

## PRIMJENA GEODETSKIH METODA MJERENJA PRI REKONSTRUKCIJI PLOVEĆIH OBJEKATA

Petar CEROVAC — Split\*

*SAŽETAK.* U ovom su radu, vezano uz rekonstrukciju dvaju brodova na moru, prikazana istraživanja o primjeni geodetskih metoda mjerenja pri rekonstrukciji plovećih objekata.

### 1. UVOD

Svrha rekonstrukcije jest da određeni brodski prostor učini atraktivnijim, traženijim na tržištu. Rekonstrukcija omogućuje brodaru da uz manja ulaganja, osigura potreban brodski prostor kako bi rekonstruirani brod bio konjunktorniji i kako bi zadržao međunarodno tržište. Poznato načelo da projekt broda predstavlja kompromis niza tehničkih i ekonomskih zahtjeva ni u ovom slučaju nije zanemareno. Međutim, za razliku od relativno dugih rokova gradnje novih brodova, pri rekonstrukciji ti su rokovi obično kratki.

Rekonstrukcije brodova mogu se izvesti: na moru, u plutajućem i suhom doku, na navozu (ako brodogradilište posjeduje sistem za izvlačenje) i na vodoravnoj platformi (ako brodogradilište posjeduje SY-LI, prema engl. Synchronlift). Zbog radnih uvjeta najslabijeg rekonstrukcija je ona koja se izvodi na moru.

### 2. REKONSTRUKCIJA BRODA NA MORU

Istraživanja o primjeni geodetskih metoda mjerenja pri rekonstrukciji plovećih objekata, prikazana u ovom radu, vezana su uz rekonstrukciju m/s »Sea Leader« i s/s »Edward Rutledge« na moru u brodogradilištu »V. Lenac« — Rijeka za kompaniju »Sea-Land Service« iz New Jerseyja USA. Radi dobivanja potpunije slike o opsežnosti radova pri objema rekonstrukcijama (slični radovi), navode se operacije izvedene prilikom rekonstrukcije s/s »Edward Rutledge«. Brod za prijevoz tereta u teglenicama (baržama) — LASH-brod (prema engl. lighter aboard the ship) — rekonstruiran je u brod za prijevoz kontejnera (engl. container vessel) (sl. 7).

\* Mr. Petar Cerovac, Fakultet građevinskih znanosti, Split, V. Masleše bb.

Izvedene su slijedeće operacije:

— izrađeno je 18 novih poklopaca za grotla, dimenzija  $10 \times 14,5$  m, ukupne težine 480 t;

— premještene su pojedine pregrade u skladištima, zbog prihvata kontejnera;

— preinačeno je šest postojećih komada poklopaca;

— ugrađeni su palubni oslonci (pedestali) za prihvata kontejnera. Glavne

dimenzije broda su:

— dužina 273 m;

— širina 30 m;

— visina 18 m (od kobilice\* do gornje palube).

Prije rekonstrukcije brod je mogao prevesti 89 barži od po 500 t nosivosti, a nakon rekonstrukcije može prevesti 1056 kontejnera TEUs\*\*, i to 420 u skladištima i 636 na palubi (sl. 7).

