Materijali za izradu veslačkog čamca

Radonić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:914668

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Radonić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

† Prof. dr. sc. Gojko Marić, dipl. ing.
Doc. dr. sc. Irena Žmak, dipl.ing.

Student:

Luka Radonić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom veslačke karijere i studija, navedenu literaturu te iskustvo i znanje Roberta Stakora, Josipa Justinića i Radovana Radonića te mentorice doc.dr.sc. Irene Žmak, dipl. ing.

Ovaj rad posvećujem pokojnom prof. dr. sc. Gojku Mariću, dipl. ing.

Luka Radonić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite

Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Radonić** Mat. br.: 0035186811

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **MATERIJALI ZA IZRADU VESLAČKOG ČAMCA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ROWING BOATS MATERIALS**

Opis zadatka:

U natjecateljskom veslanju koriste se specifični čamci, ovisno o veslačkoj disciplini. Čamci su specifične građe, i u prošlosti su bili građeni isključivo od drva. Današnji čamci su uglavnom napravljeni od kompozita, čija je primjena omogućila postizanje boljih sportskih rezultata. Veslački čamac se sastoji od trupa čamca i metalnih izbočnika koji pridržavaju veslo. U samom čamcu i na njemu nalazi se cijeli niz manjih dijelova, kao što su nogari (uporište za noge veslača), pokretno sjedište ili rol, šine po kojima se kreće pokretno sjedište, kormilo, kobilica, i drugi dijelovi.
U ovom radu potrebno je učiniti slijedeće:

- opisati natjecateljski veslački čamac, navesti tipove i glavne dijelove,
- navesti koji su se sve materijali koristili za izradu istih do danas,
- navesti koje materijale će se koristiti u bližoj budućnosti,
- obzirom na iskustvu u veslanju, ali i znanje dobiveno na studiju predložiti primjenu novih materijala, s posebnim osvrtom na materijale obnovljivog porijekla i mogućnost recikliranja.

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Zadatak zadao:
Izv.prof.dr.sc. Gojko Marić

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4 . ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

POPIS SLIKA II
POPIS TABLICA IV
POPIS OZNAKA V
SAŽETAK VI
SUMMARY VII
1. UVOD 1
2. NATJECATELJSKI ČAMAC 2
2.1. Ograničenja u izvedbi natjecateljskog veslačkog čamca 2
2.2. Glavni dijelovi veslačkog čamca 4
2.2.1. Trup veslačkog čamca 4
2.2.1.1. Materijali trupa veslačkog čamca kroz povijest 5
2.2.1.2. Trup veslačkog čamca danas 9
2.2.2. Izbočnici 12
2.2.3. Pomično sjedalo 20
2.2.3.1. Povijest veslačkih sjedala 21
2.2.3.2. Veslačka sjedala danas 21
2.2.4. Materijali ostalih dijelova veslačkog čamca 23
3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATERIJALA ZA NATJECATELJSKI VESLAČKI ČAMAC U BUDUĆNOSTI 28
4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATERIJALA ZA VESLAČKI ČAMAC UZ MOGUĆNOST RECIKLIRANJA 30
5. ZAKLJUČAK 34
LITERATURA 35
PRILOZI 36

POPIS SLIKA

Slika 1. Oscilacije samca pri frekvenciji od 48 zaveslaja u minuti: u početku zaveslaja je krma previše utonula radi loše izvedbe trupa, tj. preranog intenzivnog smanjenja presjeka trupa od sredine prema krmi (gore lijevo), u ostalim dijelovima zaveslaja su oscilacije normalne (gore desno, dolje lijevo, dolje desno) 4
Slika 2. Pojednostavljeni prikaz djelovanja sila veslača i vesla na čamac na pariće i na rimen-čamac u trenutku najveće sile provlaka 5
Slika 3. Klinker četverac s preklopnom građom [2] 6
Slika 4. Oplata čamca od cedrenog furnira 8
Slika 5. Samac s oplatom od furnira prevučen voštanim platnom iz sredine 20. stoljeća [4] 9
Slika 6. Prikaz primjene osnovnih materijala u izradi trupa čamca 10
Slika 7. Presjek pramca od aramidne sendvič-konstrukcije 10
Slika 8. Unutrašnjost čamca s aramidnom osnovom (lijevo) i s ugljičnom osnovom (desno) 11
Slika 9. Izvedba čamca u segmentima: zasebni segment (lijevo) i unutrašnjost čamca na spoju dva segmenta (desno) 12
Slika 10. Ušica s osiguranjem od ispadanja vesla od nehrđajućeg čelika 13
Slika 11. Čelični izbočnik sa čeličnim lukom kao ukrutom protiv iskrivljenja osovine ušice 14
Slika 12. Izbočnici s „petom šipkom“ 15
Slika 13. Vrste izbočnika: a) klasični aluminijski izbočnik, b) stražnje krilo, c) izbočnik od cijevi ojačanih ugljičnim vlaknima, d) prednje krilo 16
Slika 14. Drvena rebra ojačana ugljičnim vlaknima u koja se vijcima pričvršćuju izbočnici koji nisu u izvedbi krila 17
Slika 15. Mjesta zavara na aluminijskim krilima: međusobni spojevi cijevi te spojevi cijevi i nosača za namještanje raspona ušica (lijevo); spoj cijevi i postolja (desno) 18
Slika 16. Mjesta spajanja ugljičnih krila i trupa: nosači od ugljičnih vlakana (lijevo), aluminijski nosači (sredina), direktan spoj izbočnika i trupa čamca (desno) 18
Slika 17. Čeljusti za prihvat ušice ojačane ugljičnim vlaknima (lijevo) i od aluminija (desno) 19
Slika 18. Polufinale lakog samca na svjetskom prvenstvu do 23 godine 2014. godine [5] . 20
Slika 19. Drveno pomično sjedalo; 1-gornji dio sjedala; 2-nosač od aluminijskog lima; 3-kotačić; 4-aluminijska cijev s navojem; 5-aluminijski lim koji sprječava da sjedalo ispadne iz čamca kada se čamac okrene naopako; 6-magnet za mjerenje frekvencije zaveslaja 22
Slika 20. Pomično sjedalo od ugljičnih vlakana ljuskaste građe (lijevo) i drveno pomično sjedalo prevučeno ugljičnim vlaknima (desno) 22
Slika 21. Pomično sjedalo s improviziranom spužvom (lijevo) i s tvorničkom spužvom (desno) 23
Slika 22. Osovina od ušice od nehrđajućeg čelika 24
Slika 23. Loptica na pramcu kao zaštita od prodiranja jednog čamca u drugi 24
Slika 24. Držač za broj 25
Slika 25. Prikaz spoja nogara preko aluminijskog lima na ploču od šperpoloče ojačane ugljičnim vlaknima impregniranim epoksidnom smolom 26

Slika 26. Aluminijska peraja (lijevo) i peraja od ugljičnih vlakana (desno) 26
Slika 27. Kormilo spojeno na peraju (lijevo) i kormilo odvojeno od peraje (desno); 1- list kormila; 2- linija vratila kormila; 3- poluga kormila 27
Slika 28. Postolje od ugljičnih vlakana (lijevo) i drveno postolje (desno) za zubnu letvu za podešavanje udaljenosti nogara od osovine ušice; postolje od ugljičnih vlakana je nešto lakše i mnogima atraktivnije (ovisno o boji čamca), ali se u drveno lakše fiksira zubna letva 28
Slika 29. Linija s ugljičnim vlaknima koja ima prvenstveno ukrasnu namjenu 29
Slika 30. Stämpflijev drveni samac mase 14 kg [9] 31
Slika 31. Unutrašnjost Stämpflijevog drvenog čamca mase 14 kg [9] 32
Slika 32. Polimeri pogodni za izradu reciklične loptice za pramac [7] 33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Ograničenja mase za pojedine vrste čamaca [1] 3
Tablica 2. Masa i dimenzije papirnatog trupa čamca iz 1871. godine [3] 7

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
η	-	koeficijent gubitka energije
€	euro	novčana jedinica

SAŽETAK

Natjecateljski veslački čamac je ograničen prema FISA-inim pravilima. Za izbor materijala čamca je najvažnije pravilo broj 34. koje čamce ograničava na minimalnu dozvoljenu masu ovisno o disciplini. Materijali za natjecateljski veslački čamac, osim za nogare, lopticu i nosač za broj, moraju biti što krući, što čvršći i što manje gustoće. Trup čamca se izrađuje od aramidne sendvič-konstrukcije, tj. od aramidnih saća u sredini, koja doprinose debljini stijenke, a koja je omeđena aramidnim vlaknima koja preuzimaju naprezanja. Matrica je epoksidna smola. Na mjestima gdje je potrebno, trup je ojačan ugljičnim vlaknima impregniranim epoksidnom smolom, drvenim rebrima ojačanim ugljičnim vlaknima, te u slučaju izbočnika u obliku krila i izbočnikom. Postoji više vrsta izbočnika, a najčešći materijali za izradu izbočnika su aluminij i ugljična vlakna s epoksidnom smolom kao matricom. Na izbočnicima se nalazi polimerna ušica koja se okreće oko osovine od aluminija ili nehrđajućeg čelika te ona pridržava veslo i prenosi silu s vesla preko izbočnika na čamac. Pomično sjedalo, najčešće izrađeno od cedra ili kompozita s ugljičnim vlaknima stoji na aluminijskom postolju na koje su pričvršćeni polimerni kotačići s kugličnim ležajevima. Kotačići se kotrljaju po aluminijskim tračnicama. Osim pomičnog sjedala, uporište veslača u čamcu je i u nogarima. To su cipele od umjetne kože i platna, najčešće vijcima pričvršćene na aluminijski lim koji je dalje pričvršćen na nosače nogara. Nosači nogara se sastoje od aluminijskog profila i ploče od šperploče ojačane kompozitom s ugljičnim vlaknima. Nosači nogara se mogu pomicati po uzdužnoj osi čamca po polimernim zubnim letvama, koje su za čamac najčešće učvršćene preko drvenog nosača ili nosača od kompozita ojačanog ugljičnimvlaknima. Na pramcu se nalaze polimerni nosač za natjecateljski broj i elastomerna loptica. Pravac se održava pomoću peraje i, u nekim slučajevima, kormila. Peraja i kormilo najčešće su izrađeni od aluminija ili kompozita s epoksidnom matricom i ugljičnih vlakana kao ojačalom. Ograničenje čamca na minimalnu masu omogućava da razvoj čamaca obuhvati i ekološki aspekt razvoja proizvoda, te da se u budućnosti odabiru materijali s mogućnošću recikliranja.

