

Marin RELJIĆ, ¹Brodarski Institut d.o.o, Av. Većeslava Holjevca 20, 10020 Zagreb, marin.reljic@hrbi.hr

Jerolim ANDRIĆ, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, jerolim.andric@fsb.hr

Domagoj ŽUVELA, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, zuvela.domagoj@gmail.com

PROJETIRANJE KONSTRUKCIJE PUTNIČKOG KATAMARANA

Sažetak

Cilj rada je prikazati glavne specifičnosti konstrukcije putničkog katamarana projektiranog za riječnu plovidbu. Proračun čvrstoće proveden je prema Pravilima *Bureau Veritas-Inland Navigation Vessels*. Brod se sastoji od čelične konstrukcije trupa i aluminijske konstrukcije nadgrađa. Zbog specifične konstrukcije boka nadgrađa, većim dijelom izgrađene samo od vertikalnih okvira, posebna pažnja posvećena je projektiranju nadgrađa. Kako bi projektom osigurali da što manje opterećenja s gornje palube bude preneseno na vertikalne okvire boka, gornja paluba je na bokovima nadgrađa oslonjena na dvije uzdužne linice, projektirane da budu primarni nosači gornje palube. Analizirana su maksimalna naprezanja i maksimalni progibi pojedinih strukturnih elemenata, posebno gornje palube i bokova nadgrađa. U svrhu verifikacije predloženog koncepta izrađen je grubi MKE modela cijelog broda koji je korišten za kontrolu strukturnog integriteta katamarana prilikom porinuća.

Ključne riječi: projektiranje konstrukcije, MKE strukturna analiza, putnički katamaran

STRUCTURAL DESIGN OF PASSENGER CATAMARAN

Summary

The purpose of the paper is to present main aspects of structural design of passenger catamaran, designed to operate in inland waterways. The strength calculation has been carried out according Bureau Veritas Rules-Inland Navigation Vessels. Structure is consisted of steel hull and aluminum superstructure. Due to untypical design of superstructure sides, built mainly from vertical girders only, special care was taken in structural analysis of superstructure. To ensure that only minimum load from upper deck will be transferred to side girders, the upper deck is supported by two longitudinal bulwarks, which are designed to be the primary support members of this deck. Both maximum stresses and maximum deflections of structural elements have been checked, with special care on upper deck and side girders. Verification of suggested concept and evaluation of structural integrity during launching process has been checked using full ship FEM model.

Key words: ship structural design, FEM structural analysis, passenger catamaran

1. Uvod

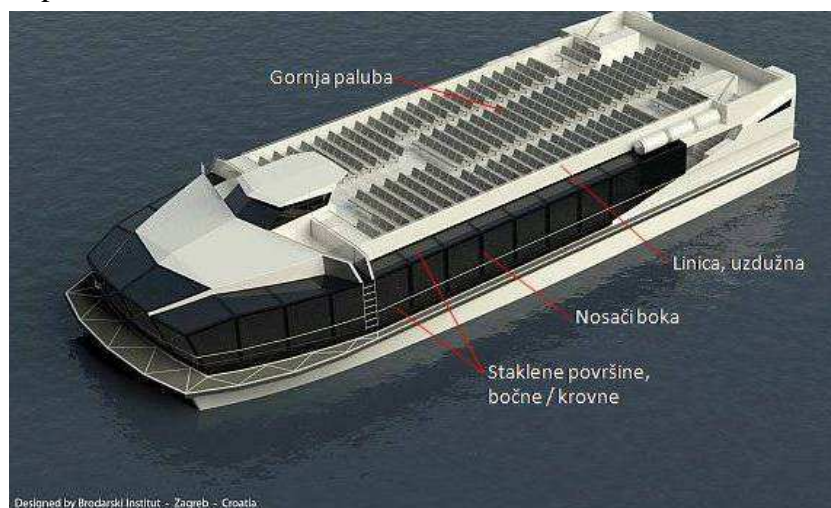
Putnički katamaran „Millennium Diamond“, opisan u ovom radu, projektiran je za razgledavanje Londona prilikom plovidbe rijekom Temzom. Proračun čvrstoće proveden je prema Pravilima klasifikacijskog društva *Bureau Veritas-Inland Navigation Vessels* [1]. Brod je projektiran od čelične konstrukcije trupa i aluminijske konstrukcije nadgrađa. Kapacitet mu je 599 putnika, pri čemu do 240 putnika može boraviti u prostoru salona, smještenog na glavnoj palubi, te do 400 putnika na gornjoj, otvorenoj palubi. Kako bi prostor salona, prema zahtjevima naručitelja, funkcionirao kao jedinstvena cjelina, izbjegnuto je unutar salona postavljanje bilo kakvih strukturnih elemenata (pregrada i upora). Budući da katamaran ima specifičnu strukturu nadgrađa, s velikim staklenim površinama učvršćenim za vertikalne okvire neprikladne da preuzmu opterećenja gornje palube, kao primarni nosači gornje palube definirane su uzdužne linice. Zbog velikog raspona sponja gornje palube (oko 10 m) izvršena je analiza deformacija tih strukturnih elemenata.

Zbog ograničenja u gazu broda, posebna pažnja posvetila se projektiranju konstrukcije minimalne težine. U prostorima u kojima je trebalo osigurati zadovoljavajuću svijetlu visinu, kao projektni kriterij uzimana je i visina primarnih strukturnih elemenata (nosača).

Brod je izgrađen u zatvorenoj hali, bez mogućnosti klasičnog porinuća, pa je bilo potrebno izvršiti specifičnu analizu podizanja i spuštanja u more broda kranskom dizalicom.

2. Projektiranje strukture putničkog katamarana

Prilikom projektiranja strukture katamarana u obzir su uzeti kriteriji minimalne težine konstrukcije (optimalnog odnosa između čvrstoće i težine), kriteriji dopuštenih progiba gornje palube kao i dopuštenih deformacije okvira staklenih površina, zatim zahtjevi za zadovoljavajućom svijetlom visinom pojedinih prostora, kao i ograničenja u maksimalnom gazu i maksimalnoj visini broda iznad vodne linije. U nastavku teksta ovi kriteriji i ograničenja su detaljnije opisani. Kako bi se osigurao panoramski pogled putnicima smještenim u salonu, na bočnim i pramčanoj stranici nadgrađa broda nalaze se velike staklene površine, međusobno odijeljene samo vertikalnim okvirima-bočnim nosačima. Prilikom projektiranja vodilo se računa o dimenzijama tih nosača, kako oni svojom masivnošću ne bi smanjivali korisni prostor salona i ograničavali pogled kroz staklene površine. Gornja paluba je na svojim krajevima omeđena linicom. Širina gornje palube manja je od širine salona, kako bi u prostor između linice i boka broda bili smješteni kosi stakleni ‘krovni’ prozori. Takvi prozori, većih dimenzija, nalaze se i na pramčanom dijelu nadgrađa. Glavne podgrupe strukturnog modela prikazane su na slici 1.