### 2.1. Određivanje referentnih elemenata

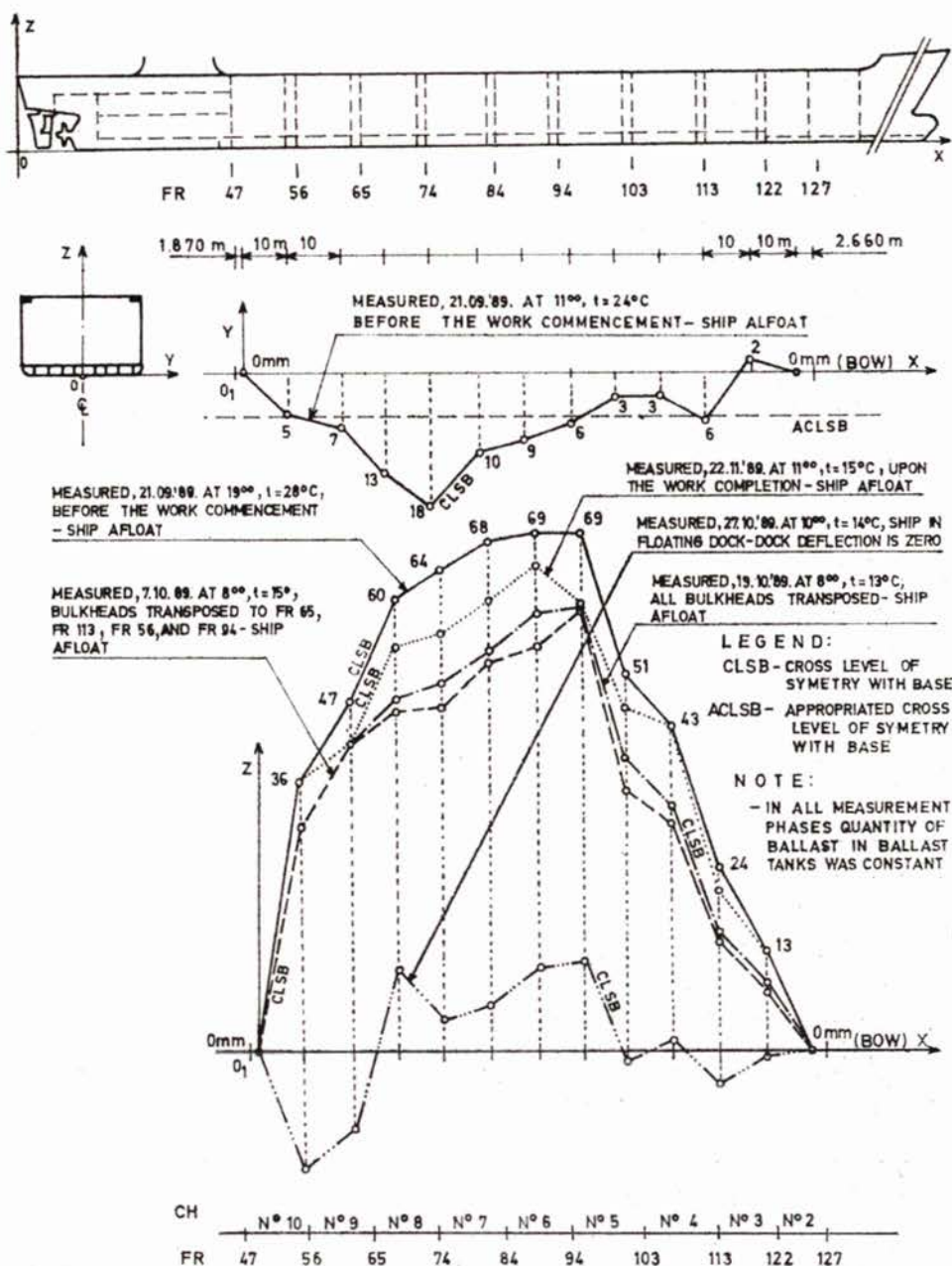
Spomenute rekonstrukcije izvedene su u odnosu na referentne elemente PRSO, odnosno OPRSO\*\*\* i na osnovicu, odnosno optimalnu osnovicu (sl. 1 i sl. 2). Ovi elementi određuju se u odnosu na postojeće stanje broda, odnosno na skup točaka  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , dobivenih mjerenjem, koje najbolje prikazuju postojeće stanje broda (Cerovac, 1990). U promatranim slučajevima postojeće stanje broda, zbog radnih uvjeta, određeno je u odnosu na opločenje unutarnjeg dna broda u vertikalno-uzdužnoj ravnini (ravnini simetrije —  $\zeta$ ) kao prema najboljem, realno mogućem pokazatelju. U nastojanju da se pritom obuhvati što veći dio broda, kako bi navedeni elementi bili što vjerniji pokazatelji stanja broda, na rekonstruiranju brodovima u postojećim pregradama izvedeni su tehnološki otvori. Oni su omogućili da se ostvari maksimalno moguća dužina vizure i snimi veći dio broda, odnosno opločenja unutarnjeg dna. Rezultati kontrole položaja navedenih elemenata u toku i nakon završetka rekonstrukcije najvažniji su pokazatelji promjene stanja broda. Zbog toga se oni kontroliraju poslije svake značajnije operacije (sl. 1). Takav način rada omogućuje da se pravodobno reagira i spriječe moguće negativne posljedice na sigurnost broda.

Pri ovakvim mjerenjima neophodno je obratiti pažnju na nestacionarnost mjernih veličina, odnosno na gibanje broda na valovima (Wyler, 1975. i Kercan, 1979). U vrijeme kad je ovo gibanje bilo znatnije, a zbog kratkog roka nije se moglo čekati na mirno more, promatrane veličine određene su kao procijenjene prosječne vrijednosti amplituda u nešto dužem vremenskom razdoblju, obično 5 do 6 sekundi. Realizirani projekt pokazao je da ovakav način rada zadovoljava praktične potrebe.

\* Kobilica je osnovni, tj. najdonji građevni dio trupa broda (sl. 3).

\*\* TEUs — twenty equivalent units (kontejneri različitih veličina svedeni na dvadesetstopne).

\*\*\* PRSO (OPRSO) — presječnica ravnine simetrije s osnovicom (optimalna PRSO) određuje se metodom najmanjih kvadrata).



Sl. 1. Stanje broda određeno u odnosu na opločenje unutarnjeg dna (strojar- nica na krmi m/s »Sea leader«)

### 3. SMJESTAJ KONTEJNERA NA BRODU

Kontejneri se na brodu smještaju:

1. u skladištima s ćelijama;
2. na izloženoj palubi;
3. u skladištima polukontejnerskih brodova (problemi smještaja kontejnera u ovom slučaju slični su problemima pod 2).

Kontejneri se u skladištima smještaju u ćelije ograničene vodilicama. Svrha ovih vodilica je da:

- olakšaju smještaj kontejnera na točno određeno mjesto;
- omoguću slaganje kontejnera jednog na drugi, u okviru propisanih tolerancija;
- preuzmu horizontalne sile koje nastaju pri nagibu broda i prenesu ih na strukturu broda.

