

Mateja ŠALAMON, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, mateja_salamon@yahoo.co.uk
Nastia DEGIULI, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, I. Lučića 5, HR-10000 Zagreb, Hrvatska, nastia.degiuli@fsb.hr

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE OTPORA SERIJE BRZIH POLUDEPLASMANSKIH KATAMARANA

Sažetak

Problem određivanja ukupnog otpora katamarana daleko je složeniji od istog problema prisutnog kod jednotrupnih brodova. Složenosti hidrodinamičkog sadržaja ukupnog otpora katamarana doprinosi i pojava interferencije trupova koja može biti i viskozna i valna. Na temelju rezultata ispitivanja četiri modela katamarana provedenih u Brodarskom institutu u Zagrebu određen je faktor forme primjenom metode Prohaske. Određene su komponente ukupnog otpora ispitane serije katamarana primjenom metode Froudea i metode Insela i Mollanda. Dobiveni rezultati su ekstrapolirani na katamarane u naravnoj veličini i izračunate su vrijednosti ukupnog otpora. Relativne pogreške između vrijednosti dobivenih metodom Froudea i metodom Insela i Mollanda prikazane su dijagramom. Na temelju ukupnog otpora katamarana odabrana je najpovoljnija forma katamarana sa stajališta otpora.

Ključne riječi: katamaran, faktor forme, viskozna interferencija, valna interferencija, ukupni otpor

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF RESISTANCE OF HIGH SPEED SEMI-DISPLACEMENT CATAMARAN SERIES

Abstract

The problem of determining the total resistance of catamarans is far more complex than the same problem in case of monohulls. Interference of hulls, which can be viscous and wave interference, contributes to the complexity of the hydrodynamic content of the total resistance of catamarans. The form factor is determined using Prohaska's method based on the resistance tests of four catamaran models carried out in Brodarski Institut in Zagreb. Components of the total resistance of tested catamaran series are determined using Froude and Insel-Molland method. The obtained results are extrapolated for full scale catamarans and the values of the total resistance are calculated. Relative errors between the values obtained with Froude and Insel-Molland method are presented in the chart. The *most favourable* catamaran hull *form* from resistance point of view is chosen based on the total resistance of full scale catamaran.

Key words: catamaran, form factor, viscous interference, wave interference, total resistance

1. Uvod

Katamarani nisu nikakva novost na tržištu i njihova namjena je vrlo raznolika (brodovi za prijevoz kontejnera, brodovi za prijevoz željezničkih i cestovnih transportnih vozila, kočice, sportske jedrilice, brodovi za oceanografska istraživanja, brodovi za gašenje požara, ratni brodovi itd.). Glavna karakteristika katamarana je velika površina palube u odnosu na istisninu što omogućava prijevoz palubnog tereta, smještaj nastambi itd. Pored velike površine palube kao osnovne funkcionalne karakteristike katamarana mogu se izdvojiti dobar poprečni stabilitet i dobra manevarska svojstva. Podjela istisnine i površine vodne linije na dva relativno vitka trupa rezultira velikim površinama palube te dobrim poprečnim stabilitetom pri malim kutovima ljuljanja broda. Držanje katamarana na valovima u pogledu posrtanja je lošije u odnosu na konvencionalne jednotrupne brodove. Aktivnom kontrolom posrtanja pomoću krila ovaj nedostatak se može ublažiti [1].

Problem određivanja ukupnog otpora katamarana daleko je složeniji od istog problema prisutnog kod konvencionalnih brodova. Pri istraživanju ukupnog otpora jednotrupnog broda u mirnoj vodi, ukupni otpor je funkcija samo geometrije trupa. Ukupni otpor katamarana nije funkcija samo geometrije pojedinih trupova, već je i funkcija rasporeda trupova. Iznos interakcije ovisi o geometriji pojedinih trupova kao i o njihovom međusobnom položaju.

Složenosti hidrodinamičkog sadržaja ukupnog otpora katamarana doprinosi i pojava interferencije trupova. Mogu se razlučiti dvije vrste interferencije: valna i viskozna interferencija [2], [3]. Valna interferencija je rezultat superpozicije više sustava valova, budući da svaki trup stvara svoj sustav valova. Sustavi valova mogu pojačati jedan drugoga i uzrokovati veći otpor valova, ili se mogu djelomično poništiti i smanjiti otpor valova. Viskozna interferencija je rezultat promjene strujanja oko jednog trupa zbog prisutnosti drugog trupa. Ona postoji i kada nema slobodne površine. Naime, gibaju li se dva potpuno uronjena tijela, strujanje oko svakog tijela ovisi o tome da li je drugo prisutno ili ne. Za tijelo s uzdužnom simetrijom slika strujanja je simetrična u odnosu na uzdužnu simetralnu ravninu tijela. Ako se usporedno gibaju dva jednaka tijela strujanje nije više simetrično u odnosu na uzdužnu simetralnu ravninu svakog pojedinog tijela te se pojavljuje poprečno strujanje koje može bitno promijeniti vrijednost viskoznog otpora. Na ukupni otpor može se bitno utjecati izborom odgovarajućeg položaja trupova što rezultira pojavom povoljne ili nepovoljne viskozne, odnosno valne interferencije. Interferencija se javlja zbog različitosti polja brzina i tlakova oko pojedinog trupa.

U hidrodinamičkom smislu katamaran predstavlja način smanjenja otpora valova. Podjelom ukupne istisnine na dva trupa, poboljšan je omjer duljine i volumena istisnine $L/\nabla^{1/3}$, a time je smanjena i komponenta otpora valova. Razne forme i karakteristike trupova katamarana su razvijene prvenstveno da bi se smanjio otpor. To je postignuto smanjenjem težine broda, oplakane površine i parametara vezanih za otpor valova, kao što su omjer duljine i širine komponentnog trupa L/b te omjer duljine i volumena istisnine $L/\nabla^{1/3}$.

U ovom radu je između četiri ispitane forme katamarana odabrana najpovoljnija forma sa stajališta ukupnog otpora. Ukupni otpor katamarana određen je metodom Froudea i metodom Insele i Mollanda.

