

**STATISTIČKA ANALIZA STRUKTURNE DEGRADACIJE  
ELEMENATA BRODSKOG TRUPA KOD STARIH BRODOVA  
ZA PREVOZ RASUTOG TERETA**

**STATISTICAL ANALYSIS OF SHIP'S HULL STRUCTURE WASTAGE  
OF AGING BULK CARRIERS**

**Mr Špiro Ivošević, Prof. Dr Danilo Nikolić**  
**Univerzitet Crne Gore, Fakultet za pomorstvo u Kotoru,**  
**Dobrota 36, 85330 Kotor, Crna Gora**

**REZIME**

*Zbog strukturne degradacije brodskih konstruktivnih elemenata, prije svega usljed korozije materijala, stari brodovi ubrzano propadaju i dolaze u stanje koje je ispod propisanih standarda. Uzimajući u obzir navedene činjenice, u ovom radu se kroz utvrđivanje istrošenosti pojedinih uzdužnih strukturnih elemenata broskog trupa sagledavaju istrošenja poprečnog modula nosača trupa i odstupanja u krajnjim granicama odabranog intervala. Za analizu je korišćena baza podataka sakupljena nad 10 starih brodova za prevoz rasutog tereta, starosti od 25 do 30 godina, a koja se sastoji od 29.097 mjernih pozicija sistematizovanih kroz 162 poprečna presjeka broda. Sprovedena istraživanja bi trebala pomoći u procesu planiranja održavanja i smanjenja štetnih uticaja nastalih usljed korozije materijala.*

**Ključne riječi:** održavanje, brodovi za rasuti teret, korozija, poprečni modul nosača trupa

**ABSTRACT**

*Due to degradation of ships structural members, above all, due to corrosion of material, aged vessels increasingly deteriorate to the state below the required standards. Considering the mentioned facts, the present paper considers the wear of the hull girder section modules and deviations within the limits of the chosen interval, through determining the wear of certain longitudinal structural members of the hull. Database gathered over 10 aged bulk carriers, from 25 to 30 years old, has been used for analysis. Database consists of 29.097 measured points systematically given through 162 cross sections. Research carried out should help in the process of maintenance planning, as well as in reduction of damaging effects that can appear due to corrosion of materials.*

**Key words:** maintenance, bulk carriers, corrosion, hull girder section modules

**1. UVOD**

Posljednjih dvadeset godina sprovode se opsežna i sveobuhvatna istraživanja u cilju smanjenja negativnih posljedica koje su na čovjeka i okruženje imali stari brodovi za prevoz rasutog tereta, koji su u eksploataciji bili duže od 15 godina. Ovi brodovi značajno su bili oštećeni korozijom i napuknućima usljed zamora materijala što je najčešće bio njihov uzrok propadanja. Samo u periodu od 1980. do 1995. godine došlo je do potapanja preko 150 brodova (čija je prosječna starost bila preko 20.4 godina) sa preko 1200 ljudskih žrtava. Ovo je impliciralo da mnoge zainteresovane strane u pomorstvu IMO (Međunarodna pomorska

organizacija), IACS (Međunarodna asocijacija klasifikacionih društava), Flag (Državne administracije – Zastave) kao i druge prepoznate organizacije, posebnu pažnju posvete starim brodovima u eksploataciji kako bi se pronašle razumne opcije njihovog održavanja u cilju minimiziranja opravki i cijene održavanja [1,3,4]. U tom smislu su sprovedena obimna istraživanja izvedena nad starim brodovima za prevoz rasutog tereta i nad tankerima.

Posebna pažnja je posvećena analizi rizika na bazi pouzdanosti, koja je kroz analizu smanjenja strukturnih elemenata brodskog trupa kod starih brodova postala poželjna metoda za planiranje održavanja i inspekcija [1,4,5,6,7,8,9,10]. Najznačajnija istraživanja izvedena kroz pristup zasnovan na pouzdanosti brodskih struktura su imala ključnu ulogu u cilju procjene čvrstoće nosača brodskog trupa, razmatrane kroz smanjenje poprečnog modula nosača trupa (PMNT) [1,2,3]. Ova istraživanja su pokazala da je veoma mali procenat flote pokazivao veliki gubitak poprečnog modula koji je prelazio vrijednost od prihvatljivih 10 %. Tako su u nekim od dosadašnjih istraživanja istrošenja PMNT kod tankera iznosila do 7,0 %, dok su kod brodova za rasuti teret gubici PMNT iznosili do 4,2 % [11].

