

**Dr. sc. Renato Ivče**  
**Dr. sc. Robert Mohović**  
**Mr. sc. Irena Jurdana**  
Sveučilište u Rijeci  
Pomorski fakultet u Rijeci  
Studentska 2  
51000 Rijeka

**Pregledni članak**  
UDK: 629.5.063  
681.586.5  
Primljeno: 1. studenoga 2009.  
Prihvaćeno: 29. studenoga 2009.

## **METODE I ANALIZA MJERNIH POSTUPAKA ZA ODREĐIVANJE RAZINE TEKUĆINE U BRODSKIM TANKOVIMA I STONOVIMA**

*Brod se komercijalno iskorištava s različitom popunjenošću kapaciteta i s različitim količinama tekućina u prostorima tankova. Određivanje poprečne i uzdužne stabilnosti te proračun nosivosti ovise o točnosti određivanja količine tekućine koja može varirati zbog sistematskih i slučajnih pogrešaka, pa je stoga potrebno izbjeći pogrešku pri utvrđivanju količine tekućine u tanku. Uobičajeno se balast, slatka voda, te tekućine u prostorima stonova određuju sondiranjem ili utvrđuje preljevom preko odušnika tanka u slučaju punog tanka. U radu je izvedena analiza pogreške očitavanja tekućine na količinu balasta, slatke vode, tekućine u stonovima, kao i utjecaj količine tekućine na sustavno težište broda. Zbog svojih prednosti svjetlovodna tehnologija se sugerira kao opcija očitavanja razine tekućine u tankovima i stonovima. Autori predlažu postavljanje optičkih senzora za mjerenje razine tekućine u prednji i stražnji dio svakog tanka.*

***Ključne riječi:** razina tekućine, brodski tankovi i stonovi, pogreška očitavanja razine tekućine, svjetlovodna tehnologija, optički senzori za mjerenje razine tekućine*

### **1. UVOD**

Obim prijevoza masovnih tereta, tekućih i suhih, brodovima velikog kapaciteta, značajno se povećava početkom ovoga stoljeća. Pored zahtijevane točnosti u određivanju mase samog tereta, bilo suhog ili tekućeg, značajno je precizno odrediti masu goriva (pogonskog i za pomoćne motore), balasta, vode (tehničke i pitke), kao i masu tekućine u brodskim stonovima. Sve nabrojene mase uvrštene su u ukupnu nosivost broda<sup>1</sup> koja se razlučuje na korisnu i posrednu nosivost.

<sup>1</sup> Pod ukupnom nosivosti se podrazumijeva masa koju brod može ukrcati od lake do teretne vodene linije.

Korisna nosivost broda podrazumijeva masu tereta za koju brod dobiva naknadu (vozarinu). Kod brodova za prijevoz tekućeg tereta označava masu tekućine koju brod prevozi u brodskim tankovima, dok je kod suhih tereta izražena masom tereta koju brod u pravilu prevozi u skladišnim prostorima te na palubi. Masa tekućeg tereta koja se prevozi brodom određuje se u brodskim tankovima u luci ukrcaja kao i u luci iskrcaja. Određivanje mase suhih tereta se razlikuje s obzirom na vrstu tereta. Masa generalnog tereta se uobičajeno utvrđuje vaganjem koleta prije ukrcaja na brod, a u manjem broju slučajeva nakon iskrcaja s broda. Masa rasutog tereta se može odrediti prije prihvata na brod, odnosno na samom brodu. Prije ukrcaja na brod, odnosno nakon iskrcaja s broda masa tereta se određuje korištenjem obalnih vaga koje se razlikuju prema svojoj izvedbi. Masa tereta na samom brodu se u pravilu utvrđuje primjenom metode određivanja količine tereta uz pomoć gaza (*engl. draft survey*) [1].

Posredna nosivost<sup>2</sup> obuhvaća sve one mase koje su uvrštene u ukupnu nosivost, a za koje brod ne dobiva naknadu. Pojedine mase posredne nosivosti su neophodne za uspješno odvijanje pomorsko plovidbenog procesa.

Masa tekućeg tereta u brodskim tankovima tankera se u pravilu određuje na osnovi mjerenja razine tekućine<sup>3</sup> u tanku, te utvrđena posredna nosivost nema nikakvog utjecaja na određivanje mase tereta. Primjena metode određivanja mase tereta uz pomoć gaza iziskuje poznavanje vrijednosti posredne nosivosti. Stoga i pogreške u određivanju vrijednosti mase tekućina uključenih u posrednu nosivost mogu izravno utjecati na pogrešku u određivanju mase tereta. U slučaju kada je metoda određivanja mase tereta uz pomoć gaza zasnovana na razlici deplasmana prije i nakon izvedenih prekrcajnih operacija broda pogreške učinjene u određivanju masa posredne nosivosti koje se tijekom prekrcajnih operacija ne mijenjaju nemaju utjecaja na točnost u određivanju mase tereta. Pogreške u određivanju mase posredne nosivosti koje su bile izložene promjeni tijekom prekrcajnih operacija (masa tehničke i pitke vode, goriva glavnog i pomoćnih motora) su manje značajne jer se pored očitavanja mogu kontrolirati i temeljem prosječne potrošnje.

