

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Justas Šimašius

**GREITAEIGIŲ LAIVŲ FORMOS OPTIMIZAVIMO  
TYRIMAS**

Laivų projektavimo ir statybos studijų programos (6211EX068) magistro  
baigiamasis darbas

Klaipėda, 2019

## MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

### Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

.....  
(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

.....  
(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

**Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.**

.....  
(magistro baigiamojo darbo autorius ir parašas)

**Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.**

.....  
(magistro baigiamojo darbo autorius ir parašas)

### Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

**Magistro baigiamąjį darbą ginti** .....

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data)

.....  
(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

### Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje

.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

.....  
(data)

### Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas ir programų vadovas

**Magistro baigiamąjį darbą ginti** .....

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data)

.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Magistro baigiamąjį darbą ginti** .....

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

.....  
(data)

.....  
(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentu(-ais) skiriu** .....

.....  
(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

.....  
(data)

.....  
(programų vadovo vardas, pavardė ir parašas)

## SANTRAUKA

Šimašius J. Greitaeigių laivų formos optimizavimo tyrimas. Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos baigiamasis darbas. Darbo vadovas - doc. dr. R. Mickevičienė, konsultuojantis dėstytojas - doc. dr. V. Djačkov. Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2019. - 65 p.

Šio darbo tikslas - ištirti, skirtingas geometrines charakteristikas turinčių, greitaeigių laivų su redanais, vandens pasipriešinimo įtaką laivo judėjimui.

Darbo pradžioje atlikta mokslinės literatūros analizė, kurios esmė - išsiaiškinti, kokių pasiekimų yra padaryta šia tema ir rasti informacijos bei metodų, kuriuos būtų galima pritaikyti atliekant šį tyrimą. Tada pateikiama teorinė dalis apie bendrą vandens pasipriešinimą ir prognozavimo metodus. Remiantis išanalizuotuose moksliniuose šaltiniuose pateikta informacija ir rekomendacijomis, automatizuota laivų korpusų modeliavimo programa „DelftShip“, sumodeliuoti 2, skirtingas redano geometrines charakteristikas turintys, laivo modeliai.

Sudarytas skaičiuojamosios skysčių dinamikos matematinis eksperimentas, naudojant „Flow-3D“ programinę įrangą. Gauti duomenys išanalizuoti ir palyginti tarpusavyje. Pateiktos išvados ir rekomendacijos parenkant optimalias redano(-ų) geometrines charakteristikas.

**Raktiniai žodžiai:** *redanas, glisuojantis, Flow-3D, pasipriešinimas, SSD.*

## SUMMARY

Šimašius J. Research on High Speed Vessel Form. The final thesis of master's degree programme - Ship design and construction. The supervisor of final thesis - doc. dr. R. Mickevičienė, the advising lecturer - doc. dr. V. Djačkov. Klaipeda University: Klaipeda, 2019. -65p.

The purpose of this thesis is to investigate the influence of the water resistance of high speed stepped vessel hulls with different geometric characteristics, to the ship's movement.

At the beginning of the work, the analysis of scientific literature was carried out, in order to find out what achievements have been made on this topic and find the information or methods that could be used in this research. The basic theory about the total resistance and prediction methods were introduced. Based on the data from a well-designed ships, 2 different ship models, with different geometric characteristics of steps, were created using 3D hullform modeling program „DelftShip“.

A mathematical experiment of Computational Fluid Dynamics was developed, using CFD software „Flow-3D“. The results of research were analyzed and compared to each other. The conclusions and recommendations for optimal geometric characteristics of hull steps were given.

**Keywords:** *Step, planing, Flow-3D, resistance, CFD.*

# Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos (6211EX068) baigiamasis darbas

Magistro tezes: **Greitaeigių laivų formos optimizavimo tyrimas**

Magistrantas: **Justas Šimašius**

## Darbo sudėtis

1. Titulinis lapas (viršelis)
2. Santrauka
3. Užduotis
4. Lentelių sąrašas
5. Paveikslų sąrašas
6. Turinys
7. Įvadas (problemos analizė)
8. Darbo tikslas ir uždaviniai
9. Greitaeigių katerių korpusų formos optimizavimo tyrimų literatūros šaltinių analizė
10. Greitaeigių glisuojančių laivų su redanu korpusų modeliavimas
11. Matematinis eksperimentas
  - 11.1. Matematinio eksperimento sudarymas „Flow-3D“ programa
  - 11.2. Matematinio eksperimento rezultatų analizė
12. Išvados
13. Literatūros sąrašas
14. Priedai

Užduotis išduota: 2018.10.25

Darbo vadovas: doc. dr. Rasa Mickevičienė

Konsultuojantis dėstytojas: doc. dr. Vasilij Djačkov

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Pradiniai modeliuojamų korpusų duomenys.....	27
2 lentelė. Eksperimente naudojami vandens srauto greičiai.....	39

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. a-glisuojančio laivo korpusas be redanų; b-glisuojančio laivo korpusas su 1 redanu; c-glisuojančio laivo korpusas su 2 redanais. (Step Design in performance powerboats - by AeroMarine Research, 2014).....	11
2 pav. Pasipriešinimo dedamosios priklausomai nuo Frūdo skaičiaus (Čerka, 2005).....	18
3 pav. Laivo modelio bandymų baseinas (Gdansk University of Technology, 2015).....	19
4 pav. Laivo hidrodinaminių sąvybių tyrimų bandymų baseine ir SSD palyginimas, esant skirtingiems laivo greičiams (Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F., 2017).....	21
5 pav. SSD matematinę eksperimentą sudarantys etapai (sudaryta autoriaus).....	22
6 pav. Glisuojančią korpusą veikiančios hidrodinaminės jėgos vertinimas SSD programa Flow-3D (Flow-3D, 2019).....	23
7 pav. Glisuojančių laivų „V“ korpuso forma (sudaryta autoriaus).....	24
8 pav. Glisuojančių laivų redano vieta svorio centro atžvilgiu bei forma (sudaryta autoriaus). ....	24
9 pav. Glisuojančio laivo su vienu redanu pagrindiniai matmenys (Svahn D., 2009).....	26
10 pav. Pradinių laivo korpuso duomenų nustatymas ir formos parinkimas (sudaryta autoriaus). ....	26
11 pav. Korpuso modelio atvaizdavimo įrankiai „DelftShip“ programoje (sudaryta autoriaus)....	27
12 pav. Glisuojančio korpuso modelio kontrolinės linijos su pridėta papildoma masė laivagalyje (sudaryta autoriaus). ....	28
13 pav. Kintančių laivo korpuso geometrinių charakteristikų atvaizdavimas (sudaryta autoriaus). 28	
14 pav. Laivo korpuso sklandumo patikrinimas Gauso kreivumo būdu (sudaryta autoriaus).....	29
15 pav. Sumodeliuoto laivo korpuso geometrinės charakteristikos „DelftShip“ programoje (sudaryta autoriaus). ....	29
16 pav. Redano modeliavimas. A-papildomas kontrolinis taškas; B-papildoma kontrolinė linija; C-papildoma lužio linija (sudaryta autoriaus). ....	30
17 pav. Sudarytų A ir B laivo modelių šoninis vaizdas (sudaryta autoriaus). ....	31
18 pav. Tinklelių blokų išdėstymas „Flow-3D“ programoje (sudaryta autoriaus). ....	34
19 pav. Aproximuota laivo korpuso geometrija (sudaryta autoriaus) . ....	34
20 pav. Laivo korpuso judėjimo nustatymų parinkimas (sudaryta autoriaus). ....	36
21 pav. Vizualizuota eksperimento erdvė prieš simuliaciją (sudaryta autoriaus).....	37
22 pav. Parametrų kitimo grafinė vizualizacija laikui bėgant (sudaryta autoriaus).....	37
23 pav. Korpusą aptakančio vandens srauto greičių pasiskirstymas eksperimento metu (sudaryta autoriaus). ....	38
24 pav. Eksperimentų rezultatai ir jų atvaizdavimo formos pasirinkimas (sudaryta autoriaus). ....	38
25 pav. Vandens suvilgyto paviršiaus ploto priklausomybė nuo laiko (sudaryta autoriaus).....	40

26 pav. Laivo korpusą veikiančio trinties pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus). .....	41
27 pav. Laivo korpusą veikiančio slėgio pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus). .....	42
28 pav. Laivo korpusą veikiančio bendro vandens pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus). .....	43
29 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>5,1 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	43
30 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>10,5 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	44
31 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>15,5 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	44
32 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>20,5 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	45
33 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>25,5 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	45
34 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant <b>28,3 m/s</b> greičiui (sudaryta autoriaus). .....	45

## TURINYS

<b>ĮVADAS</b> .....	10
<b>1. GREITAEIGIŲ LAIVŲ KORPUSŲ FORMOS OPTIMIZAVIMO TYRIMŲ LITERATŪROS ŠALTINIŲ ANALIZĖ</b> .....	13
<b>2. VANDENS PASIPRIEŠINIMO LAIVO JUDĖJIMUI ANALIZĖ</b> .....	17
2.1. Laivo pasipriešinimą sudarančios jėgos .....	17
2.2. Vandens pasipriešinimo vertinimo būdai glisuojančioms laivams.....	19
<b>3. GREITAEIGIŲ GLISUOJANČIŲ LAIVŲ SU REDANU KORPUSŲ MODELIAVIMAS</b> 24	
3.1. Glisuojančių korpusų su redanais pagrindiniai duomenys ir jų parinkimas .....	24
3.2. Korpuso modeliavimas „DelftShip“ programa.....	26
<b>4. GREITAEIGIŲ GLISUOJANČIŲ LAIVŲ KORPUSŲ, SU REDANU, MATEMATINIO EKSPERIMENTO SUDARYMAS „FLOW-3D“ PROGRAMA</b> .....	32
4.1. Greitaeigio glisuojančio laivo korpuso matematinio eksperimento sudarymas .....	32
<b>5. MATEMATINIO EKSPERIMENTO GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ</b> .....	40
5.1. Vandens suvilgyto paviršiaus ploto palyginimas.....	40
5.2. Vandens pasipriešinimas į laivo modelio korpusą.....	41
5.3. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi .....	43
<b>IŠVADOS</b> .....	47
<b>REKOMENDACIJOS</b> .....	48
<b>LITERATŪRA</b> .....	49
<b>PRIEDAI</b> .....	51