Paralelno sa istraživanjem smanjenja PMNT, obimna istraživanja su vršena u cilju identifikacije degradacije pojedinih strukturnih elemenata brodskog trupa u kojima su se posebno analizirali modeli korozionog gubitka pojedinih strukturnih elemenata tankera i brodova za prevoz rasutog tereta kao što su: uzdužni limovi i uzdužna ukrućenja tankera i brodova za prevoz rasutog tereta, uzdužni elementi jednostrukih tankera, transverzni elementi jednostrukih tankera [7,11,12,13,14,15,16]. Sama degradacija strukturnih elemenata brodskog trupa ogleda se kroz smanjenje osnovne strukture materijala, što prouzrokuje štetne posljedice na čvrstoću brodske konstrukcije i opasnost od propuštanja u kontaktnim vodonepropusnim zonama brodske konstrukcije, kao što je oplata, pregrade u skladištima tereta i pregrade između balastnih tankova. Istraživanja sprovedena od strane Paika pokazala su da kod starih brodova za prevoz rasutog tereta najviše propadaju limovi pokrova dvodna (eng. *Inner bottom plating*) i limovi glavne palube (eng. *Main deck*), dok kod uzdužnih ukrućenja prvo propadaju uzdužni elementi glavne palube i oplata (eng. *Deck and Shell longitudinal stiffeners*) u gornjim visećim tankovima [17,18]. Zbog strukturnog propadanja brodskih konstruktivnih elemenata usljed korozije, kod starih brodova se izvode obimni čelični radovi u cilju zamjene strukturnih elemenata koji su ispod propisanih standarda. Aktivnosti zamjene čeličnih površina i uzdužnih elemenata konstrukcije praćene su stalnim proračunom uzdužne čvrstoće broda u cilju utvrđivanja njegove vrijednosti.

Samo korišćenjem velikih baza podataka moguće je identifikovati oblasti u kojima je korozioni proces dominantniji, te odredili kritične elemente brodskog trupa koji su podložni intenzivnim korozionim procesima, kako bi se optimizirao proces održavanja i planiranja inspekcija u cilju smanjenja štetnih uticaja korozije na čvrstoću konstrukcije, sigurnost ljudskih života i zaštite životne sredine. Zbog te činjenice, u ovom radu je prezentovana statistička analiza zasnovana na obimnoj bazi podataka sakupljenoj tokom mjerenja strukturnih elemenata brodskog trupa kod starih brodova u eksploataciji. Sakupljeni podaci su sistematizovani na način da omogućavaju dobijanje informacija o smanjenju pojedinih strukturnih elemenata brodskog trupa i ukupnog presječnog modula nosača trupa. U tom smislu, ovaj rad obuhvata:

- obezbjeđenje i sistematizaciju podataka o degradaciji brodskog trupa,
- ispitivanje i upoređivanje istrošenja pojedinih strukturnih oblasti brodskog trupa u krajnjim zonama odabranog intervala (čitav skladišni prostor broda),
- ispitivanje istrošenja ukupnog PMNT kao i istrošenja PMNT u graničnim oblastima (na krajevima i sredini odabranog intervala), i
- uporedna analize dobijenih podataka sa do sada obavljenim istraživanjima.

## 2. DEFINISANJE KRITERIJUMA PRIHVATLJIVOSTI POPREČNOG MODULA NOSAČA TRUPA - PMNT

Pravila klasifikacionih društava definišu kriterijume prihvatljivosti, na način što propisuju dozvoljena odstupanja mjernih od ugrađenih vrijednosti strukturnih elemenata. Na taj nači se određuju strukturni elementi i površine koje su ispod standardom propisanih vrijednosti i koje je potrebno zamjeniti u cilju dalje eksploatacije brodskih struktura.