Kako bi se i kod određivanja mase vodenog balasta pogreške svele na najmanju moguću mjeru uobičajeno se balastni tankovi pune do vrha (kontrola tlačnim preljevom preko odušnika balasta) ili su tankovi potpuno prazni. Kod djelomičnog prekrcaja tereta postoji mogućnost da masa balastne vode ostaje nepromijenjena. U tom slučaju i moguća pogreška učinjena tijekom određivanja deplasmana prije izvedenih prekrcajnih operacija nema utjecaja pri određivanju mase prekrcanog tereta. Međutim, u određenim slučajevima se zbog održavanja potrebne stabilnosti, trima i nagiba broda zahtijeva djelomično ispunjavanje brodskih balastnih tankova,

---

<sup>2</sup> Posredna nosivost pored ostalih masa obuhvaća sljedeće tekućine: balast, pogonsko gorivo, te gorivo za pomoćne motore, pitku i tehničku vodu, vodu u brodskim stonovima, te ostale neimenovalane tekućine.

<sup>3</sup> U pravilu se razina tekućeg tereta, kao i pogonskog goriva određuje mjerenjem visine od razine tekućine do vrha tanka, odnosno „nule“ na sondi (*engl. ullage survey*)

što iziskuje posebnu preciznost u određivanju količine, odnosno mase tekućine, jer izravno utječe na pogrešku u određivanju mase tereta.

Također, kod primjene pojedinih podvarijanti metode određivanja mase tereta uz pomoć gaza koje ne polaze od deplasmana određenog prije izvedenih prekrcajnih operacija uvećava se mogućnost utjecaja pogrešaka posredne nosivosti broda. Učinjena pogreška u određivanju posredne nosivosti se u potpunosti odražava na točnost u određivanju mase tereta.

Pogreške u određivanju količine tekućine u teretnim prostorima broda za prijevoz tekućih tereta, te tekućina obuhvaćenih u posrednu nosivost povlače za sobom negativni financijski učinak za brodaru i/ili određenog korisnika uključenog u pomorsko-prijevozni proces (najčešće krcatelja ili primatelja).

U ovom radu analiziraju se postojeće metode utvrđivanja količine balasta i ostalih tekućina u brodskim tankovima i stonovima, a zatim se razmatra mogućnost očitavanja razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima primjenom svjetlovodne tehnologije. Metoda očitavanja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije predstavlja idejno rješenje autora ovog članka u iznalaženju modela kontinuiranog praćenja razine tekućine u brodskim prostorima.

Svjetlovodna tehnologija je zbog svojih prednosti u prijenosu podataka i jednostavnosti izvedbe nad klasičnim tehnologijama prijenosa informacija u proteklih dva desetljeća potpuno prevladala na području telekomunikacijskih i računalnih mreža. Osim u komunikacijskim sustavima svjetlovodi su se počeli primjenjivati i kao senzori za razne neelektrične i električne veličine. U oba slučaja njihove vrlo male dimenzije, jednostavno instaliranje, neosjetljivost na vanjske elektromagnetske utjecaje, veliki prijenosni kapacitet te dobra pouzdanost opravdavaju ugradnju svjetlovodnih mreža i senzora u zahtjevnim okolišima kao što su brodovi. U ovom radu opisana je mogućnosti ugradnje i korištenja optičkih senzora pri mjerenju razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima.

## **2. ODEREĐIVANJE KOLIČINE TEKUĆINE U BRODSKIM TANKOVIMA I STONOVIMA**

Izvođenje pomorsko-plovidbenog putovanja trgovačkog broda na siguran način zahtijeva da brod u svojim tankovima ima različitu količinu balasta i vode koja može varirati od stanja punog tanka do praznog tanka, ovisno o segmentu putovanja. Količina balasta, kao i količina pitke te tehničke vode mora omogućiti nesmetano odvijanje putovanja broda. Pojava tekućine u brodskim stonovima može ukazivati na moguća oštećenja brodske konstrukcije, ili na odvijanje procesa kondenzacije koji svojim djelovanjem može oštetiti brodski teret.

## 2.1. Određivanje količine vodenog balasta u balastnim tankovima

Potrebna količina balasta uvjetovana je prvenstveno postizanju potrebnih maritimnih i prekrajnih obilježja broda u određenim segmentima pomorsko-plovidbenog putovanja broda. Brod u svojim tankovima mora imati najmanje minimalnu količinu balasta koja će omogućiti postizanje odgovarajućih svojstava broda. Minimalna količina stoga je uvjetovana potrebnom poprečnom stabilnošću, trimom i gazom broda, minimalnom uronjenošću brodskog vijka i lista kormila te pramca. Brod u svim segmentima plovidbe mora posjedovati zadovoljavajuću poprečnu stabilnost. Brodski vijak tijekom plovidbe mora biti dovoljno uronjen, dok uronjenost pramčanog dijela, kao uostalom i čitavog trupa mora spriječiti moguća strukturalna oštećenja i smanjiti površinu broda izloženu vjetru. Kod brodova s nadgrađem na krmenom dijelu pojavljuje se znatan trim po krmi (zatežan brod) za stanje prazan brod te se vodeni balast najvećim djelom krca u tankove koji se nalaze ispred težišta vodene plovne linije. Minimalni gaz najčešće je uvjetovan postizanjem odgovarajuće poprečne stabilnosti broda<sup>4</sup>, trimom te zahtjevima za postizanjem zadovoljavajuće upravljivosti broda i može se, kao na primjer kod tankera, odrediti sljedećim izrazom:

$$T_s = 0,02 \cdot L_{pp} + 2,0 \text{ m},$$

gdje je:

$T_s$  - minimalni srednji gaz [m]

$L_{pp}$  - duljina između okomica [m].