Slika 1. 3D prikaz putničkog katamarana-oznake dijelova strukture

Fig. 1 3D view of passenger catamaran with description of main structural parts

Kako bi prostor salona djelovao kao jedna cjelina, te se tako dobilo na dojmu njegove prostranosti, želja vlasnika bila je da se unutar salona izbjegnu bilo kakve strukturne prepreke, uključujući i upore koje bi podupirale gornju palubu. Prostor salona prikazan je na slici 2.

**Slika 2.** 3D prikaz putničkog katamarana-prostor putničkogsalona**Fig. 2** 3D view of passenger catamaran –passenger saloon

Uslijed opisanih zahtjeva za izgledom salona i ograničenih dimenzija bočnih nosača nadgrađa, ti nosači nisu u stanju preuzeti opterećenja gornje palube. Stoga, kako bi se projektom osiguralo da što manje opterećenja s gornje palube bude preneseno na bočne nosače, gornja paluba je na svojim rubovima oslonjena na dvije uzdužne linice, projektirane da funkcioniraju kao primarni nosači gornje palube. Kako bi se povećao moment tromosti i moment otpora poprečnog presjeka uzdužnih linica i time smanjile njihove deformacije (progib) kao i savojna naprezanja, linica je definirana kao kutijasti nosač, s unutrašnjom vertikalnom stijenkom čepno zavarenom za orebrenje linice i pojasnu traku linice. Kutijasti presjek definiran je i iz razloga kako bi se povećala torzijska krutost linice, budući da je opterećenje koje se na nju prenosi ekscentrično raspoređeno u odnosu na uzdužnu os linice. Poprečni presjek strukture gornje palube prikazan je na slici 3.

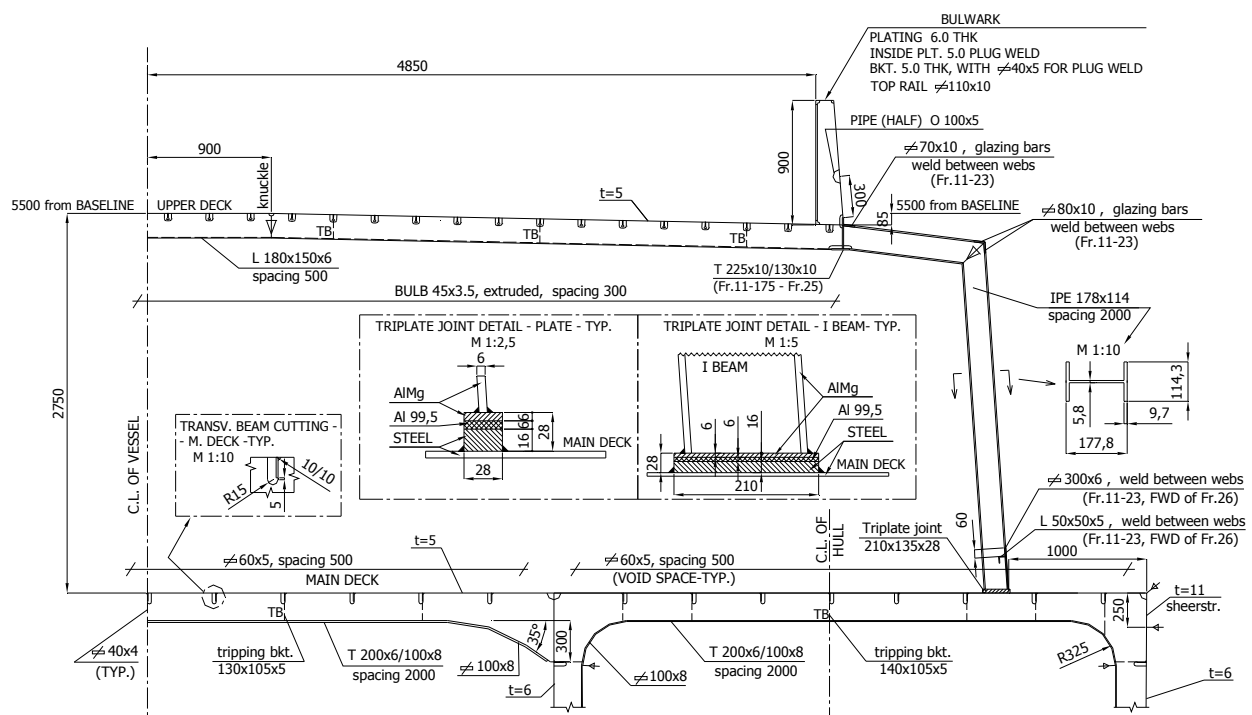
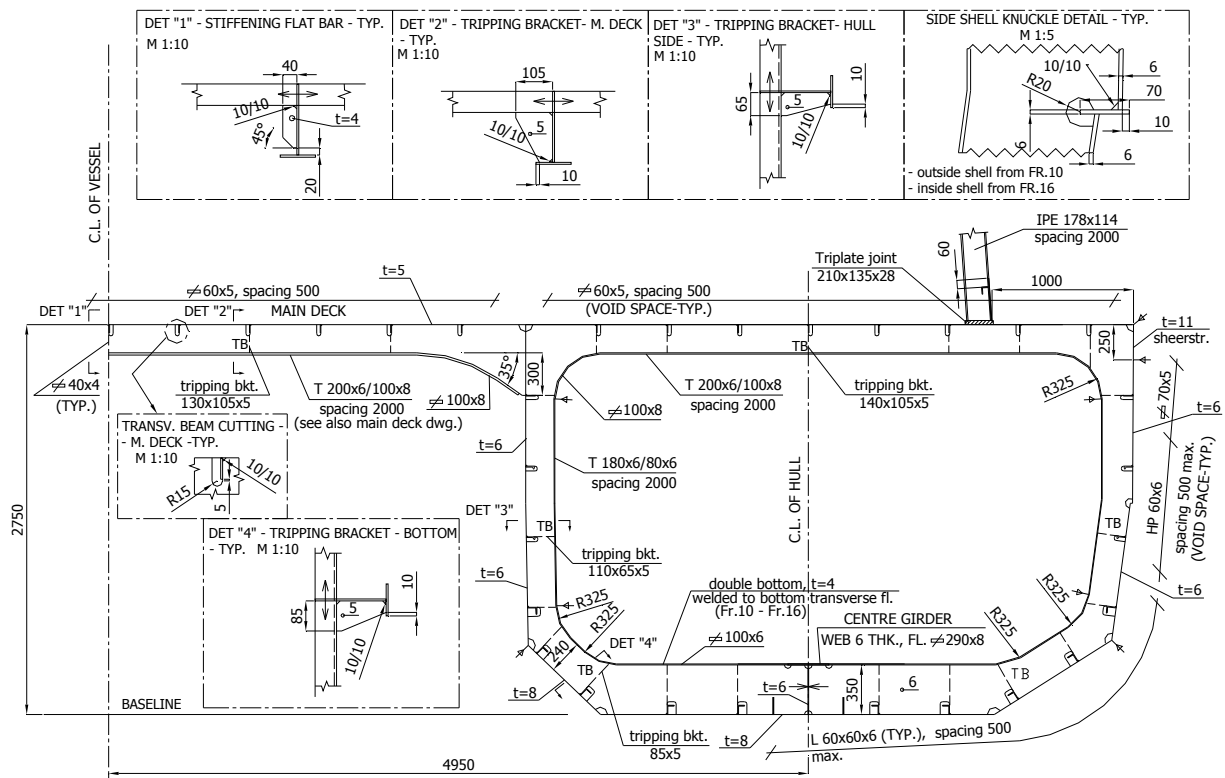
**Slika 3.** Poprečni presjek gornje palube