Iako su ova pravila uglavnom ujednačena, njihova međusobna raznolikost nema bitnijeg uticaja kod brodova manje starosti, dok sa povećanjem starosti, kada korozivno propadanje poprimi široke razmjere, klasifikaciona društva koja dozvoljavaju veća istrošenja (kroz povećani prag prihvatljivosti istrošenja strukturnih elemenata) omogućavaju dužu eksploataciju broda bez zamjene strukturnih elemenata, odlažući remontne radove za kasniji period [20].

IACS je usaglasila pravila za jedinstveni pregled brodskog dizajna, kroz uvođenje i implementaciju jedinstvenih pravila za konstrukciju brodova za prevoz rasutog tereta (IACS *Unified Requirements on Bulk Carrier design*), koja su stupila na snagu 01. Jula 1998. godine. Ova pravila između ostalog predviđaju da brodovi u servisu ne smiju imati svoj PMNT ispod 90 % vrijednosti u odnosu na novosagrađeni brod. Ovi zahtjevi su postali industrijski standardi i kasnije su prihvaćeni i od strane IMO-a [19].

Podaci sakupljeni tokom redovnih mjerenja strukture brodskog trupa, saglasno zahtjevima klasifikacionih društava koriste se za određivanje onih strukturnih elemenata koji su ispod predviđenih standarda i ujedno za proračun poprečnog modula nosača trupa - PMNT (eng. *Hull Girder Section Module*). Dakle, efekat starosti brodova ogleđa se kroz smanjenje osnovne debljine materijala usljed dejstva korozije i gubitka PMNT, čiji se stepen određuje preko izmjerenih vrijednosti i ugrađenih vrijednosti, odnosno preko sljedeće jednačine:

$$R = \text{PMNT (izmjereno)} / \text{PMNT (ugrađeno)} \quad \dots (1)$$

gdje je R označena vrijednost gubitka PMNT za odabrani poprečni presjek broda.

Dosadašnja istraživanja PMNT-a koja su koristila obimne i jasno definisane baze podataka pokazala su visok nivo raspršenosti podataka.

## 3. PREDMET ISTRAŽIVANJA

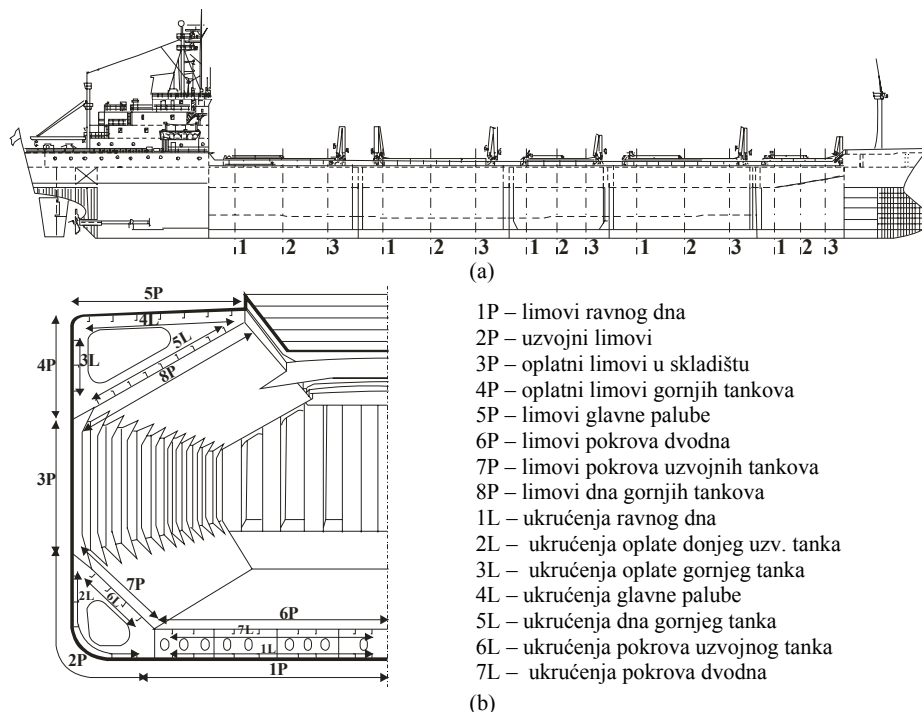
Predmet istraživanja ovog rada su brodovi za prevoz rasutog tereta – *bulkcarrier*, koji su u eksploataciji više od 25 godina. Razmatrana je baza podataka za 10 brodova namijenjenih za prevoz rasutog tereta čiji su osnovni podaci prikazani u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o brodovima