Polazeći od minimalnog srednjeg gaza iz tablice s hidrostatskim podacima broda moguće je odrediti deplasman, te ukupnu nosivost broda. Razlučujući segmente posredne nosivosti dolazi se do podatka o masi potrebnog balasta za određeno putovanje.

Kapacitet balastnih tankova značajno može varirati prvenstveno ovisno o vrsti i veličini broda. Sagledavajući omjere ukupnog kapaciteta balastnih tankova i nosivosti trgovačkih brodova najveću količinu balasta tijekom putovanja u balastu za dobrih vremenskih uvjeta krcaju tankeri s jednostrukom oplatom i ona može iznositi i iznad 40% ukupne nosivosti, iznimno za brodove koji prevoze ukapljene plinove ona iznosi i do 60% ukupne nosivosti. Kod brodova za prijevoz generalnog tereta iznosi od 35% do 40%, dok za brodove za prijevoz rasutog tereta količina vodenog balasta varira od 30% do 40% ukupne nosivosti. Za tankere s dvostrukom oplatom i brodove za prijevoz kontejnera ta vrijednost je niža i iznosi približno 30% ukupne nosivosti. Također je potrebno napomenuti da brod u slučaju nepovoljnih vremenskih prilika krca dodatnu količinu balasta, najčešće popunjava sve raspoložive balastne tankove vodeći

---

<sup>4</sup> U nekim slučajevima se i određeni skladišni prostori mogu napuniti vodenim balastom kako bi se postigla zadovoljavajuća stabilnost i poboljšala upravljivost brodom, što je od izuzetnog značaja u slučaju nevremena (engl. heavy ballast).

računa o trimu i stabilnosti, a kod brodova za prijevoz rasutih tereta za krcanje vodenog balasta predviđen je i određeni skladišni prostor.

Podatak o količini vodenog balasta u pojedinom balastnom tanku značajan je kako bi se u svim segmentima putovanja mogla utvrditi maritimna i prekrcajna svojstva broda. Za utvrđivanje količine vodenog balasta potrebno je najprije odrediti razinu tekućine u tanku koja se mjeri korištenjem kalibrirane čelične trake s utegom (traka za sondiranje). Mjerenje razine tekućine u balastnom tanku izvodi se u cijevi za sondiranje koja se pruža od dna balastnog tanka do palube gdje se mjerenje izvodi. Tijekom ispuštanja trake za sondiranje u cijev za sondiranje ona se u području očekivane razine tekućine premažuje s pastom<sup>5</sup>. Kada je očitavanje neophodno izvoditi tijekom posrtanja i valjanja broda preporučljivo je uzastopno izvoditi veći broj mjerenja te približnu razinu tekućine odrediti kao aritmetičku sredinu. Utvrđenom razinom tekućine se iz tablica balastnih tankova očitava volumen tekućine uzimajući pritom u obzir potrebnu korekciju za trim i/ili bočni nagib broda. Na osnovi volumena tekućine, količina balasta utvrđuje se korištenjem sljedećeg izraza:

$$Q = V \cdot \rho,$$

gdje je:

- $Q$  - količina vodenog balasta u tanku [t]
- $V$  - volumen vodenog balasta u tanku [m<sup>3</sup>]
- $\rho$  - gustoća balasta [t/m<sup>3</sup>].

Mjerenje balasta se po brodskim uzancama izvodi tijekom jutra, uobičajeno do osam sati lokalnog vremena, te obvezno tijekom prekrcaja balasta i u slučaju bilo kakvog izvanrednog događaja na brodu koji je mogao utjecati na promjenu razine balasta u balastnom tanku. Valja također napomenuti da je brod, kako bi se iskrcajem brodskih balastnih voda i sedimenata spriječio unos neželjenih organizama i patogena u obalni akvatorij, dužan slijediti pravnu regulativu kojom se propisuje način izmjene vodenog balasta.

## 2.2. Određivanje količine pitke i tehničke vode

Pitka i tehnička voda se ubrajaju u posrednu nosivost broda i neophodne su za nesmetano odvijanje pomorskog putovanja. Potrebna količina vode uvjetovana je prvenstveno duljinom putovanja između dviju luka u kojima se brod opskrbljuje vodom, vrstom i veličinom pogonskog sustava broda, te brojem članova posade. Na brodu bi morala biti dostatna količina vode koja omogućava zadovoljenje svih potreba između dvije opskrbenne luke te dodatna količina određena zonskim dodatkom<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Pasta reagira na vodu mijenjajući boju što omogućava lakše utvrđivanje razine tekućine u tanku.

<sup>6</sup> U ljetnoj zoni uzima se zaliha vode i goriva za jedan dan na pet dana plovidbe, dok u zimskoj zoni jedan dan zaliha na tri dana plovidbe.