Fig. 3 Cross section of Upper deck

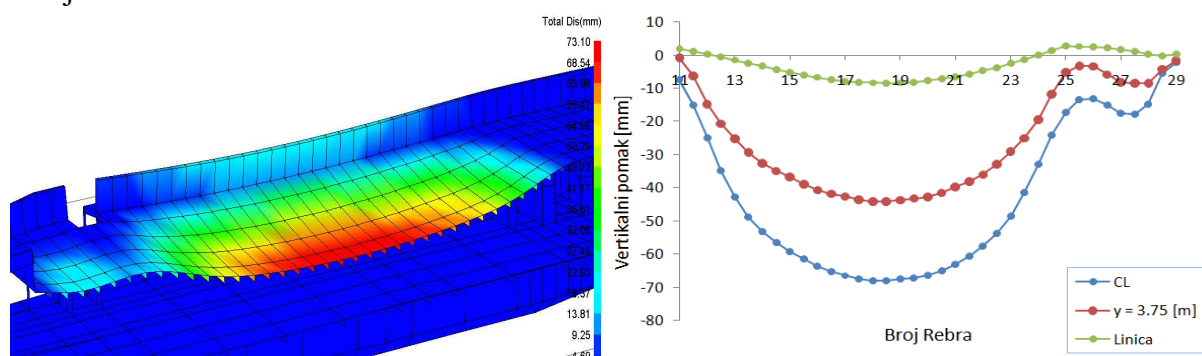
Prilikom projektiranja katamarana bilo je potrebno voditi računa o maksimalnom dopuštenom gazu (definiranom minimalnim očekivanim vodostajem rijeke Temze od 1,45 m), stoga je posebna pažnja posvećena što je moguće većem smanjenju težine strukture. Kako je prema Pravilima klasifikacijskog društva BV minimalna debljina oplata broda funkcija ne samo projektnih opterećenja, te raspona i međusobnog razmaka strukturnih elemenata, već i glavnih dimenzija broda, na definiranje debljine oplata projektant često nije mogao imati utjecaja, pa se pažnja posvetila racionalnom odabiru sustava orebrenja, te adekvatnim definiranjem strukturnih elemenata (ukrepa i okvirnih nosača). Kao povoljniji sustav gradnje sa stanovišta težine strukture pokazao se uzdužni. Prilikom definiranja strukture katamarana, za svaki od dijelova strukture (palube, bokove broda, dno broda, pregrade trupa i nadgrađa), tražio se optimalan način definiranja roštilja (npr. utjecaj međusobnog razmaka ukrepa i okvirnih nosača na njihove dimenzije), kao i utjecaj različitih strukturnih elemenata na težinu tog dijela strukture (npr. utjecaj definiranja dodatnih proveza na smanjenje dimenzija ukrepa). Time je definirana manje uniformna konstrukcija, s većim brojem različitih strukturnih elemenata, uz procjenu da takvo odstupanje od uniformnosti neće značajnije utjecati na tehnološku složenost izgradnje broda, a time i njegovu cijenu izgradnje. Poprečni presjek strukture trupa prikazan je na slici 4.

**Slika 4.** Poprečni presjek trupa**Fig. 4** Cross section of hull

Uz opisano ograničenje u maksimalnom gazu, pažnja se posvetila i maksimalnoj visini broda iznad vodne linije (definiranoj visinom najnižeg mosta na plovnom putu pri maksimalnom očekivanom vodostaju). Time je definirana i ukupna visina broda od 7,60 m. Kako bi se osigurala zadovoljavajuća svijetla visina prostora salona, pri definiranju sponja gornje palube (*Upper deck*) odstupilo se od kriterija minimalne težine sponja (tj. najpovoljnijeg odnosa čvrstoće i težine tih strukturnih elemenata), već se u projektiranju išlo

na gušći razmak sponja (500 mm), kako bi se time smanjila njihova visina. Sponje su na svojim krajevima zavarene za uzdužni T profil, postavljen u liniji vanjske oplata linice. Na položaju svake sponje unutar kutijaste strukture linice nalazi se orebrenje. Time linica s dodatnim T profilom služi i kao kruti oslonac poprečnih nosača palube-sponja. Zbog velikog raspona sponja u odnosu na njihovu dimenziju, te činjenice da je korišten materijal aluminijska slitina, problem deformacije (progiba) sponja pokazao se kritičnijim od problema čvrstoće. Budući da je za kontinuirano opterećenje konstrukcije iznos progiba proporcionalan odnosu 4. potencije raspona nosača (l^4) i obrnuto proporcionalan savojnoj krutosti ($E \cdot I$), pretpostavilo se da zbog relativno niskog modula elastičnosti aluminijske sponje u sredini raspona mogu biti značajni, stoga je izvršen analitički proračun progiba strukture gornje palube. Kako sama linica nije idealno kruti strukturni element, te prilikom opterećenja dolazi do njene torzije, u analitičkom proračunu progiba smatrano je da su sponje na krajevima djelomično upete. Za proračun čvrstoće strukturnih elemenata palube uzeto je, prema pravilima registra, minimalno zahtijevano opterećenje $p=4 \text{ kN/m}^2$, dok je za proračun progiba uzeto opterećenje $p=2 \text{ kN/m}^2$ plus težina same konstrukcije. Razlog tom smanjenju projektanog opterećenja je što je za pojavu značajnijeg progiba na palubi potrebno opteretiti veći dio njene površine, a ne samo pojedini konstrukcijski element, a uz boravak maksimalnog broja putnika na gornjoj palubi (599 putnika), prosječno opterećenje ne prelazi 2 kN/m^2 . Uz to, raspored samih klupa na palubi ne dopušta okupljanje većeg broja putnika na jednom dijelu palube. Nakon izvršenog analitičkog proračuna i uočavanja mogućnosti pojave progiba palube većeg od prihvatljivog izvršila se i detaljnija FEM analiza. Za graničnu vrijednost deformacije gornje palube (Upper deck), koja ujedno nosi i obloge stropa prostora salona, uzet je kriterij iz HRN EN 1990:2011/NA:2011 [2] za deformaciju strukturnih elemenata ($L/250$) kod kojih je maksimalni progib važan i za izgled konstrukcije (Tablica A1.5(HR)).