Vrsta broda	brodovi za rasuti teret – „ <i>bulkcarrier</i> “
Izvor podataka	izvještaji o debljini strukture brodskog trupa
Dužina brodova	150 – 200 m
Starost broda	25-30 godina
Klasa broda	4 Klasifikaciona društva člana IACS
Brodovi sagrađeni	u periodu od 1978. – 1984. god
Period mjerenja	2002 – 2009 god
Broj brodova	10
Broj poprečnih presjeka	162
Broj mjernih pozicija	29.097

Podaci sakupljeni tokom mjerenja reprezentuju stanje strukturnih elemenata brodskog trupa u trenutku mjerenja. Analizirani podaci su sakupljeni i sistematizovani u redovnim intervalima za mjerenje brodskog trupa i predstavljali su samo dio sveobuhvatnih mjerenja brodskog trupa. Sveobuhvatna mjerenja, koja se zahtjevaju od strane klasifikacionih društava, obuhvataju sve strukturne elemente brodskog trupa koji su u kontaktu sa morskom vodom, teretom i atmosferom. U konkretnom istraživanju, shodno odabranom postupku i njegovom obimu, može se smatrati da odabrani uzorak sadrži dovoljnu količinu podataka koji mogu svjedočiti o korozionoj degradaciji strukturnih elemenata brodskog trupa u cjelokupnom opsegu skladišnog prostora brodskog trupa.

U radu su obuhvaćeni podaci sakupljeni u trenutku mjerenja kao i informacije koje su se odnosile na ranije stanje broda u eksploataciji u smislu identifikacije onih površina koje su u ranijem periodu bile zamijenjene, kao površine koje su bile ispod zahtijevanih standarda. Kod ranije zamijenjenih strukturnih ukrućenja i površina, saglasno kriterijumu prihvatljivosti definisanom prema pojedinim klasifikacionim društvima, zadržan je trend oštećenja tih strukturnih elemenata na nivou prije zamjene. Ovi elementi su u predmetnim istraživanjima prikazani kao elementi oštećeni korozijom i sa nivoom propadanja ispod prihvatljivih standarda, a ne kao elementi zamjenjeni novougrađenim elementima u ranijem periodu.



Slika 1. Uzdužni i poprečni presek broda sa pozicijama za mjerenje.  
a) Uzdužni presjek broda sa odabranim presjecima, b) Poprečni presjek broda

#### 4. METODOLOGIJA

U radu je analiziran ukupni poprečni modul nosača trupa kroz sveobuhvatno praćenje svih uzdužnih strukturnih elemenata brodskog trupa u odgovarajućem presjeku, dok su poprečni elementi presjeka bili isključeni iz razmatranja. Dakle, svaki segment lima-površine i ukrućenja koji je presječen poprečnim presjekom obuhvaćen je jednom mjernom tačkom.