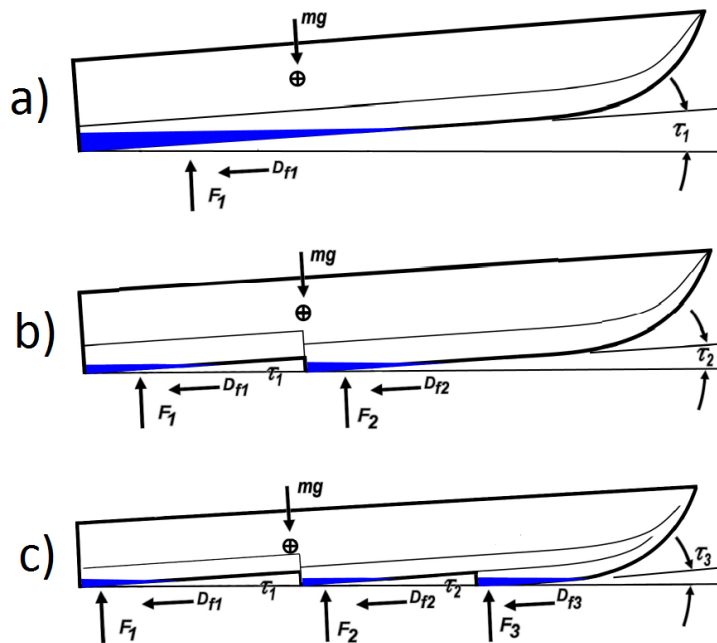
## IVADAS

Visais laikais vienas pagrindinių laivų projektavimo uždavinių buvo pasiekti kuo didesnę greitį sunaudojant kuo mažiau energijos t.y. degalų. Tačiau, didelis greitis aktualus ne visiems laivams. Tai aktualu tik tam tikros paskirties laivams, kad jie galėtų tenkinti šio tipo laivams keliamus reikalavimus pagal jų paskirtį. Pavyzdžiui, gelbėjimo laivų greitis turi būti atitinkamas, kad jie galėtų greitai judėti į iškvietimus, pakrančių patruliavimo ir kariniai laivai privalo būti pakankamai greiti, kad greitai reaguotų į įvairias iškilusias grėsmes, lenktyniniam laivams didesnis greitis - didesnis pranašumas laimėti ir galiausiai pramoginių laivų savininkams didesnis laivo greitis gali suteikti papildomą džiaugsmą ir adrenaliną. Projektuojant greitaeigius laivus, didelis dėmesys skiriamas laivo korpuso formai, nuo kurios priklauso kokios bus laivo jūrinės charakteristikos.

Šiai dienai yra išskiriami 3 pagrindiniai laivo korpuso tipai: judantys vandentalpiniame režime (*angl. Displacing hulls*), dalinai glisuojuojantys korpusai (*angl. semi-planing hulls*) ir glisuojuojantys korpusai (*angl. planing hulls*). Iš esmės, visi šie greitaeigių laivų korpuso tipai galėtų būti priskiriami prie judančių vandentalpiniame režime, bet tai būtų teisybė tik tada, kai laivas judėtų mažu greičiu ar nejudėtų visai. Glisuojuojančio korpuso forma, priešingai nei kitos 2, projektuojama tam, kad pasiekus tam tikrą greitį, būtų sukuriama hidrodinaminė jėga, dėl kurios laivo korpusas iškiltų į vandens paviršių arba kiltų link, ir juo slystų (glisuojuotų) taip sumažindamas vandens suvilgytą korpuso paviršiaus plotą, o tai reiškia mažesnę vandens pasipriešinimą ir galimybę pasiekti didenį greitį su tom pačiom kuro sąnaudomis. Tinkamai suprojektavus glisuojuojantį korpusą, esant atitinkamam greičiui, gali atsirasti hidrodinaminė jėga, kuri gali būti lygi 50 - 90% laivo svorio sukurtai hidrostatinei jėgai.

Yra atlikta nemažai tyrimų kaip būtų galima optimizuoti greitaeigių laivų korpuso formą siekiant sumažinti vandens pasipriešinimą ir padidinti plaukimo greitį. Iki šios dienos yra sukurta skirtingų korpuso konfigūracijų ir modifikacijų, tokių kaip: žiauna (staigus korpuso formos pokytis, žiūrint skersiniame laivo pjūvyje), redanai, sparnai ar specialūs oro kanalai, geresnėms jūrinėms charakteristikoms pasiekti. Iš šių sprendimų, redanas yra vienas efektyviausių. Pasiekus tam tikrą greitį, tam tikroje vietoje ant korpuso dugno nuo redano link laivagalio, atsiranda papildomas vandens nesuvilgytas plotas, o tai lemia mažesnę vandens pasipriešinimą bei sumažina laivo diferento kampą, kuris taip pat pagerina laivo stovumą.

Suprojektuoto greitaeigio laivo korpuso su redanais efektyvumas priklauso ne tik nuo jų formos, bet ir jų kiekio bei išdėstymo ant korpuso. (žr. 1 pav.)



1 pav. a-glisuojančio laivo korpusas be redanų; b-glisuojančio laivo korpusas su 1 redanu; c-glisuojančio laivo korpusas su 2 redanais. (Step Design in performance powerboats - by AeroMarine Research, 2014)

Todėl, norint sėkmingai suprojektuoti tokio tipo korpusą, dar pradinėje projektavimo stadijoje, būtina parinkti optimalų redanų skaičių ir išdėstymą laivo svorio centro koordinatės atžvilgiu. Šiai dienai metodų, skirtų apskaičiuoti šiuos parametrus, yra įvairių (modeliniai bandymai ar įvairūs empiriniai metodai), tačiau tai užima daug laiko ir papildomų sąnaudų bei yra gana sudėtingi. Šie metodai yra naudingi galutiniams patikrinamiesiems skaičiavimams atlikti. Tačiau dažnai, pradinėje projektavimo stadijoje, tokie tikslūs ir išsamūs skaičiavimai nėra būtini ir pakaktų parinkti jau apskaičiuotas optimalias reikšmes. Todėl, glisuojančių laivų su redanu (redanais) projektavime, aktualia tema laikoma optimalaus redanų kiekio ir jų išdėstymo ant korpuso parinkimo rekomendacijų sudarymas.

**Tyrimo objektas:** Greitaeigių glisuojančių laivų korpuso redanai.

**Darbo tikslas:** Ištirti, skirtingomis geometrinėmis charakteristikomis pasižyminčių greitaeigių laivų su redanais, vandens pasipriešinimo įtaką laivo judėjimui ir sudaryti rekomendacijas redano(-ų) optimalioms charakteristikoms parinkti.

**Tiksliui pasiekti keliami uždaviniai:**

1. Atlikti mokslinės literatūros šaltinių analizę glisuojančių laivų korpuso optimizacijos tematika.
2. Remiantis sėkmingai tokio tipo suprojektuotų laivų geometrinėmis charakteristikomis ir rekomendacijomis, sukurti skirtingus greitaeigio laivo korpusus su skirtingais redanų geometriniais parametrais.
3. Naudojant skaičiuojamosios skysčių dinamikos programą „Flow-3D“, sudaryti matematinį eksperimentą bei nustatyti, sumodeliuotų laivų korpusų su redanais, susidariusį vandens pasipriešinimą korpusui judant.
4. Išanalizuoti matematinio eksperimento metu gautus rezultatus.
5. Pateikti išvadas bei rekomendacijas.

**Tyrimo metodai.**

1. Mokslinės literatūros analizė.
2. Matematinis eksperimentas naudojant skaičiuojamosios skysčių dinamikos programą „Flow-3D“ programinę įrangą.

# 1. GREITAEIGIŲ LAIVŲ KORPUSŲ FORMOS OPTIMIZAVIMO TYRIMŲ LITERATŪROS ŠALTINIŲ ANALIZĖ

Vienas svarbiausių aspektų projektuojant laivus yra tinkamas korpuso geometrinės formos pasirinkimas. Projektuojant greitaeigio glisuojančio laivo korpusą, tai yra taip pat labai svarbus aspektas, nes nuo to priklausys suprojektuoto korpuso efektyvumas. Mokslininkai ir projektuotojai atlikdami matematinis ir fizikinius eksperimentus, keisdami ar koreguodami greitaeigių laivų korpuso formą, rado būdų, kaip padidinti laivo greitį nepatiriant papildomų energijos sąnaudų. Iš visų žinomų korekcijų, korpuso projektavimas su redanais reikalavo mažiausiai standartinių glisuojančių laivų korpuso formos pakeitimų, todėl paskatino mokslininkus dar plačiau analizuoti šią korpuso formą.

Filippo Cucinotta, Eugenio Guglielmino ir Felice Sfravara (2018) atliko išsamų skaičiuojamąjį ir eksperimentinį laivo modelio su redanais ir papildomu oro tiekimo į šias ertmes (*angl. Air Cavity Ship*) tyrimą. Fizikinis eksperimentas buvo atliktas ITTC bandymų baseine (*angl. International Towing Tank Conference*). Po to gauti duomenys buvo palyginti su duomenimis gautais atlikus matematinį eksperimentą skaičiuojamosios skysčių dinamikos metodu CFD (*angl. Computational Fluid Dynamics*). Tyrimo autoriai išskyrė 4 skirtingus intervalus, kuriuose esant skirtingoms Frūdo skaičiaus vertėms (nuo mažos iki labai didelės) keičiasi modelio vandens suvilgytas plotas, vandens pasipriešinimas, reikalingas oro srautas ir kiti parametrai. Gautos charakteristikos tik patvirtina tai, jog reikalingo oro srauto apskaičiavimas po korpusu tokio tipo laivams yra labai sudėtingas. Optimalus oro srautas priklauso nuo laivo greičio, o skaičiuojamosios skysčių dinamikos metodu gauti duomenys yra labai naudingi siekiant geriau suprasti šią priklausomybę. Metodika, kuri yra pateikta šio tyrimo ataskaitoje, gali padėti tyrinėjant oro įpurškimo technologiją, o ypač kai ji pritaikoma šiuolaikinių greitaeigių jachtų projektavime (Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F. 2018)