U jednoj ćeliji kontejneri se slažu do šest komada po visini. Pritom je vrlo važno pitanje zračnosti između kontejnera i vodilica. Ona je određena na temelju kompromisa između dvaju zahtjeva:

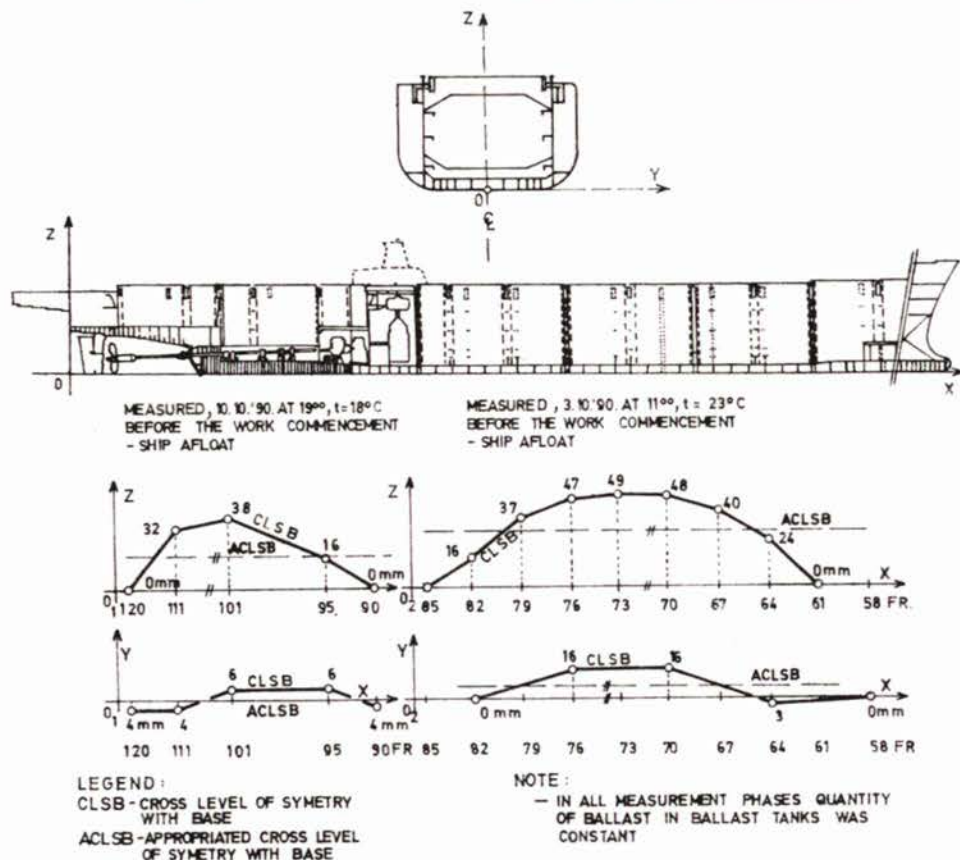
- jednog, koji, zbog mogućeg zaglavlivanja visećeg kontejnera pri nagutomu brodu, traži da bude što veća i
- drugog, koji, zbog mogućeg ekscentričnog slaganja kontejnera po visini, što dovodi do nedopustivog opterećenja njihove konstrukcije, traži da bude što manja.

Za konačno rješenje prihvaćena je zračnost određena na temelju praktičnog iskustva: u poprečnom smjeru 1/2 in, a u uzdužnom 3/4 in sa svake strane kontejnera. Ova zračnost obično vrijedi po cijeloj visini. Rjeđi su slučajevi kad se ona prema vrhu povećava, obično za 1/4 in sa svake strane. To osigurava da se kontejner ne zaglavi pri nagibu broda do 6° (uobičajen maksimalni kut nagiba broda pri kojem je, uz navedenu zračnost između kontejnera i vodilica, još moguć siguran ukrcaj ili iskrcaj kontejnera).

Jednako važno pitanje jesu tolerancije ćelija. U poprečnom smjeru oko 3 mm, a u uzdužnom 5 mm. Neravnost opločenja unutarnjeg dna, palube i poklopca ne smije biti veća od 1,5 do 3 mm. Ovako male tolerancije, neuobičajene u brodogradnji, nalažu da se pored uobičajene kontrole točnosti izrade objekta vodi računa i o mogućim deformacijama brodskog trupa i utjecaju temperature (Derganac, 1969). O tome se pri navedenim rekonstrukcijama, kao što se vidi na sl. 2, vodilo posebno računa. Inače, preporuka da se još prije završetka montaže cijela struktura ćelije provjeri pravim kontejnerom (Derganac 1969) pri navedenim rekonstrukcijama ostvarena je tek nakon završetka izrade ćelije (sl. 8).

#### 3.1. Određivanje položaja pregrada, odnosno vodilica za prihvat kontejnera u skladištima s ćelijama

Prema navedenim zahtjevima, pregrade odnosno vodilice za prihvat kontejnera u skladištima s ćelijama (u daljnjem tekstu: pregrade) postavljaju se u položaj okomit na PRSO, odnosno OPRSO. Pritom PRSO, odnosno OPRSO može biti vodoravna ili kosa (brod je obično zatežan, gaz na krmu veći od gaza na pramcu, obrnuto brod je pretežan). Ako je PRSO, odnosno OPRSO vodoravna, položaj pregrade određuje se u odnosu na vertikalnu

