

UDK 528.482
528.489:629.12
Stručni članak

KONTROLA TOČNOSTI GRADNJE BRODSKIH KONSTRUKCIJA GEODETSKIM METODAMA MJERENJA

Petar CEROVAC, Split*

SAŽETAK. Prijelaz brodogradnje na industrijski način proizvodnje utjecao je na uvođenje suvremenih metoda kontrole kvalitete. To posebno vrijedi za točnost dimenzija i oblik konstrukcija trupa broda. Danas se ova kontrola uglavnom obavlja geodetskim metodama mjerenja.

1. UVOD

Kvaliteta, cijena i rok isporuke predstavljaju temelj svakog poslovanja. Pritom kvaliteta neposredno utječe na cijenu i rok isporuke. Točnost gradnje je glavna značajka kvalitete. Ona je uvjetovana tehnološkim rješenjima i planiranim radovima u pojedinim fazama proizvodnog procesa (Meden, 1990). Povećanje brzine, smanjenje relativne težine, osiguranja potrebne čvrstoće i estetskih oblika trupa broda, gledano s funkcionalnog stajališta, zahtijevaju povećanje točnosti gradnje brodske konstrukcije. Pritom je potrebno pojednostaviti montažne operacije, izbjeći podešavanja i pri montaži postići što bolju podudarnost elemenata trupa, uz održavanje potrebnog zazora za zavarivanje (ostvariti tehnološke zahtjeve) (Mavrić, 1976; Meden, 1980). To neposredno utječe na smanjenje dodatnih radova. Iako je dorađivanje na mjestu sastavljanja ili spajanja ekonomski najmanje prihvatljiv način kompenzacije, ono se ipak često prakticira, zahvaljujući tomu što je određivanje tehnološkoga kompenzatora, tj. dimenzijskog dodatka ili viška, vrlo jednostavno. Nije rijetkost da se iz ekonomskih razloga zahtjevi točnosti ograničuju, ili se pronalaze druga konstrukcijska ili tehnološka rješenja. Problem točnosti elemenata trupa broda posebno je važan u uvjetima suvremene brodograđevne proizvodnje.

»Pregledom podataka praćenja problema nastalih u svezi s točnošću dimenzija tijekom više godina i na većem broju izgrađenih brodova moguće je utvrditi:

— zbog lošeg stanja kontrole točnosti dimenzija elemenata strukture trupa pojavljivalo se oko 60 000 radnih sati za jedan brod, potrebnih za najmanje otklanjanje nedostataka,

* Mr. Petar Cerovac, Građevinski fakultet, Split, V. Masleše bb.

— dimenzije i oblik sekcija strukture trupa često nisu odgovarali zbog lošeg stanja kontrole točnosti tijekom izradbe sekcija,

— pri ugrađivanju sekcija strukture trupa pojavljivale su se greške zbog lošeg stanja kontrole točnosti tijekom izvođenja radova montaže,

— u brodova za koje se posebno isticao zadatak kontrole točnosti dimenzija nije uočeno postojanje znatnijih problema dok su se pojavljivale znatne razlike čak u brodova iz iste serije kad se popuštalo pri kontroli točnosti (Meden, 1976).

U namjeri da se osigura potrebna točnost izvođenja promatranih radova, propisana su dopuštena odstupanja gradnje brodskih konstrukcija (npr. *** 1990). Pritom je u svim fazama gradnje točnost uvjetovana usvojenim tehnološkim procesom. O problemu određivanja dopuštenih odstupanja usvojenih u našim brodogradilištima I. Mavrić (1976) piše:

»U postojećoj se praksi samo za manji broj konstruktivnih parametara tolerancije određuju računski. U većini slučajeva se dopuštena odstupanja dimenzija i oblika konstrukcija trupa određuju na osnovi prikupljenih iskustvenih podataka.«

Proračun tolerancija odnosno određivanja ukupne pogreške povezanih elemenata ponekad se naziva geometrijskim računom konstrukcije. Na temelju tog računa postavljena je teorija lanca dimenzija, posebno poznata u strojogradnji i nekim drugim montažnim industrijama (Glozman i Sokolov, 1961; Adlerštejn i Sokolov, 1968; Glozman i Vasilev, 1971; Fedoseev, 1971; Mavrić, 1976; Mackević, 1980; Meden, 1990). Zbog aktualnosti, o ovoj problematici pisano je i u Geodetskom listu (Cerovac, 1986).