Agostino De Marco, Simone Mancini ir kt. (2017) atliko eksperimentą bandymų baseine su vieno redano korpuso laivo modeliu ramiaame vandenyje ir gautus duomenis pateikė ataskaitoje. Esant toms pačioms sąlygoms, buvo atliktas matematinis eksperimentas naudojant SSD skaičiavimų programą OpenFOAM, RANS (*angl. Reynolds Averaged Navier-Stokes*) ir LES (*angl. Large Eddy Simulations*) metodais. Buvo panaudoti 2 skirtingi tinklėlio sudarymo metodai (*angl. overset/chimera ir morphing*) esant skirtingam modelio greičiui. Gauti skaičiuojamieji duomenys atitiko duomenis gautus ekperimento metu (paklaidų ribose). Taip pat nustatyta, kad šiuo atveju sudarius tinklėlį *angl. Overset/chimera* metodu gauti duomenys buvo tikslesni. Taip pat autoriai pateikia rekomendacijas, kuriais SSD atvejais naudoti RANS ir LES metodus. Taip pat paaiškina, kokie privalumai ir trūkumai yra sudarant tinklėlį abiem aukščiau paminėtais metodais (De Marco A. ir kt., 2017)

William R. Garland ir kt. (2010) bandymų baseine atliko tyrimą modelio su glisuojančio laivo korpusu (standartiniu) ir modeliu su vienu redanu bei papildoma ventilacija redanui. Gautuose rezultatuose matyti, kaip nuo laivo korpuso formos priklauso vandens pasipriešinimas, vandens suvilgytas plotas, laivo diferentas ir kt. Iš atliktų bandymų ramiaje vandenyje matyti, kad korpusas su redanais yra daug pranašesnis už įprastą korpusą be redanų esant tam tikriems greičiams. Šiuo atveju naudojant korpusą su redanais pasipriešinimas, esant tam pačiam greičiui, buvo sumažintas beveik trečdaliu (Garland R.W. ir kt., 2010)

David Svahn (2009) savo baigiamajame magistro darbe pateikia sukurtą metodiką glisuojančių laivų su redanais vandens pasipriešinimui prognozuoti. Iki tol buvo sukurta tik keletas pasipriešinimo prognozavimo metodų, kurie buvo skirti tik korpusams be redanų. Vienas populiariausių ir garsiausių, tai 1964 m. sukurtas *angl. Savitsky* metodas. Būtent šį metodą pakoregavus ir remiantis kitomis teorijomis buvo sukurta metodika, tinkanti ir laivams su redanais. Metodikai sudaryti taip pat buvo panaudota daugiaplatformė MathWorks programinė įranga MATLAB, skirta įvairių mokslo šakų problemoms spręsti, ypač matematinėms (Svahn D., 2009).

Konstantin I. Matveev (2012) pateikia glisuojančių laivų su redanais 2D projektavimo metodiką. Ataskaitoje pateikiamia skaičiavimo metodika, kuri apskaičiuojama atsižvelgiant į korpuso formą ir Frūdo skaičių: galimoms vandens paviršiaus deformacijoms, vandens suvilgyto paviršiaus ir slėgio pasiskirstymo į korpusą. Taip pat pateikta metodika galima modeliuoti suslėgto oro ertmes, kurios pagerina hidrodinamines charakteristikas. Pagrindinis šio metodo privalumas gana tikslus vandens paviršiaus, apie glisuojančią korpusą, apskaičiavimas, o tai yra labai svarbu skaičiuojant sudėtingas korpuso sistemas (pvz. kai redanų yra daugiau nei 1). Lyginant su kitais metodais (pvz. empiriniais), šis metodas reikalauja daug mažiau skaičiavimų, dėl kurio jis labai tinka ir yra efektyvus pirminiams korpuso skaičiavimams (I. Matveev K., 2012).

M. Bakhtiari, S. Veysi, H. Ghassemi (2016) apibendrintai aprašė glisuojančių laivų su redanais ramiaje vandenyje 3D simuliaciją, naudojant skaičiuojamosios skysčių dinamikos metodą (*angl. CFD Computational Fluid Dynamics*). Korpusų su redanais turbulencijos skaičiavimams, redanų srityje, buvo naudota RANSE (*angl. Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations*) metodas ir ANSYS-CFX programinės įrangos įrankis. Gauti duomenis taip pat palyginami su duomenimis, gautais naudojant *Savitsky* empirines formules (Bakhtiari M., Veysi S., Ghassemi H., 2016).

M. Mehdi Doustdar ir Hamid Kazemi (2018) nagrinėjo, kokį poveikį, naudojant SSD modeliavimą, glisuojančių laivų su redanais hidrodinaminiam pasipriešinimui, turi tinklelio sudarymo metodo pasirinkimas. Atliktame tyrime naudojami du skirtingi tinklelio sudarymo metodai: fiksuoto (naudojant ANSYS-CFX SSD paketą) ir kintamo (naudojant STAR- CCM+ programinę įrangą). Tyrime ištirtos 3 skirtingos korpuso formos: korpusas be redanų, su vienu redanu ir dviem redanais. Remiantis gautais duomenimis nustatyta, kad kintančio tinklelio sudarymo metodas yra

daug tikslesnis, o gauti duomenys tiksliau atvaizduoja glisuojančio laivo su redanais elgseną vandenyje lyginant su fiksuoto tinklelio sudarymo metodu. Tačiau naudojant kintamo tinklelio sudarymo metodą, tyrimo sąnaudos yra daug didesnės. Todėl, pirminiam korpuso modeliavimui, pavyzdžiui, pirminėms laivo svorio centro koordinatėms nustatyti, rekomenduojama taikyti fiksuoto tinklelio sudarymo metodą (Mehdi Doustdar M., Kazemi H.,2018).

David Frisk ir Linda Tegehall (2015) baigiamajame magistro darbe „Greitaeigių glisuojančių laivų korpuso pasipriešinimo prognozavimas“ gana plačiai aprašo glisuojančio korpuso teoriją ir pagrindinius keliamus reikalavimus tokio tipo laivams. Taip pat pateikiama veiksmy seka atliekant matematinį eksperimentą SSD metodu (Frisk D., Tegehall L., 2015)

Garsus jachtų projektuotojas Michael Peters (2010) remiantis daugiame patirtinimi ir atliktais skaičiavimais, pateikia rekomendacijas parenkant redanų kiekį, jų idėstymą laivo svorio centro atžvilgiu, redanų formą. Taip pat pateikia sąrašą sėkmingai suprojektuotų greitaeigių jachtų ir jų technines bei jūrinės charakteristikas (Peter M., 2010).

Afshin Loni, Parviz Ghadimi ir kiti (2013) naudodami „*Savitksy*“ pasipriešinimo vertinimo metodą, ištyrė redano svarbą laivo korpuso pasipriešinimui judant. Tyrėjai nustatytė, kad didžiausią įtaką pasipriešinimui turi redano aukštis. Taip pat nustatyta, kad keičiant atstumą nuo laivagalio iki redano- keičiasi diferento kampas. Taip pat nuo šio atstumo priklauso energijos kiekis, kuris yra reikalingas norimam greičiui pasiekti.

Flavio Di Caterinoa, Rasul Niazmand Bilandi ir kt. (2018) atliko keletą matematinių eksperimentų SSD metodu, keisdami redano formą. Tuo siekdami rasti optimalius redano geometrinius parametrus, kurie pagerintų laivo stabilumą esant dideliems laivo greičiams. Skirtingų korpusų modelių parametrai pateikiami lentelėje, o gauti matematinio eksperimento duomenys buvo palyginti su empiriniais duomenimis (Di Caterinoa F., Niazmand Bilandi R. ir kt.,2018)

Tyrėjai iš Italijos E. Begovic, C.Bertorello ir S.Pennino (2014) atliko 4, skirtingą kyliškumo kampą turinčių, glisuojančių laivo modelių eksperimentinį jūrinį savybių tyrimą, esant reguliariam bangavimui. Tyrimas atliktas esant 3 skirtingiems judėjimo greičiams. Iš gautų duomenų nustatyta, kad pasiekus tam tikrą greitį ir esant skirtingoms kyliškumo kampo reikšmėms jūrinės charakteristikos skiriasi 10-20%. Didžiausias skirtumas (iki 50%) atsiranda modeliui greitėjant ir artėjant prie maksimalaus greičio. Gauti duomenys gali būti naudingi atliekant matematinį eksperimentą laivo jūrinėms charakteristikoms vertinti, naudojant SSD programinę įrangą (Begovic E., Bertorello C. ir Pennino S., 2014)

F Cucinotta, E. Guglielmino ir F Sfravara (2017) palygino 3 skirtingas jachtų korpuso formas su papildomom tiekiamo oro ertmėm ir be jų. Tyrimo eigoje pastebėta, kad projektuojant tokios formos korpusą, sunkiausia užtikrinti, kad kuo didesnis tiekiamo oro kiekis patektų po laivo korpusu. Nustatyta, kad sudarytas oro sluoksnis po korpusu nors ir sumažina vandens pasipriešinimo įtaką

laivo judėjimui, tačiau tai nesudarė didelės reikšmės hidrodinamės jėgos susidarymui tokio tipo laivams. Taip pat, tirtos korpuso formos, neturėjo reikšmingos įtakos laivo diferento kampui (Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F., 2017)

Visi aukščiau paminėti tyrėjai stengėsi kuo tiksliau iširti ir prognozuoti, kokios jūrinės charakteristikos bus pasiektos esant tam tikrai korpuso formai ir kitoms sąlygoms. Atlikus mokslinės literatūros analizę greitaiegių laivų korpuso formos optimizavimo tematika, matyti, kad didžioji dalis atliktų tyrimų buvo atlikti eksperimentinių bandymų baseinuose ir (arba) naudojant SSD principu veikiančią programinę įrangą. Nemažai tyrėjų aprašo vieną arba kitą tinklelio sudarymo metodiką, atliekant matematinį eksperimentą. Ši informacija gali būti naudinga atliekant matematinį eksperimentą „Flow-3D“ programine įranga, pasirenkant tinkamą tinklelio sudarymo metodą. Daugumoje straipsnių atliekami skaičiavimai ar palyginimai korpuso be redanų ir korpuso su vienu redanu. Ši palyginimo metodika gali būti naudinga atliekant laivo jūrinių charakteristikų palyginimą esant skirtingam redanų skaičiui ir išdėstymui.