Brodski evaporator<sup>7</sup> tijekom plovidbe može proizvesti određenu količinu vode, ovisno o njegovom kapacitetu i stupnju održavanja. Vrsta i veličina broskog pogona uvjetuju potrebu za većom, odnosno manjom količinom tehničke vode koja omogućava nesmetan rad pogonskog sustava broda. Pored vode za piće, koja se danas na brodovima za tu namjenu rijetko koristi iz brodskih tankova, značajna količina vode se troši za potrebe posade. Voda se pohranjuje u posebnim tankovima vode koji su u pravilu smješteni na krmenom dijelu broda.

Razina tekućine u tankovima vode se mjeri korištenjem kalibrirane čelične trake s utegom (traka za sondiranje) koja se koristi isključivo za tu namjenu. Mjerenje razine vode u tanku vode se izvodi u cijevi za sondiranje koja se pruža od dna tanka do palube gdje se mjerenje izvodi, obično krmena paluba. Traka za sondiranje se tijekom ispuštanja u cijev za sondiranje premazuje pastom u području očekivane razine tekućine. Iz tablica tankova vode se izravno očitava masa polazeći od razine vode u tanku, uzimajući pritom u obzir potrebne korekcije za trim broda i/ili bočni nagib broda.

Mjerenje razine u tankovima vode se po brodskim uzancama izvodi tijekom jutra, uobičajeno kada i mjerenje razine balasta, te nakon dopune vode u luci i u slučaju bilo kojeg izvanrednog događaja na brodu koji je mogao utjecati na promjenu razine vode u tanku.

### **2.3. Određivanje količine tekućine u brodskim stonovima**

Tekućina koja se iz bilo kojeg razloga pojavi u brodskim skladišnim prostorima sliva se u brodske stonove odakle se pomoću kaljužnog sustava može izbaciti izvan broda ili pohraniti u određene tankove, ovisno o sastavu tekućine.

Razina tekućine se mjeri u cijevima za sondiranje brodskih stonova koje se pružaju od dna stona do palube na kojoj se izvodi mjerenje razine tekućine (sondiranje). Za mjerenje razine tekućine u brodskim stonovima se uobičajeno koristi sonda kojom se izvodi sondiranje tankova balasta. Postupci mjerenja razine tekućina su identični kao i za tankove balasta. Količina tekućine u brodskim stonovima se očitava iz tablica stonova, a kao ulazni argument služi izmjerena razina tekućine [6].

Redovito mjerenje razine tekućine u stonovima se izvodi tijekom jutra, u pravilu kad i mjerenje razine balasta. Posebna važnost se pridaje mjerenju razine tekućine u stonovima u slučaju bilo kojeg izvanrednog događaja.

---

<sup>7</sup> Procesom reverzibilne osmoze iz morske vode proizvodi slatku vodu čije onečišćenje ne prelazi 5 ppm.

### 3. ANALIZA UČINKOVITOSTI ODREĐIVANJA KOLIČINE TEKUĆINE U TANKOVIMA BALASTA, SLATKE VODE I BRODSKIM STONOVIMA

U ovome radu će se između različitih utjecajnih čimbenika na sustavne i slučajne pogreške tijekom određivanja količine tekućine u tankovima balasta i vode te u brodskim stonovima, analizirati učinkovitost mjerenja razine tekućine sondiranjem. Utvrđivanje maritimnih i prekrcajnih obilježja broda tijekom odvijanja pomorsko plovidbenog procesa pored ostalog je uvjetovano poznavanjem razine tekućine u razmatranim tankovima. Prekrcaj balasta se izvodi tijekom ukrcaja ili iskrcaja broda, tijekom izmjene balasta uvjetovanom pravnom regulativom, te poboljšanja maritimnih obilježja broda u slučaju nevremena. U radu se ukazuje na utjecaj pogreške u očitavanju razine tekućine u tankovima i stonovima.

Količina balasta, a u manjoj mjeri i vode, izravno utječe na stabilnost broda, bilo da se razmatra kao ukrcana/iskrcana masa ili uslijed utjecaja slobodnih površina tekućine koje se pojavljuju kod djelomično ispunjenih tankova. Kapaciteti stonova su relativno mali stoga je njihov učinak na stabilnost broda zanemariv.

Mjerenje razine tekućina u tankovima podložno je pojavi pogreške očitavanja koja može biti uzrokovana propustom dužne pažnje tijekom očitavanja ili zbog objektivnih okolnosti koje u konačnici utječu na prikazanu razinu tekućine.

Pri analiziranju utjecaja pogreške pri mjerenju razine tekućine u tanku korišteni su podaci iz tablica tankova i stonova manjeg višenamjenskog broda sljedećih obilježja.

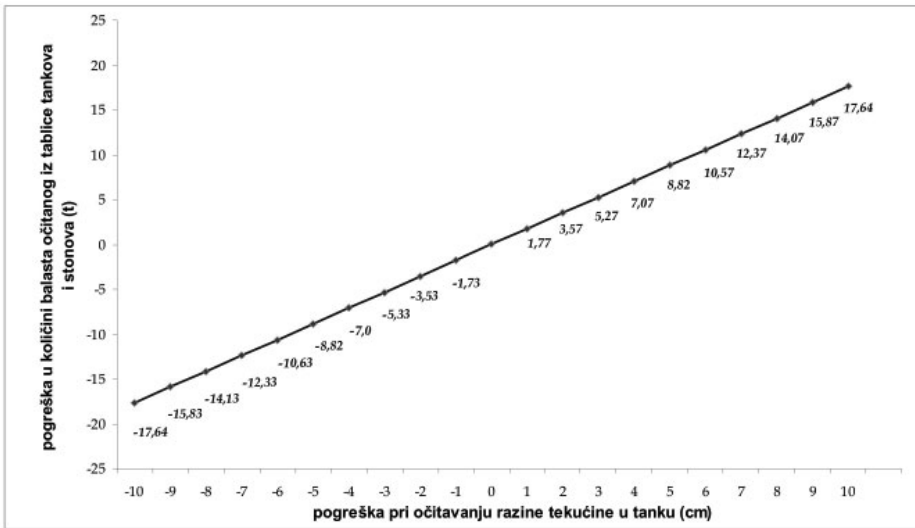
*Tablica 1. Osnovna obilježja broda*  
*Table 1. Ship's main particulars*