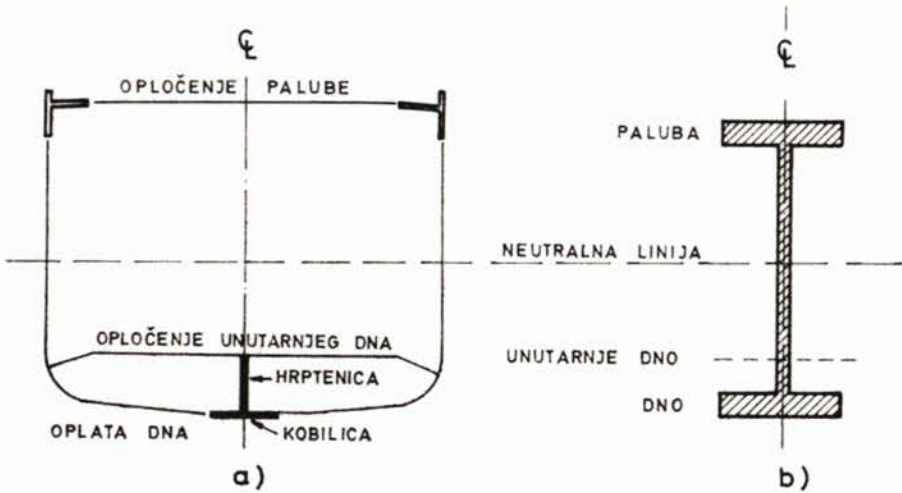


Sl. 2. Stanje broda određeno u odnosu na opločenje unutarnjeg dna, strojarnica više prema krmi (m/s Edward Rutlege«)

vizurnu ravninu, a ako je kosa, pomoću objektivne (pentagonalne) prizme ili, rjeđe, naginjanjem instrumenta pomoću podnožnih vijaka (Cerovac, 1988).

Međutim, ako postojeće stanje broda, određeno navedenim skupom točaka  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , dobiveno mjerenjem na opločenju unutarnjeg dna broda u ravnini simetrije, loše aproksimira pravac (PRSO, odnosno OPRSO), ono se aproksimira kružnicom. Aproksimacija kružnicom usvojena je jer se u ovom slučaju, zbog pojednostavljivanja, pretpostavlja da se brod, odnosno njegovi dijelovi savijaju po kružnom luku. Ova kružnica određuje se metodom najmanjih kvadrata, kao optimalna kružnica (Cerovac, 1981). Aproksimacija postojećeg stanja broda kao jedne cjeline (sl. 1), ili pojedinih njegovih dijelova kao zasebnih cjelina (sl. 2), optimalnom kružnicom zadovoljava praktične potrebe.

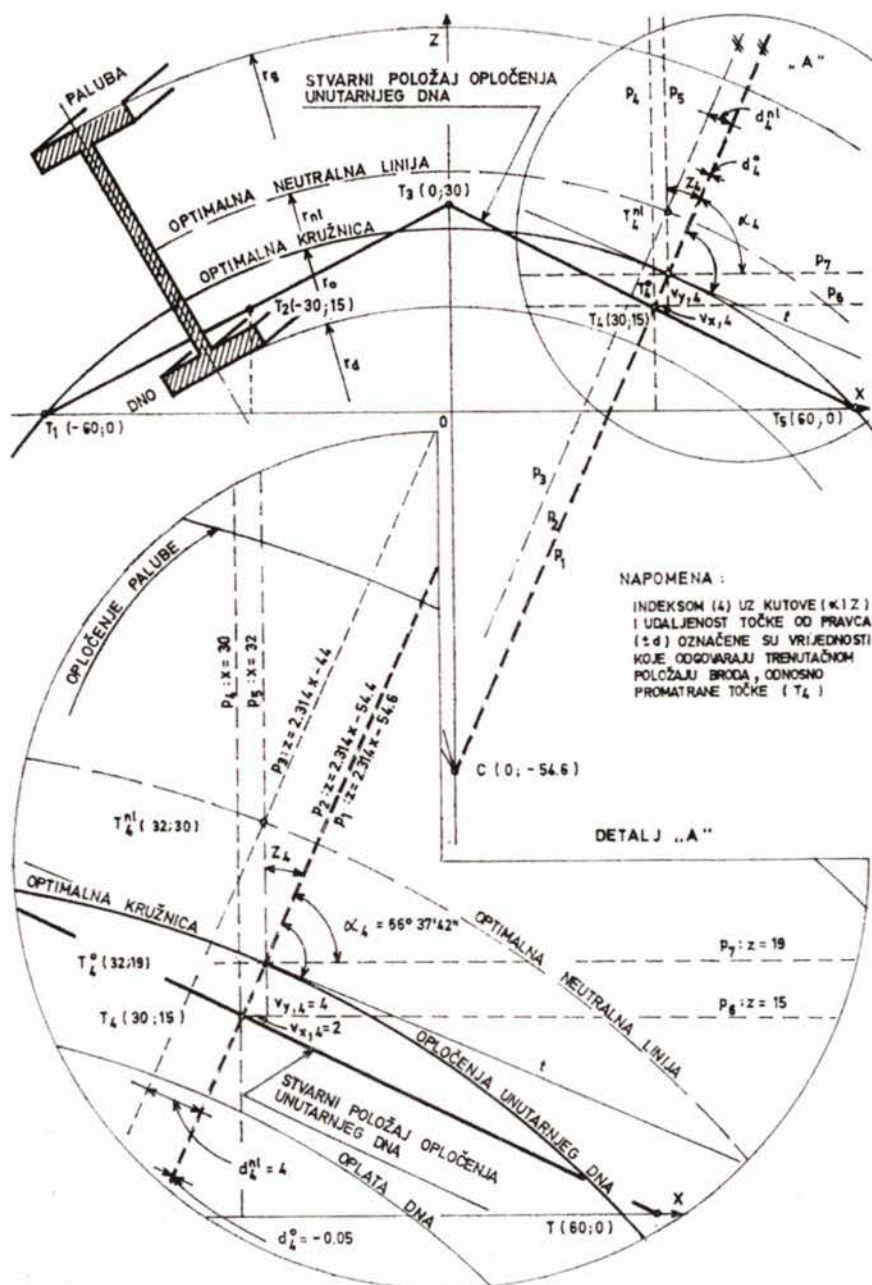
U ovim razmatranjima neophodno je poznavati brod kao nosač. Na sl. 3a prikazani su osnovni građevni dijelovi broda, a na sl. 3b površine presjeka svih građevnih dijelova koji utječu na uzdužnu čvrstoću, sabrane u jednu površinu. Vidljivo je da je brod kao nosač sličan I-profilu (Mardešić, 1944).