Ključne riječi: veslanje, natjecateljski veslački čamac, ugljična vlakna, aramid, saće, sendvič-konstrukcija, aluminij, epoksidna smola, recikliranje, kompoziti, trup čamca, izbočnici, materijali, povijest

SUMMARY

Rowing racing boat is limited by FISA's rules. For the material selection, the most important rule is rule number 34 which limits the boat minimum weight depending on the rowing discipline. Materials used for rowing racing boats, except for shoes, ball and number holder, have to be stiff, strong and must have small density. The hull is mostly made of sandwich composite including aramid honeycomb in the middle, and aramid fibres on both sides of the sandwich. Matrix used for this composite is epoxy resin. Where needed, the hull is strengthened with carbon fibres and the ribs are made from woodreinforced with carbon fibres. Wing-riggers and rigger are also made of carbon fibres in epoxy matrix. There are many types of riggers and materials that are mostly used for making riggers are aluminium and carbon fibres in epoxy matrix. Plastic oarlock with stainless steel or aluminium pivot is placed on the end of the rigger. Oarlock holds the oar and transfersthe force from the oar to the hull trough the rigger. The moving saddle, in most cases made of cedar or carbon fibres in epoxy matrix is standing on an aluminium stand, on which plastic wheels with ball bearings are fixed with the bolt.Wheels are rolling on aluminium slides. Besides the saddle, the contact point between the rower and his boat are the shoes. In most cases they are made of synthetic leather and cloth and are fixed to an aluminium sheet, which is fixed to the shoe carriers. Shoe carriersare made of aluminium profile or plywood plate reinforced with carbon fibres. Shoe carriers position can be adjusted by moving on the plastic rack which is fixed to the hull by wooden or carbon fibrereinforced stands. A rubber ball and a plastic number holder are fixed on the bow of the boat. Direction is held by fin and in some cases by rudder. The fin and the rudder are in most cases made from aluminium or carbon fibre composites with epoxy matrix. Boat’s weight limit allows the development of the boat to accept also the ecological character and the use of recyclable materials in the future.

Key words: rowing, racing boat, carbon fibre, aramid, honeycomb, sandwich construction, aluminium, epoxy resin, recycle, composites, hull, riggers, materials, history

1. UVOD

Veslanje je sport koji obuhvaća različite discipline i staze. Veslanje kao olimpijski sport ima svjetsku krovnu organizaciju Međunarodnu veslačku federaciju, FISA, što je skraćenica od francuskog naziva FédérationInternationaledesSociétés d'Aviron. Kod veslanja cilj je u što kraćem vremenu preveslati ravnu stazu dugu 2 km.

Veslačke discipline se dijele prema spolu, dobi, masi veslača, broju veslača u pojedinom čamcu, broju vesala kojima vesla pojedini veslač, te prema tome ima li u čamcu kormilara. Prema spolu se dijele na muške i ženske veslače. Prema broju veslača u čamcu razlikujemo samac, dvojac, četverac i osmerac. U samcu veslač uvijek ima dva vesla, dok u ostalim disciplinama može imati po dva („na pariće“) ili po jedno veslo. Dok osmercem uvijek upravlja kormilar, ostalim disciplinama gdje svaki veslač ima po jedno veslo (rimen-discipline) može i ne mora upravljati kormilar.

Prema masi se veslači dijele na teške i lake. Za muški laki samac veslač ne smije imati više od 72,5 kg, a za ostale lake discipline prosječna masa veslača ne smije biti veća od 70,0 kg, te niti jedan veslač individualno ne smije imati preko 72,5 kg. Za lake veslačice vrijedi pravilo da veslačica ne smije imati više od 59 kg, a prosjek posade (kormilar se ne računa u prosjek) 57 kg. Za ženski laki samac vrijedi samo pravilo da veslačica ne smije imati više od 59 kg. [1]

Veslačke discipline se označavaju tako da se prvo navede broj veslača u čamcu, zatim „x“ ako je disciplina na pariće, „-“ za discipline s jednim veslom i bez kormilara, a „+“ za discipline s kormilarom. Nakon toga ide oznaka dobne kategorije:J za juniore (do 19 godina) i B za seniore do 23 godine.

Najznačajnija natjecanja su Olimpijske igre, svjetsko prvenstvo te svjetski kupovi.

2. NATJECATELJSKI ČAMAC

Natjecateljski veslački čamac se sastoji od trupa kao osnove, nogara, tračnica po kojima se kreće pomično sjedalo, peraje koja održava smijer kretanja te izbočnika koji drže veslo. Neki čamci još sadrže i kormilo kojim upravlja ili kormilar ili je spojeno na nogar jednog od veslača te se upravlja tako da veslač okreće stopalo (da petu ili približava drugoj peti, ili je odmiče).

2.1. Ograničenja u izvedbi natjecateljskog veslačkog čamca

Natjecateljski veslački čamci su propisani FISA-inim ograničenjima (FISA-ino pravilo br.33.):

1. Ako je čamac duži od 11,9 m mora biti podijeljen u sekcije koje se mogu odvojiti, a niti jedna sekcija ne smije biti duža od 11,9 m (prvenstveno zbog transporta)
2. Ako ječamac kraći od 7,20 m, na krmu se mora pričvrstiti produžetak koji na kraju mora imati bijelu lopticu promjera 4 cm.
3. Mjesto za kormilara mora biti dugo barem 70 cm, a barem 50 cm mora biti široko kao najširi dio čamca, a unutarnja površina zatvorenog dijela mora biti glatka i ne smije imati nikakvu teksturu koja bi smanjila širinu.
4. Svi čamci proizvedeni ili isporučeni nakon 1. siječnja 2007. godine moraju, kada se u potpunosti napune vodom, ostati plutati tako da je najviša točka pomičnog sjedala ne smije biti više od 5 cm ispod površine vode dok se u čamcu nalazi posada čija je masa jednaka masi posade za koju je čamac konstruiran.
5. Na pramcu čamca se mora nalaziti čvrsta bijela loptica minimalnog promjera 4 cm koja može biti zaseban dio ili integriran u konstrukciju čamca i osigurava vidljivost i zaštitu od prodiranja kada se dva čamca sudare.
6. Pete nogara moraju biti pričvršćene za čamac vezicama koje im onemogućuju da se podignu više od 7 cm.
7. Svi čamci proizvedeni ili isporučeni nakon 1. siječnja 1998. godine moraju imati identifikacijsku pločicu veličine do 50 cm2 trajno pričvršćenu na vidljivom mjestu. Na pločici se mora nalaziti ime i adresa proizvođača, njegova oznaka ili logo, godina

proizvodnje, prosječna masa posade za koju je čamac predviđen i masa čamca nakon proizvodnje u trenutku isporuke.

8. Ne smiju se koristiti nikakve supstance ili strukture koje bi mogle utjecati pa prirodna svojstva vode ili graničnog sloja između trupa čamca i vode.
9. Za vrijeme utrke ne smije doći do elektroničkog prijenosa podataka iz čamca ili u čamac. Podaci iz senzora za brzinu, GPS lokaciju, puls, broj zaveslaja u minuti, itd. se smiju prikupljati, analizirati, očitavati i pohranjivati unutar čamca. FISA ima pravo na svaki čamac postaviti uređaj koji odašilje podatke kako bi se omogućilo lakše praćenje utrke (ti uređaji također omogućavaju praćenje tijeka utrke putem interneta) koji su u vlasništvu FISA-e i smiju se koristiti u bilo koju svrhu uključujući i prezentaciju i promociju natjecanja i sporta. Službeni uređaji na svim čamcima u pojedinoj utrci moraju biti identični.[1]

Iz FISA-inog pravila broj 34. slijedi tablica 1. s dozvoljenim masama čamaca.

Tablica 1. Ograničenja mase za pojedine vrste čamaca [1]

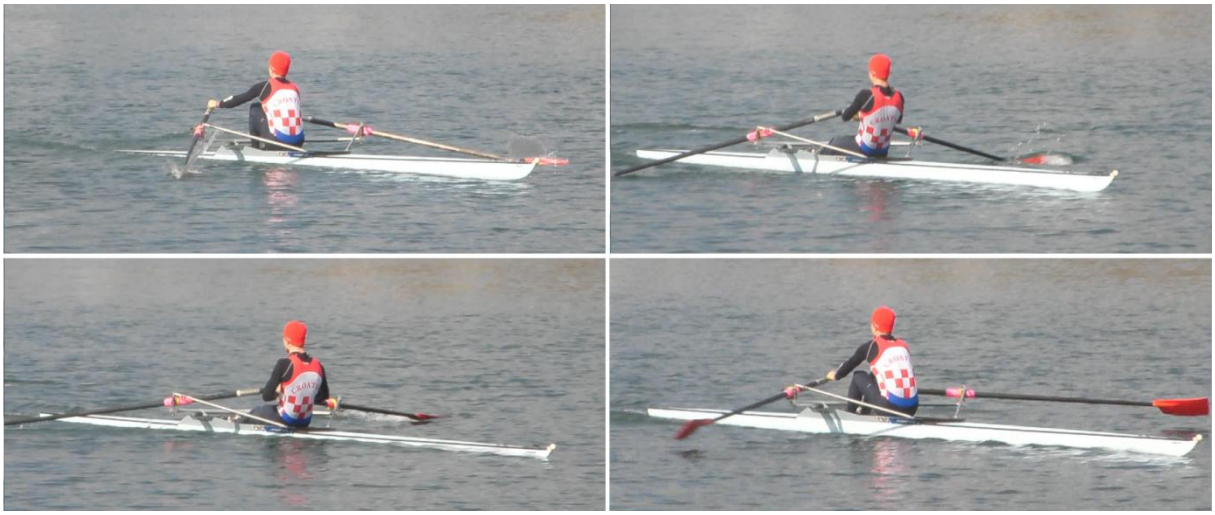
Vrsta čamca	Oznaka	Minimalna masa čamca (kg)
Samac	1x	14
Dvojac na pariće	2x	27
Dvojac bez kormilara	2-	27
Dvojac s kormilarom	2+	32
Četverac na pariće	4x	52
Četverac bez kormilara	4-	50
Četverac s kormilarom	4+	51
Osmerac	8+	96

Vrijednosti iz tablice 1. se odnose na čamac koji na sebi ima samo osnovne elemente, a osnovni elementi su trup, tračnice („šine“), pomično sjedalo, izbočnici s ušicama, nogari i eventualni produžeci ukoliko je trup čamca prekratak. Ukoliko je čamac ispod minimalne mase, tada se na njega pričvršćuju utezi koji moraju biti u čamcu za vrijeme i nakon utrke sve dok se čamac ne postavi na stalke.

