

# Katamarani

---

**Đidara, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:363582>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-19**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -  
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for  
permanent storage and preservation of digital  
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**Josip Đidara**

**KATAMARAN**

**ZAVRŠNI RAD**

**Split, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET U SPLITU**

**STUDIJ: Pomorska nautika**

**KATAMARAN**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Zoran Mikelić, dipl.ing.pp.,

Student:

Josip Đidara (MB:23130916)

**Split, 2023.**

## SAŽETAK

Završni rad bavi se definicijom katamarana, njegovom povješću i razvojem do danas. Katamarani su vrsta plovila koja se sastoji od dvaju trupa povezanih mostom, a koriste se u raznim sektorima, uključujući pomorsko putničko brodarstvo. U Hrvatskoj, katamarani su sve češće prisutni u floti pomorskih prijevoznika, posebice u obalnom prijevozu putnika i turista.

Katamarani su se razvijali kroz povijest, a prvi primjerci datiraju još iz polinezijske tradicije. Danas se katamarani koriste u svim dijelovima svijeta i igraju važnu ulogu u globalnoj pomorskoj industriji.

Glavna karakteristika katamarana je dvotrupna konstrukcija, koja im omogućuje veću brzinu i ekonomičnost u odnosu na tradicionalne jednotrupce. Međutim, da bi se postigla maksimalna učinkovitost, bitni elementi su otpor, stabilnost i oplakana površina.

Otpor se javlja kada se plovilo kreće kroz vodu, a može biti trupni, pogonski i površinski. Stabilitet je važan čimbenik u konstrukciji i upravljanju katamaranima, a može se povećati smanjenjem visine težišta ili širenjem trupa. Kod prijevoza putnika, stabilnost je posebno važna kako bi se osigurala udobnost putnika i minimizirale rizike od prevrtanja plovila.

**Ključne riječi:** *dvotrupac, putničko brodarstvo, otpor, stabilnost, oplakana površina*

## **ABSTRACT**

The final paper deals with the definition of the catamaran, its history and development until today. Catamarans are a type of vessel consisting of two hulls connected by a bridge, and are used in various sectors, including marine passenger shipping. In Croatia, catamarans are increasingly present in the fleet of maritime carriers, especially in the coastal transport of passengers and tourists.

Catamarans have developed throughout history, and the first examples date back to the Polynesian tradition. Today, catamarans are used in all parts of the world and play an important role in the global maritime industry.

The main characteristic of catamarans is their double-hull construction, which enables them to be faster and more economical than traditional monohulls. However, to achieve maximum efficiency, factors such as resistance, stability and coated surface must be considered.

Resistance occurs when the vessel moves through the water, and it can be hull, propulsion and surface resistance. Stability is an important factor in the construction and handling of catamarans, and can be increased by lowering the height of the center of gravity or widening the hull. When carrying passengers, stability is particularly important to ensure passenger comfort and minimize the risks of overturning the vessel.

**Key words:** *double hull, passenger shipping, resistance, stability, wet surface*

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. POMORSKO PUTNIČKO BRODARSTVO .....	2
2.1. DEFINICIJA POMORSKOG PUTNIČKOG BRODARSTVA.....	2
2.2. POVIJESNI RAZVOJ BRODARSTVA U SVIJETU .....	3
2.3. POVIJESNI RAZVOJ BRODARSTVA U REPUBLICI HRVATSKOJ .....	4
3. KATAMARAN.....	6
3.1. ZAPADNI RAZVOJ KATAMARANA .....	7
3.2. DEFINICIJA KATAMARANA.....	9
3.3. ZNAČAJ KATAMARANA.....	10
3.3.1. Katamaran u Hrvatskoj .....	10
3.3.2. Katamaran na Jadranskoj obali.....	11
4. KATAMARANI – KARAKTERISTIKE RADA I POGONA.....	15
4.1. UPRAVLJANJE KATAMARANOM.....	15
4.1.1. Posebnost Katamarana.....	15
4.1.2. Dimenzije katamarana .....	15
4.2. PROJEKT TEHNIČKOG OPISA KATAMARANA.....	16
4.2.1. Najpoznatiji Katamaran.....	19
4.2.2. Otpor katamarana .....	21
4.3. UTJECAJ OPLAKANE POVRŠINE KOD KATAMARANA.....	21
5. STABILNOST KATAMARANA .....	23
5.1. PRORAČUN STABILNOSTI KATAMARANA ZA PRIJEVOZ PUTNIKA .....	26
5.2. STABILITET SWATH BRODOVA .....	28
6. ZAKLJUČAK .....	30
LITERATURA .....	31
POPIS SLIKA .....	34
POPIS TABLICA.....	35
POPIS KRATICA.....	36

## 1. UVOD

Katamaran je plovilo koje se sastoji od dvaju trupova koji su udaljeni jedan od drugog i povezani mostom. Upotrebom dva trupa umjesto jednog, smanjuje se omjer duljine i širine trupa, što povoljno utječe na smanjenje otpora pri velikim brzinama.

Postavljanje dva trupa na širokom rasponu omogućava konstrukciju mosta koji osigurava veliku početnu stabilnost. Za razliku od brodova s jednim trupom, katamarani imaju manje nagibe tijekom plovidbe zbog toga. Kao rezultat toga, putovanje katamaranom je udobnije i ugodnije.

Kod brzih brodova poput katamarana, stvarna ili dinamička površina oplakivanja primjetno se mijenja u usporedbi s površinom koja se mjeri dok je brod u mirovanju.

Rad se sastoji od 5 poglavlja. U prvom poglavlju, nakon kratkog uvoda, slijedi definicija pojma putničko brodarstvo, razvoj putničkog brodarstva i isti taj razvoj u Republici Hrvatskoj.

Nakon kratkog uvoda u rad slijedi rasprava o katamaranu, razvoju na zapadu, te definicija katamarana, kao i prikaz u Hrvatskoj i Jadranskoj obali.

U 4. poglavlju predstavljen je pogon i rad katamarana kao što je upravljanje, njegov tehnički opis, otpor i utjecaj oplakane površine.

U zadnjem poglavlju prikazan je stabilitet katamarana.

## **2. POMORSKO PUTNIČKO BRODARSTVO**

Pomorsko putničko brodarstvo je jako važan segment prilikom razvoja pomorskog prometa, kao i pomorskog turizma. To je specifična grana pomorskog prijevoza koja se bavi prijevozom putnika brodovima, dok se teretni prijevoz uglavnom odvija trajektima. Što se tiče organizacije poslovanja hrvatskog putničkog brodarstva, može se podijeliti na dvije skupine:

- linijsko putničko brodarstvo i
- brodarstvo za kružna putovanja – turističko brodarstvo (katamarani).

### **2.1. DEFINICIJA POMORSKOG PUTNIČKOG BRODARSTVA**

Putničko brodarstvo je specifična grana pomorskog prijevoza koja se fokusira na prijevoz putnika putem mora. Njegova glavna svrha je osigurati siguran i učinkovit prijevoz putnika i robe. Važno je razlikovati između putničkog i teretnog brodarstva, budući da se teretno brodarstvo usredotočuje na prijevoz tereta, dok putničko brodarstvo stavlja naglasak na prijevoz ljudi. [11]

Brodarstvo se općenito smatra gospodarskom djelatnošću koja organizira prijevoz putnika i robe pomorskim putem. Organizaciju pomorskog prijevoza provodi pravna ili fizička osoba koja se bavi posjedovanjem i upravljanjem brodovima. Pomorski promet se obično dijeli na pomorski putnički promet, koji se odnosi na prijevoz putnika, i pomorski teretni promet, koji se fokusira na prijevoz tereta. [12]

Pomorski putnički promet je aktivnost koja obuhvaća prijenos putnika i robe od luke ukrcaja do luke iskrcaja. Ova vrsta prijevoza obuhvaća aktivnosti uključujući ukrcaj i iskrcaj putnika, prijenos između luka ukrcaja i iskrcaja, kao i prekrcaj putnika i njihovih osobnih vozila. Cilj je osigurati siguran i učinkovit prijevoz putnika i robe morem.

Pomorski proces obuhvaća više elemenata, a neki od njih su:

- pomorski prijevoz,
- ukrcaj predmeta prometa u polaznoj luci te



- iskrcaj u određenoj luci.

Svaki pomorski promet predstavlja rezultat pomorskog i prijevoznog procesa, koji se manifestira u količini prevezenog tereta i broju putnika. U početku, većina putnika se prevozila na brodovima koji su uglavnom bili namijenjeni prijevozu tereta. No, s vremenom je došlo do razvoja specijaliziranih putničkih brodova, kako bi se udovoljilo potrebama putničkog prijevoza.

Pomorski prijevoz se sastoji od nekoliko stavki, a to su:

- more je prometni put,
- brod je prijevozno sredstvo,
- pomorci su radnici
- putnici i balast.