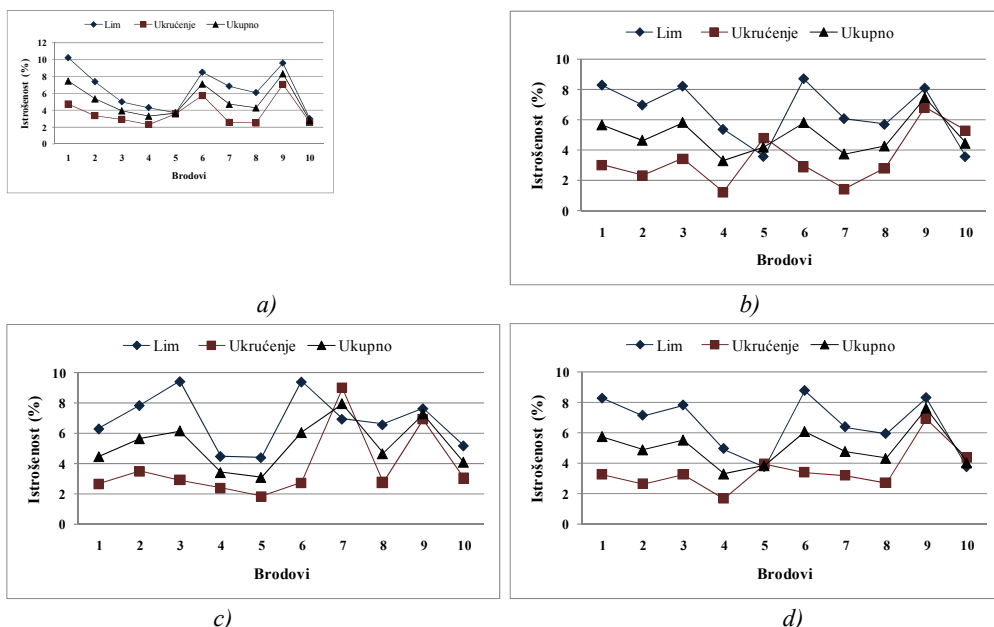
Potom su identifikovane određene strukturne površine koje su se sastojale iz više limova, označene od P1 do P8, kao i oblasti koje su se sastojale iz više strukturnih ukrućenja sa oznakom od L1 do L7, kako je to prikazano na slici 1 (b).

Shodno pravilima klasifikacionih društava koja zahtjevaju mjerenje 3 karakteristična presjeka kod starih brodova [19], u ovom radu, a u cilju proračuna uzdužne nosivosti broda, u svakom skladištu tereta su odabrana po tri presjeka, jedan u zadnjem dijelu skladišta, jedan u centralnom i jedan u prednjem dijelu skladišta. Na taj način, razmatrano je 8 brodova sa po 5 skladišnih prostora (slika 1a) i dva broda sa po 7 skladišnih prostora koji su ukupno sadržali 162 poprečna presjeka sa ukupno 29.097 mjernih pozicija.

Ukupan poprečni modul je trebao definisati sveobuhvatno istrošenje svih odabranih PMNT po jednom brodu. Krajevi posmatranog skladišnog prostora su definisani na način što je zadnji dio skladišne oblasti prema mašinskom prostoru obuhvatao podatke PMNT samo u dijelu zadnjeg skladišta (obuhvatajući podatke sa samo 3 presjeka), prednji dio skladišnog prostora je obuhvatao podatke sakupljene sa 3 presjeka iz prednjeg skladišta, dok je ostatak između krajeva predstavljao vrijednosti sveobuhvatnog PMNT u preostalom dijelu skladišnog prostora (ukupno 3 skladišta kod brodova koji imaju 5 skladišta i 5 skladišta kod brodova koji imaju 7 skladišta).

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

Shodno ranije navedenom, tokom mjerenja 162 poprečna presjeka, posebno su analizirani krajevi odabranog skladišnog prostora, krmenog, pramčanog i centralnih skladišta tereta. Koristeći ranije prezentiranu metodologiju, kreirani su dijagrami gubitka PMNT u sredini i na krajevima posmatranog intervala, kako je to prikazano na slici 2.



Slika 2. Procentualno istrošenje PMNT, a) u dijelu broda ka mašinskom prostoru, b) centralnom dijelu broda, c) prednjem dijelu broda, d) cjelokupnom odabranom opsegu broda

Prosječna procentualna istrošenja PMNT u odnosu na projektovanu vrijednost kod svih brodova ne prelazi propisanih 10 %, iako je u nekim odabranim oblastima uočeno da prosječna vrijednost prelazi 10 % (10,23 % kod broda 1 na slici 2a). U tom smislu su u tabeli

2, prikazane vrijednosti procentualnog istrošenja PMNT u svim karakterističnim presjecima: zadnjem dijelu ka mašinskom prostoru, centralnom, prednjem dijelu skladišta prema pramcu i sveobuhvatnom procentualnom istrošenju cjelokupnog skladišnog prostora broda.