## 2. VANDENS PASIPRIEŠINIMO LAIVO JUDĖJIMUI ANALIZĖ

### 2.1. Laivo pasipriešinimą sudarančios jėgos

Plaukdamas laivas patiria vandens ir oro pasipriešinimą. Didžiausias laivo pasipriešinimas pasireiškia laivo korpuso povandeninei daliai kontaktuojant su vandeniu. Plaukdamas laivas turi sukurti pakankamą energijos kiekį, kurio pakaktų išstumti prieš save esantį vandenį. Šis energijos dydis, kuris reikalingas vienam kelio vienetui nuplaukti, yra lygus vandens pasipriešinimui. Kadangi vandens tankumas yra maždaug 800 kartų didesnis už oro tankumą, todėl susidaręs oro pasipriešinimas, lyginant su vandens pasipriešinimu, sudaro mažą dalį viso laivo pasipriešinimo, todėl dažnai nevertinamas.

Laivą veikiantis vandens pasipriešinimas susideda iš 3 pagrindinių dedamųjų: trinties pasipriešinimas, formos pasipriešinimas ir bangavimo pasipriešinimas.

Trinties pasipriešinimas - šis pasipriešinimas atsiranda dėl vandens klampumo. Dėl šios vandens charakteristikos vandens dalelės, kurios yra arti laivo korpuso, juda mažesniais greičiais, nei tos esančios toliau. Taip susidaro pasienio sluoksnis. Šiame sluoksnyje veikia tangentiniai įtempimai tarp skirtingais greičiais judančių vandens dalelių. Šių įtempimų atstojamosios projekcija į laivo judėjimo kryptį ir yra trinties pasipriešinimas.

Formos pasipriešinimas- vandens srautui aptekant nelygumus esančius laivo povandeninėje dalyje pvz. įrangą, korpuso detales ir t.t. susidaro vandens sūkuriai, kurių susidarymui yra panaudojama energija. Didėjant greičiui didėja ir sūkurių ir jiems susikurti panaudojamas energijos kiekis. Taip pat ši pasipriešinimo dalis susidaro dėl pasienio sluoksnio atitrūkimo ties laivagaliu, hidrodinaminio pėdsako.

Bangavimo pasipriešinimas - laivui judant prie laivo korpuso vandens slėgis pakinta. Laivapriekyje ir laivagalyje vandens srauto greičiai yra dideli, tad tose vietose vandens slėgis yra didesnis - vandens lygis pakyla, kadangi atmosferinis oro slėgis veikiantis vandens paviršių išlieka vienodas. Laivo cilindrinę dalį vanduo apteka mažesniais greičiais- vandens lygis krenta. Pasikeitus greičiams sraute, persiskirsto ir slėgis išilgai laivo. Suprojektavę slėgio pokyčio atstojamąją į laivo judėjimo kryptį, turėsime bangavimo pasipriešinimą.

Eigumo uždaviniuose laivo greitaeigiškumas vertinamas ne pagal absoliutų greitį, o pagal santykinį - Frūdo skaičių. Šį dydį galima rasti dvejomis formulėmis. Formule (1) nusakomas laivo greitaeigiškumas, kai laivas nepereina į glisavimo režimą. Glisavimo režimas pasireiškia tada, kai laivui didinant greitį pradeda mažėti laivo grimzlė ir laivas pradeda slysti vandens paviršiumi. Formule (2) apskaičiuojama, kai laivas turi glisavimo režimą (Čerka, 2005). Paprastai teigiama, kad kai Frūdo skaičius  $Fr > 1,2$ , laivas yra glisavimo režime. Tačiau,  $Fr = 1$  taip pat gali būti minimali

riba glisavimo režimui, tai yra todėl, kad negalima nustatyti tikslios glisavimo režimo ribos remiantis vien tik Frūdo skaičiumi (Faltinsen, 2005).

Frūdo skaičius ( $Fr$ ) apskaičiuojamas pagal būdingą laivo ilgį :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (1)$$

čia,

$v$ - laivo greitis, m/s;

$g$ - laisvo kritimo pagreitis  $m/s^2$ ;

$L$ - būdingas laivo greitis, m.

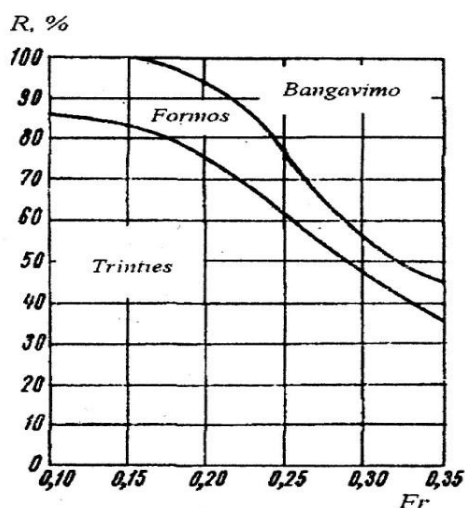
Frūdo skaičius ( $Fr_{\nabla}$ ) apskaičiuojamas pagal vandentalpą:

$$Fr_{\nabla} = \frac{v}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}} \quad (2)$$

čia,

$\nabla$ - laivo vandentalpa,  $m^3$ .

Kokią dalį vandens pasipriešinimo sudaro kiekviena iš pasipriešinimo dedamųjų dalių pavaizduota 2 pav. Horizontalioje grafiko ašyje nurodytas Frūdo skaičius, kuris nusako laivo greitaeigiškumą. Vertikalioje ašyje nurodyti procentai, kiek kiekviena iš pasipriešinimo dedamųjų dalių sudaro viso pasipriešinimo.



2 pav. Pasipriešinimo dedamosios priklausomai nuo Frūdo skaičiaus (Čerka, 2005).

Iš grafiko matyti, kad kai laivo greitis yra mažiausias, didžiausias pasipriešinimas (~85%) yra trinties, o formos pasipriešinimas sudaro tik ~15% viso pasipriešinimo. Laivo greičiui didėjant pradeda susidaryti laivinės bangos. Kai Frūdo skaičius pasiekia 0,35 reikšmę, bangavimo

pasipriešinimas sudaro apie pusę viso vandens pasipriešinimo. Tad, remiantis aukščiau pateiktu grafiku, matyti, kad optimizuojant laivų korpusus, kai  $Fr \geq \sim 0,35$ , reikia koncentruotis į trinties ir bangavimo pasipriešinimo mažinimą.

## 2.2. Vandens pasipriešinimo vertinimo būdai glisuojančioms laivams

Bendras laivo pasipriešinimo sumažinimas yra vienas pagrindinių projektuotojų tikslų, dėl ko sumažėja reikalingos energijos kiekis norimam greičiui pasiekti. Tačiau tai galima padaryti tik žinant bei įvertinus, kaip ir kokios jėgos veiks laivo korpusą. Tą galima gauti naudojant bet kurį iš šių vandens pasipriešinimo vertinimo būdų (Čerka, 2005):

- Modeliniai bandymai;
- Apskaičiuojama taikant apytikrius metodus;
- Atliekant matematinį eksperimentą, panaudojant SSD principu veikiančias programas.

### 2.2.1. Eksperimentinis(modelinis) .

Tai yra sumažinto laivo modelio eigumo tyrimas specialiame bandymų baseine (žr. 3 pav.). Šis bandymo metodas yra vienas patikimiausių ir yra taikomas daugumai korpusų formų (šiuo atveju ir glisuojančioms laivams). Gauti rezultatai yra pakankamai tikslūs ir yra laikomi tikslesniais jei lyginama su kitų bandymų rezultatais.



3 pav. Laivo modelio bandymų baseinas (Gdansk University of Technology, 2015)

Laivo modelis gaminamas kaip galima didesnio dydžio (priklausomai nuo bandymo baseino galimybių) siekiant gauti kuo tikslesnius duomenis ir sumažinti atsirandantį mastelinį efektą. Pagamintas modelis turi atitikti keliamus panašumo kriterijus (Čerka, 2005).

Tačiau šis tyrimo metodas ne visada yra geriausias sprendimas. Eksperimentui atlikti reikalingas specializuotas baseinas su brangia įranga parametrams stebėti, baseino eksploatavimas ir

priežiūra. Taip pat brangiai kainuoja tikslaus laivo sumažinto modelio gamyba, o projektuojant laivą, tenka patikrinti ne vieną jo korpuso formą. Dar viena išskylanti problema tai, kad po atliktų eksperimentų tenka kažkur sandėliuoti modelius. Todėl, dėl šių trūkumų, šis metodas taikomas tik atskirais atvejais.

### **2.2.2. Empirinis skaičiavimas.**

Šis metodas yra paremtas pasirinkta tam tikra metodika ir skaičiavimo formulėmis, kurios buvo gautos ar išvestos remiantis iš daugybės prieš tai atliktų panašių laivų eksperimentinių bandymų rezultatais. Tačiau, gauti rezultatai, naudojant šią metodiką, nėra labai tikslūs, todėl šis metodas dažniausiai naudojamas pirminiam arba preliminariam pasipriešinimo vertinimui.

Šiuo metu yra keletas pagrindinių empirinių metodų, kuriais galima įvertinti glisuojančių korpusų vandens pasipriešinimą laivui judant (Almeter, 2011).

- *Savitsky* metodas;
- *Shuford* metodas;
- *Lyubomirov* metodas.