Osim svih prednosti koje predstavlja pomorski prijevoz ipak ima i negativne strane, a to su; sporost i visoka cijena prijevoznih sredstava. U tu skupinu ne spadaju katamarani, jer su oni brzi brodovi, ali što se tiče cijena su skupi.

Svaka sporost danas se zamjenjuje brzim brodovima te boljom organizacijom prijevoza kao i uvođenjem tehnologije. Što se tiče budućnosti, smatra se da će se brzina brodova povećati za 100%. [12]

## **2.2.POVIJESNI RAZVOJ BRODARSTVA U SVIJETU**

Razvoj putničkog brodarstva tijesno je povezan s razvojem općenitog morskog brodarstva. Povijesno gledano, svaka kultura koja se razvijala na morskim obalama bila je povezana s pomorskom plovidbom. Pomorski promet je bio ključan u počecima civilizacije i putovanjima prvih ljudi. Još prije nove ere, različite pomorske kulture poput Grka, Feničana, Rimljana i drugih, plovile su raznim morima i razvijale se kroz pomorsku trgovinu i putovanja.

U razdoblju Antike došlo je do izgradnje i luka da bi se brodovi zaštitili od nevremena. Naime, tada je došlo do doprinosa razvoju brodogradnje. Prva velika plovila su Tiremi, koji su imali

kapacitet do 600 tona, u vremenu Rimskog Carstva.

Prošlih stoljeća bilo je mnogo istraživača koji su otkrivali nove prostore te je tako došlo do otkrića današnjih kontinenata poput Sjeverne Amerike. Parni stroj je inovacija čiji je izum smješten negdje početkom 19. stoljeća te je došlo do povećanja brzine prijevoza, kao i sigurnosti svih članova na brodu.

Događaji u povijesti koji su obilježili pomorsku plovidbu su:

- prvo plovilo na paru i jedra se nazivao *Savannah* te je s njim preplovljen Atlanski ocean (1819. godine),
- prvo plovilo na parni pogon bez jedara nazivao se *Atlantic Great-Western* te je preplovio Atlanski ocean (1838.)
- prvo plovilo sa parnom turbinom (1897.)
- prvo plovilo sa dizelskim gorivom (1912.)
- prvo plovilo sa nuklearnim gorivom nazivalo se *Nautilus* koje je ujedno i podmornica (1955.)

Svi brodovi građeni su i za transfer putnika i za transfere terete. U vrijeme velikih migracija iz Europe u Ameriku, svi trgovački brodovi su korišteni samo za prijevoz putnika. [11]

### **2.3.POVIJESNI RAZVOJ BRODASTVA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

Raznovrsnost i numeracija kako putničkih brodova, tako i putnika, u Republici Hrvatskoj od 1993. godine je u konstantnom rastu. Kad je došlo do smirenja nakon rata 1995. godine, promet putnika se povećavao. [25]

Jadrolinija je najveća hrvatska tvrtka koja se bavi pomorskim prijevozom u Republici Hrvatskoj i koja održava linije na gotovo svim hrvatskim otocima, kao i u raznim pomorskim lukama u Italiji. Na slici u nastavku može se vidjeti katamaran Jadrolinije, a više informacija o tome bit će dostupno u kasnijem poglavlju.



**Slika 1. Katamaran Jadrolinije - Dubravka [28]**

Što se tiče prijevoza putnika, u Hrvatskoj imamo linijske i turističke pomorske prijevozne usluge, a to su:

- *Jadrolinija* – Rijeka,
- *Lošinjska plovidba* – Mali Lošinj,
- *Meditranska plovidba* – Korčula,
- *Rapska plovidba* – Rab i
- *Alpha Adriatic* – Pula. [25]

### 3. KATAMARAN

Katamarani su brodovi moderne konstrukcije te su u prošlosti u nekim dijelovima Oceanije bili način putovanja na udaljene otoke. Poznati pirat *William Dampier* je u Indiji prvi zabilježio postojanje plovila, i to 1690. godine, sličnih karakteristika katamarana današnjice.

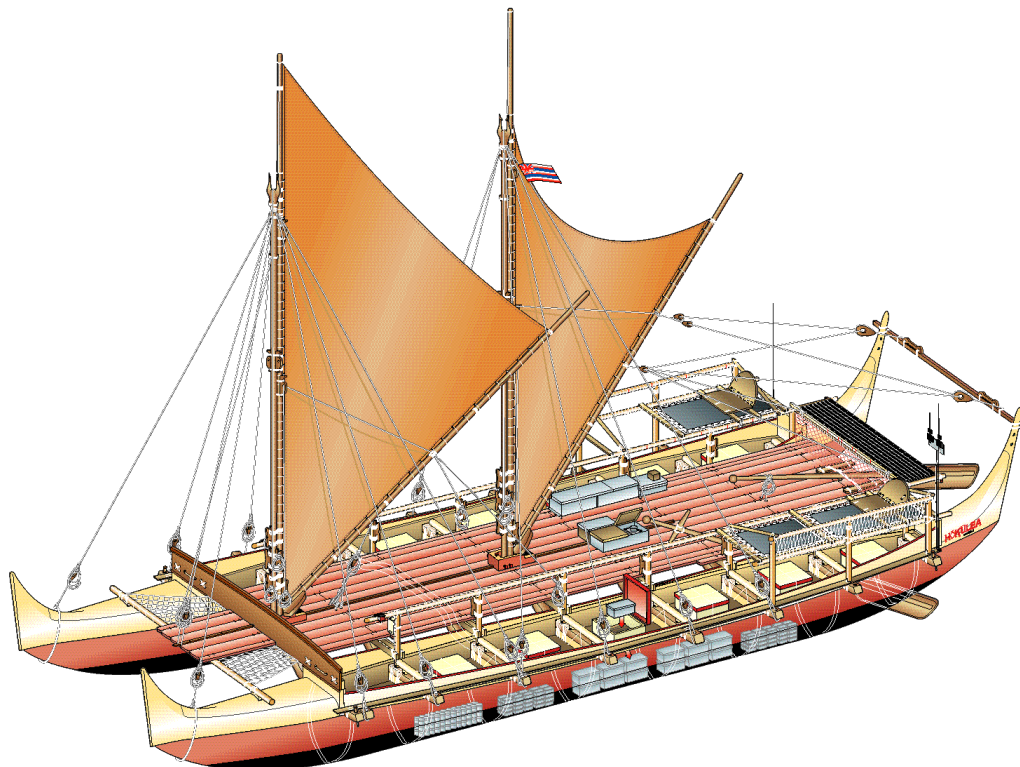
Plovilo se sastojalo od razolikih trupaca koji su bili povezani konopcem, i zato imamo današnji naziv katamaran. Naime, na tamislkom jeziku je prvi dio – *kattu* (*povezati*) i drugi dio – *maram* (*drvo*). [16]

Današnje postojanje modernih katamarana je po *zaslugama* Nathaneila Herreshoffa, koji je 2 stoljeća nakon započeo rad na katamaranskoj konstrukciji te je stvorio prvi katamaran pod imenom *Amaryllis*. [16]



**Slika 2. Prvi katamaran – Amaryllis [29]**

Brodovi koji su nalikovali konstrukciji katamarana, prvo su spomenuti kod starih naroda u prvim stoljećima. Mnogi istraživači poput Heine-Gelderna i Hornella vjerovali su da su katamarani nastali iz kanua sa nosačima. [5]



**Slika 3. Moderna replika polinezijskog kanua - Hokule'a [30]**

Na slici 3. prikazana je replika katamarana, dva zajedno povezana kanua. Kako je vrijeme prolazilo, taj oblik kanua razvio se u dvostruki trup gdje je jedan bio manji od drugog. Na kraju je manji trup postao potporni nosač. [6]

Unatoč tome što je imalo primitivan oblik bili su veoma učinkoviti, te se sa njima preplovilo mnogo pacifičkih otoka. [13]

### **3.1.ZAPADNI RAZVOJ KATAMARANA**

Prvi primjer katamarana sa dvostrukim trupom dizajnirao je William Petty 1662. godine kako bi bolje plovio i u plićim i u dubljim vodama, ali i pri slabijem i jačem vjetru. Bio je veoma neobičnog izgleda te nije doživio nikakvi komercijalni uspjeh. [26]

Amerikanac Nathanael Herreshoff je konstruirao jedrilicu (katamaran) s dvostrukim trupom.  
[24]



**Slika 4. Katamaran - Duplex (1877. godina) [31]**

Roland i Francis Prout eksperimentirali su sa katamaranima 1949. godine i stvorili tvornicu brodova, odnosno katamarana 1954. godine. Njihovi katamarani poput *Shearwatera*, *Yellow bird* i *Sherwatter III.* su izgrađeni do početka 1960. godine. [20]

Njihova tvrtka – *Prout Catamarans* dizajnirala je opremu jarbola sa krmom na sredini broda. Navodna prednost ovakvog jedrenja je bila da se smanji tendencija da se pramac ukopova. [21] Sredinom 20. stoljeća, došlo je do pojave kategorije katamarana za plažu. Naime, Hobie Alter u Kaliforniji je bio proizvođač dasaka za surfanje te je proizveo *Hobie 14* i *Hobie 16* koji su koštali nešto više od 300 eura te je proizveo u više od 100.000,00 primjeraka. [2]



**Slika 5. Katamaran - Hobie - za plažu [32]**

### **3.2.DEFINICIJA KATAMARANA**

Katamaran je tip čamca ili broda koji ima dva trupa spojena platformom. U usporedbi s jednotrupcima, katamaran je poznat po većoj stabilnosti i većoj prosječnoj brzini. Kroz evoluciju katamarana razvijen je i SWATH brod, dok je kombinacijom karakteristika katamarana i SWATH-a stvoren neljuljajući hidrozračni brod koji je iznimno brz. Trupovi katamarana su povezani mostom koji također služi kao radna površina. [14]

Zbog nedostatka balasta, katamarani imaju manji gaz i masu u usporedbi s jednotrupnim brodovima iste veličine. Njihov mali hidrodinamički otpor, koji proizlazi iz razmaknutih trupova, omogućuje postizanje visoke brzine s relativno malom potrošnjom pogonske snage. Osim toga, katamarani imaju izuzetno visoku poprečnu stabilnost.