*Tabela 2. Istrošenost PMNT, sveobuhvatna istrošenost i istrošenost na krajevima i sredini razmatranog intervala*

Odabrana oblast	Zadnji dio	Centralni dio	Prednji dio	Ukupan interval
Lim	<b>6,47</b>	<b>6,47</b>	<b>6,81</b>	<b>6,52</b>
Ukrućenje	<b>3,73</b>	<b>3,39</b>	<b>3,76</b>	<b>3,51</b>
Ukupno %	<b>5,10</b>	<b>4,93</b>	<b>5,28</b>	<b>5,02</b>

Na osnovu sprovedenih mjerenja nad strukturnim elementima broskog trupa, kod grupe od 10 brodova za rasuti teret, izvršena je obrada podataka u cilju dobijanja informacija o strukturnoj degradaciji uzdužnih konstruktivnih elemenata starih brodova koji ulaze u proračun PMNT. Razmatrajući dobijene podatke može se zaključiti sljedeće:

- (a) Kako se uočava iz tabele 2, sumarni podaci ukupnog PMNT, uzimajući u obzir strukturno oštećenje elemenata usljed korozije ne prelazi 7 % ni kod jedne od razmatranih oblasti, s time da je ukupna prosječna vrijednost 5,02 %. Iako prosječna vrijednost PMNT po svakom pojedinačnom brodu nije prelazila 8,5 %, uočeno je da su vrijednosti gubitaka pojedinih presjeka imale vrijednosti od preko 10 % (slika 2a). Ovaj podatak svjedoči da je kod većine brodova ispunjen ključni zahtjev svih klasifikacionih društava a to je da vrijednost istrošenja poprečnog modula mora biti ispod 10 %. Presjeci čije istrošenje prelazi 10% upućuju na oblasti broskog trupa u kojima su pojedini strukturni elementi prešli granice prihvatljivosti, propisane od strane klasifikacionih društava. Ova prekomjerna istrošenja strukturnih elemenata, prouzrokovala su obimne radove u čeliku, izvedene u smislu zamjene oštećenih strukturnih elemenata usljed korozije, kao što su pojedini strukturni elementi (limovi pokrova dvodna i glavne palube, uzdužna ukrućenja u gornjim balasnim tankovima ili u pokrovu dvodna).
- (b) Kumulativno istrošenje limova od 6,52 % je izraženije u odnosu na kumulativno istrošenje ukrućenja konstrukcije od 3,51 % i to za više od 180 %, tabela 2. Razlog za ovo treba tražiti u činjenici da se strukturna ukrućenja nalaze isključivo u balasnim tankovima i da se propadanje elemenata odvija samo usljed korozije prouzrokovane dejstvom agresivne morske vode. Nasuprot tome, strukturne površine – limovi oplata sa spoljne strane broda su pod uticajem morske vode i atmosferskih prilika, dok su sa unutrašnje strane broda takođe izloženi uticajima morske vode (unutar balasnih tankova), promjenljivim atmosferskim prilikama ili uticaju tereta u dijelu skladišta označenom kao 3P. Unutrašnji limovi broda su sa jedne strane izloženi morskoj vodi unutar balasnih tankova a sa druge strane atmosferskim uslovima unutar skladišta i korozivnom teretu. Dakle, očigledno je da su limovi izloženi dejstvu različitih uticaja morske vode, atmosfere i tereta što znatno utiče na intezivnost korozivnog procesa.
- (c) Razmatranja strukturne degradacije trupa usljed korozije u graničnim oblastima skladišnog prostora, prikazana na slici 2, pokazuju značajnija odstupanja u odnosu na sveobuhvatne vrijednosti PMNT. Istrošenost limova, razmatrana kroz propadanje limova P1 do P7, ne pokazuje znatnije odstupanje u krmenom i centralnom dijelu u odnosu na prosječno izračunate vrijednosti, i odstupanje je na nivou od 0,05 %. Znatnije odstupanje je uočeno u prednjem dijelu broda, gdje je istrošenost PMNT od 6,81 % veća za 6,5 % u odnosu na prosječno izračunatu vrijednost kod svih brodova koja iznosi 6,52 %, tabela 2. Očigledno je da u ovim oblastima dolazi do ranijeg napuknuća površinske zaštite i početka korozionog propadanja limova, što se može objasniti većim naprezanjima konstrukcije broda u pramčanom dijelu. Limovi palube

propadaju i sa gornje strane (pod dejstvom atmosferskih prilika) kao i sa donje strane (pod dejstvom morske vode iz balastnog tanka).