Sl. 3. Brod kao nosač (analogija s I-profilom)

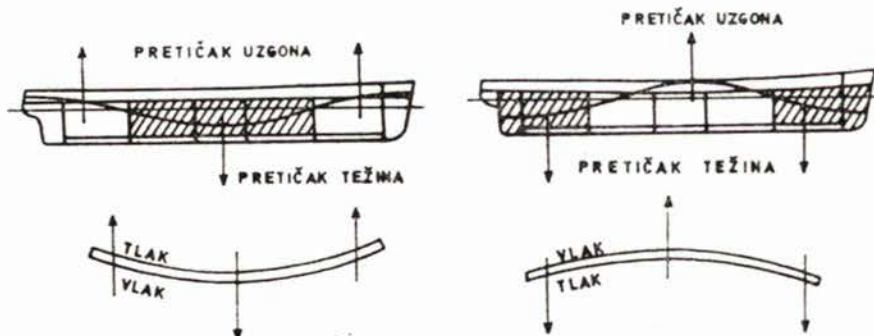
Položaj pregrada, uz pretpostavku da postojećem stanju dijela broda, odnosno dijelu opločenja unutarnjeg dna broda, odgovara kružnica (kružni luk) određuje ravnina položena okomito na tangentu povučenu u odgovarajućim točkama  $T_i^o(x_i^o, z_i^o)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , navedene optimalne kružnice (sl. 4). Na istoj slici vidi se da ovoj ravnini odgovara ravnina položena pravcem  $p_1$ , okomita na ravninu simetrije, na ravninu slike.

Položaj točaka  $T_i^o(x_i^o, z_i^o)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  na optimalnoj kružnici dobije se tako da se koordinate odgovarajućih točaka  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  stvarnog stanja broda, u ovom slučaju opločenja unutarnjeg dna broda, u odnosu na koje je među inim određena navedena optimalna kružnica, poprave po osi  $x$  i  $z$  s odgovarajućim popravcima  $v_x$  i  $v_z$  (Cerovac, 1981). Međutim, kako se točke  $T_i^o(x_i^o, z_i^o)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , kao u ovom slučaju, mogu naći neposredno na opločenju unutarnjeg dna broda, iznad ili ispod njega, razlog je da se u praktičnim primjerima položaja pregrada ne određuje u ovim točkama, nego u njima odgovarajućim  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Ali zbog razlike u položaju navedenih točaka  $T_i^o(x_i^o, z_i^o)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , i  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , ovako označen položaj pregrada korigira se, translacija, za udaljenost,  $d_i^o$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , promatrane točke  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , od položaja pregrade određenog u odgovarajućoj točki  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , na sl. 4 od pravca  $p_1$ . Međutim, zbog vrlo malih odstupanja točaka  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , dobivenih mjerenjem na opločenju unutarnjeg dna od navedene optimalne kružnice, ove su udaljenosti također vrlo male, praktično zanemarive, pa za navedenom korekcijom, translacijom, redovito nema potrebe. U primjeru prikazanom na sl. 4  $d_i^o = -0,05$  mm. Ovaj postupak određivanja položaja pregrada vrijedi ako se navedena optimalna kružnica poklapa s optimalnom neutralnom linijom promatranog objekta. Inače položaj pregrade označen navedenim postupkom korigira se, translacija, za udaljenost  $d_i^{n1}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , promatrane točke  $T_i(x_i, z_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , od položaja pregrade koji bi imala da je, uz navedene uvjete, trasirana



Sl. 4. Određivanje položaja pregrada, odnosno vodilica za prihvat kontejnera u skladištima s ćelijama, ako brod nema uzdužnog kuta nagiba (pretegu ili zategu)

u presjecištu pravca paralelnog s osi z položenog odgovarajućom točkom  $T_i^0$  ( $x_i^0, z_i^0$ ),  $i = 1, 2, \dots, n$ , s optimalnom linijom, točkom  $T_i^{n1}$  ( $x_i^{n1}, z_i^{n1}$ ),  $i = 1, 2, \dots, n$ , na sl. 4 od pravca  $p_3$ . U primjeru prikazanom na sl. 4 ova udaljenost je  $d_i^{n1} = 4$  mm. Razlog tome je savijanje, odnosno raspodjela naprezanja trupa broda. U primjeru prikazanom na sl. 4 (brod ima pregib) gornje veze (paluba) opterećene su na vlak, a donje na tlak (dno). Obrnut slučaj je kad brod ima progib\*, sl. 5 (Uršić, 1972). Takav način određivanja polo-



Sl. 5. Savijanje brodskog trupa (Uršić 1972)

žaja pregrada osigurava vertikalni položaj pregrada kod broda na ravnoj kobilici i bez uzdužnog nagiba, pretege.