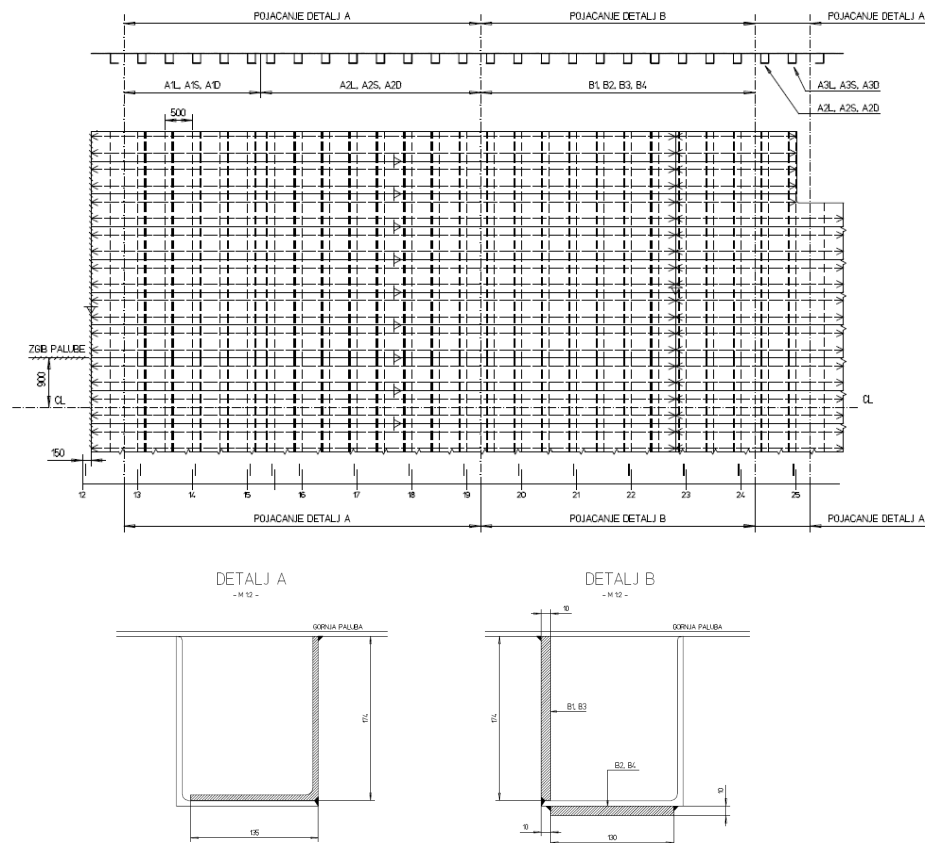
Na slici 5 prikazane su vertikalne deformacije gornje palube pri projektanom opterećenju od $p=2 \text{ kN/m}^2$ za početno predložene strukturne dimenzije palubnih sponja. Maksimalne vertikalne deformacije iznose oko 73 mm , dok je relativni progib (linica-CL) oko 63 mm . Vidljiv je utjecaj bočnih stepenica i uzdužnih pregrada prostora salona na deformacije palube uslijed smanjenja poprečnog nepoduprtog raspona. Na dijagramu na istoj slici prikazane su deformacije gornje palube u ovisnosti o uzdužnom položaju na uzdužnoj simetrali, te na udaljenosti od 3750 mm bočno od uzdužne simetrale.



Slika 5. Vertikalni pomaci gornje palube i dijagram pomaka duž broda na tri pozicije po širini nadgrađa

Fig. 5 Vertical deflection of Upper deck and diagram of displacement along the ship at three transverse positions

Na osnovi provedene analize i činjenice da su vertikalni progibi veći od dozvoljenih, definirana su pojačanja središnjih sponja palube. Definirana pojačanja (šrafirani dio profila) prikazana su na slici 6 i predstavljaju nadogradnju početnog rješenja L profil u kutijasti profil. Pri tome je zadržana visina profila, a bitno je povećan moment inercije.



Slika 6. Redizajn i pojačanja sponja gornje palube

Fig. 6 Redesign of transverse beams in Upper deck

Implementacijom predloženog rješenja relativni vertikalni pomak sponja (linica-CL) pao je ispod 40 mm, uslijed povećanja krutosti, za razmatrani slučaj opterećenja ($p=2 \text{ kN/m}^2$).

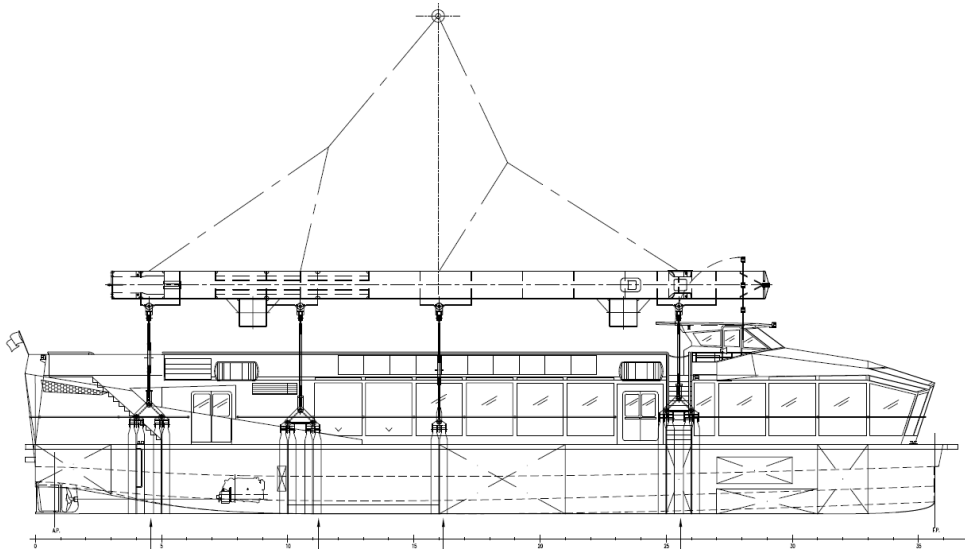
3. Podizanje-porinuće katamarana

3.1. Idejno rješenje

Plan brodogradilišta koje je gradilo katamaran, bio je uštedjeti na vremenu gradnje i finansijskim sredstvima, pa se brod nije gradio na otvorenom navozu, već u zatvorenoj hali. To je uzrokovalo i promjenu načina predavanja katamarana moru iz uzdužnog porinuća u spuštanje katamarana dizalicom u more. Kako se, zbog ograničenog prostora na opremnoj obali, spuštanje katamarana u more obavljalo jednom dizalicom, da bi se brod tijekom podizanja mogao osloniti na što veći broj lokacija uzduž trupa (kako bi se što je više moguće smanjile deformacije trupa), bilo je potrebno projektirati i okvirnu konstrukciju za podizanje broda (balancin). Podizanje broda izvršilo se pomoću zateznica (braga/traka) za podizanje tereta.