Duljina preko svega [m]	99,60
Duljina između okomica [m]	93,00
Širina [m]	19,5
Gaz na ljetnoj oznaci nadvođa [m]	6,163
Nosivost za ljetno nadvođe [t]	5896
Kapacitet balastnih tankova [m <sup>3</sup> ]	2313,5
Kapacitet tankova goriva [m <sup>3</sup> ]	424,8
Kapacitet tankova vode [m <sup>3</sup> ]	108,4

Ukupan kapacitet balastnih tankova iznosi 2313,5 m<sup>3</sup> što omogućuje prihvat 2371,3 t vodenog balasta gustoće  $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ . U radu se razmatra učinak pogreške u očitavanju razine vodenog balasta najvećeg tanka kapaciteta

271,9 m<sup>3</sup> (tank dvodna br. 2, centar). Odabrani balastni tank je najveći po svojoj zapremini, s približno 12 % udjela u ukupnom kapacitetu balastnih tankova razmatranog broda. Pretpostavljena razina vodenog balasta u tanku pri trimu broda  $tu = 0$  (brod na ravnoj kobilici) iznosi 145 cm što odgovara količini vodenog balasta od 258,43 t za vodu gustoće  $\rho = 1,025 \text{ t/m}^3$ .

Pretpostavljena pogreška u očitavanju razine balasta razmatrat će se u rasponu vrijednosti od -10 cm do +10 cm za veličinu promjene od 1 cm. Raspon pretpostavljene pogreške je odabran na osnovi iskustvenih spoznaja, polazeći od nepovoljnih uvjeta koji mogu izravno i neizravno utjecati na očitavanje razine tekućine u tanku. U daljnjem dijelu rada analizirat će se utjecaj pretpostavljene pogreške na količinu vodenog balasta te utjecaj na promjenu visine sustavnog težišta broda. Rezultati provedene analize utjecaja pretpostavljene pogreške očitavanja na količinu vodenog balasta prikazani su na slici 1.



*Slika 1. Utjecaj pretpostavljene pogreške u očitavanju razine tekućine na količinu vodenog balasta (tank vodenog balasta br. 2, centar)*

*Figure 1. Influence of presumed level liquid reading on water ballast quantity (water ballast tank No. 2 center)*

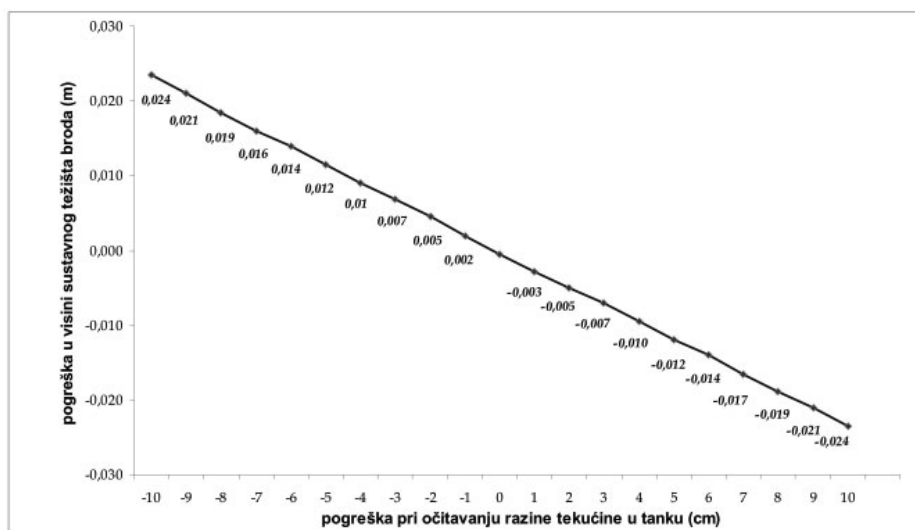
Izvor: Izradili autori

Analizirajući dobivene rezultate prikazane na slici 1. može se uočiti linearni trend porasta pogreške vrijednosti količine balasta u tanku dvodna br. 2, centar s povećanjem pogreške u očitavanju razine vodenog balasta. Pogreške su moguće prilikom očitavanja razine tekućine i drugih tankova iz čega proizlazi da bi ukupna vrijednost u pogreški količine tekućina predstavljala kumu-



lativni zbroj pojedinačnih vrijednosti pogrešaka u količini tekućine svakog pojedinog tanka. Ukupna vrijednost pogreške će biti izraženija u slučaju bočnog nagiba i značajnijeg trima broda. Pri utvrđivanju količine tereta uz pomoć gaza, pogreška u količini tekućine izravno utječe na stvarnu količinu tereta na brodu [5].