2.2. Glavni dijelovi veslačkog čamca

2.2.1. Trup veslačkog čamca

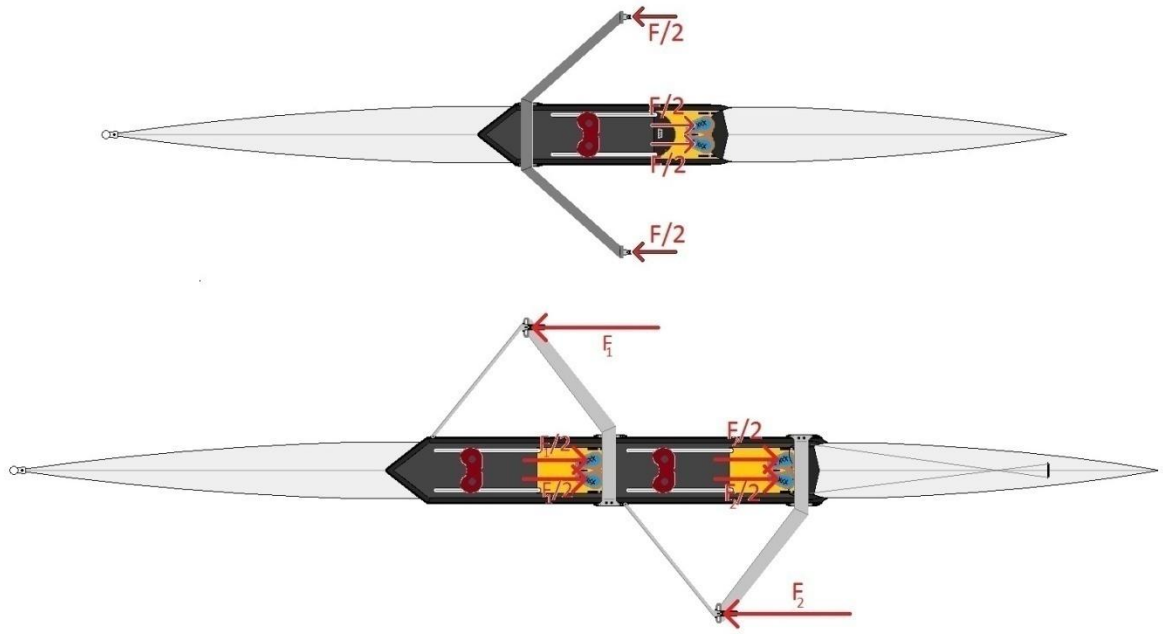
Trup čamca je osnova čamca. On mu osigurava plovnost, te minimalizira gubitak energije uslijed otpora vode (i valova) i izvitoperenja trupa. Trup mora biti što krući, čvršći, lakši, hidrodinamičniji, te mora osiguravati stabilnost. Prije svega, trup mora moći uroniti dovoljnim volumenom da čamac s posadom sigurno pluta. Zatim je pri konstrukciji trupa potrebnonaći optimalan odnos širine, duljine i dubine trupa kako bi se uz što bolju hidrodinamičnost osigurala stabilnost kako na bočno naginjanje tako i na naginjanje naprijed-natrag što je osobito važno jer se na natjecanju masa posade, koja je znatno veća od mase čamca,po čamcu pomiče naprijed-natrag amplitudom od gotovo 1 m i frekvencijom koja često prelazi 40 zaveslaja u minuti (slika 1.).



Slika 1. Oscilacije samca pri frekvenciji od 48 zaveslaja u minuti: u početku zaveslaja je krma previše utonula radi loše izvedbe trupa, tj. preranog intenzivnog smanjenja presjeka trupa od sredine prema krmi (gore lijevo), u ostalim dijelovima zaveslaja su oscilacije normalne (gore desno, dolje lijevo, dolje desno)

U pravilu frekvencija raste s brojem članova posade, ali pojedine posade veslaju različitim frekvencijama, te najčešće imaju duljinu vesla i krak poluge vesla prilagođene njihovom stilu veslanja. Kod čamaca na pariće sile su simetrično postavljene jer veslač približno jednakim silama djeluje na oba vesla simetrično postavljena (slika 2.). Kod rimen-disciplina sile ne djeluju simetrično te se u trupu čamca javlja moment savijanja iz čega slijedi da trup za

rimen-čamce mora biti krući na savijanje. Vrlo često se na rimen-čamce postavlja po dva izbočnika pa se rimen-čamci koriste i za veslanje na pariće.



Slika 2. Pojednostavljeni prikaz djelovanja sila veslača i vesla na čamac na pariće i na rimen-čamac u trenutku najveće sile provlaka

2.2.1.1. Materijali trupa veslačkog čamca kroz povijest

U 19. stoljeću trup čamca se radio uglavnom od drveta.Drveni trupovi za natjecateljske čamce su u početku bili rađeni od cedrenih letvica postavljenih preko rebara koja su davala oblik čamcu. Letvice su se slagale preklopno, a učvršćivale brončanim čavlićima. Gornja strana palube (koja nije bila u vodi) nije bila pokrivena letvicama već je bila prekrivena rastegnutim platnom koje je bilo impregnirano voskom kako bi se zaštitilo od prodiranja vode. Smjer se održavao kobilicom koja se protezala cijelom dužinom čamca, a često je na po najisturenijoj liniji imala mjedenu zaštitu od eventualnih oštećenja ako bi se ušlo u plićak. Ako bi čamac imao kormilo, to je bilo relativno veliko drveno kormilo s mjedenim okovima pomoću kojih se postavljalo na samu krmu čamca. Natjecateljski čamci preklopne građe su se zvali klinkeri, a osnovna razlika između njih i početničkih/rekreativnih gigova je ta što su klinkeri bili uži. Takvi čamci su bili trajni, ali izrazito teški (slika 3).

Slika 3. Klinker četverac s preklopnom građom[2]

Želja za pobjedom poticala je razvoj trupova bolje plovnosti, kvalitetnije površine i manje mase. Izborom materijala moguće je postići jednostavniju izradu, smanjenje mase proizvoda, bolju trajnost i bolja svojstva. Tako su 1860-ih godina, proizvođači kutijaWaters, Balch&Company razvijali i 1867. godine patentirali papirnati trup čamca. Mokri papir su stavljali preko kalupa kako bi poprimio željeni oblik te su ga nakog sušenja impregnirali smolom. Ti su čamci bili lakši od drvenih i bilo ih je lakše oblikovati (tablica 2.). Papirnati su u 70-im i prvoj polovici 80-ih godina 19. stoljeća bili izrazito popularni. U tome razdoblju, onaj tko je htio imati najbolji čamac, imao bi papirnati čamac. Papirnati brodovi su bili kratkog vijeka trajanja, te bi se lako oštetili, a teško popravili. Jednom kada se oštete, papir bi upio vodu te bi performanse čamca značajno pale zbog čega su do 1895. godine papirnati veslački čamci praktički izumrli, a natjecatelji su se vratili upotrebi drvenih čamaca.[3]

Tablica 2. Masa i dimenzije papirnatog trupa čamca iz 1871. godine [3]

Vrsta čamca	Duljina (m)	Širina (cm)	Masa (kg)
Samac	9,1	30	14
Dvojac	10,4	36	22
Četverac	12,5	46	45
Šesterac	14,9	48	55

70-ih godina19. stoljeća također su se razvili i glatki drveni čamcisličnI klinkerima, ali nisu bili preklopne građe već su se letvice slagale jedna do druge. Sljedeći korak je bio čamac koji je imao drvena rebra i ukrute, a oplata je bila napravljena od furnira (slika 4.). Dijelovi su se kao i kod klinkera spajali brončanim čavlićima, a paluba je kao i kod klinkera bila prevučena voštanim platnom (slika 5.), koje je kasnije zamijenila polimerna folija. Održavanje pravca omogućavala je mala peraja koja je bila smještena na dno čamca u krmenom dijelu. Peraja je bila u načinjena od mjedenog lima, a na čamac se pričvršćivala vijcima. To je bio napredak koji je tadašnje čamce po ideji i obliku značajno približio današnjim natjecateljskim čamcima.