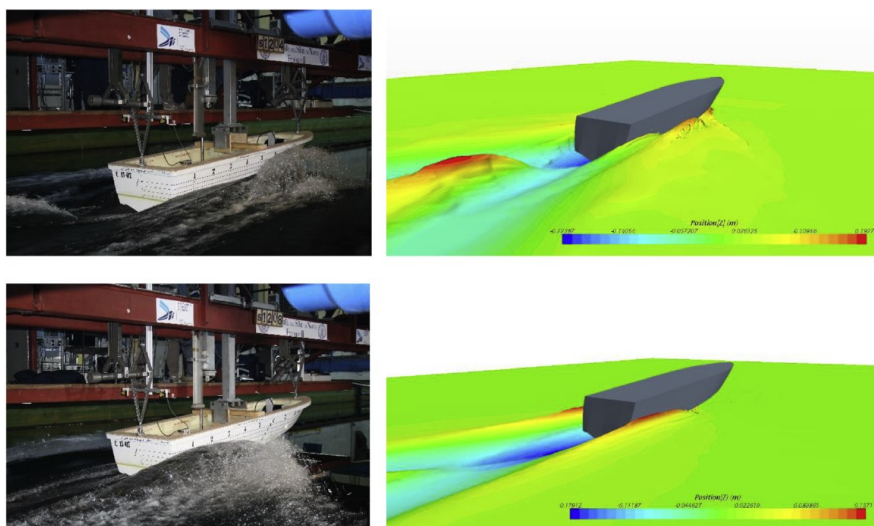
Gautų rezultatų paklaida, naudojant šiuos metodus, paprastai yra mažesnė nei 10%. Dar 1964m. sudarytas „*Savitsky*” metodas yra pats tiksliausias iš šių metodų, todėl šis metodas yra dažniausiai naudojamas. Šis metodas gali būti naudojamas bet kokio ilgio laivams. Šio metodo pagrindu buvo sukurta daug SSD programų. Šiame metode pateikiamos empirinės formulės, kurios aprašo laivo glisavimo režime atsirandančią hidrodinaminę jėgą, atsirandantį vandens pasipriešinimą korpusui judant, vandens suvilgytą paviršiaus plotą, laivo svorio centro koordinates ir glisuojančio laivo stabilumą, priklausomai nuo laivo greičio, diferento ir kreno kampo. Visi šie parametrai apjungiami ir pateikiama metodika reikalingam energijos kiekiui, diferento kampui (plaukiant), grimzlei ir stabilumui nustatyti bei įvertinti (Savitsky, 1964).

Modifikuojant šį metodą ir pritaikant kitas teorijas galima įvertinti ir glisuojančio laivo su redanais vandens pasipriešinimą korpusui judant (Svahn, 2009).

### **2.2.3. Matematinis eksperimentas naudojant SSD programas.**

Dar praėjusiame amžiuje SSD (*angl. Computational Fluid Dynamics*) paremti metodai jau buvo plačiai taikomi įvairiose srityse dėl vartotojui suprantamos kalbos ir padidėjusių kompiuterių galimybių, kurios suteikė galimybę spręsti daug sudėtingesnes fizines problemas su daugiau kintamųjų ir įvairesnėmis formomis. Dėl šių priežasčių, SSD metodai taip pat plačiai pradėti taikyti laivų projektavimo srityje, siekiant įvertinti įvairias būsimo laivo įvairias hidrostazines ir hidrodinamines charakteristikas.

Bendrai, SSD - tai sudėtingų matematinių modelių taikymas, siekiant įvertinti ir vizualizuoti, kaip elgsis dujos ar skysčiai tam tikroje terpėje ar esant tam tikroms sąlygoms. Naudojant SSD metodus laivų projektavime, siekiama įvertinti ir vizualiai atvaizduoti, kaip vanduo apteka laivą. Taip yra gaunama svarbi informacija apie laivo korpusą veikiančias jėgas, kaip jos pasiskirsto, galima prognozuoti laivo manevringumą esant tam tikroms sąlygoms (grimzlei, greičiui ir pan.), nustatyti reikalingą energijos kiekį pasipriešinimui su vandeniu įveikti ar prognozuoti bendras laivo hidrostazines ir hidrodinamines charakteristikas.

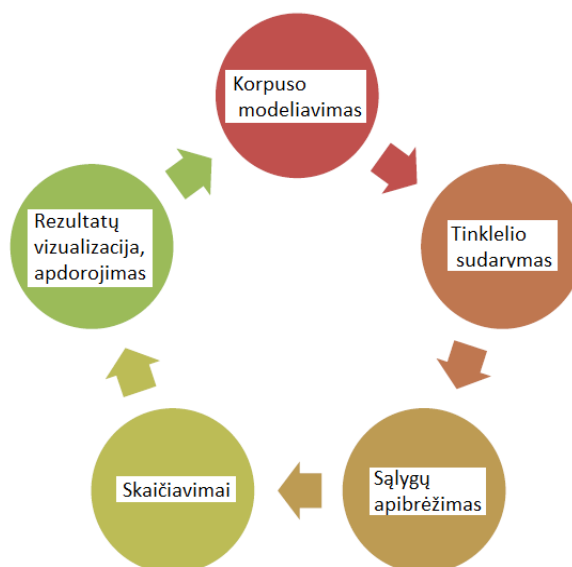


4 pav. Laivo hidrodinaminių sąvybių tyrimų bandymų baseine ir SSD palyginimas, esant skirtingiems laivo greičiams (Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F., 2017).

Šiai dienai didžioji dalis SSD metodų yra skirtų vandentalpiniame režime judantiems korpusams ir tik ne daugelis metodų gali būti pritaikyti glisavimo režime judančių laivų pasipriešinimui vertinti. Pagrindinė to priežastis yra tai, kad glisavimo režime judančių korpusų pasipriešinimo vertinimas yra daug sudėtingesnis, nei vandentalpiniame režime judančių korpusų. Vienos pagrindinių šiai dienai esančių programų yra:

- Ansys Fluent- tai BEM (baigtinių elementų metodu) paremtas metodas. Tai yra programos ANSYS papildomas paketas, skirtas būtent SSD uždaviniams spręsti.
- OpenFoam- tai yra atvirojo kodo SSD programinė įranga
- Flow-3D SSD programinė įranga.

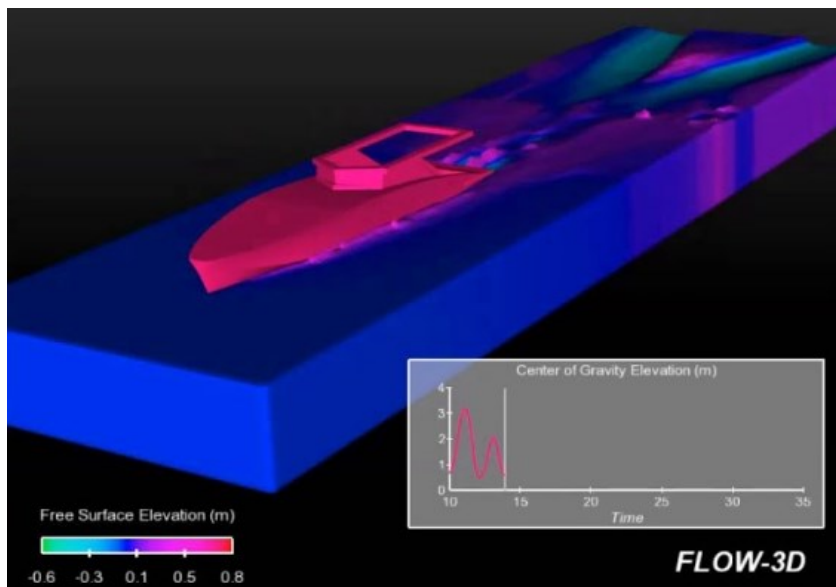
Kiekviena programinė įranga skiriasi savo galimybėmis pritaikant tam tikroje srityje. Vienos gali būti specializuotos tam tikriems skaičiavimas atlikti (pvz. pasipriešinimui skaičiuoti), o kitos būti universalios. Tačiau, kiekvienas matematinis eksperimentas, atliktas SSD metodu, sudarytas iš 5 pagrindinių žingsnių (žr. 5 pav.)



5 pav. SSD matematinį eksperimentą sudarantys etapai (sudaryta autoriaus).

1. Korpuso modeliavimas-tai laivo (ar kito objekto) korpuso modelio kūrimas, naudojant vieną iš daugelio automatizuotų laivų korpos kūrimo programų.
2. Nuo tinklelio tankio priklausys gautų duomenų tikslumas. Kompiuterių galimybės yra ribotos, todėl tinklelį reikia sudarinėti racionaliai. Vietose, kur reikalinga gauti kuo daugiau informacijos apie įvairių parametru pasikeitimus, tinklelis turi būti tankesnis, o mažiau svarbiose vietose-retesnis.
3. Įvairių kintamųjų (temperatūros, medžiagos, slėgio ir pan.) apibrėžimas.
4. Matematinio eksperimento skaičiavimas.
5. Gautų rezultatų vizualizacija, kuriuose matyti skirtumai tarp tam tikrų fizikinių parametru tam tikrose zonose.

Atliekant, skirtingomis geometrinėmis charakteristikomis pasižyminčių glisuojančių korpusų su redanais, vandens pasipriešinimo įvertinimą, bus panaudota SSD programinė įranga Flow-3D, kuri suteikia galimybę įvertinti laivo hidrodinamines charakteristikas esant skirtingoms sąlygoms bei prognozuoti laivo elgseną jam judant įvairiuose režimuose: vandentalpiniame, pusiau glisuojančiame ar glisuojančiame.



6 pav. Glisuojančią korpusą veikiančios hidrodinaminės jėgos vertinimas SSD programa Flow-3D (Flow-3D, 2019)

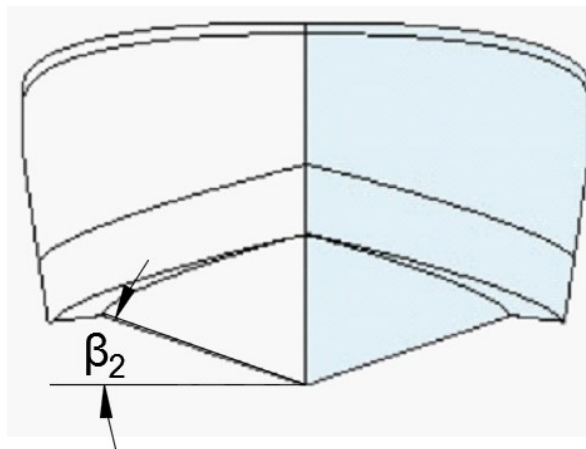
Naudojant šią programą bus bandoma nustatyti ir vizualiai atvaizduoti, kokią įtaką vandens pasipriešinimui turi skirtingas redano išdėstymas korpuse.

### 3. GREITAEIGIŲ GLISUOJANČIŲ LAIVŲ SU REDANU KORPUSŲ MODELIAVIMAS

#### 3.1. Glisuojančių korpusų su redanais pagrindiai duomenys ir jų parinkimas

##### Korpuso forma

Beveik visų greitaeigių glisavimo režime plaukiančių laivų korpusas yra „V“ formos (žr. 7 pav.). Glisuojančių laivų su redanais korpuso forma taip pat yra „V“ formos, tačiau papildomai šie korpusai yra su tam tikromis išpjovomis-redanais, kurios padalija korpuso dugno paviršiaus plotą į dvi ar daugiau dalių (žr. 1 pav.).