2. Proračun faktora forme metodom Prohaske

Faktor forme, uz koeficijent otpora trenja, služi za ekstrapolaciju ukupnog otpora s modela na brod. Katamaranima se u odnosu na jednotrupne brodove povećava faktor forme približno 5÷10%. Faktor forme također ovisi i o razmaku između trupova na način da je faktor forme veći što su trupovi manje razmaknuti [4].

Prohaska [1] je predložio novi način određivanja faktora forme k temeljen na Hughesovoj metodi. Za slučaj kada nema odvajanja strujanja vrijedi sljedeći izraz za koeficijent ukupnog otpora:

$$C_T = (1+k) \cdot C_F + C_W \quad (1)$$

gdje je C_F koeficijent otpora trenja ekvivalentne ravne ploče, a C_W koeficijent otpora valova koji varira u ovisnosti o koeficijentu istisnine C_B , pa za brodove s koeficijentom istisnine $C_B < 0,80$ iznosi:

$$C_W = a \cdot Fr^4 \quad (2)$$

Dijeljenjem izraza (1) za koeficijent ukupnog otpora s koeficijentom otpora trenja u dvodimenzijском strujanju dolazi se do sljedeće jednadžbe pravca:

$$\frac{C_T}{C_F} = (1+k) + a \frac{Fr^4}{C_F} \quad (3)$$

gdje je a koeficijent nagiba pravca, a $(1+k)$ odsječak na osi ordinata. Pomoću izraza (3) može se lako odrediti faktor forme k . Ako se pretpostavi da je komponenta otpora valova u području niskih brzina funkcija Fr^4 , pravac C_T/C_F kao funkcija Fr^4/C_F će presijecati ordinatu ($Fr=0$) u točki $(1+k)$, omogućujući određivanje faktora forme. Za crtanje ovakvog dijagrama potrebno je izmjeriti desetak vrijednosti C_T u području Froudeovih brojeva $Fr = 0,1 \div 0,2$ (0,22), jer je u tom području otpor valova zanemariv, a mjerenje pri Froudeovim brojevima nižim od 0,1 nije pouzdano zbog grešaka mjernih instrumenata pogotovo kod modela brodova koji imaju punije forme krme.

S obzirom da su forme svih četiriju ispitanih katamarana slične [5], dovoljno je izračunati faktor forme samo jednog od njih i primijeniti ga i na ostale forme. Izabran je model katamarana M-1243A/II, jer je najbližiji svim ostalim modelima. Modeli M-1243A i M-1243A/I imaju iste geometrijske značajke kao i odabrani model, razlika je samo u postavljenim brizgobranima, dok model M-1243/II ima isti tip brizgobrana kao i odabrani model. Model je izrađen od drva, u mjerilu $\lambda_L=9$.

Za crtanje pravca iz čijeg će se odsjeka na ordinati odrediti faktor forme potrebno je odrediti 10÷20 mjernih točaka u području Froudeovih brojeva $Fr = 0,1 \div 0,2$ (0,22), koje nisu na raspolaganju te je vrijednosti ukupnog otpora očitana iz krivulje ukupnog otpora koja je već izgladena [5]. Na ovaj način se u proračun svjesno unosi greška.

Na Slici 1. prikazane su krivulje koeficijenata ukupnog otpora i otpora trenja kao funkcije brzine za model katamarana M-1243A/II [5], dok su na Slici 2. prikazane očitane vrijednosti za raspon Froudeovih brojeva $Fr_M = 0,1 \div 0,2$ što odgovara području brzine modela $v_M = 0,625 \div 1,25$ m/s.

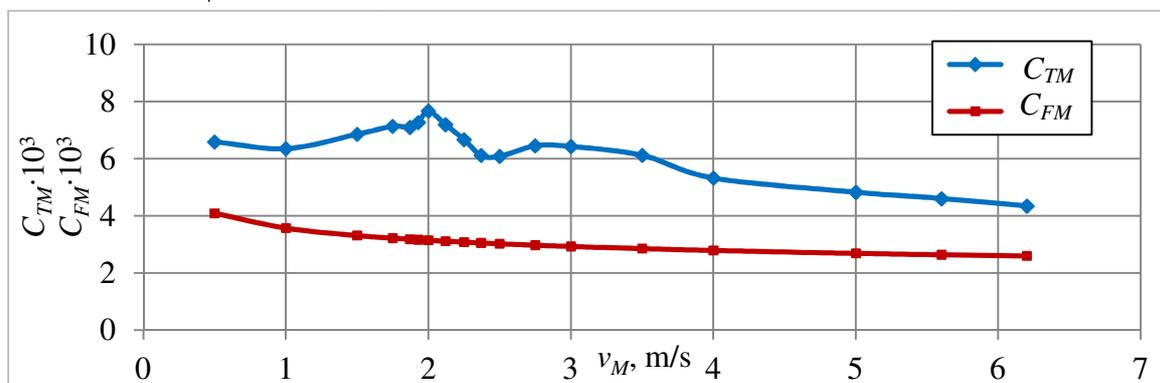


Fig. 1. Curves of total resistance and friction resistance coefficient for the catamaran model M-1243A/II

Slika 1. Krivulje koeficijenta ukupnog otpora i koeficijenta otpora trenja za model katamarana M-1243A/II

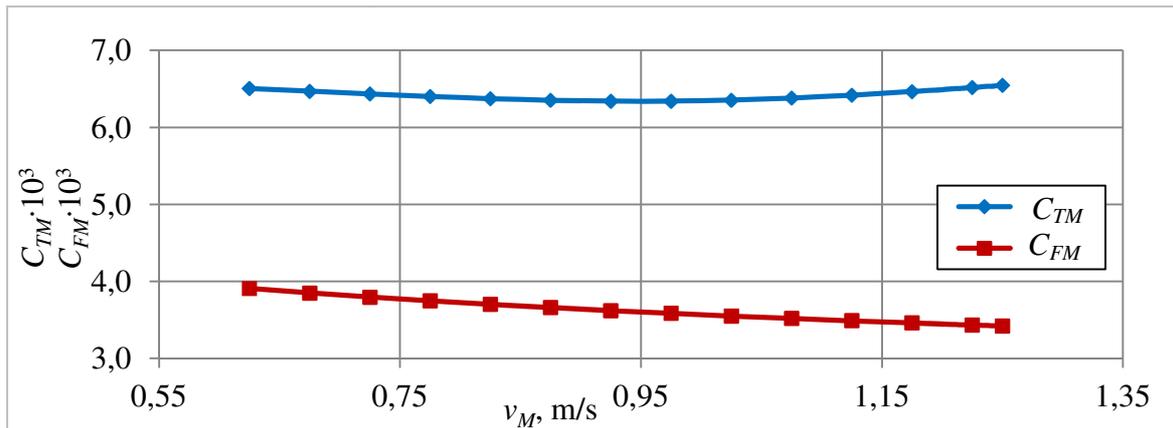


Fig. 2. Curves of total resistance and friction resistance coefficient for the catamaran model M-1243A/II for the Froude number range $Fr_M = 0,1 \div 0,2$