Danas se katamarani najčešće koriste u različite svrhe kao što su sport, rekreacija, brzi putnički prijevoz, trajekti za priobalni prijevoz i taxi vodeni prijevoz.

### **3.3. ZNAČAJ KATAMARANA**

Katamaran je vrsta plovila koje se sastoji od dva međusobno povezana paralelna trupa. Ti trupovi su spojeni mostom koji istovremeno služi kao površina za smještaj nadgrađa. Katamarani obično nemaju balast, što rezultira manjom masom i manjim gazom u usporedbi s jednotrupcima istih dimenzija.

Katamarani imaju vrlo malen hidrodinamički otpor zahvaljujući svojim vitkim i razmaknutim trupovima. To im omogućuje postizanje visokih brzina u odnosu na pogonsku snagu, uz istovremeno pružanje vrlo velike poprečne stabilnosti.

Istovremeno, katamarani imaju dugu povijest kao splavovi ili brodice izrađene od međusobno povezanih drvenih trupaca s pogonom na vesla ili jedra. Ove tradicionalne katamarane koristili su ribari i ljudi koji su se bavili prijevozom u područjima Indijskog i Tihog oceana te Brazila. [15]

Trenutno, manji katamarani često se koriste kao jedrilice u svrhu sporta i rekreacije. Veći katamarani najčešće se koriste kao brzi putnički brodovi i trajekti za priobalni prijevoz. Oni pružaju brzu i učinkovitu plovidbu s većim kapacitetom putnika i tereta. Također, postoje specijalno dizajnirani katamarani koji se koriste u vojne svrhe ili za druge specijalne namjene, prilagođeni zahtjevima i potrebama tih sektora. [14]

Prvi ratni brod koji je pokretao parni stroj, nazvan Demologos ili Fulton i izgrađen u Sjedinjenim Državama tijekom rata 1812. , bio je katamaran s kotačem s lopaticama između trupa.

#### **3.3.1. Katamaran u Hrvatskoj**

Među prvima katamaranskim brodovima na hrvatskom dijelu Jadrana bili su Mediteran i Marina I, koji su izgrađeni 1978. u Norveškoj za splitsko turističko poduzeće Union Dalmaciju (kasnije Dalmacijaturist). Ovi brodovi su se koristili za povremeni prijevoz turista, kao i za prijevoz putnika na redovitim linijama prema srednjodalmatinskim otocima.



Sredinom 1990-ih, hrvatski prijevoznici na državnim brzobrodskim linijama počeli su nabavljati katamaranske brodove za redoviti priobalni prijevoz putnika i povezivanje s otocima. [15]

### **3.3.2. Katamaran na Jadranskoj obali**

Osim Jadrolinije, na ukupno 14 brzobrodskih državnih linija u Hrvatskoj danas plove i drugi prijevoznici s njihovim katamaranima. Splitska Linijska nacionalna plovidba ima katamarane Bišovo (izgrađen u Singapuru 1991), Komiža i Broč (izgrađeni u Norveškoj 1973–75). Kapetan Luka iz Krila Jesenice ima katamarane Krilo Carbo (izgrađen u Norveškoj 2012), Krilo Jet (izgrađen u Francuskoj 2002), Krilo (izgrađen u Francuskoj 1988) i Krilo Star (izgrađen u Australiji 1999). Dubrovački G&VLine ima katamarane Nona Ana (izgrađen u Norveškoj 1990) i Paula (izgrađen u Japanu 1989).

Uz katamarane koji se koriste za redoviti prijevoz putnika i povezivanje s otocima, postoje i katamarani namijenjeni turističkim izletima na Jadranskom moru.

Na primjer, između zapadne istarske obale i Venecije plove katamarani Prince of Venice (koji je u vlasništvu slovenskog Kompassa, izgrađen 1989. u Australiji) i Adriatic Jet (koji je u vlasništvu dubrovačkog Atlasa, izgrađen 2001. u Francuskoj). Ovi katamarani omogućuju turistima uživanje u panoramskim putovanjima i izletima između tih destinacija.). [18]

Talijansko poduzeće SNAV ljeti održava liniju između Ancone i Splita koristeći katamaran po imenu Croazia Jet. Ovaj katamaran je izgrađen 1996. godine u Australiji i ima duljinu od 83 metra. Impresivna brzina od 40 čvorova omogućuje brzo i učinkovito putovanje. Croazia Jet ima kapacitet za 156 automobila i može primiti do 650 putnika, što ga čini vrlo pogodnim za prijevoz putnika i vozila na toj ruti. [17]

2012. godine, Tehnomont iz Pule izgradio je napredni tehnički katamaran pod nazivom Millennium Diamond za britansku turističku agenciju koja organizira izlete na rijeci Temzi u Londonu. Ovaj katamaran je izgrađen prema projektu Brodarskog instituta iz Zagreba.

Impresivne dimenzije katamarana obuhvaćaju dužinu od 37 metara i širinu od 14,6 metara, što ga čini najvećim brodom takvog tipa na rijeci Temzi. [7]

Obalni brodovi predstavljaju jednu od vrsta putničkih brodova koja se koristi za prijevoz putnika u neposrednoj blizini obale i ispred većih lučkih gradova. Ova kategorija brodova obuhvaća manja plovila koja su namijenjena za kraće vožnje i obilaske obalnih područja. Njihova svrha je omogućiti putnicima da uživaju u panoramskom razgledavanju priobalja, istraživanju obližnjih destinacija ili jednostavno uživanju u plovidbi u blizini obalnih područja.

U ovu grupu spadaju različita plovila koja se koriste za izletnički prijevoz putnika na kraćim relacijama. To uključuje:

- Hidrobusevi - Brodovi opremljeni sjedalima za sve putnike, mogu biti katamarani ili dvotrupci (trimarani). Dvotrupci se sastoje od središnjeg i dva manja bočna trupa spojena mostom ili palubom.
- Hidrogliseri - Plovila koja, kada dostignu određenu brzinu, izdižu se iznad vode i stvaraju dojam lebdenja na krilima. Ovo smanjuje otpor vode i omogućuje brži prijevoz.
- SWATH plovila - Ovo su varijacije katamarana koje se nazivaju i "Small Waterplane Area Twin Hull" (SWATH). Karakterizira ih dva potopljena trupa koji smanjuju valove i poboljšavaju stabilnost.
- Hidrozračni brodovi - Ovi brodovi kombiniraju zračni i vodeni pogon kako bi postigli visoke brzine i smanjili otpor vode. Koriste zračni jastuk ili krila kako bi se izdizali iznad površine vode.

Katamaran je brzi putnički brod čija se vožnja obično odvija u trajanju od oko 4 do 5 sati. Koristi se za povezivanje luka koje imaju regionalno središte udaljeno između 20 i 40 nautičkih milja. [12]

Ovakvi brodovi grade se od materijala koji su većinom lagani, dvotrupci, te se koriste za prijevoz ljudi. Također, svi brodovi koji imaju veliku brzinu, u ovom slučaju putnički brodovi, moguće je rekonstruirati. Potražnja sa katamaranima je iznimno slaba.



**Slika 6. Katamaran u RH - Krila Karbo [33]**

Na slici broj 6. može se vidjeti putnički brod, katamaran splitskog broдача Kapetan Luka, koji obavlja obalnu i međuotočnu plovidbu. Ovaj katamaran je specijalno dizajniran za prijevoz putnika i omogućuje ugodno i sigurno putovanje na različitim rutama. Njegova sposobnost plovidbe obalom i između otoka pruža putnicima mogućnost da istraže različite destinacije duž obalnog područja, kao i da putuju između otoka uz minimalno vrijeme putovanja. Kapetan Luka nastoji pružiti kvalitetnu uslugu putnicima, kombinirajući udobnost, pouzdanost i brzu plovidbu.