Međutim, ako brod ima uzdužni nagib (pretegu ili zategu), položaj pregrada određen navedenim postupkom korigira se, rotira, u ravnini  $x$  o  $z$ , u ravnini simetrije, za uzdužni kut nagiba broda (na sl. 6 kut  $z_4''$  odgovara trenutnom položaju broda, odnosno promatrane točke  $T_4$ ).

Ako brod ima ili nema uzdužni nagib (pretegu ili zategu), položaj pregrada se određuje također pomoću objektivne (pentagonalne) prizme ili, rjeđe, naginjanjem instrumenta pomoću podnožnih vijaka.

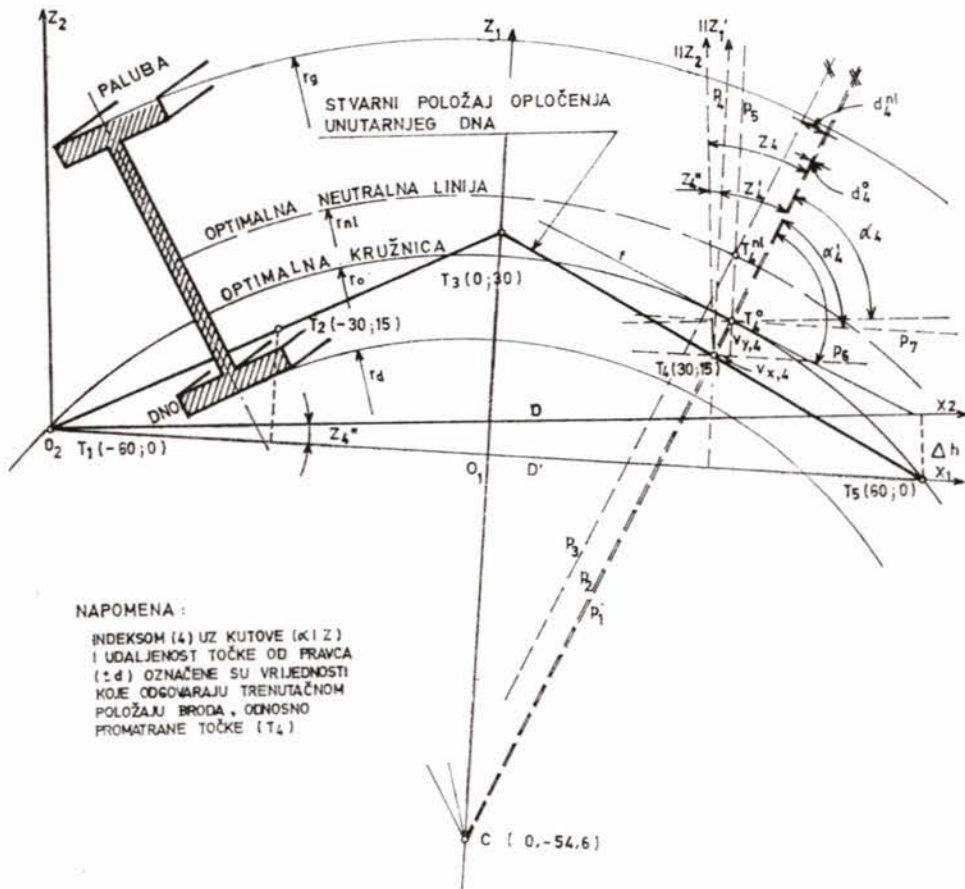
Položaj pregrada, odnosno vodilica za prihvat kontejnera u skladištima s ćelijama u poprečno-vertikalnoj ravnini određuje se u odnosu na vertikalnu vizurnu ravninu. Pritom se zanemaruju deformacije trupa broda u poprečnom presjeku jer je poprečna čvrstoća broda takva da su one relativno male, pa im je utjecaj na promatrani položaj pregrada redovito malen, praktično zanemariv. Prema situaciji prikazanoj na sl. 4 i sl. 6 poprečno-vertikalnoj ravnini odgovara ravnina okomita na ravninu slike.