Slika2. Krivulje koeficijenta ukupnog otpora i koeficijenta otpora trenja za model katamarana M-1243A/II za područje Froudeovih brojeva $Fr_M = 0,1 \div 0,2$

Pretpostavlja se da su podaci na Slici 2. dovoljno točni s obzirom da u interesantnom području Froudeovih brojeva postoje samo dvije mjerne točke, dok su ostale "mjerne" točke očitane iz izgladene krivulje ukupnog otpora.

Iz podataka na Slici 2. moguće je nacrtati pravac određen izrazom (3) iz kojega se onda može očitati vrijednost $(1+k)$. S obzirom da se radi o formi koeficijenta punoće $C_B < 0,8$ pretpostavlja se da je funkcija koja opisuje ovisnost omjera C_T/C_F o Fr^4/C_F pravac, Slika 3.

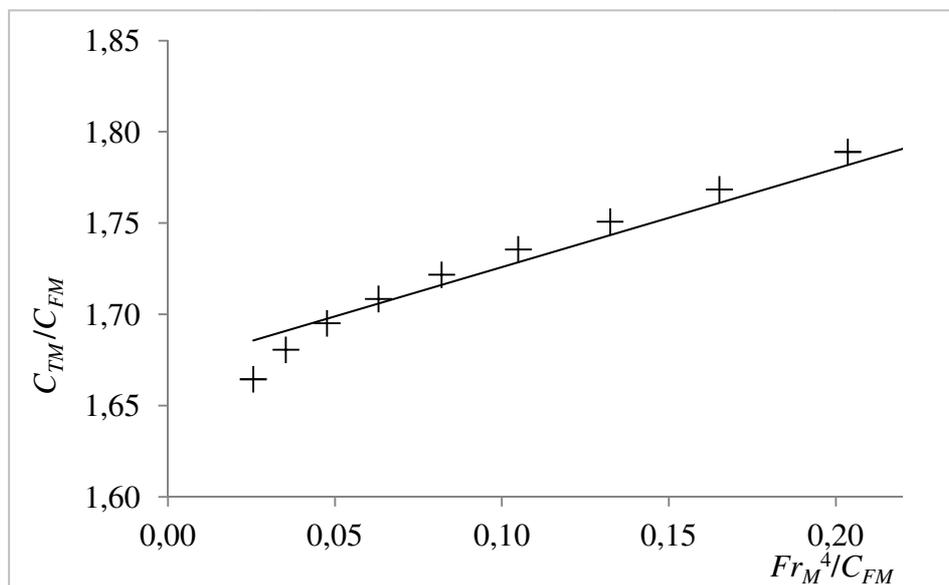


Fig. 3. Graphic display of the form factor determination according to Prohaska's method

Slika 3. Grafički prikaz određivanja faktora forme prema metodi Prohaska

Na Slici 3. može se vidjeti da pravac aproksimira izmjerene točke primjenom metode najmanjih kvadrata. S obzirom da $(1+k)$ predstavlja odsječak pravca na osi ordinata, vrijednost $(1+k)$ je očitana i iznosi $(1+k) = 1,668$.

3. Određivanje komponenata otpora modela katamarana

3.1. Određivanje komponenata otpora metodom Froudea

Froude je ukupni otpor broda, odnosno modela, podijelio na dva dijela: otpor trenja ekvivalentne ravne ploče i preostali otpor [1]. Cilj ovog proračuna je dobiti komponentu preostalog otpora modela kako bi se iz rezultata modelskih ispitivanja mogao odrediti ukupni otpor broda. Modelskim ispitivanjima [5] pri različitim brzinama izmjeren je ukupni otpor modela, a koeficijent otpora trenja modela C_{FM} izračunat je prema korelacijskoj liniji model-brod ITTC-1957. Ti podaci su potrebni za izračunavanje koeficijenta preostalog otpora.

Ispitivanja su prvo izvršena za dvije osnovne forme katamarana: M-1243A i M-1243. Prva forma katamarana (M-1243A) projektirana je za brodski vijak s promjenjivim usponom krila, dok je druga forma (M-1243) projektirana za vodomlazni propulzor [5]. Ispitivanjem modela katamarana M-1243A vidjelo se da slika vala nije dovoljno dobra. To se pokušalo poboljšati stavljanjem prvog oblika brizgobrana, brizgobran I, pa se dobio model katamarana M-1243A/I, a zatim su se brizgobrani I pomicali i modificirali u brizgobrane II čime se dobio model katamarana M-1243A/II. Ustanovilo se da su tek brizgobrani II dovoljno poboljšali sliku vala pa se kod modela katamarana M-1243 ispitivao samo model katamarana s postavljenim brizgobranima II, tj. model M-1243/II.

Obzirom da su forme sva četiri modela vrlo slične za očekivati je da im se koeficijent otpora trenja neće puno razlikovati. Koeficijent otpora trenja ovisi o Reynoldsovom broju koji je pri istim brzinama vrlo sličnih vrijednosti za sva četiri modela, jer je duljina sva četiri modela jednaka, a kinematički koeficijent viskoznosti se vrlo malo razlikuje i nema znatan utjecaj na rezultat. To znači da će veći utjecaj na promjenu ukupnog otpora imati preostali otpor koji se jednim dijelom odnosi i na otpor valova, odnosno otpor slike vala, a pri višim brzinama javlja se i utjecaj otpora vodene prašine, koji se smanjuje postavljanjem brizgobrana [1].