U projektu su preliminarno analizirane dvije varijante podizanja katamarana: katamaran položen na roštiljnu konstrukciju ovješenu u jednoj točki i katamaran ovješenu na četiri pozicije za roštiljnu konstrukciju ovješenu u jednoj točki. Prva varijanta je u konačnici napuštena, budući da bi postavljanje roštiljne konstrukcije ispod broda uzrokovalo veliku količinu dodatnih radova i složene manipulacije dijelovima te konstrukcije u ograničenom prostoru zatvorene hale, te je odabrana druga varijanta, vidi sliku 7. Za prihvaćanje broda prilikom podizanja odabrane su četiri pogodne pozicije uzduž trupa broda: rebra 4-5, zatim 10-11, 16, te 25-26. Na tim presjecima nalaze se poprečne pregrade s uzdužnim koordinatama 4000mm-5000mm, 10000mm-11000mm, 16000mm i 25000mm-26000 mm. Katamaran mora

biti ovješeni u točki iznad težišta sistema “brod + naprava za podizanje” s uzdužnom koordinatom 15950 mm, kao ne bi došlo do rotacije broda prilikom podizanja. Kako se težište sistema ne nalazi na sredini razmaka između poprečnih nosača, čija je koordinata na poziciji 18000 mm, dolazi do neravnomjerne raspodjele opterećenja na užad preko koje je ovješena konstrukcija. Uz to potrebno je i postaviti užad različite duljine, kako bi se spriječilo rotiranje broda prilikom podizanja. Shematski prikaz konstruktivnog rješenja podizanja katamarana dan je na slici 7.



Slika 7. Shematski prikaz konstruktivnog rješenja podizanja katamarana

Fig. 7 Launching of catamaran structure-schematic view of design solution

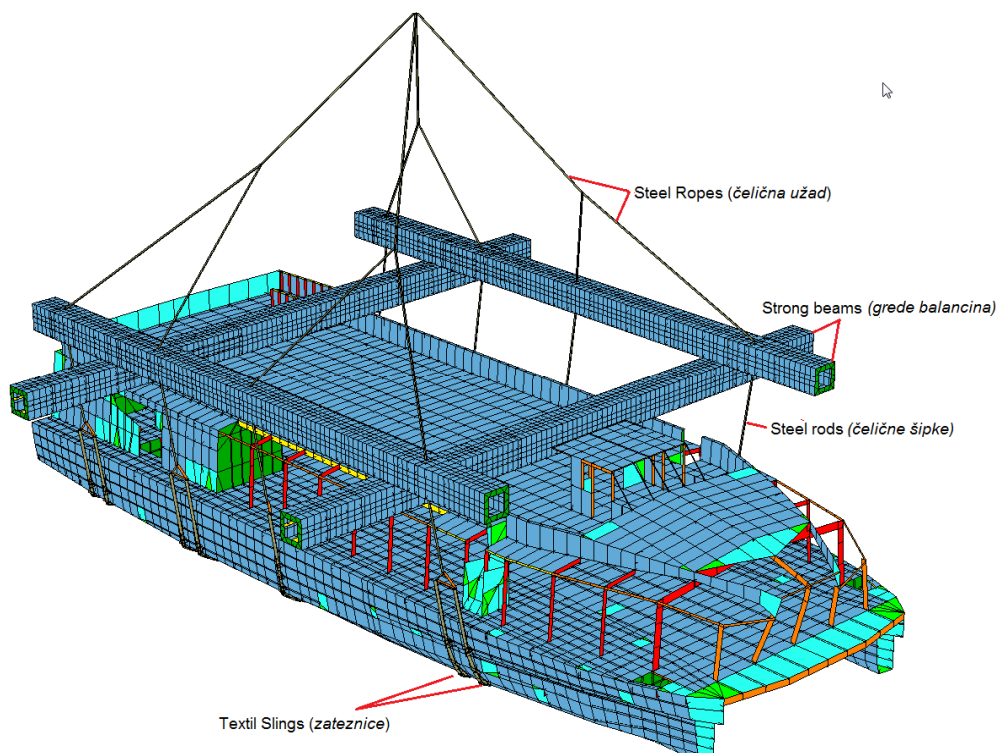
Za odabranu varijantu podizanja katamarana bilo je potrebno projektirati adekvatnu napravu za podizanje (balancin). Svrha definiranja ovakvog načina podizanja je bila osloniti brod na što veći broj lokacija uzduž trupa, kako bi se što je više moguće smanjile deformacije trupa. Definirana su četiri gore navedena mjesta. Zatim je bilo potrebno pronaći adekvatan način vezivanja zateznica za podizanje na samu konstrukciju za podizanje, kako bi se međusobno ujednačilo opterećenje i rastezanje zateznica. To je učinjeno pomoću „vješalica“ na koje su preko čeličnih šipki ovješene zateznice. Vješalice imaju mogućnost rotacije oko točke ovješavanja i time ujednačuju opterećenje u šipkama i zateznicama ovješanima na njih. Time je riješeno ovješavanje broda na roštiljnu konstrukciju za podizanje. Drugi dio projektnog rješenja ovog sustava bio je ovješavanje naprave za podizanje na kuku dizalice. To je učinjeno postavljanjem složenog seta čelične užadi, kako bi se maksimalno smanjila opterećenja same konstrukcije naprave za podizanje, a kuka dizalice postavila iznad težišta samog broda i time spriječila rotacija broda prilikom podizanja. Rješenje ovješavanja zateznica za konstrukciju za podizanje pomoću „vješalica“, kao i rješenje ovješavanja konstrukcije za podizanje za kuku dizalice pomoću seta čelične užadi, definirala je tvrtka CADCON d.o.o, Pula. Ova rješenja, kao i integritet same konstrukcije, provjerena su i potvrđena kasnijom FEM analizom.