#### 4. RAVNOST OPLOČENJA UNUTARNJEG DNA, PALUBE I POKLOPACA, ELEMENATA NA KOJE NASJEDAJU KONTEJNERI

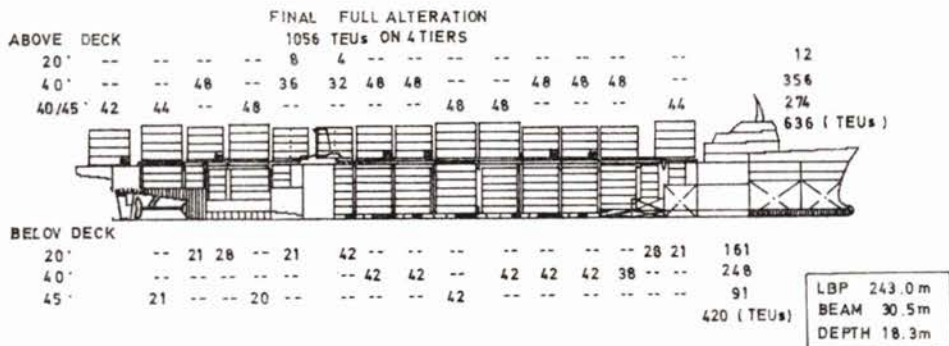
Prihvaćene tolerancije neravnosti opločenja unutarnjeg dna, palube, poklopaca od 1,5 do 3 mm, za koje je već rečeno da su za brodogradnju neuobičajeno male, ne mogu se, uobičajenom brodogradevnom praksom, ostvariti. U praktičnim primjerima taj se zahtjev ostvaruje pomoću izravnavajućih

\* Kod broda dužine 200 do 300 m (prazan opremljen brod, engl. light ship condition) na mirnom moru pregib, odnosno progib je obično manji od 10 cm (iskustveni podatak, sl. 1 i sl. 2; Takashashi i dr. 1974).

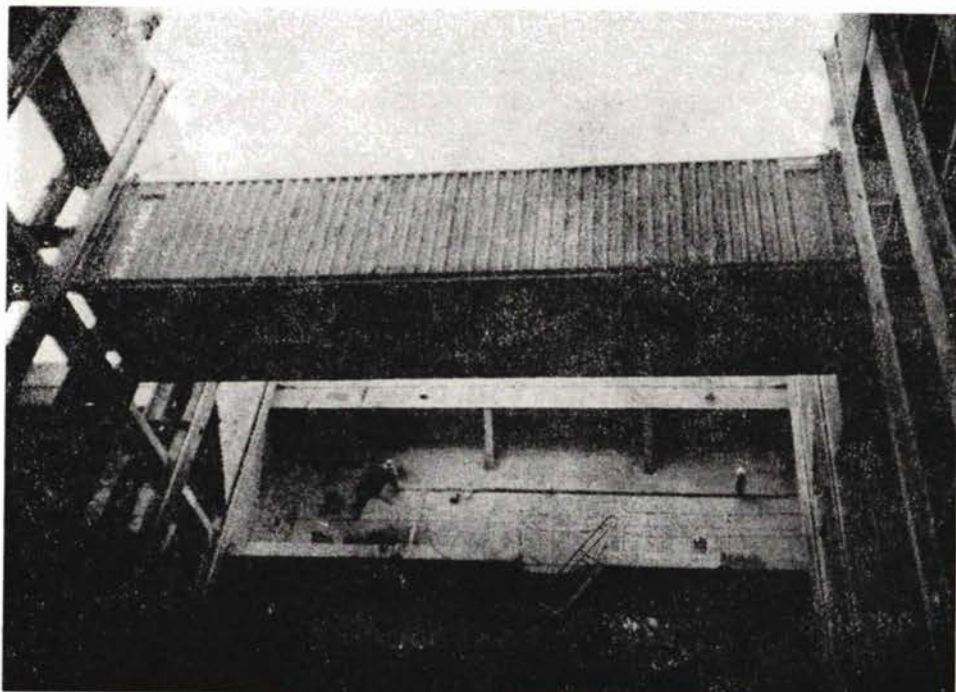




Sl. 6. Određivanje položaja pregrada, odnosno vodilica za prihvat kontejnera u skladištima s ćelijama ako brod ima uzdužni nagib (pretegu ili zategu), veza sl. 4.



Sl. 7. Raspored kontejnera na brodu s/s »Edward Rutlege«



Sl. 8. Provjera točnosti montaže ćelija (s/s »Edward Rutledge«)

pločica. U promatranom slučaju one se postavljaju ispod stopa (elemenata za fiksiranje) postavljenih na uglovima kontejnera (sl. 9).

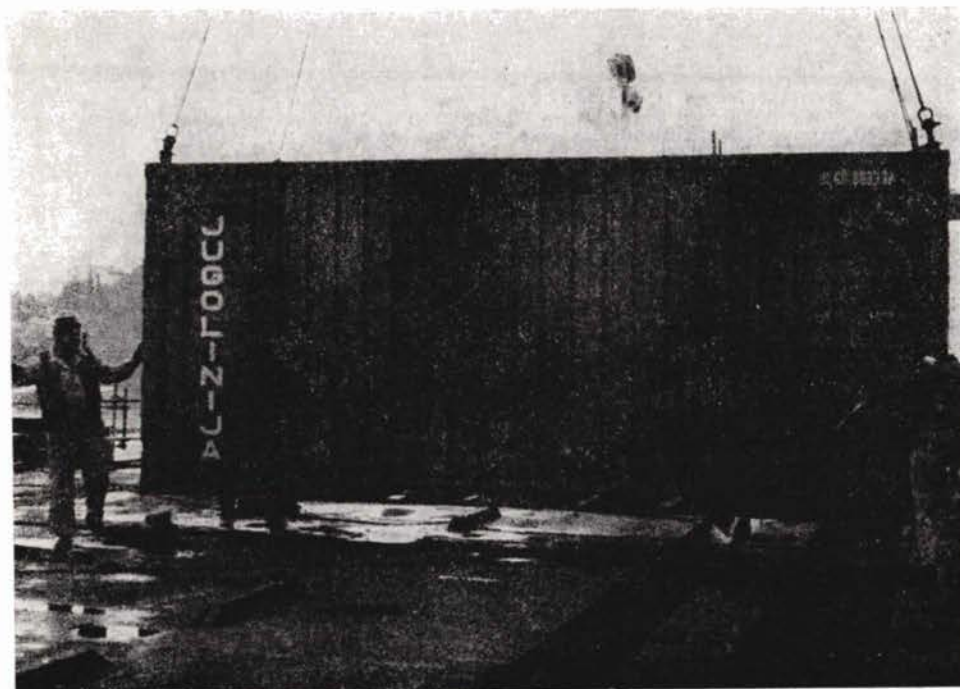
Za kontejnere koji se smještaju u ćelije bitno je da se međusobno između ćelija ne povezuju. Ova činjenica utječe na način određivanja debljine izravnavajućih pločica.