- (d) Propadanje elemenata za ukrućenje razmatranih kroz elemente L1 do L7, je manje izraženo u odnosu na strukturne površine. Opaža se da istrošenja ukrućenja brodske trupa na krajevima posmatranog opsega skladišta za teret pokazuju znatnija odstupanja (vrijednost istrošenja u zadnjem dijelu je 3,73 % a u pramčanom dijelu je 3,76 %) čije vrijednosti su za oko 7 % veće u odnosu na prosječnu vrijednost koja iznosi 3,51 %, tabela 2. Procentualno istrošenje elemenata za ukrućenje na krajevima skladišta (3,73 % u zadnjem dijelu i 3,76 % u prednjem dijelu skladišta) je za preko 10 % veće u odnosu na istrošenje u centralnom dijelu skladišta od 3,39 %. Očigledno je da su na krajevima skladišnog prostora izraženije vibracije i naprezanja, koje prouzrokuju ranije pucanje površinskog premaza i dovode do ranijeg početka korozivnog procesa.

Poređenjem rezultata iz ovog rada sa već prezentiranim rezultatima drugih istraživača mogu se konstatovati sljedeći zaključci:

- (a) U ranijim istraživanjima nad brodovima za prevoz rasutog tereta, Ivanov [6,13] je pokazao da je gubitak PMNT kod „Handy size bulkova“ starosti 20 godina bio na nivou od 4,2 %. U istraživanjima sprovedenim u ovom radu, prosječna istrošenost poprečnog nosača trupa od 5,02 % pokazuje znatniji procenat istrošenosti uzdužnih strukturnih elemenata broda, u odnosu na ranija istraživanja. Ovo se može obrazložiti time što su svi brodovi bili stariji od 25 godina i što je analizirano kumulativno propadanje svih strukturnih elemenata brodske konstrukcije.
- (b) Istraživanja izvedena od strane Pajka [7,17,18] pokazala su da su najveća istrošenja uočena nad strukturnim površinama - limovima a potom nad strukturnim ukrućenjima, što je i u ovom radu potvrđeno.

## 6. ZAKLJUČAK

Istraživanja u ovom radu su sprovedena nad 10 starih brodova u eksploataciji, korištenih za prevoz rasutog tereta. Ova istraživanja su sprovedena u cilju identifikacije istrošenja poprečnog modula nosača trupa (PMNT) broda, i to kroz analizu njegovog procentualnog istrošenja u odnosu na projektovanu vrijednost, na krajevima i sredini skladištenog prostora broda.

Istraživanja su pokazala da limovi konstrukcije propadaju znatno brže od elemenata za ukrućenje i to za 180%. Takođe, pokazano je da postoje znatnija istrošenja strukturnih elemenata brodske konstrukcije u krajnjim granicama prostora skladišta, kako kod analiziranih limova, tako i kod elemenata za ukrućenje. Propadanje limova izraženije je u prednjem dijelu prostora skladišta u odnosu na prosječno izračunatu vrijednost kod svih brodova i to za 6,5%. Kod elemenata za ukrućenje, uočeno je izraženije istrošenje elemenata u prednjem i u zadnjem dijelu prostora skladišta u odnosu na istrošenje u centralnom dijelu skladišta i to za preko 10%.

Dalja istraživanja bi trebalo usmjeriti ka istraživanju propadanja pojedinih elementa koji ulaze u proračun poprečnog modula, te na osnovu sprovedenih istraživanja posebnu pažnju posvetiti kritičnim graničnim oblastima uz jasno definisanje preventivnih radnji koje bi spriječile strukturno propadanje brodova u eksploataciji.