Opisano podizanje katamarana uzrokuje i specifičan način opterećenja konstrukcije. Interesantni dijelovi konstrukcije, na koje je potrebno obratiti posebnu pažnju prilikom podizanja katamarana su mjesta kontakta zateznica s trupom katamarana, kao i vertikalni okviri nadgrađa između kojih se nalaze stakla. Stoga je bilo potrebno provjeriti globalnu čvrstoću i integritet konstrukcije broda u cjelini, kao i čvrstoću navedenih dijelova brodske konstrukcije, koji su prilikom polaganja broda posebno izloženi i opterećeni. Da bi se smanjila opterećenost konstrukcije, za položaje zateznica za podizanje odabrana su mjesta poprečnih pregrada trupa. Kako zateznice imaju tendenciju pritiskanja trupova u poprečnome

smjeru, između trupova su postavljene četiri razupore koje smanjuju deformacije trupova uslijed takvog opterećenja u poprečnom smjeru.

3.2. Strukturna analiza

Budući da se radi o složenoj analizi, uz preliminarni proračun izvršen analitičkim metodama, izrađen je i kompletni MKE model katamaranske konstrukcije napravljen u programu MAESTRO [3, 4], prema finalnoj projektnoj dokumentaciji. Provedena je složena MKE analiza provjere strukturne izdržljivosti broda i sustava za dizanje (zateznice-struktura balansirajućeg okvira-čelična užad) [5]. FEM analiza provedena je za katamaran ovješeno na četiri uzdužne pozicije za napravu za podizanje - pravokutnu okvirnu konstrukciju (balancin) ovješenu za kuku dizalice u jednoj točki. Prikaz kompletnog sustava (katamaran-zateznice-čelične šipke-balancin-čelična užad) modeliranog pomoću MKE prikazan je na slici 8.



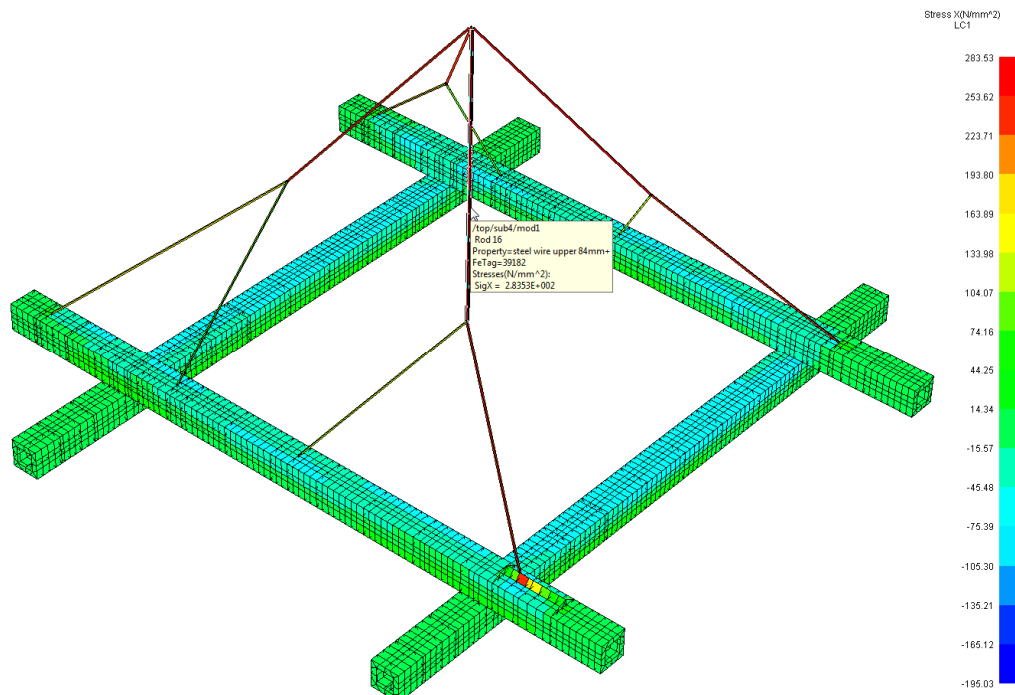
Slika 8. Kompletni sustav (katamaran-zateznice-čelične šipke-balancin-čelična užad) modeliran pomoću MKE

Fig. 8 Complete system (ship-textile slings-steel rods-strong beams-steel ropes) modeled with FEM

MKE model je opterećen prema tablici centracije, te ukupna masa samog lakog broda iznosila je oko 210 t, dok je ukupna masa sustava (uključujući zateznice-okvirnu konstrukcija balancina-čelične šipke-čelična užad, škopce i drugu pripadajuću opremu za dizanje) iznosila 320 t. Implementirana je dodatna vertikalna akceleracija od 0.3g koja pokriva sve moguće dinamičke efekte prilikom podizanja, koristeći preporuke Lloyd Registra [6].

Globalni pomaci i progibi strukture u procesu dizanja su evaluirani, te nije identificirana nikakva potreba za redizajnom s obzirom na očitane pomake. Posebna pažnja pri tome je posvećena bočnim okvirima stakla kako ne bi došlo do pucanja stakala. Relativni pomaci u pojedinom okviru u procesu dizanja u raznim smjerovima su vrlo mali (max.2-3mm) što bi sustav spajanja i brtvljena prozora bez problema trebao akomodirati.

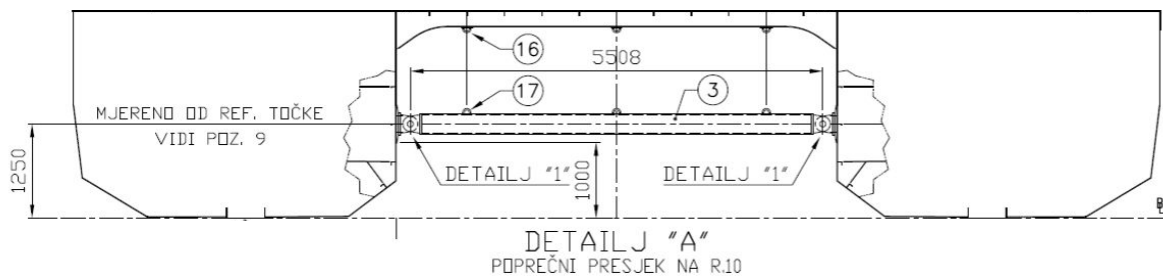
Maksimalna aksijalna vlačna naprezanja u čeličnim užadima iznosila su oko 283N/mm^2 , vidi sliku 9, što s obzirom na promjer užadi od 84mm predstavlja vlačnu silu od oko 1530 kN. Minimalna prekidna sila specificirana od strane proizvođača užadi iznosi 5314kN što predstavlja minimalni faktor sigurnosti od oko 3.5.



