CARGO LOADING - UNLOADING WITH OPTIMIZATION OF SHIP LOADING

### Summary

In this paper computer's program for loading - unloading and stress and stability control is described. Input - output is adjusted to use on ship and in ship office. The program is made to operate with few cargo types: homogeneous, ore, grain and lumber cargo in holds and on deck. Graphical and numerical results presentation is used on the screen. Complete report on the paper is provided for Port Authority and shipowner's office by printer.

Rukopis primljen: 25.09.1991.