Na Slikama 4. i 5. može se vidjeti da se preostali otpor modela katamarana M-1243/II najviše razlikuje od preostalih otpora ostalih modela katamarana, jer model M-1243/II ima nešto drugačiju formu od ostala tri modela katamarana. Primjetno je da pri nižim brzinama taj model ima najveći preostali otpor dok pri višim brzinama, u odnosu na ostale modele, ima niži preostali otpor.

Kod ostala tri modela vidljivo je da pri nižim brzinama postavljeni brizgobrani ne igraju veliku ulogu i da je preostali otpor skoro isti za sve tri modifikacije modela. Tek je kod viših brzina primjetno smanjenje preostalog otpora zbog postavljanja brizgobrana.

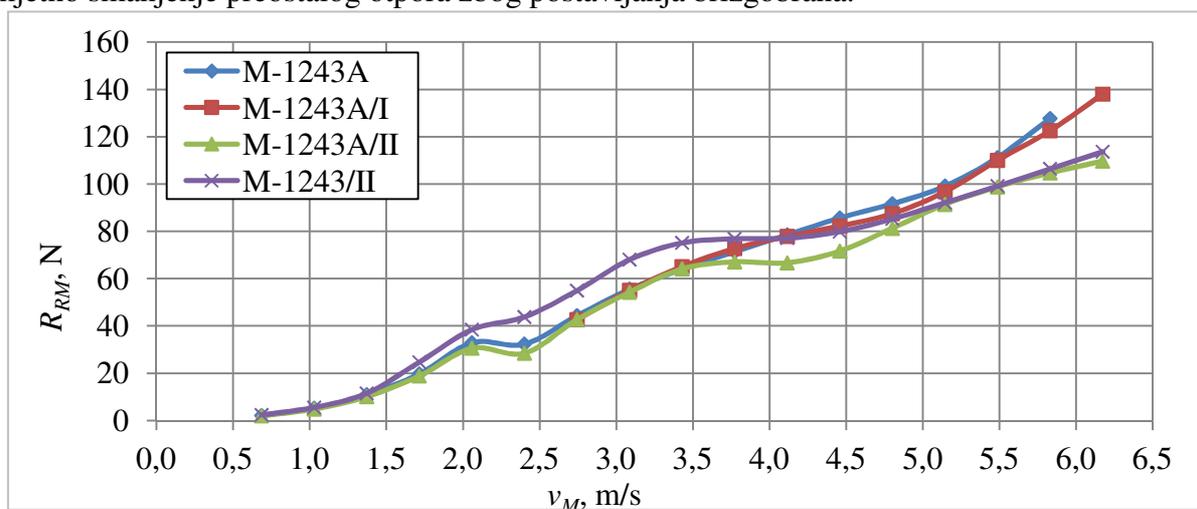


Fig. 4. Curves of residual resistance as a function of model speed according to Froude method for tested catamaran models

Slika 4. Krivulje preostalog otpora ispitanih modela katamarana u ovisnosti o brzini modela prema metodi Froudea

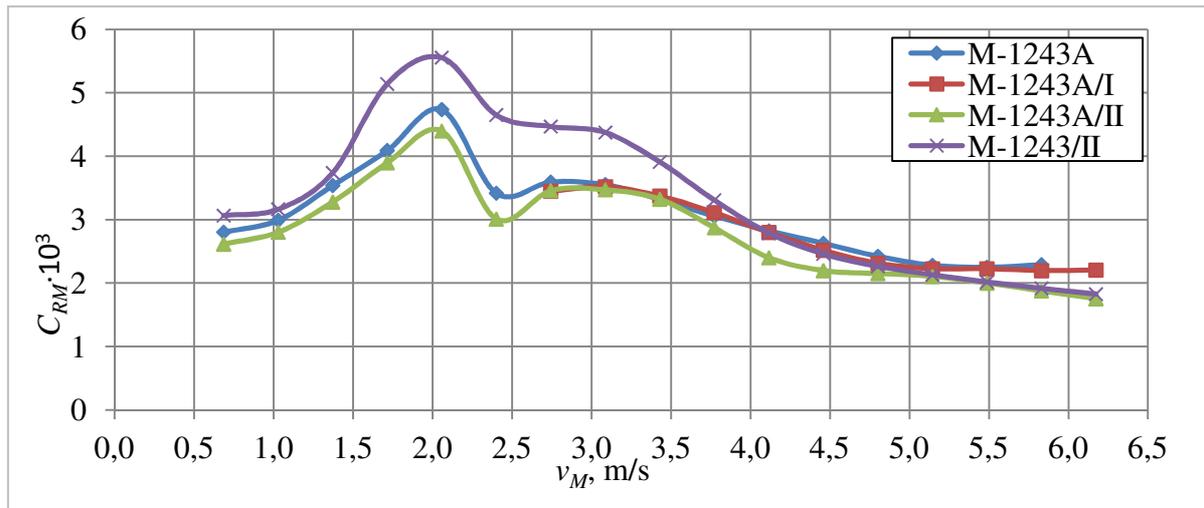


Fig. 5. Curves of residual resistance coefficients as a function of model speed according to Froude method for tested catamaran models

Slika 5. Krivulje koeficijenata preostalog otpora ispitanih modela katamarana u ovisnosti o brzini modela prema metodi Froudea

3.2. Određivanje komponentata otpora metodom Insela i Mollanda

Brojna istraživanja su provedena kako bi se otkrio utjecaj međusobnog djelovanja trupova katamarana na ukupni otpor. Insel i Molland [3], [6] su ustanovili da postoje dva dodatna efekta koja se javljaju kod katamarana i utječu na ukupni otpor. Između trupova se javlja viskozna interferencija uzrokovana nesimetričnim strujanjem oko komponentnih trupova što ima utjecaj na stvaranje graničnog sloja i pojavu vrtloga i interferencija valova uslijed međudjelovanja sustava valova komponentnih trupova.