Rukovodeći se geodetskim principom iz velikog u malo, izniveliraju se sva mjesta za oslon kontejnera u pojedinim skladištima. Potom se, u odnosu na plohu paralelnu s trenutačnim, odgovarajućim položajem usvojene horizontalno-uzdužne ravnine određuju visine oslonaca kontejnera posebno u svakoj ćeliji. U odnosu na najvišu točku za oslon određuje se debljina izravnavajućih pločica u ostalim trima točkama. Iz konstrukcijskih razloga minimalna debljina izravnavajuće pločice je 8 mm.

Istim postupkom određuju se i debljine izravnavajućih pločica kod kontejnera na palubi ili na poklopcima (sl. 9). Međutim, kako se pritom kontejneri međusobno po grupama povezuju posebnim spojnim elementima, debljine izravnavajućih pločica ne određuju se po kontejneru, nego po odgovarajućoj grupi.

## 5. NAPOMENA

Svi radovi izvedeni prilikom razmatranih rekonstrukcija podlijegali su pravilama, odobrenju i kontroli brodarka, klasifikacijskog društva ABS (American Bureau of Shipping) i ostalih nadležnih tijela.



Sl. 9. Provjera točnosti postavljanja stopa (elemenata za fiksiranje) kontejnera na poklopcima (s/s »Edward Rutledge«)

## ZAKLJUČAK

Kao zaključak navodi se izjava predstavnika kompanije »Sea Land Service« iz New Jerseyja, USA, vlasnika rekonstruiranih brodova navedenih u ovom radu, prilikom primopredaje s/s »Edward Rutledge« između izvođača radova brodogradilišta »V. Lenac« — Rijeka i brodovlasnika (predstavnika), dana na konferenciji za novinare u Rijeci u siječnju 1991:

»Rekonstrukcija zaslužuje sve pohvale, zbog čega se može očekivati da nakon brodova m/s »Sea Leader« i s/s »Edward Rutledge« Amerikanci povjere riječkom brodogradilištu i treći brod. Posao obavljen u Rijeci, na istoj je razini s istovjetnim poslom obavljenim u japanskom brodogradilištu »Mitsubishi«, što se smatra izuzetnim komplimentom«.

Kako je pri navedenim poslovima pomoć geodezije izuzetno značajna, ova laskava ocjena odnosi se u punoj mjeri i na geodetske radove na koje su se promatrane rekonstrukcije oslanjale. To opet ukazuje na opravdanost provedenih i na potrebu nastavka prikazanih istraživanja.

## LITERATURA

- Cerovec, P. (1981): Određivanje točnosti izvedbe objekta cilindričnog oblika, Geodetski list, 1981, 7—9, 195—212.
- Cerovac, P. (1988): Prilog proračunu točnosti određivanja položaja ravnine s pomoću ravnine opisane vizurnom osi instrumenta, Geodetski list, 1988, 1—3, 57—63.
- Cerovac, P. (1990): Prilog istraživanju primjene geodetskih metoda mjerenja pri gradnji plutajućih dokova izuzetno velikih dimenzija, Geodetski list, 1990, 10—12, 329—342.
- Derganac, M. (1969): Kontejneri i gradnja brodova, Brodogradnja, 1969, 3, 209—223.
- Kercan, V. (1979): Nestacionarnost — uzrok dodatne greške mjerenja, Zbornik radova JUREMA, 1979, 3. svezak, 19—26.
- Mardešić, P. (1944): Pomorstvo, Zagreb, 1944.
- Takahashi, Y.; Nose, Y.; Nakashina, K. i Konno, A.; (1974): Development of a Dynamic Ship Deflection Meter, Japan Shipbuilding Marine Engineering, 1974, 2, 31—36.
- Uršić, J. (1972): Čvrstoća broda, I dio, Zagreb, 1972.
- Wyler, J. S. (1975): Estimating the Uncertainty of special and Time Average Measurements, Trans. of ASME, Journal of Engineering for Power, October, 1970, 473—476.

## APPLICATION OF GEODETIC MEASUREMENT METHODS IN THE RECONSTRUCTION OF SHIPS AND OTHER FLOATING FACILITIES

Presented is the study of applying the geodetic measurement methods to the reconstruction of ships and other floating facilities, as illustrated by the reconstruction of two ships at sea.

Primljeno: 1991-04-25