Katamaran na slici je izgrađen od karbona, te je lakši 50% od onih tradicionalnih materijala, ima manju potrošnju goriva te ga to čini pogodnim za komercijalne plovidbe. Dug je 40 metara, širok 10 metara i ima ukupnu težinu od 90 tona. Gaz plovila iznosi 1.5 metara, što omogućuje njegovu plovidbu i u plićim vodama. Ovaj katamaran je iznimno brz, postižući brzinu od čak 30 čvorova, što mu omogućuje efikasno i brzo putovanje na određite. Što se tiče putnika, ima kapacitet od 350 putnika. [27]

Ponekad brodari žele postići veću učinkovitost u izmjenama koncepta putničkih brodova.

Putnički brodovi se često koriste na linijama s kontinuiranom potražnjom, pri čemu se pridaje važnost većoj frekvenciji plovidbe. Ovi brodovi obično imaju manji kapacitet prijehata putnika kako bi mogli obavljati više putovanja tijekom dana na istoj relaciji. Ovakav pristup omogućuje veću fleksibilnost i brži prijevoz putnika, posebno na rutama s visokom frekvencijom putovanja. Na taj način putnici imaju više opcija za odabir vremena polaska i dolaska koji im najviše odgovaraju, a brodovi mogu zadovoljiti stalnu potražnju na toj liniji.



**Slika 7. Katamaran Jelena-RH [34]**

Na slici 7. nalazi se katamaran *Jelena* poduzeća Jadrolinija. To je najnoviji putnički brod koji ima mogućnost prijehata 400 putnika te maksimalnu brzinu od 40 čvorova. Iz ekonomskih razloga, takvi putnički brodovi zahtijevaju češće plovidbe s minimalnim zadržavanjem u prihvatnim lukama. Održavanje visoke frekvencije plovidbe omogućuje bolje iskorištavanje brodskog kapaciteta i optimizaciju prihoda. Osim toga, svi putnički brodovi teže osigurati visoku kvalitetu usluge bez buke i vibracija kako bi putnicima pružili ugodno iskustvo tijekom putovanja. Smanjenje buke i vibracija pomaže u stvaranju ugodne atmosfere na brodu, omogućava putnicima da se opuste i uživaju u putovanju bez nepotrebnih smetnji. Ova je karakteristika važna kako bi se putnici osjećali udobno tijekom cijelog putovanja.[5]

## **4. KATAMARANI – KARAKTERISTIKE RADA I POGONA**

### **4.1. UPRAVLJANJE KATAMARANOM**

Katamarani osiguravaju veću stabilnost u usporedbi s jedrilicama zbog svoja dva paralelna trupa. Međutim, kada je riječ o nevremenu na moru, jedrilice mogu biti stabilnije jer se u ekstremnim slučajevima prevrtanja, što je vrlo rijetko u kontroliranim uvjetima plovidbe Jadranom s iskusnim vodstvom, jedrilice brže vraćaju u prvobitnu poziciju nego katamarani. Katamarani imaju prednost u manevriranju u uskim prostorima jer imaju dva motora i dva kormila. Za razliku od jedrilica, katamaran se može okrenuti za 360°, pružajući poboljšanu upravljivost. [18]

#### **4.1.1. Posebnost Katamarana**

Izvrstan primjer takvih brodova, katamarana, su oni s malom površinom vodene linije koji koriste standardni oblik katamarana i tehnologiju brodova sa zračnom šupljinom. Ova kombinacija omogućuje ostvarenje iznimno visokih brzina.

Tehnologija brodova sa zračnom šupljinom omogućuje brodu da se izdiže iznad vode i stvori sloj zraka između trupa i vodene površine. To smanjuje otpor vode i omogućuje znatno veću brzinu plovidbe. Kombinacija s formom katamarana dodatno poboljšava stabilnost i kontrolu broda.

Ovaj inovativni pristup omogućuje putničkim brodovima s malom površinom vodene linije da postignu iznimno visoke brzine, što je korisno na rutama s potrebom za brzim prijevozom putnika. Ove tehnološke kombinacije otvaraju vrata za poboljšanja performansi putničkih brodova i pružaju putnicima uzbudljivo iskustvo brze i sigurne plovidbe. [22]

#### **4.1.2. Dimenzije katamarana**

Dizajn dvotrupca doista pruža ovom tipu broda velike i široke palube, kao i iznimno stabilnu platformu. Ova karakteristika omogućuje brodu da ima više prostora za putnike i teret te pruža

stabilnost tijekom plovidbe, čineći ga udobnim i sigurnim za putnike.

Brodovi s površinom vodene linije prvi put su se pojavili u 1960-ima i 1970-ima kao evolucija dizajna katamarana, s namjenom za upotrebu u oceanografiji, istraživanjima ili spašavanju podmornica. Ovi brodovi su osmišljeni s ciljem da pruže brzu i učinkovitu plovidbu u različitim uvjetima, smanjenje otpora vode i veću stabilnost. Navedeni dizajn postao je popularan zbog svojih prednosti u brzini, učinkovitosti i sposobnosti suočavanja s izazovnim uvjetima na otvorenom moru. Osim toga, njihova velika i široka paluba pruža prostor za različite svrhe kao što su istraživanje, teretni prijevoz ili turističke aktivnosti. [1]

Dvotrupci su vrlo često korišteni kao istraživački brodovi zbog njihove izvanredne stabilnosti. Ta stabilnost omogućuje obavljanje dugotrajnih istraživanja u udaljenim preookeanskim područjima, često poznatim po lošem vremenu i visokim valovima. Ovi brodovi su sposobni izdržati izazovne uvjete na otvorenom moru i pružaju sigurnu platformu za istraživačke aktivnosti.

Međutim, dvotrupci imaju nekoliko nedostataka. Prvo, veća cijena gradnje u usporedbi s konvencionalnim katamaranima je jedan od njih. Ovi brodovi zahtijevaju složen sustav kontrole i održavanje, što također može predstavljati izazov.

Unatoč tim nedostacima, primjena dvotrupaca je danas vrlo raznolika. Osim kao istraživački brodovi, koriste se i u luksuznoj jahting industriji. Njihova stabilnost i prostorni kapacitet čine ih atraktivnim izborom za luksuzna putovanja. Također, dvotrupci su našli primjenu u vojnoj industriji, gdje se koriste za različite svrhe kao što su patroliranje, prijevoz tereta ili izvršavanje vojnih zadaća.

## **4.2.PROJEKAT TEHNIČKOG OPISA KATAMARANA**

Danas, mogućnost izrade ovakvih brodova ne svodi se samo na kombinaciju katamarana dvotrupca i zračnog jastuka. Postoje i drugi oblici brodova koji koriste zračni jastuk u kombinaciji s drugim dizajnom trupa. Jedan od takvih oblika je brod s jednim trupom i zračnim

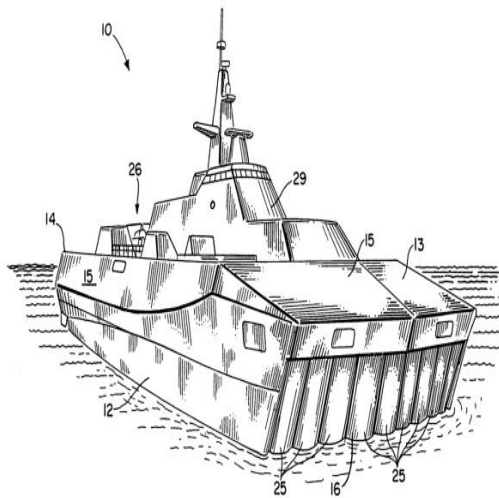
jastukom. Ovaj dizajn kombinira prednosti stabilnosti i smanjenog otpora vode koji pruža zračni jastuk s jednim trupom broda. Ovakav dizajn omogućuje visoku brzinu i učinkovitost plovidbe, dok istovremeno osigurava stabilnost i udobnost putnika. Drugi oblik je brod s trećim trupom na prednjem dijelu konstrukcije. Ova varijacija dizajna dodaje dodatni trup ispred glavnog trupa broda. Treći trup može poboljšati stabilnost broda, smanjiti otpor vode i povećati brzinu. Ova konfiguracija je često korištena kod brzih putničkih brodova i vojnih plovila.

Ovi napredni dizajni omogućuju brodovima da postignu visoke performanse i optimiziraju svoje karakteristike plovidbe. Njihova primjena može se prilagoditi različitim potrebama i uvjetima plovidbe, omogućavajući veću fleksibilnost i efikasnost u različitim situacijama. [23]

Na slici 8. (dolje) može se vidjeti prikaz dijelova vanjskog gornjeg dijela trupa ovakvog broda. Navedeni dijelovi su sljedeći:

- 12 - Desni trup katamarana,
- 13 - Pramčani trup,
- 14 - Krmeni trup,
- 15 - Platforma koja veže lijevi i desni trup katamarana,
- 16 - Spoj između elemenata prednje zračne košuljice,
- 25 - Košuljica zračnog jastuka i
- 26 i 29 - Dijelovi nadgrađa.