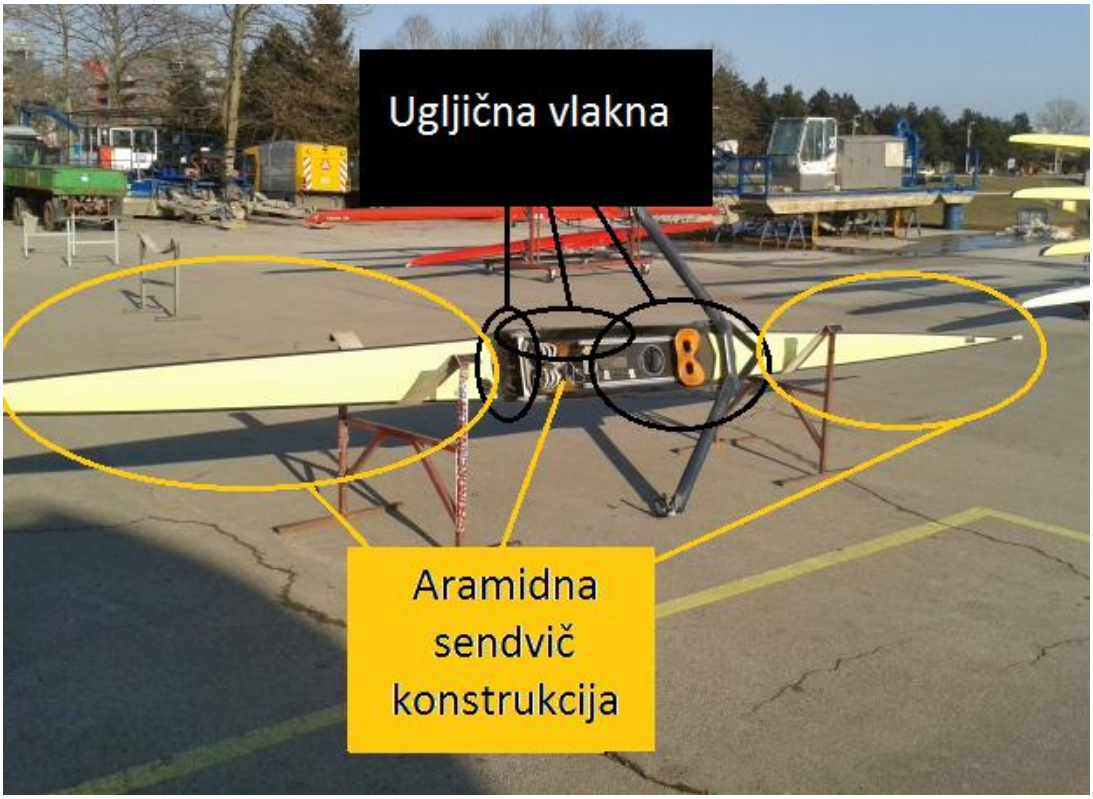
Slika 4. Oplata čamca od cedrenog furnira

Nakon pojave staklenih vlakana i poliesterske smole u drugim granama brodogradnje, razni proizvođači su pokušali pronaći njihovu upotrebu u veslanju. Trupovi od staklenih vlakana i poliesterske smole, zbog jednostavnosti izrade su se koristili (i koriste se i danas) za izradu početničkih čamaca. U natjecateljskom veslanju, u kratkom periodu u 70-im godinama 20. stoljeća mjesto su zauzeli trupovi od fenolne smole ojačani staklenim vlaknima, no natjecatelji su se vratili na drvene čamce i ubrzo na suvremene čamce, kako je prikazano u sljedećem poglavlju.

Slika 5. Samac soplatom od furnira prevučen voštanim platnom iz sredine 20. stoljeća[4]

2.2.1.2. Trup veslačkog čamca danas

Osnova trupa modernog natjecateljskog čamca je sendvič-konstrukcija koja se sastoji od aramidnih vlakana s gornje i donje strane i aramidnih saća u sredini (slike 6. i 7.). Vlakna su impregnirana epoksidnom smolom, a na mjestima gdje je to potrebno dodaju se slojevi ugljičnih vlakana s ciljem postizanja veće čvrstoće i krutosti na kritičnim mjestima.



Slika 6. Prikaz primjene osnovnih materijala u izradi trupa čamca

Slika 7. Presjek pramca od aramidne sendvič-konstrukcije

U čamac se često kao dodatne ukrute u trup ugrađuju drvena rebra ojačana ugljičnim vlaknima. Na tržištu se mogu naći i čamci koji su gotovo u potpunosti napravljeni od ugljičnih vlakana ojačanih epoksidnom smolom. Takvi čamci su manje otporni na probijanje od onih s aramidnom osnovom te su često i značajno skuplji (slika 8.).

Slika 8. Unutrašnjost čamca s aramidnom osnovom (lijevo) i s ugljičnom osnovom(desno)

U unutrašnjosti pojedinih čamaca se još uvijek mogu naći drveni elementi kao ukrute, no sve rjeđe.

Ovisno o masi posade za koju je čamac predviđen, duljine natjecateljskih veslačkih čamaca se kreću od 7,3 do 8,4 m za samac do 16,5 do 17,8 m za osmerac [10]. Budući da je epoksidna smolapoprilično neotporna na UV-zračenje, mnogi proizvođači štite čamac tako da naprave čamac s vanjskim slojem na bazi poliuretana ili čamac zaštite akrilnim lakom.

FISA-ino pravilo br. 33. kaže da čamac duži od 11,9 m mora biti podijeljen u sekcije koje se mogu odvojiti, a niti jedna sekcija ne smije biti duža od 11,9 m. Segmenti se spajaju tako da se postavi drveno rebro ojačano ugljičnim vlaknima na kraj pojedinog segmenta te se rebra vijčanim spojem učvrste jedno na drugo. Dijelovi segmenata u kontaktu se mogu namazati mašću kako bi se poboljšalo brtvljenje (slika 9.).

Slika 9. Izvedba čamca u segmentima: zasebni segment (lijevo) i unutrašnjost čamca na spoju dva segmenta (desno)

2.2.2. Izbočnici

Izbočnici su elementi čamca koji omogućavaju da hvatište vesla (ušica) bude na optimalnom položaju, uz optimalnu širinu čamca. Izbočnici trebaju silu koja se ostvaruje na veslu prenijeti na trup čamca, tj. u ubrzanje čamca. Oni moraju biti što lakši, što krući te se nastoji da budu dovoljno iznad površine vode kako bi valovi mogli proći po glatkoj oplati čamca bez da zapinju za vijke i izbočnike. Drveni izbočnici se na ribarskim barkama koriste od davnina, a otkako je veslanje kontinuirano natjecateljski sport, prve izbočnike je 1828. godine razvio Englez Anthony Brown. To su bili izbočnici slični onima koje nalazimo i na ribarskim barkama. Osnova im je bila drvo, a ušica nepomične drvene rašlje. Ubrzo su se počeli izrađivati čelični izbočnici s rašljama, a 1875. godine je patentirana pomična ušica [6].Danas se ušice izrađuju od polimera s osiguranjem protiv ispadanja vesla od nehrđajućeg čelika. Jedna od opcija za izbor materijala ušice je polipropilen (slika 10.) [7].

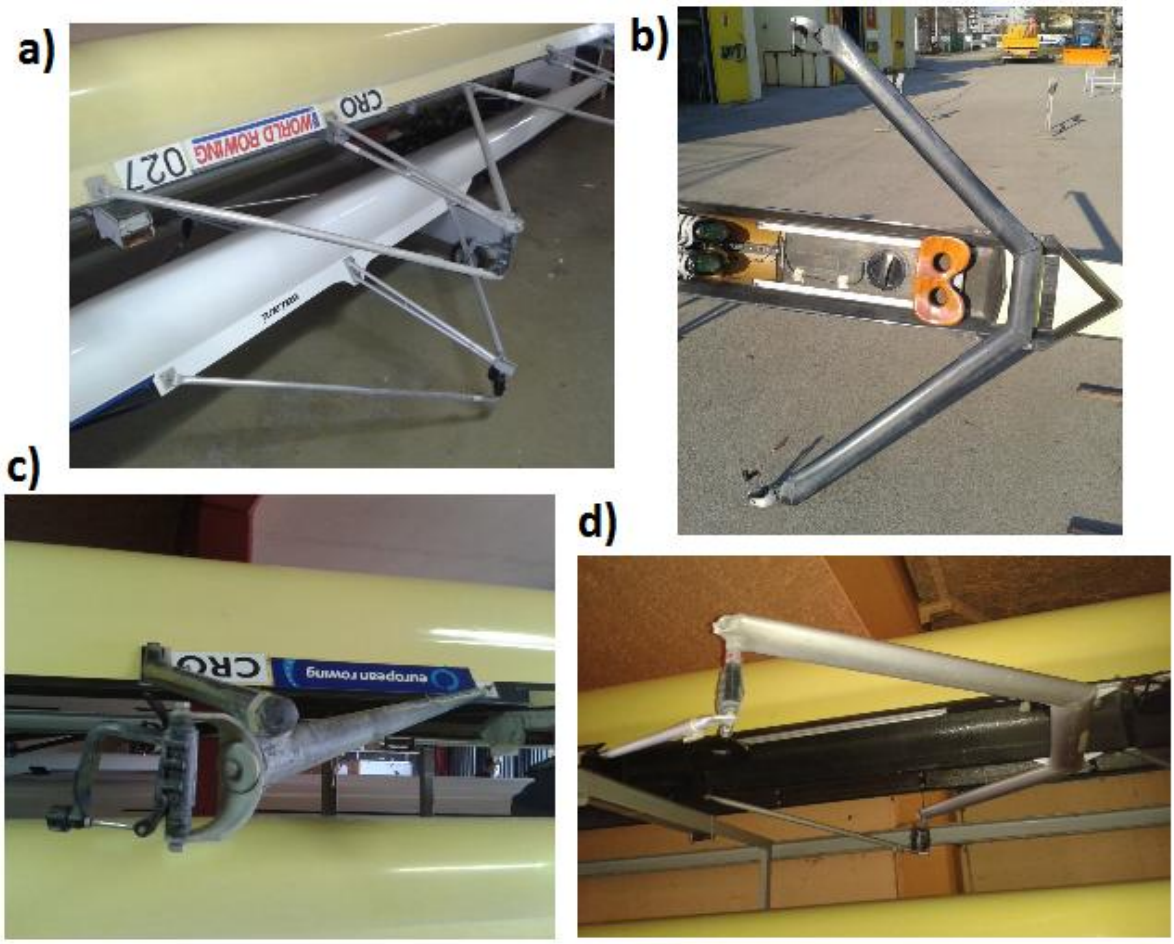
Slika 10. Ušica s osiguranjem od ispadanja vesla od nehrđajućeg čelika

Čelični izbočnici su u početku bili rađeni od punih čeličnih štapova, a kasnije od cijevi što je znatno smanjilo masu i povećalo krutost izbočnika (slika 11.). Dodatna redukcija mase je ostvarena kada se umjesto četiriju cijevi izbočnik počeo izrađivati od triju cijevi. Kako bi se izbjeglo iskrivljenje osovine ušice, koristio se čelični luk koji je kasnije zamijenila ukruta poznatija pod imenom „peta šipka“. Peta šipka se izrađivala od istog materijala kao i ostatak izbočnika, a najčešća izvedba je bila cijev spljoštena na kraju kako bi se mogla vijkom pričvrstiti na oplatu čamca. Danas se pete šipke najčešće izrađuju od aluminijskih cijevi (slika 12.).