Osim toga, »kao određeni kriterij kvalitete, sa svrhom da se utvrdi zadovoljavajuća razina za brodovlasnike i klasifikacijska društva, uveden je »standardni raspon«, a osim toga, kada nema potrebe da se neko odstupanje ispravljiva u sljedećoj fazi procesa niti takvo odstupanje narušava konačnu kvalitetu, koristi se i nešto širi raspon tj. »granice tolerancije«. Tako je za brodove građene u Japanu, prema japanskim brodograđevnim standardima, vjerojatnost da će zadovoljiti »standardni raspon« 98%, a samo nešto manje od 0,3% da će se nalaziti izvan »granice tolerancije« (Meden 1990).

2. KONTROLA TOČNOSTI GRADNJE BRODSKIH KONSTRUKCIJA

»Problem točnosti elemenata strukture broskog trupa, u uvjetima suvremene brodogradnje, osobito je važan, bez obzira na to radi li se o funkcijском ili tehnološkom odnosno proizvodnom značenju. Osim zahtjeva za smanjenje pogonske snage i osiguranje točnosti, npr. u skladišnom prostoru zbog ukraja standardnih spremnika, istodobno je aktualan zahtjev za pojednostavnjenje dimenzijskih tj. tehnoloških viškova i, u svezi s time, smanjenje opsega dodatnih radova« (Meden, 1990).

Rješenje navedenog problema traži primjenu odgovarajućih metoda mjerenja. Metode mjerenja u brodogradnji mijenjale su se ovisno o tehnologiji gradnje, dimenzijama i oblicima brodskih konstrukcija.

Negdje do šezdesetih godina mjerna je tehnika u brodogradnji, zbog gradnje relativno malih objekata, bila vrlo jednostavna. S pomoću metra, čelične vrpce, običnog viska, vodene libele i izvora jakog svjetla s vizirkom obavljana su sva mjerenja (Glozman i Sokolov, 1961; Dobrolenski i Marčen-

ko, 1978). Primjenu sličnog pribora, odnosno odgovarajućih metoda mjerenja vrlo lijepo opisao je I. Petković (1952) pri snimanju brodskih linija. Pritom je korišten pribor (alat, kako piše I. Petković), koji se sastoji od:

»1. mjerne daske, koja je nešto veće duljine od pola širine broda ($B/2$) s označenom ljestvicom u metrima: Najprikladnija je ljestvica s jedinicama: 0,5 m, 1 m, 1,5 m, itd.,

2. dvaju drvenih stalaka za mjernu dasku s pomoću kojih se može regulirati visina mjerne daske. Regulacija se najjednostavnije obavlja s drvenim klinovima, koji se podmeću pod bazu stalaka,

3. obične zidarske libele,

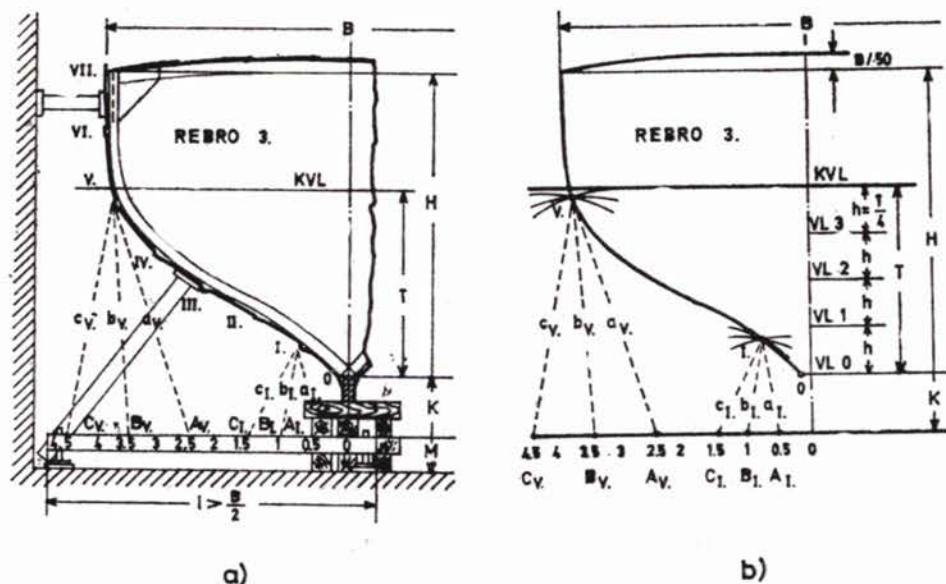
4. krede ili boje za obilježavanje linije na oplati broda na mjestu gdje se pretpostavlja teoretsko rebro,

5. tehničkog metra (obično je dostatna standardizirana vrpca od tekstila, duga 20 m),

6. olovnice, duljine niti nešto veće nego što je visina do glavnoga krova,

7. tablice za unošenje podataka izmjere.«

Postupak snimanja brodskih linija (snimanje s vanjske strane trupa, na vanjskoj oplati) vidi se na slici 1.a, a izradba nacрта iz odnosnih podataka na slici 1.b.