7 pav. Glisuojančių laivų „V“ korpuso forma (sudaryta autoriaus).

##### 3.1.1. Redano forma

Redanas gali būti padarytas tiesiog skersai laivo korpuso dugno (1 pav.) arba, dažniausiai naudojamas, iš abiejų pusių nedideliu ( $10-15^\circ$ ) kampu leidžiantis link kilio ir artėjantis link laivagalio, žr. 8 pav. (Danielsson J., 2012). Dėl šios redano konfigūracijos bus įsiurbtas didesnis oro kiekis esant didesniems greičiams, nes bus sumažintas patekimo į oro ertmę kampas artėjančiam oro srautui. Ties vaterlinija išpjova turi būti platesnė, kad glisavimo režime būtų įsiurbtas didenis kiekis oro į redaną ir sukurtų oro pagalvę po dalimi korpuso (Варанов, 1978).



8 pav. Glisuojančių laivų redano vieta svorio centro atžvilgiu bei forma (sudaryta autoriaus).

Kitas svarbus redano formos parametras yra jo aukštis. Kuo redano aukštis yra didesnis, tuo sukuriama didesnis oru tepamas paviršiaus plotas, dėl kurio praeis mažesnis vandens srautas ir gali būti sukurta per maža hidrodinaminė jėga. Dėl to, parenkant projektuojamo redano aukštį, naudojama informacija sėkmingai suprojektuotų korpusų bei lyginama. Tada, remiantis turima informacija, parenkamas tinkamas redanų aukštis. Kai planuojama korpusą projektuoti su redanais, rekomenduojama, kad minimalus jų aukštis turėtų būti 40mm, kitu atveju nebūtų tikslinga naudoti redanų (Багахов, 1978).

### **3.1.2. Vietinio diferento kampas**

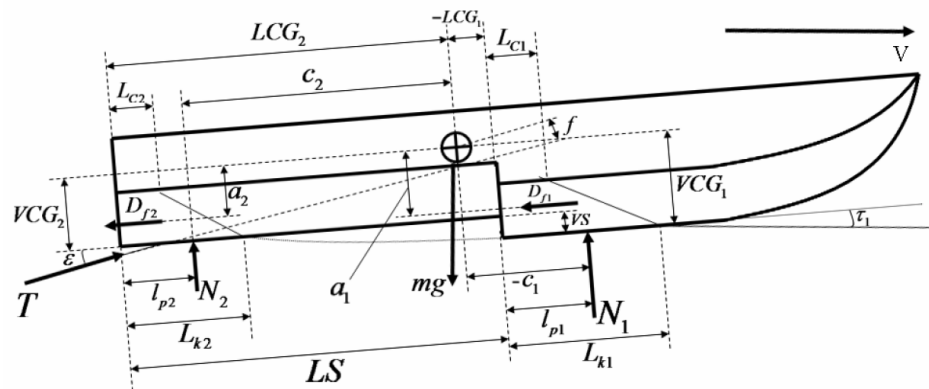
Šis parametras nurodo kampą tarp redano paviršiaus ir linijos, kuri sutampa su horizontu (1 pav.,  $\tau_1$ ). Yra atlikta nemažai tyrimų ir nustatyta, kad optimalus glisuojančių laivų su redanais vietinis diferento kampas yra 1-3° (Danielsson J., 2012)

### **3.1.3. Korpuso kiliškumas**

Tai yra kampas tarp korpuso dugno ir horizontalios plokštumos, skersiniame laivo pjūvyje, žr.7 pav. Korpusai, kurių forma „V“ formos, yra mažiau jautrūs jūrinėms bangoms, panašiai kaip automobilio pakaba, kuri sušvelnina važiavimą duobėtu keliu. Tačiau, tokios formos korpusas, padidina vandens suvilgyto paviršiaus plotą, dėl ko padėdėja vandens pasipriešinimas. Greitaeigių glisuojančių laivų, kurių masė yra 4000 - 5000 kg, o ilgis 8 -12m, optimalus kiliškumo kampas  $\beta_2=20-25^\circ$  (Svahn D., 2009).

### **3.1.4. Redano(-ų) išdėstymas ant korpuso**

Nuo to, kaip jie bus išdėstyti ir kokia jų forma, priklausys kokio dydžio ir kurioje korpuso vietoje veiks atsiradusi hidrodinaminė jėga. Redanų padėtis laivo korpuse yra susijusi su laivo svorio centro koordinate LCG. Dar vienas korpuso su redanais privalumas yra tai, kad projektuotojui suteikiama daugiau lankstumo laive išdėstant įrangą, nes pasikeitus masės centrui redanų pozicija ant korpuso būtų pakeista atitinkamai taip pat. Glisuojančioms laivams be redanų, rekomenduojama, kad svorio centro koordinatė  $LCG_2 = (0,36 \div 0,41) \cdot L$ , kur  $L$ - laivo ilgis[m]. Glisuojančiam laivo korpusui su vienu redanu, rekomenduojama, kad redanas būtų nutolęs nuo laivo svorio centro koordinatės į laivapriekį atstumu:  $LCG_1 = (0,20 \div 0,25) \cdot LCG_2$ , žr. 9 pav. (Багахов, 1978).



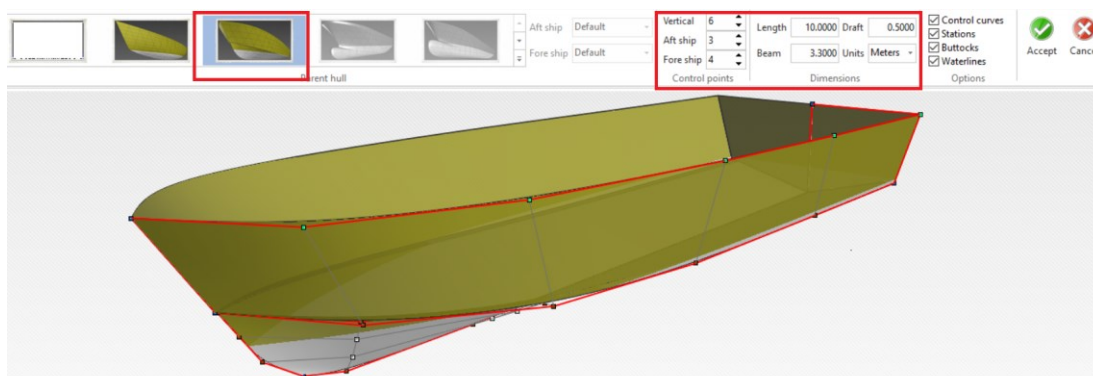
9 pav. Glisuojančio laivo su vienu redanu pagrindiniai matmenys (Svahn D., 2009).

Remiantis aukščiau aprašyta informacija ir rekomendacijomis, projektuojant glisuojančių laivų korpusus su redanais, automatizuota laivų korpuso modeliavimo programa „DelftShip“, bus sumodeliuoti 3 modeliai: glisuojančio laivo korpusas be redanų ir 2 glisuojančių laivų korpusai su skirtingu redano išdėstymu laive.

### 3.2. Korpuso modeliavimas „DelftShip“ programa

„DelftShip“ - specializuotas programinės įrangos paketas, leidžiantis pakankamai greitai ir kokybiškai kurti trimates laivo korpuso formas ir atlikti stovumo ir neskęstamumo skaičiavimus. Programa turi nemokamai platinamą versiją, kuri turi plačias korpuso formos kūrimo galimybes, įskaitant modelių saugojimą ir eksportavimo į kitą failo plėtinį. Pavyzdžiui, laivo korpuso linijų bei tinklų eksportavimo į CAD sistemą ar „.stl“ plėtinį, kurį palaiko SSD principu veikiančios programos

Modeliavimas pradamas nuo naujo failo kūrimo. Programo automatiškai suteikia galimybę pasirinkti bazinį, šiuo atveju glisuojančių laivų (*angl. Planing hull*), korpuso modelį, žr. 10 pav:



10 pav. Pradinių laivo korpuso duomenų nustatymas ir formos parinkimas (sudaryta autoriaus).

Tame pačiame lange parenkamas koregavimo taškų skaičius, įvedami pagrindiniai laivo geometriniai parametrai: ilgis, plotis bei grimzlė. Programa atitinkamai pakoreguoja pasirinktą bazinį laivo modelį pagal nustatytus duomenis.

Šiam tyrimui bus sumodeliuoti 3 skirtingi laivo korpuso modeliai. Pradiniai laivo modelių duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Pradiniai modeliuojamų korpusų duomenys.

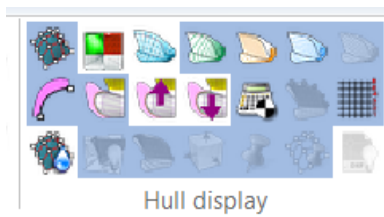
Nr.	Aprašymas	L, m	B, m	d, m	LCG1, m	LCG2, m	VCG1, m	Laivo greitis, m/s (mazgai)	Redano aukštis, m	Korpuso kiliškumas, °
1	Be redanų	8	2,5	0,54	-	2,7	1	28,3 (55)	-	24
2	Su 1 redanu-A				0,540				0,058	
3	Su 1 redanu-B				0,675					

Bazinis modelio korpusas parinktas iš „DelftShip“ duomenų bazės. Tada remiantis 3.1 punkte aprašytais rekomendacijomis, pakoreguojama korpuso forma bei sumodeliuojamas redanas.

### 3.2.1. Greitaeigio glisuojančio laivo korpuso be redanų modeliavimas.

Pasirinkus bazinį glisuojančių laivų korpuso modelį, pagal 1 lentelėje pateiktus duomenis pakoreguojami pagrindiniai laivo matmenys. Programa atitinkamai pakoreguoja modelį.