## 7. REFERENCE

- [1] Wang G., Lee A., Ivanov L., Lynch J. T., Serratella C., Basu R.: A Statistical Investigation of Time-variant Hull Girder Strength of Aging Ships and Coating Life, *Journal of Marine Structures*, Vol. 21, No. 2-3, 240-256, 2008.,
- [2] Mansour A.E.: Assessment of reliability of ship structures, Ship Structure Committee report SSC-398, 1997.,
- [3] Melchers, R E.: Structural reliability analysis and prediction, John Wiley & Sons, New York. 1997.,
- [4] Melchers R.E., Probabilistic models of corrosion for reliability assessment an maintenance planning, 20<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, June 3-8, 2001.,
- [5] Guedes Soares C., Garbatov Y.: Reliability of maintained ship hulls subject to corrosion, *Journal of Ship Research*, Vol. 40, No.3, 235-243, Sept. 1996.,
- [6] Ivanov, L. Spencer, J., Wang, G.: Probabilistic evaluation of hull structure renewals for aging ships, The Eighth International Marine Design Conference (IMDC), , Athens, Greece, 5-8 May 2003.,
- [7] Paik J.K., Wang G., Thayamballi A.K., Lee JM.: Time-variant risk assessment of aging ships accounting for general/pit corrosion, fatigue cracking and local dent damage, SNAME annual meeting (World Maritime Technology Conference), San Francisco, CA, 17-20 October 2003.,
- [8] Bea R.G.: Marine structural integrity program, *Marine Structures*, 7, 51-76. 1994.,
- [9] Ayyub B., Akpan U.O., DeSouza G.F., Koto T.S., Luo X.: Risk-based life cycle management of ship structures, Ship Structure Committee, Report No. SSCSR 416, 2000.,
- [10] Lee A., Serratella C., Basu R., Wang G., Spong R.E.: Flexible approaches to risk-based inspection of FPSOs, OTC 18364, Offshore Technology Conference (OTC'06), Houston, TX. 1-4 May 2006.,
- [11] Yamamoto N., Ikegami K.: A study on the degradation of coating and corrosion of ship's hull based on the probabilistic approach, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 120, 121-128, 1998.,
- [12] Gardiner C.P., Melchers R.E.: Bulk carrier corrosion modeling, International Offshore and Polar Engineering Conference, IV: 609-615, Stavanger, Norway, 2001.,
- [13] Wang G., Spencer J., Sun H.H.: Assessment of corrosion risks to aging oil tankers, 22nd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Cancun, Mexico, 8-13 June 2002.,
- [14] Garbatov Y., Guedes Soares C., Wang G.: Nonlinear time dependent corrosion wastage of deck plates of ballast and cargo tanks of tankers, OMAE 2005-67579, OMAE 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'05), Halkidiki, Greece, 12-17 June 2005.,
- [15] Wang G., Spencer S., Olson D., Mishra B., Saidarasamoot S., Thuanboon S. Chapter: 25 Tanker corrosion. Handbook of Environmental Degradation of Materials, edited Kutz M., William Andrew Publishing, Norwich, NY., 2005.,
- [16] Thuanboon S., Tordonato D.S., Navidi W., Olson D.L., Mishra B., Wang G.: A Statistical analysis of corrosion wastage of transverse members in single hull tankers, 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE'06), Hamburg, Germany, 4-9 June 2006.,
- [17] Paik, J.K. & Thayamballi, A.K.: Ultimate strength of ageing ships, *Journal of Engineering for the Maritime Environment*, Vol. 216, No. M1, 57-77, 2002.,
- [18] Paik, J.K., Lee, J.M., Park, Y.I., Hwang J.S. & Kim, C.W.: Time-variant ultimate longitudinal strength of corroded bulk carriers, *Marine Structures*, Vol. 16, 567-600, 2003.,
- [19] [www.iacs.com](http://www.iacs.com),
- [20] Ivošević, Š., Ivošević N.: Održavanje broskog trupa u eksploataciji u funkciji zaštite životne sredine, Konferencija održavanja, "KOD-2005", Bar, (Zbornik apstrakata, 54), Jun 2005.