Slika 1. (Izvor: Petković, 1952)

Tomu treba dodati i drvene (ravne i prostorne) šablone (Grubišić, 1978).

Iako je to pribor koji se u nas rabi samo iznimno, i to za sitnije radove, autor je, međutim, 20. svibnja 1989. prisustvovao primjeni šablona i pri tako važnom poslu kao što je određivanje poprečnog presjeka m/b »Golfo del Sole« (širine 20,7 m, visine do gornje palube 13,0 m i duljine preko svega

147,98 m), radi produljenja u plutajućem doku brodogradilišta INMA — La Spezia, Italija. O primjeni šablona pri izmjeri objekta velikih dimenzija može se pročitati u literaturi objavljenoj negdje do šedesetih godina (Glozman i Sokolov, 1961). U našoj se praksi ovi radovi izvode isključivo geodetskim metodama mjerenja. Navedenom mjernom priboru treba dodati i čeličnu žicu (obično \varnothing 0,3 do 0,5 mm). U odnosu na nju (materijalizirani određeni položaj pravca), kontrolira se izradba nekih konstruktivnih elemenata ili cijela konstrukcija. Ovaj postupak bilježi se u literaturi objavljenoj još u sedamdesetim godinama. U našoj se praksi čelična žica zamjenjuje vizurnom osi instrumenta. Ondje gdje se ona i dalje primjenjuje, redovito je to u kombinaciji s geodetskim metodama mjerenja. Takav je slučaj s određivanjem osnovnog pravca za gradnju broda (Grubišić, 1978; Cerovac, 1991.b) i centriranjem osovin-skog voda (Cerovac, 1987).

Međutim, vrlo intenzivan i specifičan razvoj brodogradnje pri kraju šezdesetih godina utjecao je na usvajanje nove tehnologije gradnje brodova u više dijelova, spajanjem na moru, u plutajućem doku, ili u suhom doku (Takagi i dr., 1967; Herfst, 1969; Mavrić, 1970; Jones i dr., 1971; Grubišić, 1978).

Primjenom nove tehnologije gradnje brodova pojavile su se teškoće u svezi s mjernom tehnikom. Do tada primjenjivana (što je prethodno pokazano) mjerna tehnika nije više mogla uspješno zadovoljiti sve raznovrsnije i neuobičajenije zahtjeve prakse. Geodetske metode mjerenja tražene zahtjeve potpuno zadovoljavaju (Scheelings, 1969). To potvrđuje i sljedeći citat: »Dobre rezultate uz povećanu točnost mjerenja daje primjena optičkih instrumenata« (Mavrić, 1976).

S ovim radovima počinju se znatnije primjenjivati geodetske metode mjerenja u brodogradnji. Danas je uobičajeno da se navedene teškoće rješavaju primjenom geodetskih metoda mjerenja. To potvrđuju najnoviji primjeri gradnje brodova iznimno velikih dimenzija (Cerovac, 1990), razne rekonstrukcije brodova (Cerovac, 1991.a), te radovi vezani uz razvoj novih tehnologija gradnje brodova (Cerovac, 1991.b; Ruso i Fajs, 1987).

Za pouzdano ostvarenje postavljenih zadataka, vezanih uz odnosni proizvod potrebno je već u fazi projektiranja, u skladu s usvojenom tehnologijom, odrediti kriterije točnosti dimenzija i oblika. Kako se ova točnost u brodogradnji uglavnom ostvaruje geodetskim metodama mjerenja, potrebno je da i geodet sudjeluje u određivanju dopuštenih odstupanja određene konstrukcije, odnosno njenih sastavnih dijelova (Cerovac, 1990). Pritom treba imati na umu da su višestruka istraživanja pokazala da se pri izradbi i montaži elemenata i konstrukcija trupa promjenljivost geometrijskih, posebno dimenzijskih obilježja, pokorava normalnom zakonu distribucije (Glozman i Sokolov, 1961; Glozman i Vasilev, 1971; Fedoseev, 1971; Mavrić, 1976; Meden, 1990). Istom zakonu, utvrđeno na temelju izvedenih mjerenja, pokorava se promjenljivost dimenzijskih obilježja nastalih pri rezanju limova i pripremi za zavarivanje sučeljenih i kutnih spojeva (Denisov, 1965; Meden, 1980).