Slika 11. Čelični izbočnik sa čeličnim lukom kao ukrutom protiv iskrivljenja osovine ušice

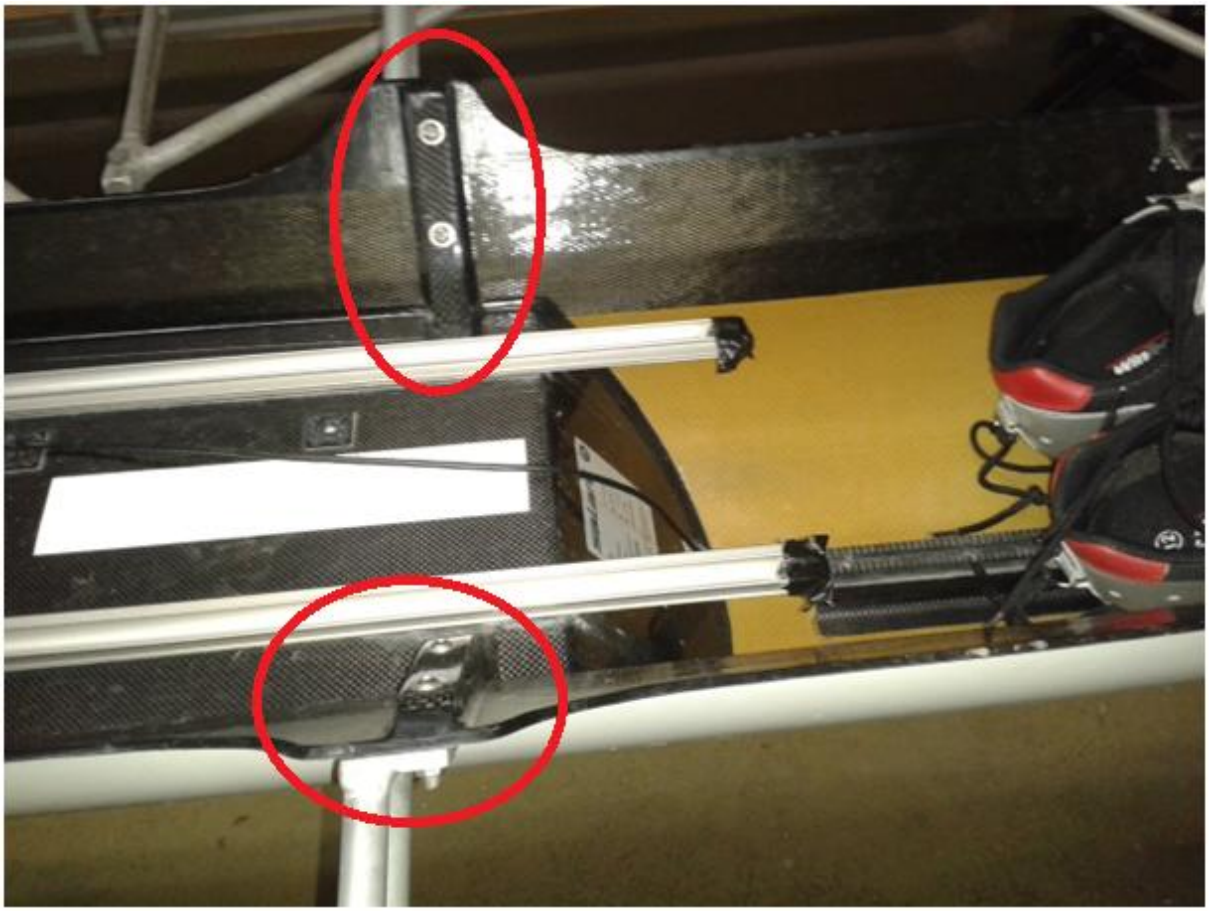
Slika 12. Izbočnici s „petom šipkom“

Više puta kroz povijest se pojavljivala ideja o pokretnim izbočnicima (a mirujućem sjedalu) no njihov je razvoj okončala FISA zabranivši pomične izbočnike iz više razloga. Prvi razlog je što bi onda puno vrhunskih čamaca „propalo“ jer ne bi mogli parirati čamcima s pomičnim izbočnicima, a drugi je taj što su u slučaju pomičnih izbočnika puno manje oscilacije mase (trup stoji na mjestu, a po čamcu se gibaju znatno lakše noge i izbočnici) te to u prednost postavlja veslače koji imaju izrazite fizičke sposobnosti pred onima koji su fizički malo slabiji, ali imaju bolje razvijenu vještinu veslanja. Danas su izbočnici na natjecateljskim čamcima najčešće aluminijski ili od ugljičnih vlakana impregniranih u epoksidnu smolu. Postoji više izvedbi: klasični aluminijski izbočnici (koji najčešće imaju i petu šipku), izbočnici koji se sastoje od dvaju cijevi načinjenih od namotanih kompozita s ugljičnimvlaknima te „krila“. Krila mogu biti prednja (u tom slučaju je često potrebna peta šipka) i stražnja (izvedba bez pete šipke). Krila također mogu biti aluminijska i od kompozita s ugljičnim vlaknima (slika 13. i 14.).



Slika 13. Vrste izbočnika:a) klasični aluminijski izbočnik, b) stražnje krilo, c) izbočnik od cijevi ojačanih ugljičnim vlaknima, d) prednje krilo

Nedostatak klasičnih aluminijskih izbočnika i izbočnika od cijevi ojačanih ugljičnim vlaknima je to što se oni vijcima učvršćuju u bok čamca što zahtjeva dodatno ojačanje trupa u obliku rebara koje se u novije vrijeme najčešće izrađuju od drveta ojačanog ugljičnim vlaknima. Izbočnici u obliku krila sami doprinose krutosti i čvrstoći čamca, čime sesmanjuje, a nekad i eliminira potrebu za rebrima. To omogućava lakšu izvedbu trupa, te omogućava postavljanje tračnica na većem međusobnom razmaku. Veći razmak tračnica doprinosi stabilnosti čamca i omogućava veslaču (što je osobito bitno u samcu kao najužem čamcu) da mu u položaju kada su mu noge ispružene, noge prolaze između tračnica, umjesto da se naslanjaju na tračnice, pri čemu tračnice bodu veslača u noge.



Slika 14. Drvena rebra ojačana ugljičnim vlaknima u koja se vijcima pričvršćuju izbočnici koji nisu u izvedbi krila

Klasični aluminijski izbočnici rađeni su kao i njihovi čelični prethodnici: najčešće od tri šipke koje su zavarene u aluminijske pločice koje služe kao prirubnica za pričvršćivanje izbočnika za čamac s jedne strane, a u postolje za osovinu s druge strane. Često su parovi još na sredini zavareni preko jedne male ukrute. Cijevi ojačane ugljičnim vlaknima se na vrhu preklapaju te su vijčano spojene jedna na drugu te je na kraj gornje cijevi pomoću vijka pričvršćenaaluminijska ili ugljičnim vlaknima ojačanačeljust za osovinu ušice. Takvi se izbočnici još uvijek nerijetko viđaju na velikim natjecanjima zbog toga što ih mnogi smatraju najkućom izvedbom izbočnika, te smatraju kako se preko njihsila s vesla prenosi u ubrzanje čamca s najmanjim gubicima. Najčešći oblik izbočnika su krila. Ona čamcu daju krutost te se učvršćuju s gornje strane na čamac, a ne sa strane, što omogućuje veslanje po većim valovima bez zapinjanja vode za izbočnik. Aluminijska krila rađena su tako da su aluminijske cijevi ovalnog (spljoštenog) oblika zavarene tako da se nadovezuju jedna na drugu na mjestima

promjene smjera (slika 15.). Na cijev koja prelazi preko trupa čamca zavarena su postolja pomoću kojih se izbočnik vijcima odozgo učvrsti za trup broda.

Slika 15. Mjesta zavara na aluminijskim krilima: međusobni spojevi cijevi te spojevi cijevi i nosača za namještanje raspona ušica (lijevo); spoj cijevi i postolja (desno)

Krila od ugljičnih vlakana su prema obliku i mehanizmima slična aluminijskim uz tu razliku što se ona često izrađuju od jednog komada (tzv. „one shot“). Nosača ili nema pa su provrti za vijke provučeni kroz sami izbočnik ili su aluminijski nosači steznim spojem učvršćeni na dio izbočnika gdje se izbočnik spaja s čamcem ili su napravljeni od kompozita ojačanog ugljičnimvlaknima (slika 16.).

Slika 16. Mjesta spajanja ugljičnih krila i trupa: nosači od ugljičnih vlakana (lijevo), aluminijski nosači (sredina), direktan spoj izbočnika i trupa čamca (desno)

Prednja krila imaju mehanizam postavljanja osovine ušice isti kao i klasični aluminijski izbočnici te zahtijevaju petu šipku (u čast tradiciji se ukruta koja sprječava savijanje osovine ušice i dalje naziva petom šipkom), dok stražnja krila imaju sistem kao i cijeviod ugljičnih vlakana impregniranih epoksidnom smolom, tj. čeljusti koje drže osovinu ušice su na izbočnik

spojene u točki kroz koju prolazi vektor sile vesla. Čeljusti se izrađuju od deformiranog aluminijskog lima ili od kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima (slika 17.).

Slika 17. Čeljusti za prihvat ušice ojačane ugljičnim vlaknima (lijevo) i od aluminija (desno)

Izostanak pete šipke kod stražnjih krila olakšava manipulaciju čamcem na suhom. Iako se u sve većem broju odlučuje za izbočnike ojačane ugljičnim vlaknima jer su manje mase od aluminijskih, a i veće cijene (razlika doseže i do 1000€ po izbočniku, što je česta asocijacija na bolje performanse), mnogi se veslači i dalje odlučuju za jeftinije aluminijske izvedbe kod kojih je i manja opasnost od oštećenja. Čamci s aluminijskim izbočnicima, kao i oni s izbočnicima ojačanim s ugljičnim vlaknima mogu imati masu ispod minimalne dopuštene, što zahtjeva dodatne utege. U slučaju ugljičnih izbočnika je moguće postaviti niže težište čamca što bi trebalo doprinijeti stabilnosti, no to su zanemarive razlike iz razloga što je posada višestruko teža od čamca, a iznos pomicanja težišta čamca po okomici je jako malen.Zbog prethodno spomenutog nastanka momenta savijanja, čamci za rimen se češće izrađuju u izvedbi s prednjim krilima jer se sila s vesla raspoređuje u izbočnik i petu šipku te se tako manje opterećuje čamac i asimetrični izbočnik.