Ovi dijelovi čine vanjski gornji dio trupa broda i igraju ključnu ulogu u stvaranju stabilnosti, povećanju brzine i smanjenju otpora vode. Svaki dio ima svoju funkciju u osiguravanju sigurne i učinkovite plovidbe ovakvog broda. [1]



**Slika 8. Tehnički opis katamarana [35]**

Na slici 9. prikazan je dijagram omjera između snage u kilovatima (Power in kW) i brzine u čvorovima (Speed in knots). Ovaj dijagram služi za prikazivanje veze između snage motora i postizane brzine kod klasičnog katamarana.

Jedan od podataka koji se može uočiti iz dijagrama je da klasičan katamaran zahtijeva izrazito veliku snagu motora kako bi postigao brzinu od 40 čvorova. Ovo je indicija da kod klasičnih katamarana postoji određeni limit brzine koji je teško premašiti s obzirom na snagu motora koja je potrebna. Ovaj dijagram može pružiti korisne informacije pri planiranju snage motora i očekivane brzine klasičnih katamarana. [1]

Istina je da odnos snage i brzine za konvencionalne katamarane i SES (Surface Effect Ship) brodove ostaje isti do brzine od 35 čvorova. Međutim, kada se poveća brzina na 55 čvorova, konvencionalni katamaran postaje neučinkovitiji u usporedbi s SES katamaranom. Na brzini od 55 čvorova, konvencionalni katamaran zahtijeva oko 40% više instalirane snage, propulzije i snage ventilatora u odnosu na SES katamaran. To ukazuje na to da SES katamaran postiže veću brzinu s manjom potrebom za snagom, što ga čini učinkovitijim u pogledu performansi.

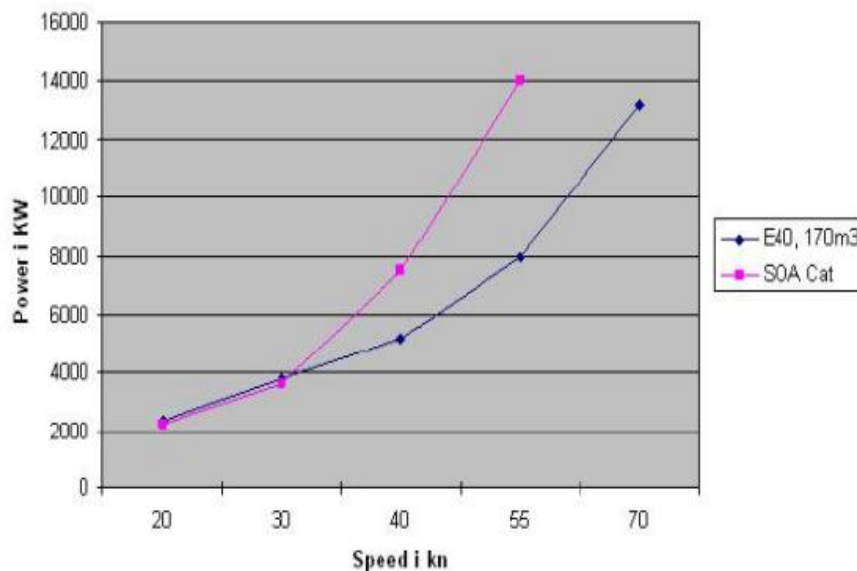
Što se tiče najnovijeg pogona na SES brodovima, ruski vojni hibridni brodovi "Bora" i "Samum" iz serije su poznati kao jedni od najbržih u svojoj veličini. Oni koriste naprednu



tehnologiju i kombiniraju različite principe pogona kako bi postigli impresivne brzine i performanse na vodi.

Ovi vojni brodovi imaju deplasman od 1050 tona i ukupnu snagu pogonskih agregata od 56.000 konjskih snaga (KS). Pogonski sustav se sastoji od dva dizel motora, svaki snage 10.000 KS, koji se koriste za kretanje u režimu katamarana, kao i dvije plinske turbine ukupne snage 36.000 KS koje se koriste za kretanje u režimu lebdjelice.

Dužina ovih vojnih brodova je 64 metra, a maksimalna brzina koju mogu postići je preko 55 čvorova. Ova impresivna brzina omogućena je kombinacijom snage i efikasnog pogonskog sustava koji koristi različite vrste motora za različite režime plovidbe. To omogućuje brodu da postigne visoke brzine i performanse, što je važno u vojnim operacijama. [23]



Slika 9. Omjer snage SES broda i katamarana [36]

#### 4.2.1. Najpoznatiji Katamaran

U pulskom brodogradilištu Tehnomont izgrađen je katamaran Millennium Diamond 2012. godine specijaliziran za izlete Temzom u Londonu.

Također, u brodogradilištu Uljanik 2015. godine stavljeno je u promet trajektno plovilo dugo 155,8 metara. Istovremeno, dva jedrenjaka dugih 88 metara i još dva manja broda izgrađena su

iste godine u trogirskom brodogradilištu. [3]

Ukupno je u posljednjih sedamdesetak godina u hrvatskim brodogradilištima izgrađeno oko stotinu putničkih brodova. Hrvatska brodogradnja ima značajan doprinos u proizvodnji i isporuci različitih vrsta putničkih brodova, pružajući kvalitetna plovila za razne svjetske namjene i tržišta.

Najpoznatiji svjetski brod na solarni pogon je Turanor Planet Solar. Ovaj 31 metara dugi katamaran je prekriven solarnim pločama snage 93 kW, koje mu omogućuju opskrbu energijom i pokretanje dva elektromotora, smještenih u svakom trupu broda. Turanor Planet Solar je najveće plovilo s takvim pogonom na svijetu, a Sunčeva energija je jedino gorivo koje koristi. Ovaj inovativni brod predstavlja pionirski primjer upotrebe obnovljivih izvora energije u pomorskom sektoru. Zbog svog solarnog pogona, Turanor Planet Solar ne proizvodi emisije stakleničkih plinova, što ga čini ekološki prihvatljivim i održivim brodom. Njegova sposobnost da se koristi isključivo na temelju Sunčeve energije čini ga jedinstvenim u svijetu plovnih vozila.

Turanor Planet Solar je postavio visoke standarde u korištenju solarnih tehnologija u pomorskom sektoru i predstavlja inspiraciju za daljnji razvoj obnovljivih izvora energije u brodskom prometu. [23]

Turanor Planet Solar koristi litij-ionske baterije za pohranu energije. Ove baterije teže oko 8,5 tona i predstavljaju značajan dio ukupne mase plovila. One omogućuju brodu da nastavi s radom i kada nema sunčeve svjetlosti, pružajući autonomiju rada od otprilike 3 dana. Oblik trupova na Turanor Planet Solaru sličan je obliku podmornice i izrazito je hidrodinamičan. Ova hidrodinamična konstrukcija omogućuje brodu da postigne brzine do 14 čvorova (26 km/h) tako što reže valove, što značajno smanjuje otpor koji brod doživljava prilikom plovidbe. Ovaj efikasan dizajn omogućuje brodu da postigne optimalne performanse i maksimalnu brzinu uz minimalnu potrošnju energije. Turanor Planet Solar kombinira inovativnu solarnu tehnologiju, učinkovite litij-ionske baterije i hidrodinamični dizajn trupa kako bi postigao impresivnu autonomiju i brzinu plovidbe. Ovaj napredni brod predstavlja prekretnicu u korištenju

obnovljive energije u pomorskom sektoru i otvara nove mogućnosti za održivu plovidbu. [3]

Revolucionarni dizajn i specifičnost pogona broda poput Turanor Planet Solara zahtijevaju detaljne modele i eksperimente kako bi se odredile najbolje karakteristike za postizanje što aerodinamičnijeg i hidrodinamičnijeg oblika broda. Kroz napredno inženjerstvo i analitičke pristupe, razvijeni su brojni modeli i prototipovi koji su korišteni za testiranje različitih konfiguracija trupa, solarnih ploča, pogonskih sustava i drugih elemenata broda. Korištenje računalnih simulacija, modeliranja u vjetar tunelu i testiranje u stvarnim uvjetima omogućuje brodograditeljima da procijene performanse broda pri različitim brzinama, uvjetima plovidbe i opterećenju.

#### **4.2.2. Otpor katamarana**

Interferenciju kod katamarana možemo podijeliti na dvije vrste: 1. Interferenciju uzrokovanu viskoznim efektima zbog asimetričnog strujanja oko trupova katamarana, kao i zbog postojanja graničnog sloja koji je, kako je ranije navedeno, direktno u vezi sa viskoznim otporom. Interferenciju valova između dva trupa katamarana.