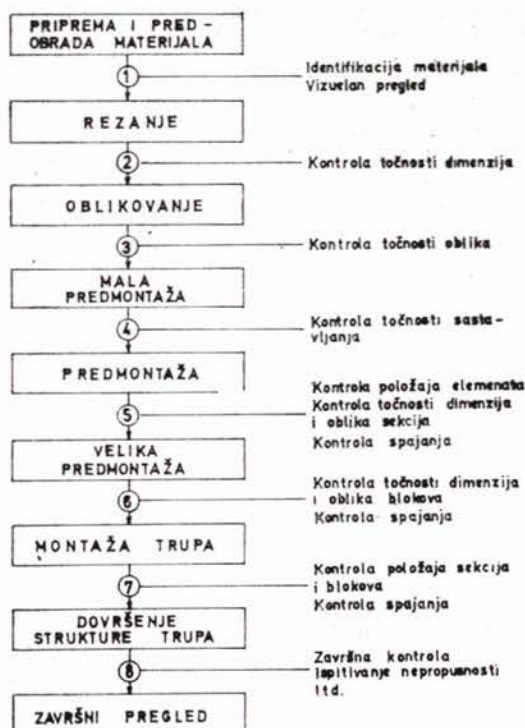
Rezultati ovih istraživanja omogućuju uvođenje statističkih metoda u procesu gradnje brodskih konstrukcija, radi određivanja dopuštenih odstupanja kvalitete, odnosno dimenzija i oblika sastavljenog proizvoda. Pri širokim dopuštenim odstupanjima neizbježno je postojanje tehnološkoga kompenzatora, tj. dimenzijskog dodatka ili viška, radi podešavanja, pojednostav-

njenja montažnih operacija, a pri strožijim — neophodna je stručnija radna snaga i savršenija oprema (Glozman i Vasilev, 1971; Mavrić, 1976; Meden, 1990).

U ovim razmatranjima treba navesti i to da se pri izradbi i montaži trupa broda pojavljuju različite pogreške i da među njima posebno mjesto imaju tzv. geometrijske pogreške dimenzija i oblika. One se, po svom karakteru, mogu podijeliti na grube, slučajne i sustavne. Pri izradbi elemenata i sekcija trupa broda sustavnim je pogreškama potrebno pribrojiti i deformacije koje nastaju pri plinskom rezanju i zavarivanju, a koje se pojavljuju po određenim zakonitostima (Mavrić, 1976; Meden, 1990). Te pridružene pogreške posebno su istaknute, jer je iz iskustva poznato da, po prirodi posla, mogu biti znatne, pa ih se u promatranim radovima, u očekivanom iznosu, ako je moguće, treba unaprijed uzeti u obzir. U praksi se to uglavnom ostvaruje također primjenom geodetskih metoda mjerenja (Cerovac, 1990).

U namjeri da se dobije uvid u opseg primjene geodetskih metoda mjerenja u procesu gradnje broda, navodi se shematski prikaz raspoređenosti osnovnih kontrolnih mjesta u procesu gradnje broskog trupa u skladu s preporukama klasifikacijskih društava za uvođenje sustava kontrole točnosti, odnosno kontrole kvalitete u brodogradilištu (sl. 2) (Meden, 1990).

Na ovoj shemi (sl. 2) vidi se da se geodetske metode mjerenja ne primjenjuju jedino u 1. fazi. Pritom opseg njene primjene u velikoj mjeri ovisi



Slika 2. Shematski prikaz sustava kontrole u procesu gradnje broskog trupa (izvor: Meden, 1990)

o industrijalizaciji brodograđevnih radova koja, općenito, utječu na uvođenje suvremenih metoda kontrole kvalitete, posebno točnosti dimenzija i oblika. Inače, rješenja problema vezanih uz gradnju trupa broda primjenom geodetskih metoda mjerenja u udžbeniku M. Grubišića (1976), za razliku od konvencionalnih načina, obrađuju se kao suvremeni načini.

3. OPASKA

Svrha je ovih ramatranja da ukažu na značenje primjene odgovarajućih metoda kontrole kvalitete pri gradnji brodova, kako bi se udovoljilo sve raznovrsnijim i neuobičajenijim zahtjevima prakse, a razlog je u tomu što se pri kontroli točnosti dimenzija i oblika uglavnom primjenjuju geodetske metode mjerenja.