Slika 18. prikazuje polufinale lakog samca na svjetskom prvenstvu 2014. godine. Pet od šest čamaca imaju izbočnike u obliku krila, od kojih su troje stražnja krila (staza 1, 5 i 6). U ovom slučaju, sva su krila aluminijska, a čamac u stazi 3 ima izbočnike od kompozita s ugljičnimvlaknima.

Slika 18. Polufinale lakog samca na svjetskom prvenstvu do 23 godine 2014. godine[5]

2.2.3. Pomično sjedalo

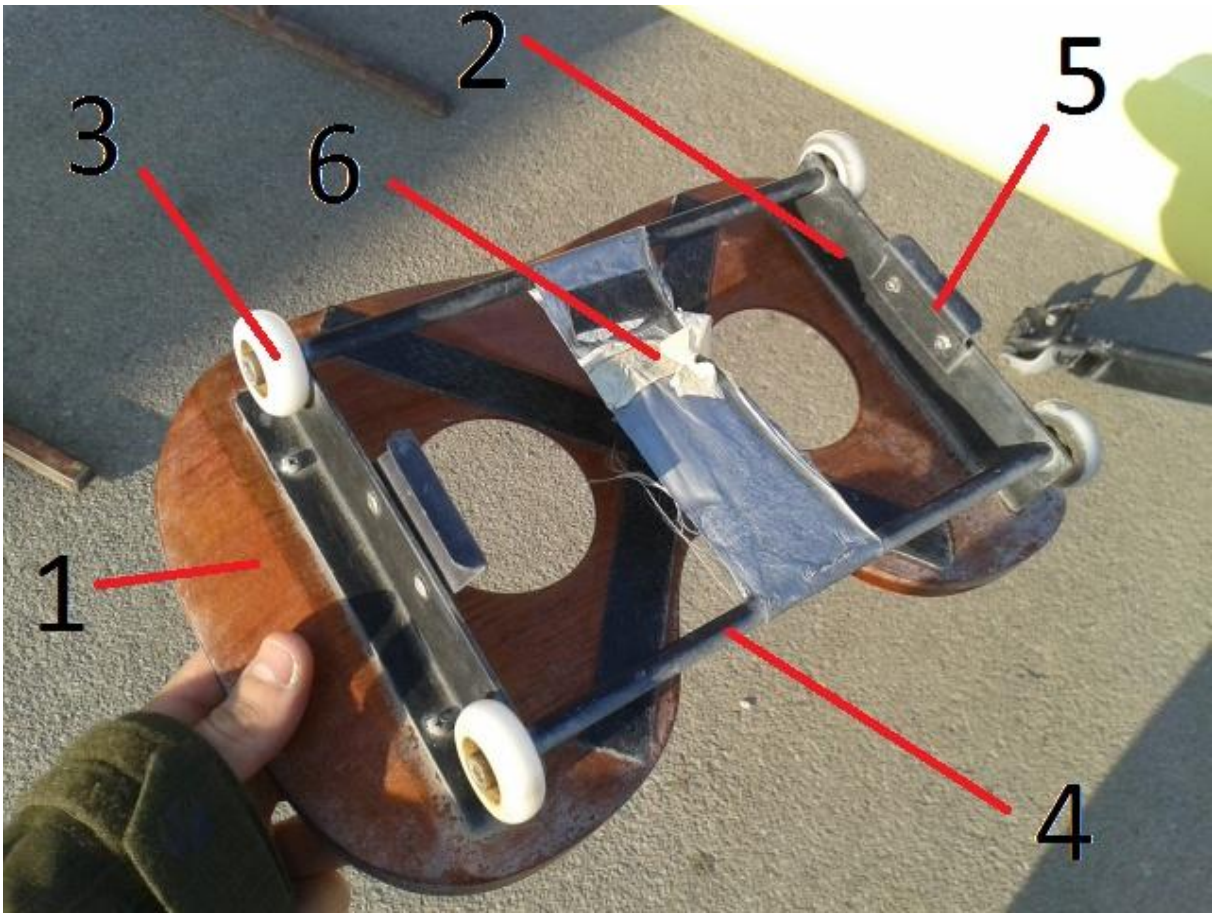
Noge veslača daju većinski dio ubrzanja i održavanja brzine čamca pri regatnoj frekvenciji zaveslaja, a upravo pomično sjedalo omogućava nogama veslača da pogone čamac uz minimalne gubitke uslijed trenja. Pomično sjedalo ima zadatak omogućiti gibanje tijela veslača naprijed-natrag po čamcu uz minimalne gubitke, pri čemu ono ne prenosi nikakvu silu. Pomično sjedalo prije svega mora biti dovoljno čvrsto da izdrži težinu veslača, zatim treba biti što lakše i imati dovoljan faktor trenja na gornjoj površini da veslač ne sklizne sasjedala i da kada se tijelo veslača praktički odvoji od sjedala, da sjedalo svejedno prati putanju veslača. S posljednjeg aspekta je kritičan trenutak starta utrke kada veslači moraju pokrenuti čamac s posadom iz mirovanja. Tada se ostvaruje najveća sila pritiska na nogare te se tijelo veslača odiže sa sjedala. U tom trenutku je bitno da sjedalo zadrži kontakt s veslačem, a mala masa sjedala (kao otpor promjeni gibanja) i odgovarajući faktor trenja moraju omogućiti da se sjedalo kreće zajedno s veslačem. Ako se pretjera s faktorom trenja na gornjoj plohi sjedala, ono postaje neudobno uslijed brojnih naginjanja veslača iz kukova, kada je poželjno daveslač u sjedalulagano klizi. Ležajevi kotačića i tračnice moraju omogućiti pravocrtno gibanje uz minimalne gubitke uslijed trenja. Slika 19. prikazuje dijelovedrvenog pomičnog sjedala.

2.2.3.1. Povijest veslačkih sjedala

U počecima natjecateljskog veslanja, veslači su nosili kožne hlače u kojima su klizali po lojem namazanim daskama. Takav oblik kretanja je pružao otpor uslijed trenja, te je duljina dijela zaveslaja koji su odrađivale noge bila prilično kratka (10-15 cm). U 60-im godinama 19. stoljeća počinju se upotrebljavati klizeća sjedala. To su bila drvena sjedala prevučena kožom koja su poput sanjki klizala po mašću podmazanim mjedenim tračnicamapričvršćenim na trup čamca. Ovakav način kretanja je utrostručio efektivnu duljinu nogu u zaveslaju što znači da su veslačima u početku zaveslaja potkoljenice bile oko 30° od okomice. Klizeća sjedala su ubrzo zamijenjena sjedalima s kotačima koja veslaču omogućuju optimalnu duljinu rada nogu u zaveslaju pri čemu potkoljenica veslača u početku zaveslaja dolazi u okomiti položaj. [3]

2.2.3.2. Veslačka sjedala danas

Danas se koriste sjedala s četiri polimerna kotačića s kugličnim ležajevima koja se kreću po aluminijskim tračnicama. Sjedala su najčešće izvedena iz dva osnovna dijela: gornjeg dijela, tj. površine na kojoj veslač sjedi i donjeg dijela, tj. nosača sjedala. Nosač sjedala je najčešće napravljen od savijenog aluminijskog lima i učvršćen dvama aluminijskim cijevima s navojemu koji se pričvrste kotačići. Gornji dio sjedala se najčešće izrađuje od lakiranog drveta, ugljičnih vlakana impregniranih epoksidnom smolom (slika 20. lijevo) ili od drveta prevučenog ugljičnim vlaknima impregniranih epoksidnom smolom (slika 20. desno). Drveno sjedalo prevučeno kompozitom s ugljičnim vlaknima i sjedalo u cijelosti izrađeno od kompozita s ugljičnim vlaknima s gornje strane izgledaju jednako, ali se s donje strane vidi da je sjedalo od ugljičnih vlakana izrađeno u obliku ljuske.



Slika 19. Drveno pomično sjedalo; 1-gornji dio sjedala; 2-nosač od aluminijskog lima; 3-kotačić; 4-aluminijska cijev s navojem; 5-aluminijski lim koji sprječava da sjedalo ispadne iz čamca kada se čamac okrene naopako; 6-magnet za mjerenje frekvencije zaveslaja

Slika 20. Pomično sjedalo od ugljičnih vlakana ljuskaste građe (lijevo) i drveno pomično sjedalo prevučeno ugljičnim vlaknima (desno)

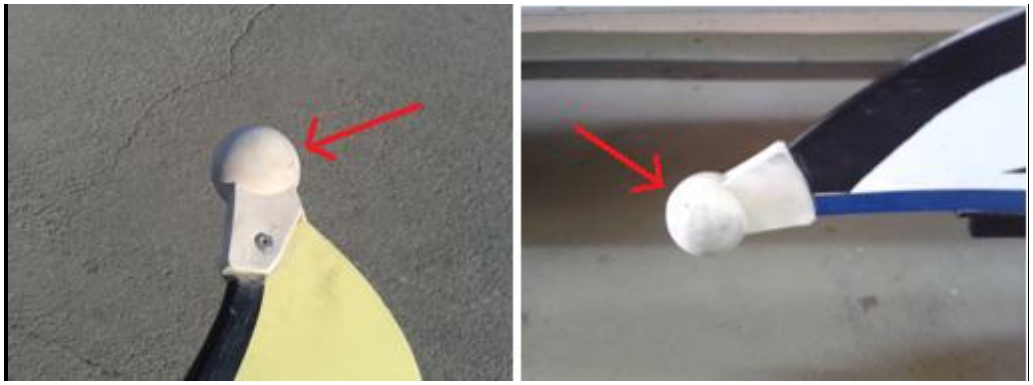
Veslačka sjedala se također se izrađuju od raznih polimernih materijala, iverica i slično. Iako udobnost sjedala ponajviše ovisi o njegovom obliku, mnogi proizvođači nude sjedala od različitih materijala. Sjedala od kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima su najskuplja, najlakša i mnogima estetski najprivlačnija. Drvena sjedala se također odabiru iz estetskih razloga, ali i iz ekonomskih i ekoloških razloga. Veslači različito ocjenjuju udobnost sjedala napravljenog od pojedinog materijala. Pojedini proizvođači nude i sjedala koja na površini imaju tanki sloj pjenastog materijala kako bi se poboljšala udobnost, no ta udobnost je također individualnog karaktera. Neki veslači izbjegavaju sjedala s polimernom pjenom, dok drugi ako imaju sjedalo bez nanesene pjene, na njega nalijepe improviziranu polimernu pjenu (slika 21).