Koeficijent ukupnog otpora katamarana može se prikazati kao [3], [4]:

$$C_T = (1 + \phi k) \sigma C_F + \tau C_W \quad (4)$$

gdje C_F predstavlja koeficijent otpora trenja prema korelacijskoj liniji model-brod ITTC-1957, C_W koeficijent otpora valova za komponentni trup u izolaciji, k faktor forme komponentnog trupa, ϕ faktor koji uzima u obzir promjenu polja tlaka oko komponentnog trupa, σ faktor koji uzima u obzir povećanje brzine između dva trupa i τ faktor interferencije otpora valova. σ se može izračunati integriranjem lokalnog otpora trenja po oplakanoj površini.

Mjerenjima je teško razdvojiti faktore σ i τ . Zbog praktičnosti se ϕ i σ mogu obuhvatiti faktorom viskozne interferencije β kako slijedi [3], [6]:

$$(1 + \phi k) \sigma = (1 + \beta k) \quad (5)$$

pa jednadžba (4) poprima oblik:

$$C_T = (1 + \beta k) C_F + \tau C_W \quad (6)$$

Za komponentni trup u izolaciji vrijedi $\beta = 1$, $\tau = 1$.

Faktor interferencije otpora valova može se izračunati na slijedeći način:

$$\tau = \frac{[C_T - (1 + \beta k) C_F]_{\text{katamaran}}}{[C_T - (1 + k) C_F]_{\text{komponentni trup}}} \quad (7)$$

U faktoru forme sadržan je i utjecaj viskozne interferencije pa se stoga može umjesto $(1+k) = 1,668$ uzeti $(1+\beta k) = 1,668$ kako bi se naglasila razlika između faktora forme katamarana i komponentnog trupa [4], [6]. Faktor forme komponentnog trupa izračunat je preko približne formule Granvillea [1] za oba osnovna modela (M-1243 i M-1243A) s obzirom da ne postoje izmjereni podaci ukupnog otpora pri niskim brzinama za komponentne trupove spomenutih modela.

Koeficijent preostalog otpora modela računa se prema slijedećoj formuli [4]:

$$C_{RM} = C_{WM} + \beta k C_{FM} \quad (8)$$

gdje se indeks M odnosi na model.

Koeficijent ukupnog otpora modela C_{TM} računa se iz izmjerene sile ukupnog otpora R_{TM} , a koeficijent otpora trenja C_{FM} preko korelacijske linije ITTC-1957. Kada su poznate vrijednosti C_{TM} i C_{FM} , prema jednadžbi (7) računa se faktor interferencije otpora valova τ , a zatim se iz jednadžbe (6) može izračunati koeficijent otpora valova C_{WM} i s tim podacima se ulazi u jednadžbu (8) kako bi se izračunao koeficijent preostalog otpora C_{RM} .

Kao što je već spomenuto, postoji mogućnost pogreške kod izračuna faktora forme katamarana zbog pogreške u očitavanju pa se očekuje pogreška i u proračunu preostalog otpora modela na osnovu ove metode. Pogreška postoji i zbog računanja faktora forme komponentnog trupa pomoću formule Granvillea, koja daje približne rezultate.

Kao i kod proračuna preostalog otpora metodom Froudea, i ovdje se iz Slika 6. i 7. može vidjeti da se preostali otpor modela M-1243/II najviše razlikuje od preostalog otpora ostala tri modela katamarana. Krivulje preostalog otpora dobivene ovom metodom se ponašaju očekivano slično krivuljama dobivenima metodom Froudea. I u ovom slučaju se može primijetiti da pri manjim brzinama sve forme imaju približno jednake preostale otpore, dok kod većih brzina manji preostali otpor imaju forme M-1243/II i M1243A/II, odnosno one forme kojima su dodani brizgobrani II.

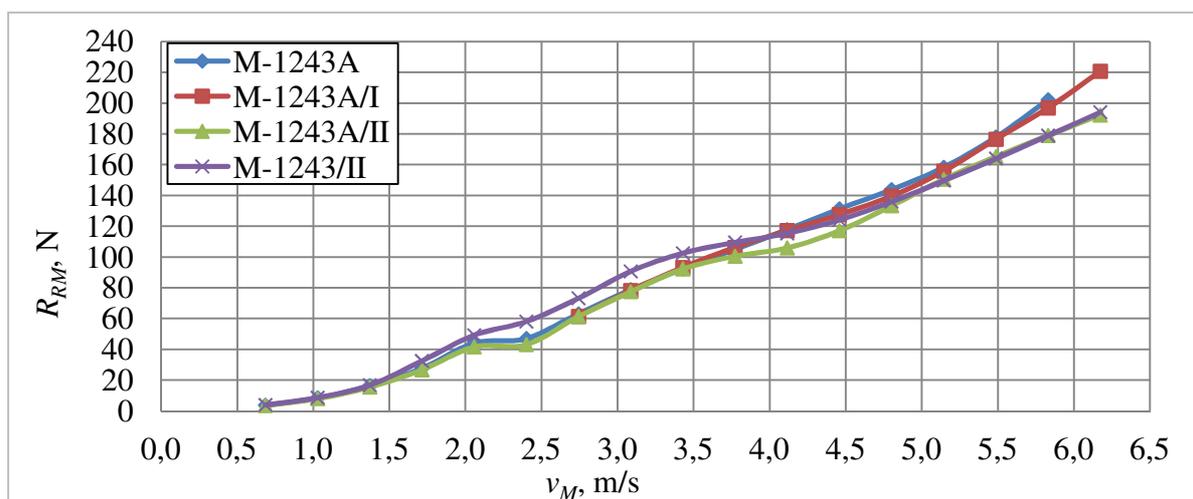


Fig. 6. Curves of residual resistance as a function of model speed according to Insel and Molland method for tested catamaran models

Slika 6. Krivulje preostalog otpora ispitanih modela katamarana u ovisnosti o brzini modela prema metodi Insele i Mollanda