LITERATURA

- Adlerštejn, L. C. i Sokolov, B. F. (1968): Spravočnik po sudovym razmetočnym i proveročnym rabotam. »Sudostroenie«, Leningrad.
- Cerovac, P. (1986): Prilog proračunu točnosti lanca dimenzija. Geodetski list, 7—12, 221—225.
- Cerovac, P. (1987): Prilog definiranju položaja pravca pomoću vizirki, odnosno pomoću tanke čelične žice. OMO — Održavanje mašina i opreme, 5, 301—303.
- Cerovac, P. (1990): Prilog istraživanju primjene geodetskih metoda mjerenja pri gradnji plutajućih dokova izuzetno velikih dimenzija, Geodetski list, 10—12, 329—342.
- Cerovac, P. (1991. a): Primjene geodetskih metoda mjerenja prilikom rekonstrukcije plovećih objekata. Geodetski list, 1992.
- Cerovac, P. (1991. b): Primjena geodetskih metoda mjerenja pri gradnji plovećih objekata otoka na navozu Geodetski list, 1992, 1, 69—76.
- Denisov, R. O. (1965): Primjenjenje matematičke statistike u tehnologiji i sudovog korpusostrojenja. Sudostroenie, Leningrad.
- Dobrolenskij, V. P. i Marčenko, S. I. (1978): Soveršenstvovanie proveročnyh rabot v korpusostroenii. Sudostroenie, 10, 67—69.
- Fedoseev, D. N. (1971): Kačestvo sboročnyh operacij. Mašinostroenie, Leningrad.
- Glozman, M. K. i Sokolov, V. F. (1961): Postrojka korpusa sudna na stapele. Sudoprom GIZ, Leningrad.
- Glozman, M. K. i Vasilev, A. L. (1971): Tehnologičnost konstrukcij korpusa sudna. Sudostroenie, Leningrad.
- Grubišić, M. (1978): Tehnologija gradnje broda. Split.
- Herft, L. P. (1969): Some Aspects of Building Mammoth Tankers in two Halves. Schiff und Hafen, 1, 49—54.
- Jones, E. J., Case, J. i Conner, M. (1971): Produbljenje m/b »Queen of Esquimalt«. Marine Enlineers Review, August 1971 (prijevod).
- Mackević V. D. i dr. (1980): Osnovy tehnologiji sudostrojenja. Sudostroenie, Leningrad.
- Mavrić, I. (1970): Neki tehnološko-ekonomski aspekti gradnje broda u dva dijela. Brodogradnja, 6, 333—338.
- Mavrić, I. (1976): Točnost i kvaliteta izrade i montaže trupa broda. II. simpozij o teoriji i praksi brodogradnje, Zagreb, svezak 2, str. 5.33—5.44.
- Meden, Đ. (1976): Primjena statističke metode kontrole kvalitete pri izradi elemenata broskog trupa. Zbornik IV. radova nastavnika Tehničkog fakulteta, Rijeka, str. 230—253.
- Meden, Đ. (1980): Prilog razrješavanju problema dimenzijske točnosti kod montažnih radova. IV. simpozij o teoriji i praksi brodogradnje, Opatija, svezak 2, str. 8.1.—8.17.

- Meden, Đ. (1990): Uloga točnosti elemenata strukture brodskog trupa. IX. simpozij o teoriji i praksi brodogradnje, Dubrovnik, svezak II, str. 421—434.
- Petković, I. (1952): Snimanje brodskih linija. Brodogradnja, 2, 67—71.
- Ruso, S. i Fajs, Z. (1987): Nova tehnologija montaže broda. Brodogradnja, 2—3, 113—117.
- Scheelings, W. B. (1969): Joining Ships Afloat, Lloyd's Register Staff Association. Seession 1968—69, Paper No. 7, Lloyd's Register of Shipping, London, str. 1—16.
- Takagi, O., Hayashi, Y., Ura, H. i Asso, B. (1967): Preostali naponi uslijed zavarivanja kod pregradnje trupa tankera. Zavarivanje, 2, str. 26—34, i 3, str. 54—58 (Prijevod dokumenata MIZ-a X—330—64)
- *** (1990): Standard inspekcije zavarenih spojeva i deformacija trupa. Standardi Jadranbroda, Split.

CONSIDERATIONS OF THE ACCURACY OF SHIP CONSTRUCTIONS REGARDING THE APPLICATION OF SURVEYING MEASUREMENT METHODS

The application of industrial methods of production in shipbuilding has resulted in the introduction of modern methods of quality control. This primarily applies to the accuracy of the dimensions and shapes of the ship hull constructions. Nowadays this control is generally performed using the surveying measurement methods.

Primljeno: 1991-12-12