Slika 21. Pomično sjedalo s improviziranom spužvom (lijevo) i s tvorničkom spužvom (desno)

2.2.4. Materijali ostalih dijelovaveslačkog čamca

Od ostalih dijelova čamca postoje vijci koji su najčešće od nehrđajućeg čelika, osovine ušice od nehrđajućeg čelika ili aluminija (slika 22.), elastomerne loptice za pramac koja služi kao zaštita od prodiranja jednog čamca u drugi (slika 23)., polimerne ušice koja drži veslo i povezuje ga s čamcem preko izbočnika tepolimerni držač za broj koji se postavlja na pramac čamca na regati i služi za identifikaciju posade na regatnoj stazi (slika 24.).

Slika 22. Osovina od ušice od nehrđajućeg čelika



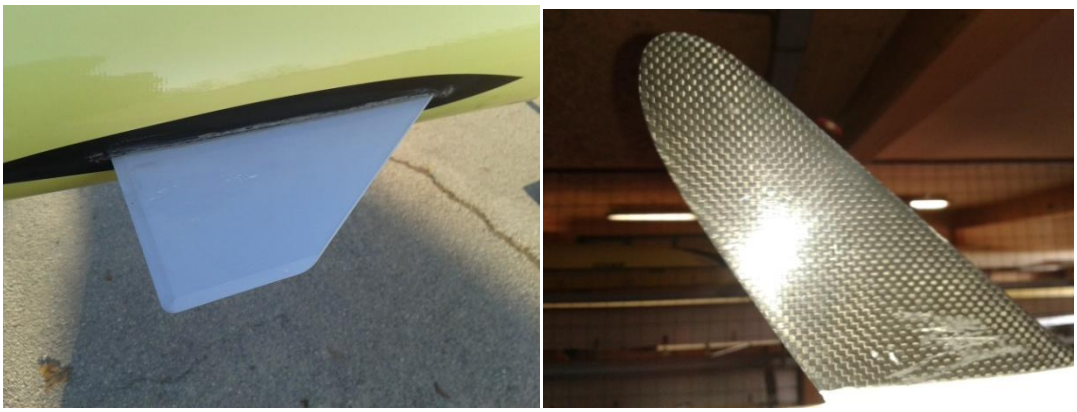
Slika 23. Loptica na pramcu kao zaštita od prodiranja jednog čamca u drugi

Slika 24. Držač za broj

Nogari su izrađeni od platna i umjetne kože, najčešće se vezuju pomoću čičaka, a po donjem dijelu su ukrućeni nekom vrstom polimernog materijala. Nogari se fiksiraju na aluminijsku ili čeličnu pločicu pomoću vijaka, a ta se pločica dalje vijcima fiksira u postolje u obliku daske od šperploče prevučene ugljičnim vlaknima i impregnirane epoksidnom smolom (slika 25.).

Slika 25. Prikaz spoja nogara preko aluminijskog lima na ploču od šperpoloče ojačane ugljičnim vlaknima impregniranim epoksidnom smolom

Perajice su se u početku izrađivale od mjedi koju je kasnije zamijenio aluminij zbog manje gustoće. Također postoje i perajice od kompozita s ugljičnimvlaknima, no one se rijetko koriste zbog visoke cijene ugljičnih vlakana, a kada se koriste, najčešće se koriste iz estetskih razloga ili zato što se od proizvoda veće cijene očekuju i bolje performanse (slika 26.).



Slika 26. Aluminijska peraja (lijevo) i peraja od ugljičnih vlakana (desno)

Kormilo se postavlja ili uz peraju ili zasebno. Sastoji se od vratila kormila od nehrđajućeg čelika ili aluminija,te od lista kormila koji može biti načinjen od lima od istog materijala kao i vratilo pa je zavaren na vratilo. List može biti napravljen i od ugljičnih vlakana impregniranih epoksidnom smolom ili od staklenih vlakana impregniranih epoksidnom ili poliesterskom smolom, te se u tom slučaju list kormila lijepi na vratilo kormila. Poluga kormila najčešće je načinjena od aluminija, te je preko čeličnog užeta od spletene žice („sajle“) spojena na ručke za kormilara ili na nogar jednog od veslača (slika 27.).

Slika 27. Kormilo spojeno na peraju (lijevo) i kormilo odvojeno od peraje (desno); 1- list kormila; 2- linija vratila kormila; 3- poluga kormila

3. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATERIJALA ZANATJECATELJSKIVESLAČKI ČAMAC U BUDUĆNOSTI

Zbog slabijih tehnoloških mogućnosti i kvalitete materijala, osnove čamaca slabije razvijenih proizvođača su teže od osnova čamaca vrhunskih proizvođača zbog čega su primorani koristiti ugljična vlakna za sporedne dijelove kako bi postigli minimalnu masu konačnog čamca sa svim dijelovima i kako bi privukli kupce.

Spektar dijelova načinjenih od ugljičnih vlakana se sve više i više proširuje kako u drugim sportovima, tako i u veslanju. Iako se prema iskustvu mnogih veslača kvaliteta veslačkih čamaca u posljednjih 20 godina nije osjetno promijenila, ugljična vlakna se sve više koriste na manje važnim dijelovima čamca, kao što su postolje za nogare, čeljust za prihvat ušice i sl. (slika 28.). Ti se dijelovi vrednuju prema zadovoljavanju ili nezadovoljavanju njihove osnovne funkcije, a ne prema tome kako je obavljaju. Ugljična vlakna se također ističu kao ukras na čamcu.

Slika 28. Postolje od ugljičnih vlakana (lijevo) i drveno postolje (desno) za zubnu letvu za podešavanje udaljenosti nogara od osovine ušice; postolje od ugljičnih vlakana je nešto lakše i mnogima atraktivnije (ovisno o boji čamca), ali se u drveno lakše fiksira zubna letva

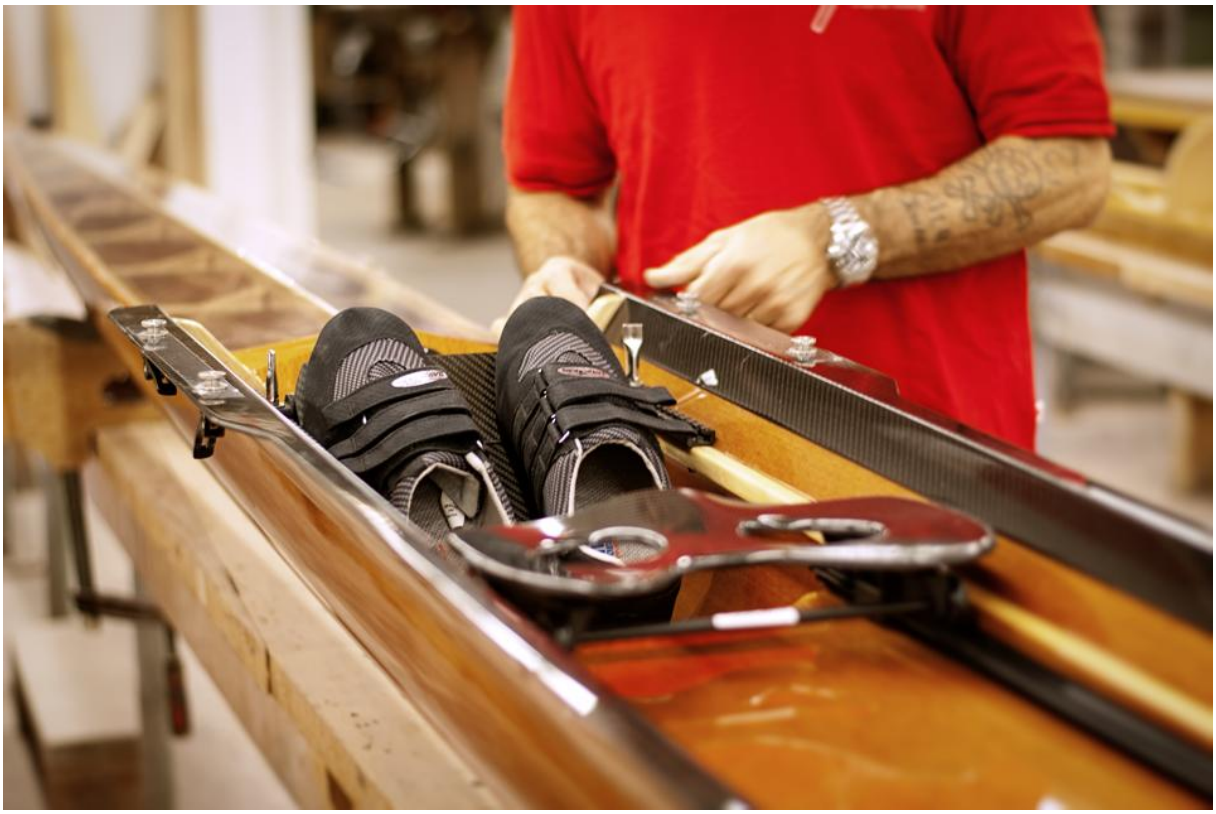
Slika 29. Linija s ugljičnim vlaknima koja ima prvenstveno ukrasnunamjenu

To se ponajviše događa zbog težnje tržišta za novitetima i praćenju trenda u sportskoj industriji. Dok neki proizvođači na tržištu opstaju zahvaljujući provjerenoj kvaliteti, drugi se na tržište probijaju širim spektrom dijelova ojačanih s ugljičnim vlaknima. Kada bi FISA spustila dozvoljene mase čamaca, tada bi proširenje primjene kompozita s ugljičnim vlaknima imalo i funkcionalnog smisla, tj. ugljična vlakna bi zamijenila većinu dijelova (sjedalo, ušica, postolje za nogare, držač za broj natjecatelja…). U tom bi slučaju vjerojatnougljična vlakna zamijenila aramidna i u osnovi ljuske trupa čamca radi veće specifične čvrstoće i specifične krutosti. Dijelovi koje nema smisla izrađivati od kompozita ojačanog ugljičnim vlaknima su tračnice i kotačići pomičnog sjedala jer je teško postići da površina takvog materijala bude glatka kao površina aluminijskog profila, što bi ometalo kotrljanje kotačića pomičnog sjedala, koji zbog malog promjera nisu pogodni za neravne površine. Također bi se moglo uštedjeti na masi primjenom loptice od aluminijske pjene, no to je prema današnjim saznanjima o proizvodnji aluminijske pjene neisplativo.