Količina tekućine u tankovima izravno utječe na visinu sustavnog težišta broda. Iz čega proizlazi da pogreška u količini tekućine utječe na preciznost u određivanju visine sustavnog težišta broda. Na slici 2. prikazani su rezultati provedene analize neizravnog utjecaja pogreške u očitavanju razine tekućine tanka dvodna br. 2, centar na vrijednost pogreške u visini sustavnog težišta.



*Slika 2. Neizravni utjecaj pogreške u očitavanju razine tekućine na vrijednost pogreške u visini sustavnog težišta (tank dvodna br. 2, centar)*

*Figure 2. Indirect influence of liquid level reading error on ship's vertical center of gravity height error (DBT No 2, center)*

Izvor: Izradili autori

Pretpostavljena pogreška u očitavanju razine tekućine za razmatrani tank, iz koje proizlazi da je u tanku manja količina vodenog balasta od stvarne, uvjetuje prividno povećanje u visini sustavnog težišta. Prividno veća količina vodenog balasta na osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine, uvjetuje smanjenje visine sustavnog težišta. Povećanje visine sustavnog težišta, u ovom slučaju uvjetovano manjom količinom balasta, u konačnici se očituje prividnim smanjenjem poprečne stabilnosti broda. Općenito za sve tankove čije se težište nalazi ispod sustavnog težišta broda prividno veća količina tekućine na

osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine, uvjetuje prividno smanjenje visine sustavnog težišta broda. Kod tankova čije se težište nalazi iznad točke sustavnog težišta broda, prividno veća količina tekućine na osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine, uvjetuje prividno povećanje visine sustavnog težišta broda. Prividno manja količina tekućine u tankovima na osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine tekućine će ovisno o smještaju težišta tanka imati suprotan učinak na promjenu visine sustavnog težišta broda od prethodno opisanog. Na slici 2. je vrijednost promjene u visini sustavnog težišta relativno mala. Međutim, valja napomenuti da bi moguće pogreške u određivanju mase tekućine ostalih tankova također imale utjecaj na visinu sustavnog težišta broda uzrokujući pritom njegovu značajniju promjenu.

Objektivne okolnosti koje mogu uzrokovati promjenu razine tekućine u tankovima i stonovima mogu biti različite po svom načinu nastanka. One se mogu neopaženo pojaviti između dva mjerenja koja se uobičajeno izvode na brodu, a njihove posljedice mogu ugroziti sigurnost broda. Najčešće se pojavljuju uslijed propusta u održavanju oplata trupa i dvodna, broskog sustava balasta i stonova. Također tijekom prekrcajnih operacija može doći do oštećenja oplata dvodna, cjevovoda odušnika i sonde koja mogu dovesti do nekontroliranog punjenja stonova, njihovog preljeva u skladišne prostore broda, nanošeći pritom značajne štete na teretu. Razlivena tekućina u skladišnom prostoru može izazvati efekt „slobodnih površina“ značajno umanjujući stabilnost broda čime može i izravno ugroziti sigurnost broda.

Priložena analiza upućuje na iznalaženje preciznijih metoda određivanja količine tekućine u tankovima i stonovima kao i potrebu kontinuiranog mjerenja razine tekućine. U daljnjem dijelu rada razmotrit će se mogućnost primjene svjetlovodne tehnologije u mjerenju razine tekućine i prijenosa očitanih podataka do odgovarajućih brodskih sustava.

#### **4. ODREĐIVANJE RAZINE TEKUĆINE U TANKOVIMA PRIMJENOM SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE**

Svjetlovodna tehnologija temelji se na emitiranju, prijenosu i prijemu svjetla, odnosno na generiranju svjetlosnog signala električnom pobudom. Početkom ovoga stoljeća zbog svojih prednosti u prijenosu informacija i velikom prijenosnom kapacitetu intenzivirana je njena primjena u različitim gospodarskim djelatnostima te tako i u pomorstvu. Primjena svjetlovodne tehnologije može biti u vidu:

- komunikacijske svjetlovodne mreže za prijenos različitih vrsta podataka (mjerni podaci, komunikacije, nadzor i signalizacija), te
- optičkog senzora (za mjerenje neelektričnih i električnih veličina).