Valna interferencija može biti povoljna ili nepovoljna. Povoljna je poželjna, jer na taj način dva vala međusobno interferiraju i time stvaraju val manje amplitude što može imati pozitivne utjecaje na otpor na način da interferencija valova više neće imati nikakav utjecaj na ukupni otpor.[3]

Razlog tome je da će se valne amplitude sve više smanjivati do vrijednosti pri kojoj će amplituda vala u odnosu na duljinu broda biti izrazito mala, pa samim time i utjecaj tih valova interferencije na otpor će biti zanemariv.

### **4.3. UTJECAJ OPLAKANE POVRŠINE KOD KATAMARANA**

Vodene površine, također poznate kao "oplakane površine", ključan su aspekt dizajna i performansi katamarana. U kontekstu katamarana, taj se termin odnosi na područje trupa koje

je izravno u dodiru s vodom. Razumijevanje koncepta vodenih površina ključno je za optimiziranje hidrodinamičke učinkovitosti i ukupne brzine katamarana.

Dizajn natopljenih površina igra značajnu ulogu u smanjenju otpora i maksimiziranju performansi plovila. Glatki i aerodinamički oblik trupa pomaže u smanjenju otpora trenja uzrokovanog protokom vode, omogućujući katamaranu postizanje većih brzina s manjom potrošnjom energije. Cilj je smanjiti površinu u dodiru s vodom, istovremeno održavajući dovoljno plovnosti i stabilnosti. [21]

Ključni čimbenici koji utječu na vodene površine katamarana uključuju:

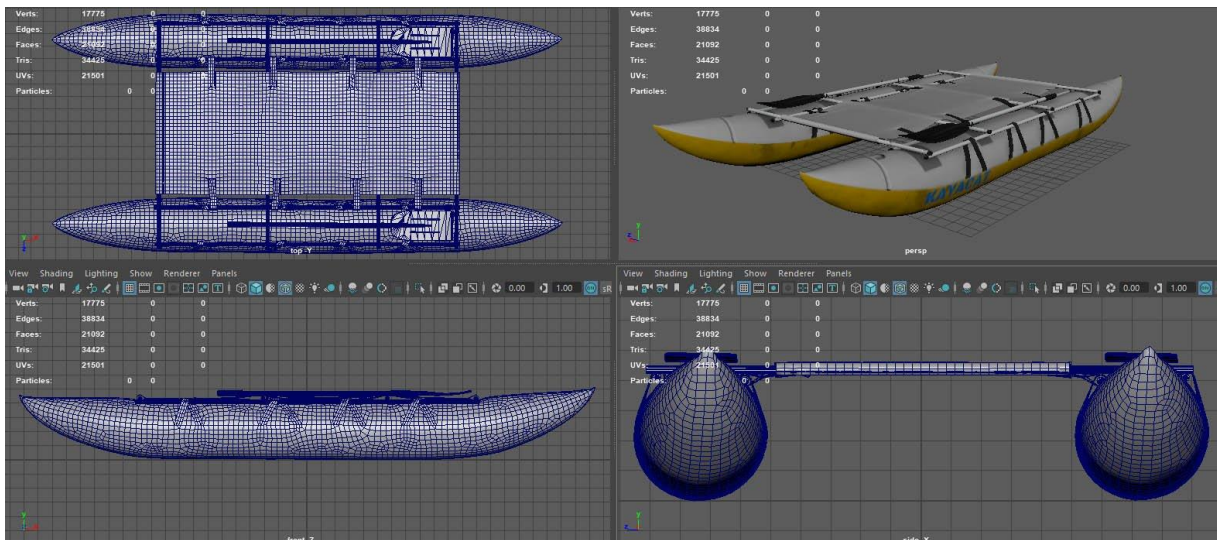
- Oblik trupa, posebno poprečni profil, ima veliki utjecaj na površinu natopljenih površina. Strujni oblici trupa s uskim, suženim oblicima i minimalnim ravnim površinama obično smanjuju otpor i optimiziraju performanse.
- Pravilna raspodjela težine između trupa katamarana ključna je za minimiziranje vodenih površina. Uravnoteženjem raspodjele tereta i tereta omogućuje se održavanje ravnog potapanja i smanjenje uranjanja trupa u vodu.
- Katamarani su dizajnirani kako bi minimizirali otpor valova i protoka, što utječe na površinu natopljenih površina. To se postiže pažljivim oblikovanjem trupa, uključujući upotrebu oštih rubova trupa, površina za plovidbu i postavljanje potisnih rebra ili foilova za smanjenje otpora uzrokovanog valovitim interakcijama.
- Odabir materijala i premaza za izgradnju trupa katamarana također može utjecati na vodene površine [3]

Optimizacijom dizajna vodenih površina, katamarani mogu postići veće brzine, poboljšanu energetska učinkovitost i bolje ukupne performanse na vodi. To je važan aspekt za pomorske arhitekta i dizajnere brodova prilikom stvaranja učinkovitih i visokoperformantnih katamaranskih plovila.

## 5. STABILNOST KATAMARANA

Kao što je već rečeno; katamaran je plovilo koje ima 2 trupa koji se nalaze nasprot, imaju određeni razmak i povezani su u jednu cjelinu konstrukcijom koja je postavljena preko tih istih trupova. U tu grupu spadaju i plovila koja imaju više od 2 strupa.

*„Princip združivanja dvaju brodskih trupova potječe od starih Polinežana, koji su svojebrze i pomorstvene jedrilice gradili sastavljanjem dvaju plovila u jedno.“ [23]*



**Slika 10. 3D model katamarana [37]**

Da bi se povećala stabilnost katamarana, to se čini na više načina. Jedan od načina da se povećá stabilitet je da se na dnu katamarana postavi uteg, a drugi način je da se oba trupa spoje kao jedna cjelina. Gore navedeni način koristili su zapadnjaci, odnosno njihovi brodograditelji o kojima smo pričali u prethodnim poglavljima, dok su drugi način koristili narodi Oceanije. I jedan i drugi način imaju dva teorijska aspekta koja se tiču stabiliteta katamarana, odnosno težine i forme. [23]

Svi brodovi katamaranskog tipa nisu usavršavani sve do polovice 19. stoljeća. Tada je postojalo mnogo zahtjeva od strane trgovaca i vojske te su njima odgovarali jedino brodovi koji imaju jedan trup. Tek krajem prošlog stoljeća se pristupilo radu na katamaranima, odnosno brodovima sa dva trupa.

Naime, danas postoje mnoge vrste katamarana te su korištene u različite svrhe. Na primjer, jedriličari koriste katamarane kad žele proizvesti veću brzinu, 20 ili 30 čvorova. Postoje i katamarani za krstarenja, kao i putnički katamarani koji imaju od 60 do 600 tona, ali i ribarski katamarani od 180 tona. Osim navedenog imamo i trajektne, istraživačke, nosače aviona, kontejnerske itd. Sve ove vrste katamarana odgovaraju na sve zadane elemente koje se vežu za stabilnost, prostor, brzinu i površinu. [23]



**Slika 11. Katamaran – jedrilica [38]**

Kod stabilnosti katamarana, nailazimo na različitost u odnosu na plovila koja imaju samo jedan trup. Naime, stabilnost kod jednotrupnih zavisi od nagiba tj. veličine pomjeranja. Taj pomak dostiže do jedne četvrtine širine broda. Kod katamarana je to drugačije jer imamo veće poprečno pomjeranje, odnosno veći porast momenta uspravljanja kada postoje nagibi.

*„Maksimalni moment uspravljanja nastaje u trenutku kada dnoprivjetrenog trupa katamarana izroni iz vode, što se događa pri nagibu od oko  $10^\circ$ , a nakon tog moment uspravljanja naglo pada.” [23]*

U tablici 1. možemo ustanoviti da se prilikom utvrđivanja jednake dubine i ukupne istisnine broda katamaran i jedrilica razlikuju. Jedrilica je nestabilna dok to nije slučaj sa katamaranom.

Tablica 1. Usporedba stabiliteta jedrilice i katamarana [22]

	<b>Jedrilica</b>	<b>Katamaran</b>
<b>Duljina vodene linije</b>	L – 6,0 m	6,0 m
<b>Širina</b>	B – 1,2 m	2,5 m
<b>Površina</b>	A – 5,0 m	2 x 2,5 m <sup>2</sup>
<b>Istisnina</b>	V – 2,0 m	2 x 1,0 m <sup>2</sup>
<b>Inercija</b>	I – 0,417 m	7,92 m <sup>2</sup>
<b>Radijus</b>	r – 0,208 m	3,96 m
<b>Daljina između G i L</b>	A – 1,0 m	1,0 m
<b>Metacentarska visina</b>	H – minus 0,79 m	2,96 m

*„Moment inercije katamarana jednak je sumi momenata inercije svakog trupa povećanoj zaumnožak površine svake vodne linije i kvadrata razmaka težišta VL od osi simetrije katamarana. Zbog toga je razmak između trupova jedna od osnovnih dimenzija katamarana i glavno mjerilonegovog stabiliteta.” [23]*

Katamarani se mogu podijeliti na tri kategorije: katamarani slobodne klase, katamarani ograničene klase i katamarane monotipove. Katamarani slobodnih klasa imaju minimalna ograničenja, kao što su minimalna površina jedara i minimalna širina. S druge strane, katamarani ograničenih klasa podliježu određenim ograničenjima u pogledu dimenzija, površine jedara, težine trupa i drugih karakteristika. Monotipovi katamarani se grade prema unaprijed definiranim nacrtima i specifikacijama.