Slika 9. Aksijalna naprezanja u čeličnoj užadi koja povezuje kuku dizalice i balacin

Fig. 9 Axial stresses in strong beams and steel ropes

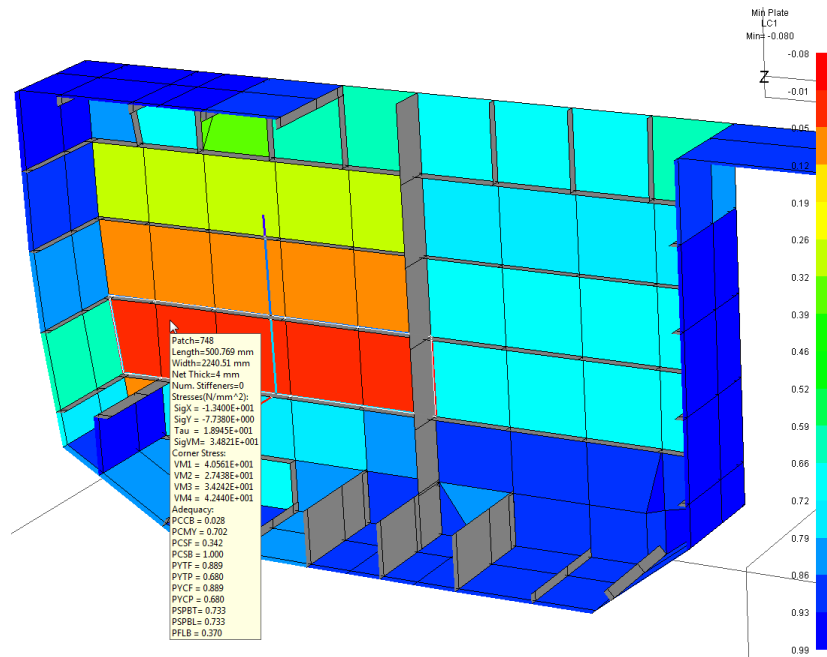
Zateznice za podizanje imaju tendenciju pritiskanja trupova u horizontalnom poprečnome smjeru, pa su projektirane i između trupova postavljene četiri razupore (pozicije rebro 10 i 11, te 25 i 26) koje sprječavaju deformacije glavne palube i vertikalnih bočnih nosača nadgrađa broda uslijed takvog opterećenja trupova. Izgled razupora prikazan je na slici 10.



Slika 10. Prikaz razupora smještenih između trupova katamarana na pozicije R. 10, 11, 25 i 26

Fig. 10 Drawing of pillars between two catamaran hull at positions on frames FR. 10, 11, 25 i 26

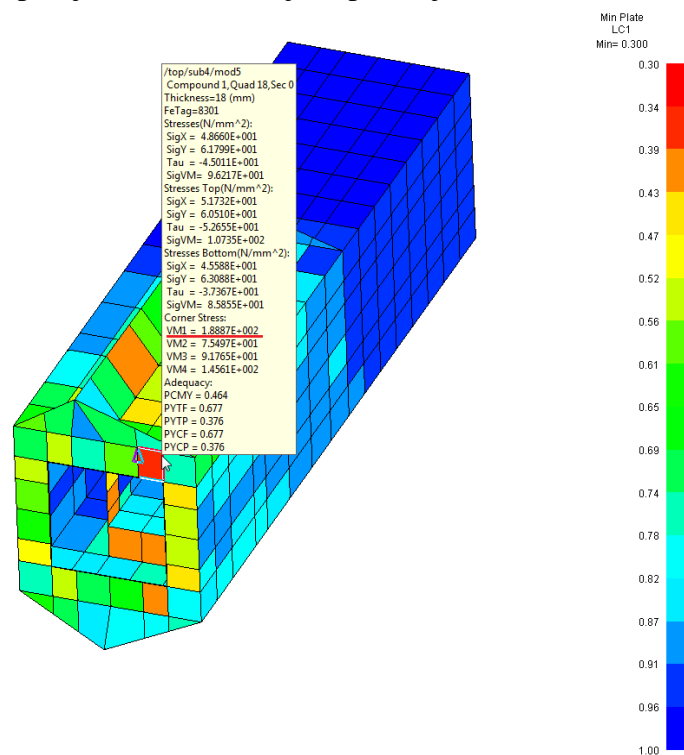
Provedena je detaljna evaluacija katamaranske konstrukcije s obzirom na mogućnost pojave popuštanja i izvijanja, a kao zone smanjene sigurnosti na izvijanje identificirani su dijelovi oplata između ukrepa poprečnih pregrada, na pozicijama gdje se oslanjaju zateznice (R.10-11 te R.25-26). Poprečne pregrade su izrađene od tankih čeličnih limova (4-5mm) i ukrepljene L profilima, te su jako osjetljive na izvijanje oplata između ukrepa kada postoje i mala tlačna naprezanja u smjeru okomitom na ukrepe. Kritično naprezanje u elastičnom području limova s odnosom stranica ($l=2000\text{mm}$, $s=500\text{mm}$ i $t=4\text{mm}$) iznosi prema DNV samo 15N/mm^2 . Na slici 11, prikazani su normalizirani faktori podobnosti na izvijanje ($g < 0 \rightarrow$ ne zadovoljava) generirani programom MAESTRO za pregradu na rebro 10. Male vertikalne ukrepe protiv izvijanja su sugerirane na nekoliko mjesta kako bi se smanjila mogućnost pojave izvijanja.



Slika 11. Normalizirani faktori podobnosti za poprečnu pregradu na R. 10

Fig. 11 Normalized adequacy factors for transverse bulkhead on Fr.10

Prilikom evaluacije okvirne konstrukcije balancina, kao kritični detalj blago smanjene sigurnosti na pojavu popuštanja identificiran je detalj unutarnjeg okvira na rebru 25. Do pojave povećanih naprezanja dolazi zbog velikih vlačnih sila koje djeluju u čeličnom užetu iznad i čeličnoj šipki ispod koji rastežu unutarnji okvir balancina i djeluju na pojavu aksijalnih i smičnih naprezanja u njoj. Relativno fina MKE mreža (100x100mm) implementirana je oko kritičnih detalja za bolju procjenu koncentracija naprezanja, slika 12.