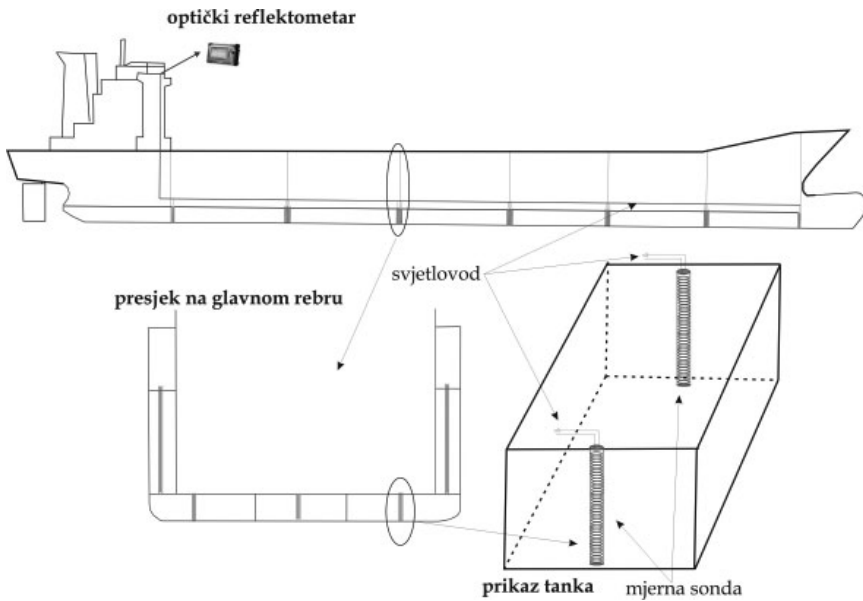
Optički senzori služe za mjerenje raznih neelektričnih i električnih veličina (naprezanja, tlaka, temperature, pomaka, vibracija, električne struje, magnetnog i električnog polja, kemikalija). Oni su malih dimenzija, lagani, a osjetljivost, dinamički opseg i rezolucija im je veća od konvencionalnih senzora. Izrađeni su od dielektričnih materijala i imuni na bilo kakve elektromagnetske utjecaje te se mogu ugraditi i u zahtjevne okoline [2], [3].

Osnovni elementi optičkog senzora su: izvor svjetlosti, svjetlovodna nit, osjetilni element i detektor. Optički senzori rade na principu moduliranja svjetlosti unutar niti kao odgovor na vanjsku električnu ili neelektričnu pobudu. Prema namjeni i obilježjima razlikuju se dvije vrste senzora: ekstrinzični i intrinzični. Kod ekstrinzičnih senzora svjetlovodna nit služi za prijenos signala do osjetilnog elementa gdje se signal modulira pod nekim vanjskim utjecajem kojeg želimo mjeriti. Signal se dalje vodi svjetlovodnom niti do detektora koji izdvaja željenu informaciju iz moduliranog signala. Intrinzični senzori za mjerenje vanjskog utjecaja koriste fizikalna svojstva same svjetlovodne niti. Fizikalna svojstva svjetla koje prolazi kroz nit, kao što su amplituda, frekvencija, faza ili polarizacija, mijenjaju se pod djelovanjem vanjskih utjecaja. Te se promjene mogu jednostavno detektirati i zabilježiti odgovarajućim mjernim instrumentom.

U ovom konceptu određivanja količine tekućine u tankovima balasta, vode te stonovima predlaže se uvođenje kontinuiranog mjerenja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije. Sustav za mjerenje razine tekućine sastoji se od svjetlovodne niti pružene između optičkog izvora i detektora signala koji očitava vrijednost mjerene veličine. Kao senzori u određivanju razine tekućine u pojedinom tanku koristili bi se posebni intrinzični senzori, tzv. distribuirani senzori, koji se sastoje od plastične svjetlovodne niti omotane oko cilindrične cijevi i vertikalno uronjene u tank s tekućinom. Na sredini svakog punog namota oko cijevi, nit je ispolirana i uklonjen je dio jezgre niti. Različit indeks loma zraka i tekućine uzrokuje povratno raspršenje svjetla na poziciji uronjene niti, odnosno razini tekućine u tanku. Za očitavanje mjenog signala koristio bi se optički reflektometar (*engl. optical time domain Reflectometer*), mjerni uređaj koji obavlja mjerenja s jednog kraja (i optički izvor i detektor nalaze se na istoj strani svjetlovodne niti) [4]. U svaki tank bila bi postavljena ukupno dva distribuirana senzora, smještena po sredini prednjeg i stražnjeg dijela tanka.

Razina tekućine određena na ovaj način bi se koristila kao ulazni podatak u računalnom određivanju mase tekućine u tankovima i stonovima. Predloženom pozicijom smještaja senzora izbjegnuto je utjecaj pogreške u očitavanju razine uslijed bočnog nagiba broda. Također utvrđivanje razine na oba dijela tanka pruža mogućnost preciznijeg određivanja mase tekućine u pojedinom tanku, posebno u slučajevima značajnijeg trima broda. Smještaj senzora vidljiv je na slici 3.

Osnovna prednost primjene svjetlovodne tehnologije u određivanju mase tekućine u tanku je u eliminiranju mogućih pogrešaka koje se pojavljuju tijekom određivanja razine tekućine sondiranjem. Također postoji mogućnost prijenosa podataka o razini tekućine u pojedinom tanku primjenom svjetlovodne



*Slika 3. Smještaj senzora za mjerenje razine tekućine*  
*Figure 3. Liquid level sensor's positions*

Izvor: Izradili autori

tehnologije što dodatno umanjuje mogućnost pojave pogreške koje se pojavljuju korištenjem klasičnih tehnologija prijenosa podataka na brodu. Sustav određivanja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije umanjuje utjecaj objektivnih okolnosti koje mogu dovesti do pogreške tijekom očitavanja, te u potpunosti eliminira izravne subjektivne pogreške, a time i posljedice koje mogu proizaći iz nepoznavanja mase tekućine u brodskim tankovima i stonovima tijekom izvođenja pomorsko plovidbenog procesa.