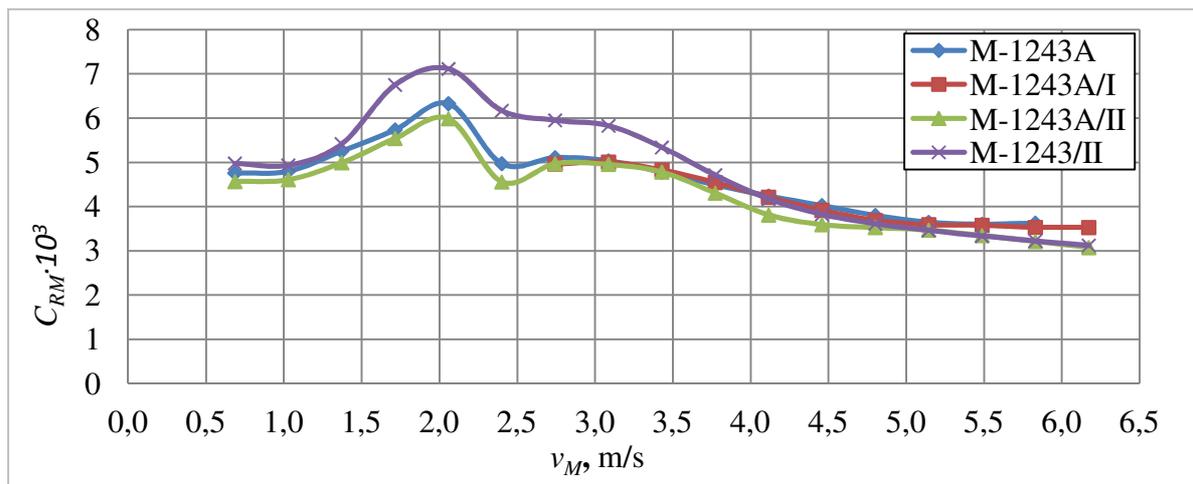


Fig. 7. Curves of residual resistance coefficients as a function of model speed according to Insel and Molland method for tested catamaran models

Slika 7. Krivulje koeficijenta preostalog otpora ispitanih modela katamarana u ovisnosti o brzini modela prema metodi Insela i Mollanda

4. Otpor katamarana

4.1. Ekstrapolacija rezultata s modela na brod

Za svaku formu katamarana izvršena je ekstrapolacija rezultata s modela na brod prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda. Kod obje metode korištena je korelacijska linija model-brod ITTC-1957 za koeficijent otpora trenja.

Froudeova metoda prenošenja rezultata s modela na brod [1] podrazumijeva jednakost koeficijenta preostalog otpora za model i za brod pa vrijedi:

$$C_{RS} = C_{RM} \quad (9)$$

Koeficijent ukupnog otpora katamarana može se izračunati prema izrazu:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RS} + \Delta C_T \quad (10)$$

gdje je ΔC_T korelacijski dodatak prema [5].

Prema metodi Insela i Mollanda [3], [4] koeficijent ukupnog otpora katamarana može se prikazati kao:

$$C_{TS} = C_{FS} + C_{RM} - \beta(C_{FM} - C_{FS}) \quad (11)$$

Na Slikama 8.-11. prikazana je usporedba krivulja otpora dobivenih metodom Froudea i metodom Insela i Mollanda za pojedine forme katamarana.

Na Slici 12. prikazana je relativna pogreška ukupnog otpora izračunatog prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda za pojedine forme katamarana. Relativne pogreške imaju najveće vrijednosti pri najmanjim i najvećim brzinama za sve četiri forme katamarana. Relativna pogreška ukupnog otpora za formu katamarana M-1243/II je najmanja za raspon brzina $V_S = 8 \div 22$ čv.

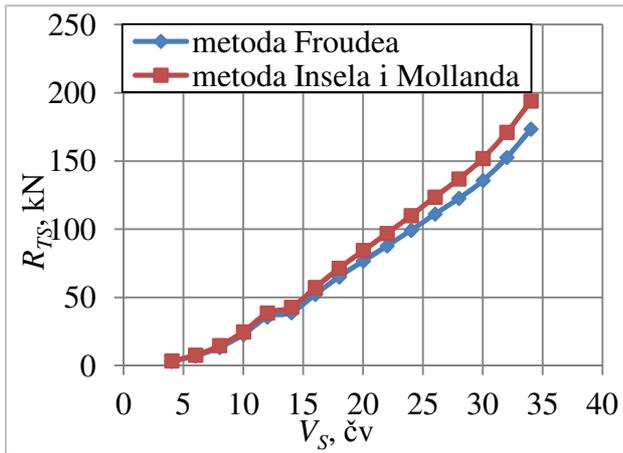


Fig. 8. Curve of total resistance for catamaran M-1243A according to Froude and Insel-Molland method

Slika 8. Krivulja ukupnog otpora katamarana M-1243A prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda

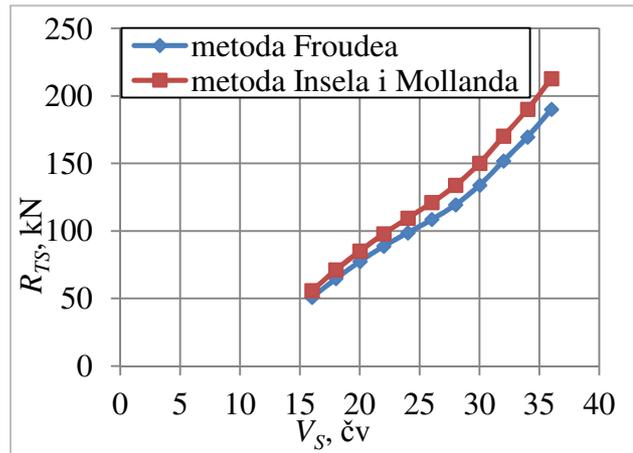


Fig. 9. Curve of total resistance for catamaran M-1243A/I according to Froude and Insel-Molland method

Slika 9. Krivulja ukupnog otpora katamarana M-1243A/I prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda

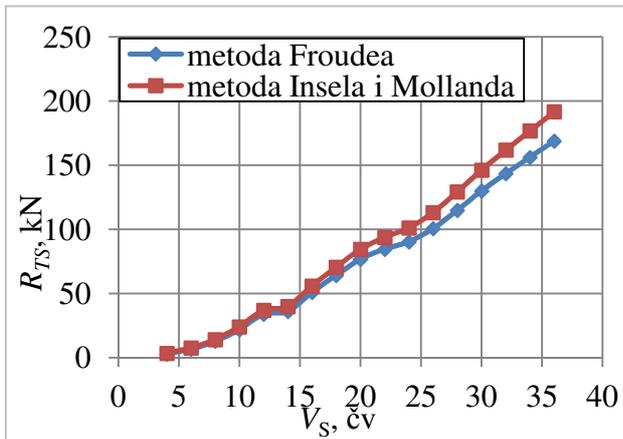


Fig. 10. Curve of total resistance for catamaran M-1243A/II according to Froude and Insel-Molland method