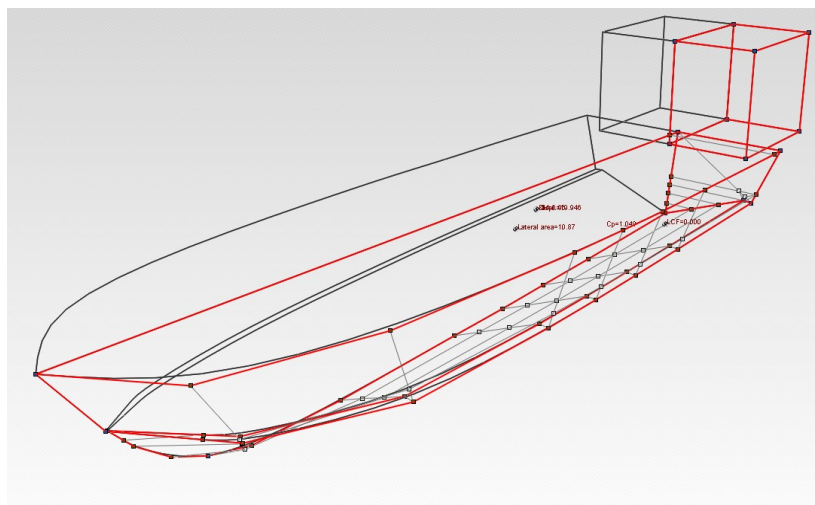
Ant pakoreguoto modelio iškart pavaizduota įvairių spalvų linijų: kontrolinis tinklelis, teoriniai batoksai, teoriniai špangautai, teorinės vaterlinijos ir kt. Šiuos tinklelius įjungti arba išjungti galima pažymint arba atžymint dešiniajame viršutiniame kampe esančias ikonas. Taip pat tame pačiame pasirinkimų lange galima įjungti arba išjungti kitus korpuso modelio atvaizdavimo įrankius.



11 pav. Korpuso modelio atvaizdavimo įrankiai „DelftShip“ programoje (sudaryta autoriaus).

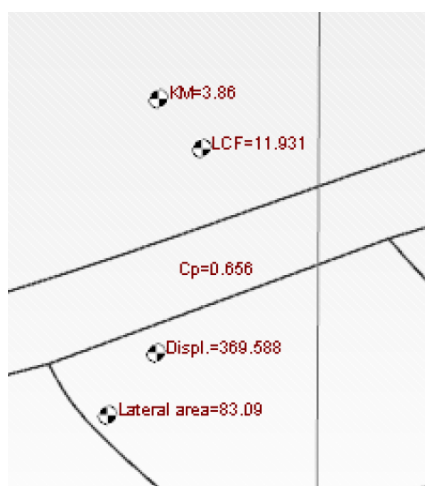
Naudojant kontrolinius taškus yra koreguojamas modelio korpusas pagal pateiktas rekomendacijas bei išlaikant pradinius duomenis. Pakoreguojamas laivo kiliškumas taip, kad su plokštuma sudarytų ~24° kampą. Laivo viršus uždaromas sukuriant naują paviršių, tai yra svarbu toliau atliekant SSD eksperimentą su šiuo modeliu. Tam, kad sukurti naują paviršių, reikia paspausti klavišą „Ctrl.“ laikant jį, reikia pasirinkti eilės tvarka (kitais paviršius išeis netaisyklingas) taškus, kurie sudarys mūsų paviršių ir paspaudžiant ikoną *home -> Add-> Create Ne Surface*.

Rekomenduojama, kad glisuojančioms laivoms be redanų, svorio centro koordinatė būtų  $LCG_2 = (0,36 \div 0,41) \cdot L$ , kur L- laivo ilgis [m]. Dėl šios priežasties papildomai prie laivagalio sumodeliuojamas fiktyvi masė, kad svorio centro koordinatė pasistumtų link laivagalio. Tada  $LCG_2 = 2,7m$



12 pav. Glisuojančio korpuso modelio kontrolinės linijos su pridėta papildoma masė laivagalyje (sudaryta autoriaus).

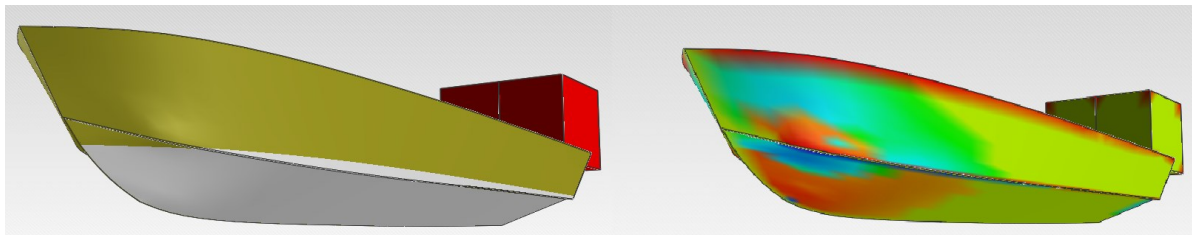
Keičiant laivo modelio kontrolinių taškų koordinates, taip pat iškart pasikeičia ir laivo jūrinės bei geometrinės charakteristikos. Tokios charakteristikos, kaip: KM - laivo metacentrinis aukštis [m], LCF- vandentalpos centro aplikatė [m],  $C_p$  - išilginio pilnumo koeficientas, Displ.- vandentalpa [ $m^3$ ], Lateral area - šoninio paviršiaus plotas [ $m^2$ ], yra tiesiog atvaizduojamos ant korpuso modelio, atitinkamoje vietoje.



13 pav. Kintančių laivo korpuso geometrinių charakteristikų atvaizdavimas (sudaryta autoriaus).

Pakoregavus laivo modelio korpusą, būtina patikrinti ar gautas paviršius yra sklandus. Laivo modelio paviršius turi būti aptakios formos. Netiksliai suprojektuotas korpusas gali neigiamai įtakoti

SSD matematinio eksperimento rezultatus. Tai galima patikrinti naudojant Gauso kreivumo vizualizavimo būdą. Ši programos funkcija parodo sumodeliuotų paviršių išgaubimą ir įgaubimą skirtingomis spalvomis, leidžia kontroliuoti paviršiaus kreivumą,



14 pav. Laivo korpuso sklandumo patikrinimas Gauso kreivumo būdu (sudaryta autoriaus).

Laivo modelis turi būti koreguojamas tol, kol gautas paviršius yra sklandus ir neigiamai neįtakos rezultatų, gautų iš tolimesnių skaičiavimų.

Kai laivo modelio korpusas tapo sklandus ir atitinko pradinės laivo geometrinės charakteristikas, atliktas papildomas skaičiavimas sumodeliuoto korpuso tikslumui patikrinti: *Calculations and extensions -> Design Hydrostatics*. Gautus duomenis galima išsaugoti .pdf formatu. Gauti duomenys (žr. 15 pav.) turi atitikti su pradiniais laivo modelio duomenimis.

Design hydrostatics report



## Design hydrostatics report

Designer	Created by	Comment	Filename
			1 modelis - be redanu - KOREGAVIMUL.fbm
<b>Design length</b>	8.000 (m)	<b>Midship location</b>	4.000 (m)
<b>Length over all</b>	9.510 (m)	<b>Relative water density</b>	1.0250
<b>Design beam</b>	2.500 (m)	<b>Mean shell thickness</b>	0.0000 (m)
<b>Maximum beam</b>	2.729 (m)	<b>Appendage coefficient</b>	1.0000
<b>Design draft</b>	0.540 (m)		

Volume properties		Waterplane properties	
Moulded volume	3.638 (m <sup>3</sup> )	Length on waterline	7.503 (m)
Total displaced volume	3.638 (m <sup>3</sup> )	Beam on waterline	2.266 (m)
Displacement	3.728 (tonnes)	Entrance angle	42.760 (Degr.)
Block coefficient	0.3368	Waterplane area	14.929 (m <sup>2</sup> )
Prismatic coefficient	0.7479	Waterplane coefficient	0.7465
Vert. prismatic coefficient	0.4512	Waterplane center of floatation	3.301 (m)
Wetted surface area	17.443 (m <sup>2</sup> )	Transverse moment of inertia	5.661 (m <sup>4</sup> )
Longitudinal center of buoyancy	3.399 (m)	Longitudinal moment of inertia	58.435 (m <sup>4</sup> )
Longitudinal center of buoyancy	-8.011 %		
Vertical center of buoyancy	0.380 (m)		

15 pav. Sumodeliuoto laivo korpuso geometrinės charakteristikos „DelftShip“ programoje (sudaryta autoriaus).

Remiantis sumodeliuotu laivo modeliu, automatiškai paruošiamas modelio korpuso teorinis brėžinys: *Tools->-Line plan*.

Galiausiai, visa sumodeliuoto korpuso geometroja eksportuojama į STL plėtinį, kurį palaiko SSD programa „Flow-3D“: *Save -> Export -> STL*.

### 3.2.2. Greitaeigio glisuojančio laivo korpuso su 1 redanu modeliavimas.

Šios formos korpuso baze paimtas 3.2.1 punkte aprašytas korpuso modelis. Visi pradiniai duomenys išliko tokie patys tik papildomai prisidėjo pagrindiniai redano duomenys, kurie pateikti 1 lentelėje.

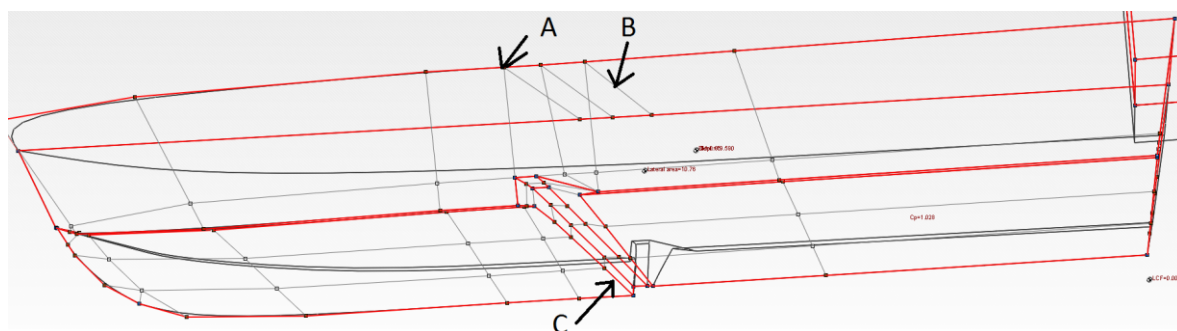
Pirmiausia buvo sumodeliuotas korpusas su vienu redanu (A tipas), kuris nuo laivo svorio centro koordinatės į laivapriekį nutolęs atstumu:

$$LCG_1 = 0,2 \cdot LCG_2 \quad (3)$$

$$LCG_1 = 0,2 \cdot 2,7 = 0,540m$$

Redanui sumodeliuoti, ties laivo viduriu buvo sukurta papildomų kontrolinių taškų ir kontrolinių linijų. Tai galima padaryti pasirinkus jau esamą liniją ir panaudojus įrankį *Home-> Split*. Pažymėjus du taškus ir panaudojus įrankį *Home-> insert*, įterpiama papildoma kontrolinė linija. Tada, pasirinkus tam tikras kontrolines linijas, atskirsime redano lužio linijas *Home-> Crease*.