4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MATERIJALA ZA VESLAČKI ČAMAC UZ MOGUĆNOST RECIKLIRANJA

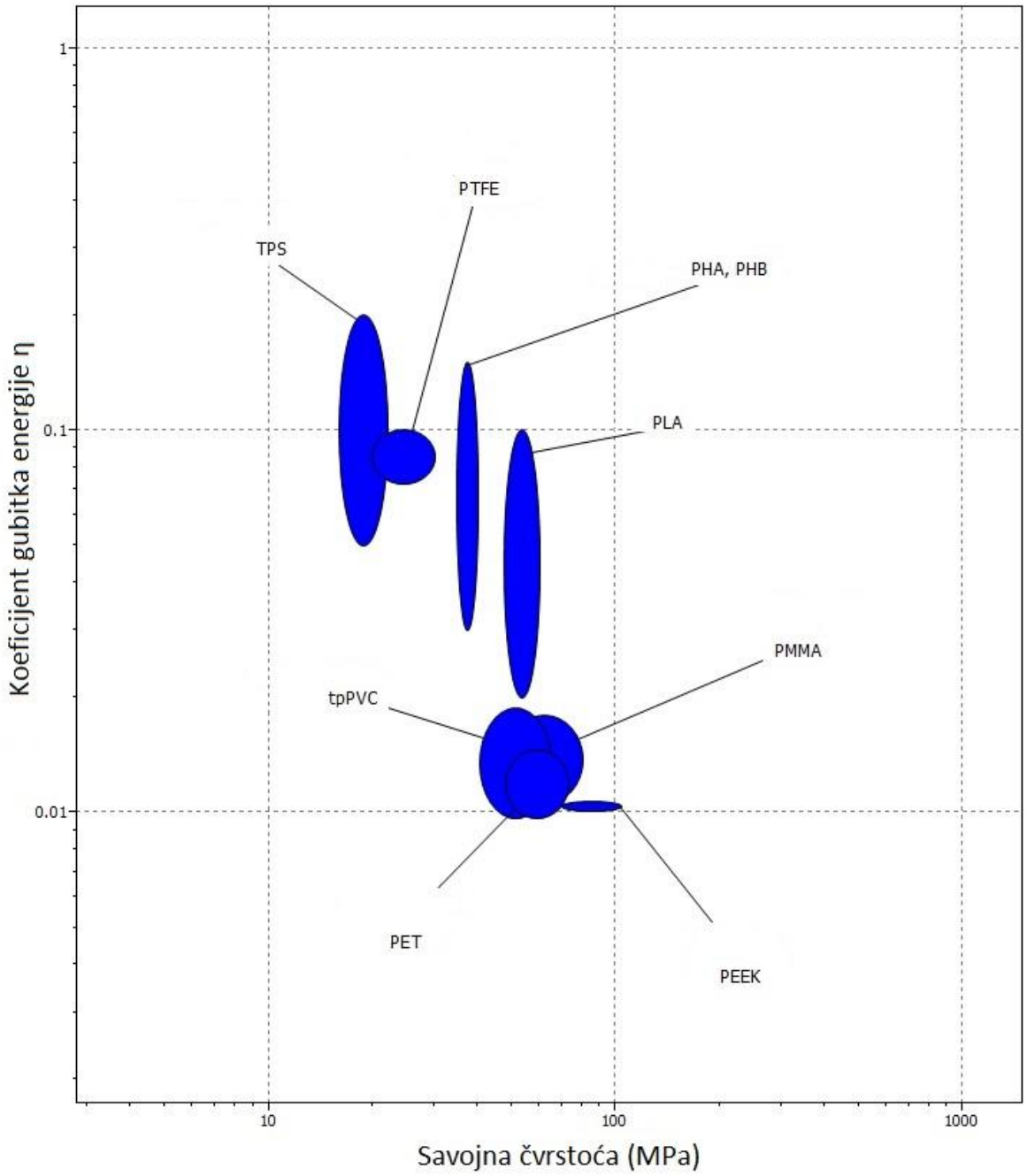
Od materijala koji se danas koriste za izradu veslačkog čamca, aluminij i nehrđajući čelici su potpuno reciklični. Drveni dijelovi se mogu prenamijeniti ili spaliti, a ugljična i aramidna vlakna i saće se mogu pirolizom odvojiti od epoksidne matrice te se ponovno koristiti, ali s oslabljenim svojstvima čvrstoće i istezljivosti, dok im modul elastičnosti ostaje isti [8]. Iz toga slijedi da dijelovima od nehrđajućeg čelika (danas su to pretežito vijci, matice, podloške, osovina od ušice i osigurač protiv ispadanja vesla iz ušice) i aluminija nije potrebno tražiti zamjenski materijal. Dijelovi poput izbočnika, postolja za nogare, peraje i kormila, te čeljusti ušice bi se trebali izrađivati od aluminija i eventualno biti zamijenjeni kompozitom s ugljičnim vlaknima tek u slučaju da čamac ima masu višu od dozvoljene. U suprotnom, masa koju se uštedi primjenom slabije recikličnih kompozita s ugljičnim vlaknima morase u čamac ugraditi u obliku dodatnih utega. Također je moguće napraviti trup od drvenog furnira s gornje strane prevučenogpolimernom folijom ima minimalnu masu prema FISA-inim propisima. Švicarski proizvođač veslačkih čamaca Stämpflije za danskog lakog samca Henrika Stephansena, višestrukog svjetskog prvaka u lakom samcu, izradio čamac od drvenog furnira ojačanog svilenim platnom s vanjske strane, s drvenim rebrima ojačanims ugljičnimvlaknima, te s izbočnicima, petim šipkama, pomičnim sjedalom i pločama na koje se pričvršćuju nogari izrađenim od kompozita s ugljičnim vlaknima (slike 30. i 31.). Osovine od ušice su u ovom slučaju šuplje kako bi se dodatno uštedjelo na masi. Taj čamac ima 14 kg što je na minimumu dozvoljene mase. Henrik Stephansen će se u sezoni 2015. natjecati u tom samcu.[11]

Slika30. Stämpflijev drveni samac mase 14 kg [9]



Slika 31. Unutrašnjost Stämpflijevog drvenog čamca mase 14 kg [9]

Polimerni dijelovi kao što su ušica, nosač za broj, loptica i sl. bi se trebali izrađivati od neumreženih polimera (plastomera) gdje je moguće. Tako bi se umjesto djelomično umrežene (elastomerne) loptice mogla primjenjivati loptica od nekog recikličnog polimera. Na slici 32.prikazani su polimeri koji dolaze u obzir i zadovoljavaju uvjete dobre ili odlične postojanosti na UV-zračenje, te koji se mogu reciklirati. Ako bi se u obzir uzela i cijena materijala, za izradu reciklične polimerne loptice za pramac najprikladniji materijali bi bili poli(etilen-tereftalat), PET i poli(vinil-klorid), PVC. [7]



Slika 32. Polimeri pogodni za izradu reciklične loptice za pramac [7]

Reciklična loptica se također može izraditi i od metalne pjene, npr. aluminijske koja ima relativno malu gustoću i tvrdoću i izvrstan koeficijent gubitka energije što doprinosi prigušenju udaraca, te je potpuno reciklična.

5. ZAKLJUČAK

U izradi natjecateljskog veslačkog čamca najveći udio materijala čine kompoziti i to ugljična vlakna ojačana epoksidnom smolom te sendvič-konstrukcija od aramidnih saća, koja je s obje strane omeđena aramidnim vlaknima s epoksidnom smolom kao matricom. Također se koriste i drvo, aluminij, nehrđajući čelici, te razni polimerni materijali. Iako se polimerni kompoziti s ugljičnim vlaknima kao i u drugim sportovima sve više koriste i u veslanju, ograničenje natjecateljskog veslačkog čamca na minimalnu dopuštenu masu otvara mogućnost primjene i drugih ekoloških i recikličnih materijala u izradi natjecateljskih veslačkih čamaca i dijelova u budućnosti.

LITERATURA

[1] FISA rules of racing and related bye-laws http://www.worldrowing.com/uploads/files/2010_FISA_Rules_of_Racing.pdf [20. 2. 2015.]

[2] Monografija 100 godina postojanja HAVK MLadost Zagreb, Izdavač: Hrvatski akademski veslački klub Mladost, 2012.

[3] RowHist-Equipment, http://www.rowinghistory.net/Equipment.htm [20. 2. 2015.]

[4] Foto, TošoDabac

[5] Day 4 of racing at the 2014 World Rowing Under 23 Championships in Varese, Italy - worldrowing.com, http://www.worldrowing.com/photos-videos/galleries/day-racing-the-2014-world-rowing-under-championships-varese-italy-116441#gallery-4 [21. 2. 2015.]

[6] RowHist-Time Line.html, http://www.rowinghistory.net/Time%20Line/Time%20Line.htm [22. 2. 2015.]

[7] CES–Cambridge Engineering Selector 2009, program za izbor materijala pomoću računala

[8] Žmak, I., Recikliranje kompozitnih materijala, podloge za predavanja iz izbornog tehničkog kolegija Polimeri i kompoziti, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014.

[9] StämpfliRacingBoats's Photos - StämpfliRacingBoats _ Facebook, https://www.facebook.com/staempfliboats/photos/pb.1415521908735864.-2207520000.1424872208./1496387427315978/?type=3&theater[23. 2. 2015.]

[10] BootswerftEmpacherGmbH, www.empacher.com[23. 2. 2015.]

[11] Henrik Stephansen _ Facebook, https://www.facebook.com/pages/Henrik-Stephansen/235109773245426?fref=photo[23. 2. 2015.]

PRILOZI

I. CD-R disk