Načelno bi se razina tekućina u tankovima tereta mogla određivati primjenom sustava sličnog prethodno opisanom. Međutim, pristup problemu određivanja razine tekućine u tankovima tereta, pored ostalog i zbog obilježja tekućih tereta, zahtijeva sveobuhvatnije istraživanje kako bi se iznašlo odgovarajuće rješenje.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu se između mnogobrojnih utjecajnih čimbenika na sustavne i slučajne pogreške tijekom određivanja količine tekućine u tankovima balasta i vode te u brodskim stonovima izvela analiza utjecaja pogreške u mjerenju razine

tekućine sondiranjem. Mjerenje razine tekućine u razmatranim tankovima neophodno je zbog utvrđivanja maritimnih i prekrcajnih obilježja broda tijekom odvijanja pomorsko- plovidbenog putovanja. U izvođenju analize utjecaja pogreške pri mjerenju razine tekućine u tanku koristili su se podaci iz tablica tankova i stonova manjeg višenamjenskog broda. Izvedeći analizu dobivenih rezultata uočen je linearni trend porasta pogreške vrijednosti količine balasta u tankovima s povećanjem pogreške u očitavanju razine vodenog balasta.

Pogreška u količini tekućine utječe na preciznost u određivanju visine sustavnog težišta broda. Pretpostavljena pogreška u očitavanju razine tekućine, iz koje proizlazi da je u tanku manja količina vodenog balasta od stvarne, uvjetuje prividno povećanje visine sustavnog težišta. Općenito se može zaključiti da za sve tankove čije se težište nalazi ispod točke sustavnog težišta broda prividno veća količina tekućine na osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine, uvjetuje prividno smanjenje visine sustavnog težišta broda. Za tankove čije se težište nalazi iznad točke sustavnog težišta broda, prividno veća količina tekućine dobivena na osnovu pretpostavljene pogreške u očitavanju razine, uvjetuje prividno povećanje visine sustavnog težišta broda. Također, prividno manja količina tekućine u tankovima na osnovi pretpostavljene pogreške u očitavanju razine tekućine će ovisno o smještaju težišta tanka imati suprotan učinak na promjenu visine sustavnog težišta broda od prethodno opisanog.

Kako bi se izbjegao utjecaj pogreške u očitavanju razine tekućina u tankovima i stonovima predloženo je uvođenje kontinuiranog mjerenja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije. Kao senzori u određivanju razine tekućine u pojedinom tanku koristila bi se posebna vrsta intrinzičnih senzora (distribuirani senzori) izrađeni u obliku plastične svjetlovodne niti omotane oko cilindrične cijevi i vertikalno uronjene u tank s tekućinom. U svaki tank bila bi postavljena ukupno dva senzora, smještena po sredini prednjeg i stražnjeg dijela tanka.

Osnovna prednost primjene svjetlovodne tehnologije u određivanju razine tekućine u tanku je u eliminiranju mogućih pogreški koje se pojavljuju tijekom određivanja razine tekućine sondiranjem. Sustav određivanja razine tekućine primjenom svjetlovodne tehnologije umanjuje utjecaj objektivnih okolnosti koje mogu dovesti do pogreške tijekom očitavanja te u potpunosti eliminira izravne subjektivne pogreške, a time i posljedice koje mogu proizaći iz nepoznavanja mase tekućine u brodskim tankovima i stonovima tijekom izvođenja pomorsko-plovidbenog procesa.

## LITERATURA

- [1] Dible, J., P. Mitchell, Draught surveys, MID C Consultancy, 2005.
- [2] Ilyas, M., H. Mouftah, The Handbook of optical communication networks, CRC Press, 2003.
- [3] Lopez-Higuera, J. M., The Handbook of optical fibre sensing technology, John Wiley & Sons, 2002.

- [4] Poisel, H., /et al./, POF Sensors-applications in every day`s life, ECOC 2007, Berlin, Germany 2007.
- [5] Russo, M., Određivanje deplasmana prema gazu broda i analiza dobivenih mrtvih težina radi ocjene točnosti po gazu utvrđene količine tereta, Naše more 38 (1991), 1-2, str. 33 – 38.
- [6] Suban, V., Full ballast tank capacity, Faculty of maritime studies and transport Portorož, Portorož 2007.

### *Summary*

## **METHODS AND ANALYSIS OF THE MEASUREMENT PROCEDURES TO DETERMINE THE LIQUID LEVEL IN SHIP BALLAST TANKS AND BILGES**

*A ship operates under different loading conditions and with widely varying amounts of liquid in tanks. The transverse and longitudinal stability determination and DWT calculation depend on the obtained liquid amounts accuracy which varies due to both the systematic and the accidental errors. Therefore, it is necessary to avoid errors in determining the exact quantity of liquid in tanks. The ballast, fresh water and bilge water quantity in each tank and bilge are usually determined by the water level sounding or by the overflow through the air passage for full tanks. The paper aims at analyzing the influence of liquid reading error on ballast, fresh water and bilge water quantity, as well as its impact on the ship vertical center of gravity (VCG). The optical fiber technology, because of its advantages, has been suggested as a new option for liquid readings in tanks and bilges. The authors have proposed to install liquid level optical sensors into the forward and aft part of each tank.*

***Key words:** liquid level, ship tanks and bilges, liquid level readings error, optical fiber technology, liquid level optical sensors.*

**Renato Ivče, Ph. D.**

**Robert Mohović, Ph. D.**

**Irena Jurdana, M. Sc.**

*University of Rijeka*

*Faculty of Maritime Studies*

*Studentska 2*

*51000 Rijeka*

*Croatia*