Slika 10. Krivulja ukupnog otpora katamarana M-1243A/II prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda

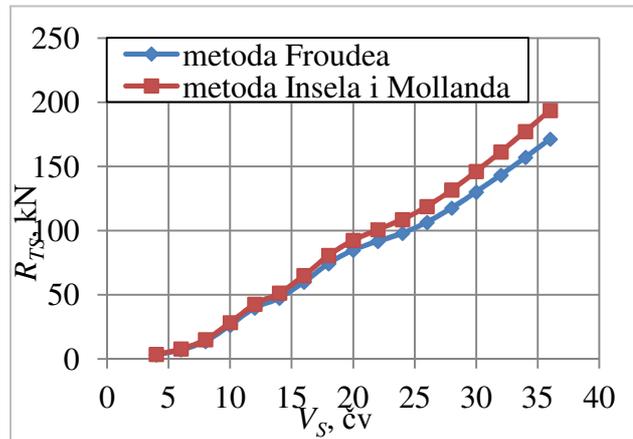


Fig. 11. Curve of total resistance for catamaran M-1243/II according to Froude and Insel-Molland method

Slika 11. Krivulja ukupnog otpora katamarana M-1243/II prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda

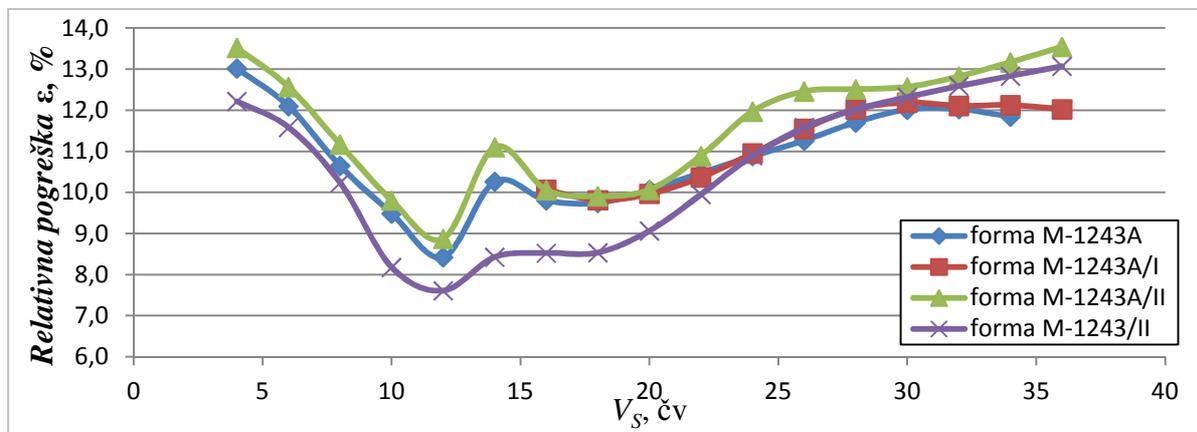


Fig. 12. Curves of relative error of total resistance for four catamaran forms

Slika12. Krivulje relativne pogreške ukupnog otpora za četiri forme katamarana

4.2. Odabir najpovoljnije forme

Usporedbom vrijednosti ukupnog otpora dobivenih primjenom metode Froudea i metode Insela i Mollanda može se uočiti postojanje pogreške, odnosno odstupanje u rezultatima. Na Slikama 13. i 14. prikazane su krivulje ukupnog otpora sve četiri forme katamarana izračunate prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda. Može se uočiti da krivulje ukupnog otpora dobivene primjenom obje metode imaju isti trend.

Vidljivo je da je pri nižim brzinama ukupni otpor praktički jednak za sve forme katamarana, a pri višim brzinama je razlika nešto naglašenija. Pri većim brzinama otpor forme M-1243/II je manji od otpora ostalih formi pa se ta se forma pokazala kao najpovoljnija za veće brzine plovidbe.

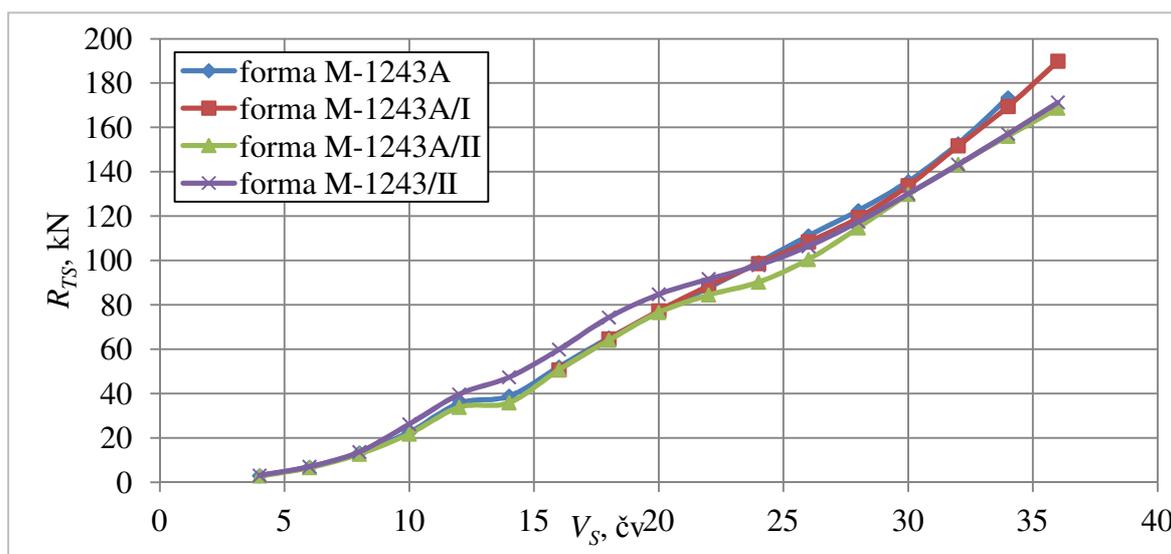


Fig. 13. Comparison of the total resistance for all four catamaran forms according to Froude method