Međunarodni savez za natjecanje jedrilica predviđa ove kategorije:

- Brod za samce: Najveća površina jedara iznosi 13,9 kvadratnih metara, najveća širina je 2,3 metra, a najveća dužina 5,2 metra.

- Brod sa posadom – jedna osoba: Najveća površina jedara iznosi 21,8 kvadratnih metara, najveća širina je 3,05 metara, a najveća dužina 6,1 metar.
- Brod sa posadom – dvi osobe: Najveća površina jedara iznosi 28,9 kvadratnih metara, najveća širina je 4,26 metara, a najveća dužina 7,65 metara.
- Brod sa posadom – tri osobe : Najveća površina jedara iznosi 46,5 kvadratnih metara.

Navedene karakteristike odnose se na ograničenja u pogledu veličine jedara, širine i dužine za svaki od navedenih brodova. [23]

Katamarani se formiraju spajanjem dva trupa koji mogu biti simetrični ili nesimetrični u odnosu na vlastitu os. Ova konstrukcija omogućava katamaranima da imaju određene prednosti u pogledu stabilnosti i površine. Međutim, kvalitet katamarana također se procjenjuje na temelju brzine i stabilnosti na valovima. Zahvaljujući svom obliku trupa i rasporedu, katamarani imaju tendenciju da se bolje kreću kroz valove u usporedbi s drugim vrstama brodova. Njihovi dva trupa pružaju veću stabilnost i manji nagib tijekom plovidbe, što rezultira udobnijim putovanjem za putnike. Također, katamarani mogu postići visoke brzine zbog smanjenog hidrodinamičkog otpora i manje potrebne snage za plovidbu u odnosu na tradicionalne jednorupne brodove.

*„Otpor vode napredovanja katamarana pri velikom razmaku između trupova jednak je sumi otpora pojedinih trupova.“ [23]*

## **5.1. PRORAČUN STABILNOSTI KATAMARANA ZA PRIJEVOZ PUTNIKA**

Postoji nekoliko općih elemenata kod proračuna stabilnosta katamarana za prijevoz putnika:

- Dijagram poluge statičkog stabilnosta katamarana treba zadovoljavati određene kriterije. Površina dijagrama poluge statičkog stabilnosta ne smije biti manja od 0,055 metar-radiana do ugla nagiba od 30 stupnjeva, te ne smije biti manja od 0,09 metar-radiana do ugla nagiba od 40 stupnjeva ili do ugla naplavlivanja ako je taj ugao manji od 40 stupnjeva. Površina dijagrama poluge statičkog stabilnosta između ugla nagiba od



30 stupnjeva i 40 stupnjeva ili između ugla nagiba od 30 stupnjeva i ugla naplavlivanja, ako je taj ugao manji od 40 stupnjeva, ne smije biti manja od 0,03 metar-radiana. Ovi kriteriji osiguravaju adekvatnu stabilnost katamarana u različitim uvjetima nagiba i valovima. Dijagram poluge statičkog stabiliteta pruža informacije o promjeni stabilnosti s povećanjem kuta nagiba broda. Održavanje odgovarajuće površine dijagrama poluge statičkog stabiliteta osigurava da katamaran ima dovoljan statički stabilnost u različitim uvjetima plovidbe.

- Najveća poluga dijagrama statičkog stabiliteta katamarana mora biti najmanje 0,20 metara kada je ugao nagiba jednak ili veći od 30 stupnjeva. Ovaj zahtjev osigurava adekvatnu stabilnost katamarana pri većim kutovima nagiba, pružajući dovoljnu polugu koja omogućuje vraćanje broda u ravnotežni položaj nakon naginjanja. Održavanje minimalne vrijednosti od 0,20 metara za najveću polugu dijagrama statičkog stabiliteta osigurava stabilnost katamarana u zahtjevnijim uvjetima plovidbe.
- Pretpostavlja se da maksimum dijagrama poluga statičkog stabiliteta kod katamarana bude pri uglovima nagiba većim od 30 stupnjeva, ali u svakom slučaju ne smije biti pri uglovima nagiba manjim od 25 stupnjeva. Ovaj zahtjev osigurava da katamaran ima dovoljno stabilnosti i poluge za vraćanje u ravnotežni položaj čak i pri većim nagibima
- Metacentrarska visina kod katamarana ne smije biti manja od 0,15 metara. Ova mjera osigurava odgovarajuću stabilnost plovila tako da se središte uzgonnog tlaka nalazi iznad središta gravitacije, čime se sprječava prevrtanje ili nestabilnost broda. [23]

U nastavku su elementi koji se odnose na jaki vjetar i ljuljanje broda:

- Dolazi do izloženosti ravnomjernom pritisku vjetra duž uzdužne centralne ravni, što rezultira konstantnom polugom momenta nagiba. To znači da se vjetrov pritisak jednako raspoređuje duž duljine broda, stvarajući konstantan moment koji utječe na nagib broda. Ova ravnomjerna raspodjela pritiska doprinosi stabilnosti plovila jer smanjuje nejednoliko opterećenje i rotacijske sile koje bi mogli uzrokovati nestabilnost.
- Zbog djelovanja valova, brod se nagine protiv vjetra za određeni ugao ravnoteže. Ugao nagiba broda uslijed djelovanja ravnomjernog vjetra treba biti ograničen na dozvoljenu vrijednost prema registru plovila. Kao pokazatelj tog ograničenja može se uzeti ugao od 16 stupnjeva ili 80% vrijednosti ugla kod kojeg dolazi do uranjanja kraja palube, ovisno

o tome koja je vrijednost manja. Ovaj pristup osigurava da brod ostaje stabilan i da ne dolazi do prekomjernog naginjanja uslijed djelovanja vjetra i valova.

- Djelovanje jakog pritiska uslijed snažnog naleta vjetra, na brod rezultira polugom momenta nagiba. Taj pritisak vjetra stvara moment sile koji uzrokuje naginjanje broda. Ovisno o intenzitetu i smjeru vjetra, brod može doživjeti naginjanje prema jednoj strani, što zahtijeva odgovarajuće protumjere za održavanje stabilnosti i ravnoteže plovila.
- Slobodne površine treba razmotriti prilikom analize svih standardnih slučajeva opterećenja na brodu. Slobodne površine, poput jarbola, antena, šatora i drugih izbočina, mogu djelovati kao krila i stvarati aerodinamički ili hidrodinamički otpor koji utječe na stabilnost i ponašanje broda. Stoga je važno pravilno procijeniti utjecaj tih slobodnih površina kako bi se osigurala adekvatna stabilnost i sigurnost plovila u različitim uvjetima opterećenja. [23]

## 5.2. STABILITET SWATH BRODOVA

SWATH brodovi su konstrukcije katamarana koji se još nazivaju *probijači valova*. Imaju dvostruki trup koji ostaje potpuno potopljen. Postoje i dvije inovacije od običnih katamarana jer taj isti trup ima malu površinu vodenog aviona i konfiguraciju koja probija valove – potonja konstrukcija broda. Naime, smanjuje otpor valova pomicanjem volumena ispod vodene linije te koristi par cjevastih trupova koji su nalik podmornici. Svi ti potopljeni trupovi su minimalno pogođeni sa valovima. [19]

Oblik SWATH izmiao je Frederick Creed koji je svoju ideju o katamaranu predstavio 1938. godine te dobio patent 1946. godine. Taj oblik broda prvi put je korišten 1960-ih godina te se smatra evolucijom dizajna katamarana. [8]

Godine 1990. američka mornarica naručila je izgradnju takvih brodova za testiranje konfiguracije. [10]

Katamarane SWATH uspoređuju sa običnim katamaranima ovim elementima:

- Veća oplakana površina, što uzrokuje veći otpor trenja,

- Značajno smanjenje otpora izazvanog valovima, s konfiguracijom podupirača i potopljenih struktura trupa,
- Područje niže vodene ravnine značajno smanjuje propinjanje i uzdizanje na morskom putu,
- Veća osjetljivost na opterećenje, što može dovesti konstrukciju mosta bliže vodi. [9]

Dizajni katamarana koji probijaju valove korišteni su za jahte, putničke trajekte i vojna plovila.