Slika 12. Normalizirani faktori podobnosti za okvirnu konstrukciju balancina oko R. 25

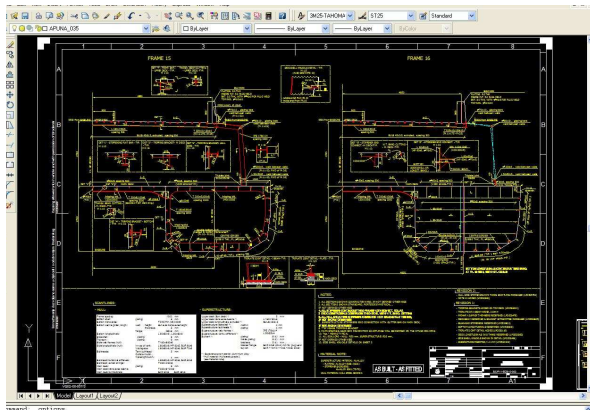
Fig. 12 Normalized adequacy factors for strong beam structure around Fr.25

4. Zaključak

Futuristički izgled plovila, s velikim staklenim površinama na bokovima i prednjoj strani nadgrađa, te zahtjev naručitelja za izbjegavanjem bilo kakvih strukturnih podupora (pregrada i upora) u prostoru salona, uz korištenje aluminija kao konstrukcijskog materijala nadgrađa i veliki poprečni raspon gornje palube, stavio je pred projektante složen zadatak projektiranja konstrukcije koja zadovoljava sve navedene zahtjeve. Implementirano projektno rješenje korištenjem linica kao primarnih nosača gornje palube, te gustim rasporedom sponja gornje palube, čime se zadržala i potrebna svijetla visina prostora salona, pokazalo se kao primjereno i lako izvedivo rješenje. Pri tome se vodilo računa i o maksimalnim progibima gornje palube. Konstrukcija je prema Pravilima BV projektirana sa stanovišta što manje strukturne mase (iako formalna strukturna optimizacija nije provedena), kako bi se gaz plovila zadržao unutar dopuštene vrijednosti.

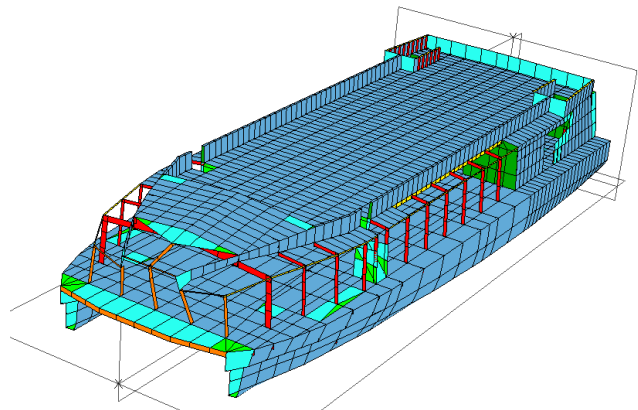
Definirani način podizanja katamarana pokazao se u potpunosti adekvatan za strukturni integritet same konstrukcije broda, stoga naprezanja u konstrukciji broda nigdje nisu dosegla graničnu vrijednost, a deformacije okvira nosača stakala ostale su unutar dopuštenih vrijednosti. Potvrda provedenih proračuna/simulacija dizanja i implementiranih rješenja dobivena je nakon što je proveden stvarni proces porinuća i predaje broda moru.

Projektiranje i izgradnja prikazanog sofisticiranog plovila u cijelosti je plod hrvatske brodograđevne pameti, znanja i vještina, koje su dobile potvrdu i u pozitivnim očitovanjima vlasnika i naručitelja ovog plovila. Na sljedećim slikama prikazane su faze projekta, od projektiranja do gradnje, porinuća i završetka projekta.



Slika 13. Nacrt glavnog rebra

Fig. 13 Midship section dwg.



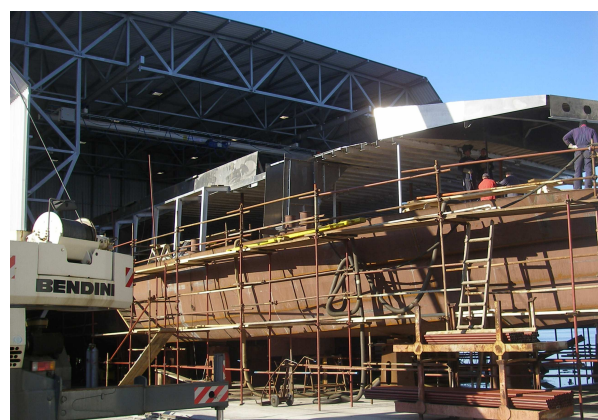
Slika 14. MKE model konstrukcije katamarana

Fig. 14 FEM model of catamaran structure



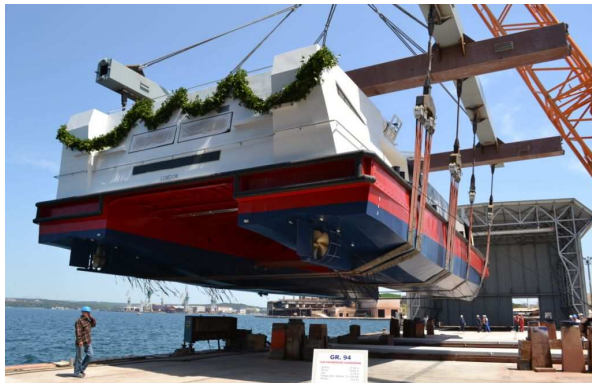
Slika 15. 3D Prikaz putničkog katamarana

Fig. 15 3D view of passenger catamaran



Slika 16. Gradnja katamarana

Fig. 16 Catamaran construction



Slika 17. Porinuće katamarana

Fig. 17 Catamaran launching



Slika 18. Podizanje katamarana na heavy-lifter

Fig. 18 Lifting the catamaran to heavy-lifter



Slika 19. Završetak opremanja broda - prostor putničkog salona

Fig. 19 Completion of catamaran outfitting - accommodation area



Slika 20. Plovidba katamarana, akvarorij Pule

Fig. 20 Catamaran cruising, Pula, Croatia



Slika 21. Plovidba katamarana rijekom Temzom, London

Fig. 21 Catamaran cruising on the River Thames, London

ZAHVALA

Najljepša zahvala tvrtki CADCON d.o.o. na kvalitetno izrađenoj radioničkoj dokumentaciji, te doprinosu u rješenju konstrukcije za podizanje katamarana, Brodarskom institutu kao projektantu, ugovaratelju i nositelju čitavog projekta, te svim članovima OCTOPUS Grupe sa Zavoda za brodogradnju na FSB-u na provedenim MKE proračunima.

LITERATURA

- [1] Bureau Veritas, Rules for the Classification of Inland Navigation Vessels, Part B Hull Design and Construction, April 2009.
- [2] HRN EN 1990:2011/NA: 2011, Hrvatski zavod za norme, 2011.
- [3] Hughes O.F., "Ship Structural Design", John Wiley & Sons, SNAME, New Jersey, 1988.
- [4] MAESTRO Version 8.7.6, Program documentation, Proteus engineering, Stevensville, MD, USA, 2007.
- [5] ŽANIĆ, V., ANDRIĆ, J., PIRIĆ, K., GRGIĆ, M., STIPČEVIĆ M. : "3D FEM Structural Analysis of "3GR" Passenger Catamaran w.r.t Lifting Load Case", Technical Report for CADCON d.o.o, Pula, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, 2012.
- [6].....Lloyds Register of Shipping: "CODE FOR LIFTING APPLIANCES IN A MARINE ENVIRONMENT", January 2003.