Slika 13. Usporedba ukupnog otpora broda za sve četiri forme katamarana prema metodi Froudea

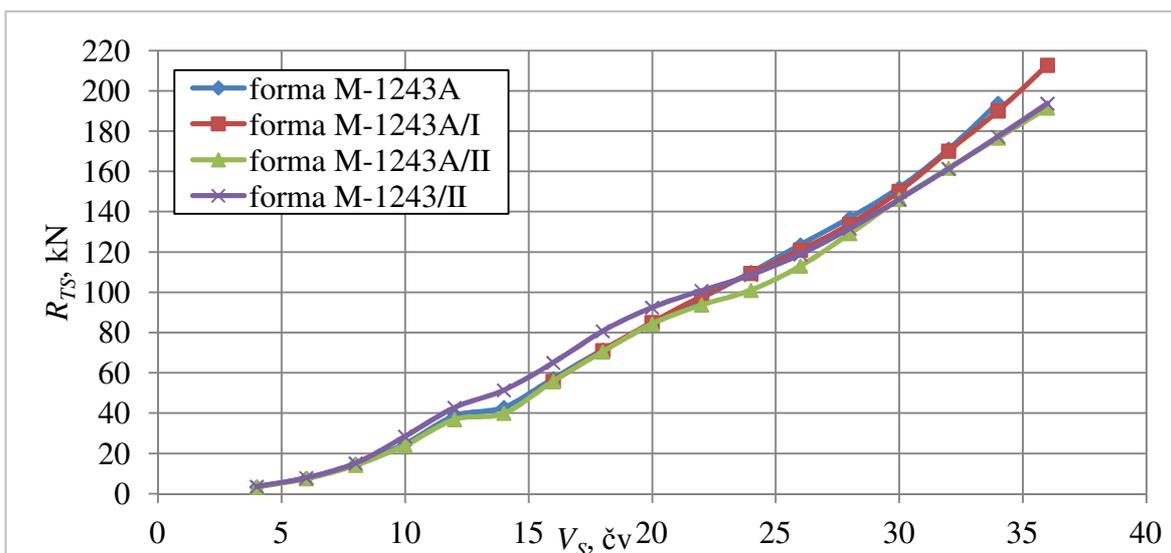


Fig. 14. Comparison of the total resistance for all four catamaran forms according to Insel and Molland method

Slika 14. Usporedba ukupnog otpora broda za sve četiri forme katamarana prema metodi Insela i Mollanda

5. Zaključak

Na temelju rezultata modelskih ispitivanja serije od četiri katamarana, ispitane u Brodarskom institutu u Zagrebu [5], određen je faktor forme metodom Prohaske za jedan model katamarana. Izračunati faktor forme primijenjen je i na ostala tri modela katamarana, jer su forme vrlo slične. S obzirom da su na raspolaganju bila mjerenja ukupnog otpora pri višim brzinama, tj. Froudeovim brojevima, bilo je potrebno iz već izgladene krivulje ukupnog otpora očitati desetak točaka kako bi se odredio faktor forme. Na taj način unijela se stanovita pogreška u sam izračun faktora forme.

Komponente ukupnog otpora ispitana četiri modela katamarana određene su prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda. Faktor forme komponentnog trupa izračunat je prema približnoj formuli Granvillea, kojom se također unijela eventualna pogreška u proračun. Kako bi se faktor forme komponentnih trupova točno odredio na raspolaganju bi trebala biti mjerenja ukupnog otpora komponentnih trupova u rasponu Froudeovih brojeva $Fr = 0,1 \div 0,2$ (0,22).

Vrijednosti komponenata ukupnog otpora modela katamarana ekstrapolirane su na katamaran u naravnoj veličini. S obzirom da se, kako je ranije spomenuto, već unijela stanovita pogreška u proračun faktora forme katamarana i faktora forme komponentnog trupa, za očekivati je da će postojati odstupanje vrijednosti ukupnog otpora katamarana izračunatog metodom Froudea i metodom Insela i Mollanda.

Relativna pogreška vrijednosti ukupnog otpora izračunatog prema metodi Froudea i metodi Insela i Mollanda iznosi do 13,5 %, a prikazana je u dijagramu za sva četiri modela.

Krivulje ukupnog otpora izračunatog metodom Froudea i metodom Insela i Mollanda prikazane su dijagramima i na temelju njih se može odrediti najpovoljnija forma katamarana za određenu brzinu. Katamaran forme M-1243/II pri višim brzinama ima manji ukupni otpor od ukupnog otpora ostalih formi katamarana. To je bilo i za očekivati, s obzirom da je ta forma katamarana projektirana za plovidbu pri višim brzinama. Sa stajališta otpora, kao najpovoljnija forma za najveći raspon brzina pokazala se forma M-1243A/II, jer je ukupni otpor te forme manji od ukupnog otpora ostalih formi u cijelom razmatranom rasponu brzina.

Literatura

- [1] ..., "Otpor i propulzija broda", Interna skripta, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [2] DEGIULI, N.: "Eksperimentalno određivanje otpora valova serije Wigleyevih trimarana", Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [3] INSEL, M., MOLLAND, A.F.: "An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans", Trans. Royal Institution of Naval Architects, 11 p., Discussion: 9 p., April 1991.
- [4] UTAMA, I.K.A.P., JAMALUDDIN, A., ARYAWAN, W.D.: "Demihull denouement", Journal of Ocean Technology, Technology to the Wind, vol.7, no.1, 2012, p.47-58.
- [5] ..., "Resistance test results, Ship Model: M-1243, M-1243A, Catamaran, 35m", Report No.: 5647-M, Brodarski Institut, Special Design Department, Zagreb, 2012.
- [6] MOLLAND, A.F., WELLICOME, J.F., COUSER, P.R.: "Resistance experiments on a systematic series of high speed displacement catamaran forms: variation of length-displacement ratio and breadth-depth ratio", Ship science report 71, University of Southampton, 1994.