## 6. ZAKLJUČAK

Katamarani predstavljaju značajan segment u pomorskom putničkom brodarstvu s brojnim karakteristikama i prednostima. Definirano je pomorsko putničko brodarstvo, povijesnim razvojem brodarstva u svijetu i Republici Hrvatskoj. Istaknut je i značaj katamarana, s posebnim osvrtom na njihovu upotrebu u Hrvatskoj i na Jadranskoj obali.

Katamarani su putnički brodovi sa dva trupa koji se koriste u raznim sektorima, uključujući prijevoz putnika, turizam, ribolov i vojne operacije. Kao glavne prednosti katamarana su brzina, stabilnost i ekonomičnost. Međutim, kada je riječ o pogonu, potrebno je uzeti u obzir nekoliko čimbenika, poput brzine, troškova goriva i održavanja.

Osim toga, razumijevanje otpora i stabilnosti je također važno u konstrukciji i upravljanju katamaranima. Otpor se može podijeliti na tri vrste: otpor trupa, otpor pogonskog sustava i otpor površinskog napona. Stabilnost se može povećati smanjenjem visine težišta ili širenjem trupa.

U suštini, katamarani imaju dugu i bogatu povijest, počevši od tradicionalnih plovila Polinezije. Danas se katamarani koriste u svim dijelovima svijeta i igraju važnu ulogu u globalnoj pomorskoj industriji.

Sve u svemu, katamarani su se dokazali kao pouzdan, brz i ekonomičan oblik plovila, s mnogo prednosti u odnosu na tradicionalne jednotrupce. U zaključku je da su katamarani značajni u pomorskom putničkom brodarstvu, pružajući brojne prednosti poput veće stabilnosti, veće brzine, manjeg otpora i veće efikasnosti u odnosu na tradicionalne brodove. Učinkovit proračun i analiza karakteristika katamarana ključni su za optimizaciju njihove performanse i sigurnosti. Daljnje istraživanje i razvoj katamarana pridonose napretku pomorskog putničkog brodarstva.

## LITERATURA

- 1] A. F. Molland, J.F. Wellicome and P.R. Couser, „Resistance Experiments on a Systematic Series of High Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of Length- Displacement Ratio and Breadth- Draught Ratio“, University of Southampton 1994.
- 2] Andrews, Jim; Catamarans for cruising. London: Hollis and Carter. 1974
- 3] A. Millward, K.M. Askew and P. Whattam, „ An Investigation into the Effect of Running Wetted Surface Area on the Resistance Components of a Catamaran“, International Shipbuilding Progress no 48., 2001
- 4] Bird, Vanessa; Classic Classes. A&C Black, 2013.
- 5] Doran, Edwin B.; Wangka: Austronesian Canoe Origins. Texas A&M University Press, 1981.
- 6] Doran, Edwin Jr.; "Outrigger Ages". The Journal of the Polynesian Society. 83 (2), 1974.
- 7] Dvornik, J.; Konstrukcija, otpor i propulzija jahti, Sveučilište u Splitu, 2013.
- 8] Helfers, John; The Unauthorized Dan Brown Companion. Kensington Publishing Corp, 2016.
- 9] Husick, Charles B.; Chapman Piloting, Seamanship and Small Boat Handling. Sterling Publishing Company, Inc, 2005.
- 10] Jane's high-speed marine craft (24 ed.). Jane's Information Group. 1991.
- 11] Jugović A, Ekonomika brodarstva. Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/132877650/SKRIPTA>
- 12] Kesić, B., Jugović, A.: Menadžment pomorsko-putničkih luka, Rijeka, 2006.,
- 13] Kirch, Patrick; Hawaiki. Cambridge University Press., 2001.
- 14] Krčum, M.; Gudelj, A.; *Optimizacija sustava upravljanja energijom na plovilima*, Split 2015.
- 15] Matveev, I.; *Modeling of Vertical Plane Motion of fan Air Cavity Ship in Waves*, California Institute of Technology
- 16] Mahdi, Waruno; "The Dispersal of Austronesian boat forms in the Indian Ocean". In Blench, Roger; Spriggs, Matthew. Vol. 34. Routledge, 1999.

- 17] Marasović, D; *Plovila nove generacije u hrvatskoj brodogradnji i istraživanje primjene novih formi – luksuz ili potreba*, Fakultet Strojarstva i Brodogradnje, Zagreb 2004
- 18] *Međunarodna konvencija o Zaštiti ljudskog života na moru*, Združeni tekst, Jugoslovenski registar brodova, Tisak Tehničar-Kopirni centar, Split, 1987.
- 19] Misra, Suresh Chandra: *Design Principles of Ships and Marine Structures*. CRC Press; 2015
- 20] Nathanael Herreshoff "US Patent Number 189459: Improvement in construction of sailing-vessels", 1877.
- 21] Perez-Macias Martin, J. M., „Estimating wetted area of a model-hull from a set of camera images using, NURBS curves and surfaces“, M.Sc. Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2009.
- 22] *Pomorska enciklopedija*, Drugo izdanje, Tom 3. (I - Ko), Jugoslovenski leksikografski zavod, Zagreb, 1976.
- 23] Projektna dokumentacija, Monte Marine Yachting, E Cat – 15, Body Lines Plan, Kotor, 2012.
- 24] "Sailing with an Achilles' keel | General". Times Higher Education.; 2014.
- 25] Vidučić, V.: *Pomorski turizam - prometne, razvojne i ekološke dileme*, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet, 2007.
- 26] William Petty; *Model of a twin-hulled ship*; Royal Society. Retrieved August 8, 2014.

***Internetske veze:***

- 27] <http://m.slobodnadalmacija.hr/Dalmacija/Najnovije/tabid/297/articleType/ArticleView/articleId> (pristupljeno 15.3.2023.)
- 28] <https://www.jadrolinija.hr/o-nama/brodovi/katamarani/dubravka> (pristupljeno 26.3.2023.)
- 29] <https://sailcraftblog.files.wordpress.com/2016/05/catraceharpersweekly1878copy.jpg?w=840> (pristupljeno 26.3.2023.)
- 30] <https://archive.hokulea.com/Hokulea.gif> (pristupljeno 26.3.2023.)
- 31] [https://www.meisterdrucke.uk/kunstwerke/1200w/William\\_Heysham\\_Overend\\_-\\_The\\_Duplex\\_Catamaran\\_-\\_MeisterDrucke-294489%29.jpg](https://www.meisterdrucke.uk/kunstwerke/1200w/William_Heysham_Overend_-_The_Duplex_Catamaran_-_MeisterDrucke-294489%29.jpg) (pristupljeno

- 26.3.2023.)
- 32] [https://media.hobie.com/digital\\_assets/H16\\_2021\\_color\\_B\\_O1S29yt.jpg](https://media.hobie.com/digital_assets/H16_2021_color_B_O1S29yt.jpg) (pristupljeno 28.3.2023.)
- 33] <https://www.krilo.hr/wp-content/uploads/2018/12/ECLIPSE-ZA-LETKE-SLIKA.png> (pristupljeno 28.3.2023.)
- 34] [https://www.jadrolinija.hr/images/default-source/slike-za-web/bijela-flota/katamarani/jelena.jpg?sfvrsn=e9021d3e\\_1](https://www.jadrolinija.hr/images/default-source/slike-za-web/bijela-flota/katamarani/jelena.jpg?sfvrsn=e9021d3e_1) (pristupljeno 26.3.2023.)
- 35] [https://www.researchgate.net/figure/Schematics-of-a-Catamaran-showing-twin-demi-hulls\\_fig1\\_336608019](https://www.researchgate.net/figure/Schematics-of-a-Catamaran-showing-twin-demi-hulls_fig1_336608019) (pristupljeno 2.4.2023.)
- 36] <https://aeroyacht.com/catamaran-learning-center-2/catamaran-efficiency/> (pristupljeno 2.4.2023.)
- 37] <https://www.renderhub.com/alenfsl/catamaran/catamaran-11.jpg> (pristupljeno 2.4.2023.)
- 38] <https://www.sailingeuropecharter.com/media/1857/lagoon-450-1200-800.jpg> (pristupljeno 2.4.2023.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Katamaran Jadrolinije - Dubravka. ....	5
Slika 2. Prvi katamaran - Amaryllis. ....	6
Slika 3. Moderna replika polinezijskog kanua - Hokule'a.....	7
Slika 4. Katamaran - Duplex (1877. godina).....	8
Slika 5. Katamaran - Hobie - za plažu.....	9
Slika 6. Katamaran u RH - Krila Karbo. ....	13
Slika 7. Katamaran Jelena – RH.....	14
Slika 8. Tehnički opis katamarana.....	18
Slika 9. Omjer snage SES broda i katamarana. ....	19
Slika 10. 3D model katamarana.....	23
Slika 11. Katamaran – jedrilica .....	24



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Usporedba stabiliteta jedrilice i katamarana.....	25
--	----

## **POPIS KRATICA**

SWATH (*eng. small waterplane area twin hull*) dvotrupni brodovi male ploštine vodne linije

SES (Surface Effect Ship) brod s efektom površine