Galiausiai, keičiant įterptų papildomų kontrolinių taškų koordinatas, modeliuojama redano forma, remiantis 3.1 poskyryje pateiktomis rekomendacijomis ir 1 lentelės pradiniais duomenimis.



16 pav. Redano modeliavimas. A-papildomas kontrolinis taškas; B-papildoma kontrolinė linija; C-papildoma lužio linija (sudaryta autoriaus).

Sumodeliavus redaną, taip pat kaip ir korpusui be redanų, buvo patikrinta ar gautas paviršius yra sklandus ir aptakios formos. Taip pat atliktas papildomas skaičiavimas sumodeliuoto korpuso tikslumui patikrinti, sugeneruotas laivo teorinis brėžinys ir failas eksportuotas į STL plėtinį.

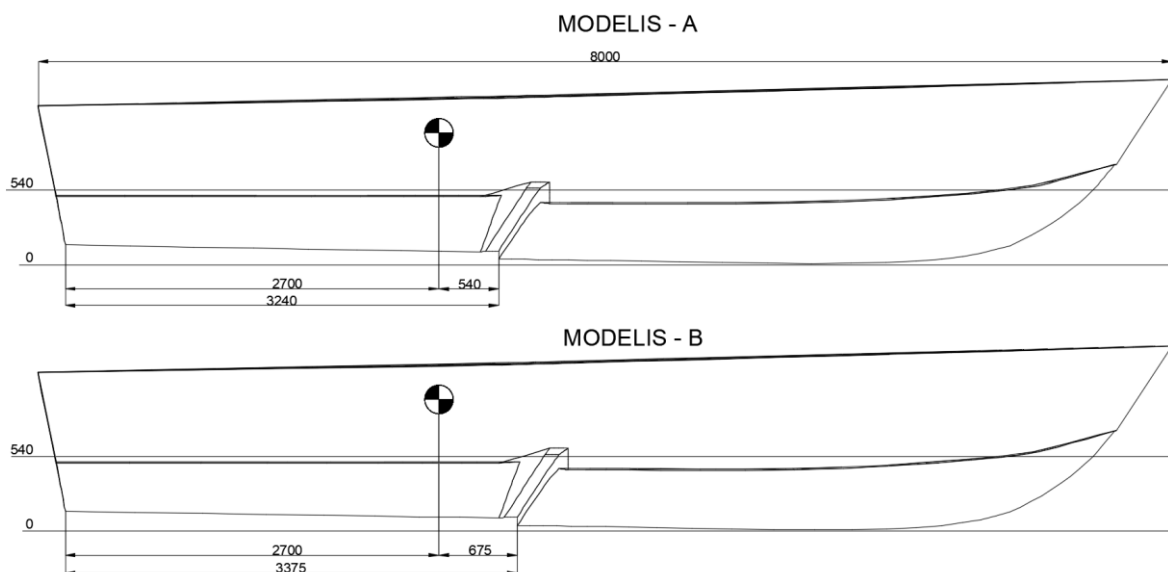
Galiausiai sumodeliuotas paskutinis glisuojančio laivo korpuso modelis su redanu - B tipas. Vienintelis skirtumas tarp A ir B konfigūracijos korpuso modelių yra tai, kad B konfigūracijos atveju, laivo svorio centro koordinatė į laivapriekį nutolusi atstumu:

$$LCG_1 = 0,25 \cdot LCG_2 \quad (4)$$

$$LCG_1 = 0,25 \cdot 2,7 = 0,675m$$

B konfiguracijos modeliui (kaip be redanų ir A tipo modeliams), atlikti visi aukščiau išvardyti patikrinimai ir veiksmai.

Sudarytų A ir B modelių šoninis vaizdas pateiktas 17 pav.



17 pav. Sudarytų A ir B laivo modelių šoninis vaizdas (sudaryta autoriaus).

Kaip matyti iš aukščiau pateikto paveikslo, vienintelis skirtumas tarp šių modelių yra atstumas nuo svorio centro koordinatės iki redano. Toliau, naudojant sudarytus modelius, bus sudarytas matematinis eksperimentas.

## **4. GREITAEIGIŲ GLISUOJANČIŲ LAIVŲ KORPUSŲ, SU REDANU, MATEMATINIO EKSPERIMENTO SUDARYMAS „FLOW-3D“ PROGRAMA**

Didžiosios dalies SSD programinės įrangos veikimas pagrįstas naudojant skirtingus matematinis modelius. Nuo to, kokia programa bus naudojama, priklausys gauti rezultatai ir jų tikslumas, todėl, atliekant matematinį eksperimentą, svarbu pasirinkti tinkamą programą.

Greitaeigių glisuojančių laivų korpusų, su redanu, matematiniam eksperimentui sudaryti buvo naudojama SSD programa „Flow-3D“. Šia programa galima sudaryti matematinį eksperimentą nenaudojant kitų papildomų programų. Pakanka turėti tik laivo modelį eksportuotą į STL plėtinį. Taip pat šia programa lengva apdoroti ir analizuoti gautus rezultatus. Laisvajam paviršiui stebėti, eksperimento metu yra naudojamas TruVOF algoritmas. Eksperimento skaičiavimo metu pateikiami vizualūs rezultatai, kurie padeda geriau suprasti eksperimento metu vykstančių fizikinių procesų eigą tam tikro laiko momentu.

Kaip ir minėta aukščiau, labai svarbu pasirinkti tinkamą programą eksperimentui sudaryti. Tačiau dar vienas labai svarbus kriterijus, nuo kurio tiesiogiai priklauso gautų rezultatų tikslumas-teisingas eksperimento sudarymas.

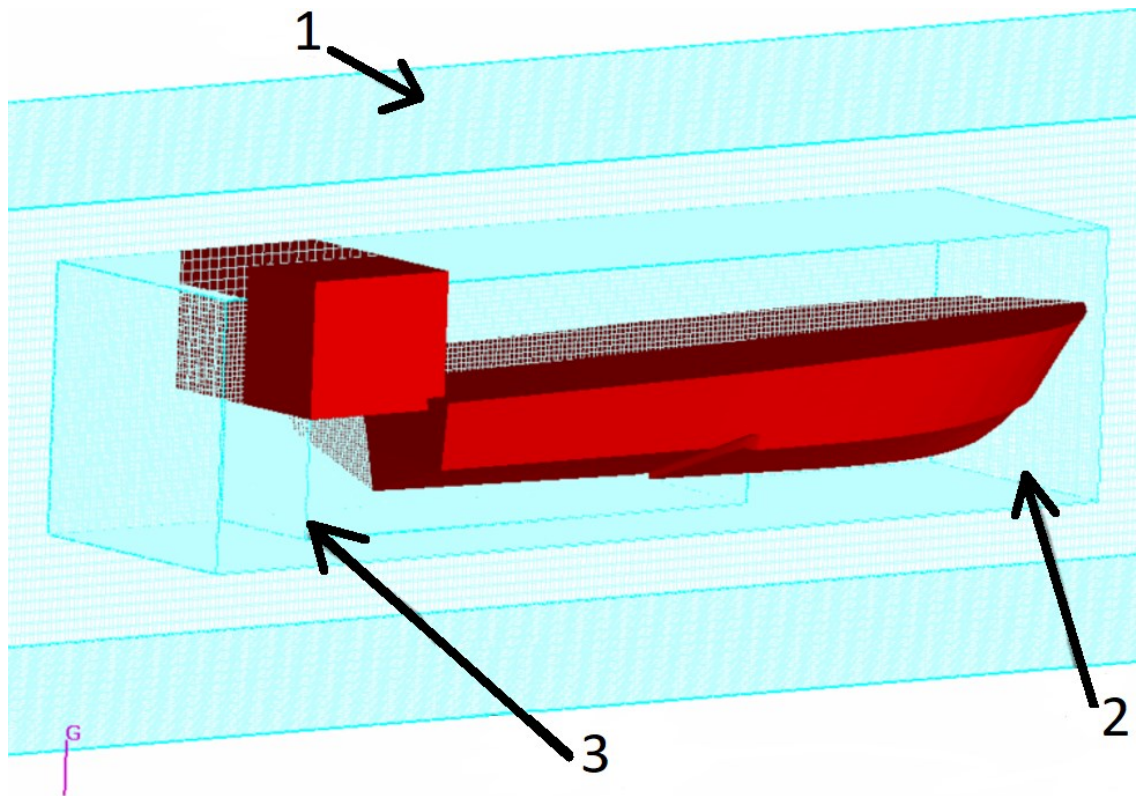
### **4.1. Greitaeigio glisuojančio laivo korpuso matematinio eksperimento sudarymas**

Matematinio eksperimento sudarymo seka „Flow-3D“ programa:

1. Pirmiausia reikia sukurti naują darbo aplinką, kurioje bus atliekamos visos matematinio eksperimento simuliacijos. Tai galima padaryti spaudžiant dešinę pelės mygtuką ant *Default Workspace* ir pasirenkant *New Workspace*. Po to dešinio pelės mygtuko paspaudimu, ant jau sukurtos naujos darbo aplinkos, pridedama nauja simuliacija (*Add New Simulation*).
2. Tuomet paspaudus *Model setup->General->* nustatome pagrindinius eksperimento parametrus:
  - *Finish time* nustatoma virtuali eksperimento trukmė (šiuo atveju 30 s). Atliekant kitas matematinio eksperimento simuliacijas, šią trukmę bus galima koreguoti atitinkamai nuo to, kiek laiko reikia, kad eksperimento rezultatai nusistovėtų.
  - Taip pat šiame lange pasirenkama atliekamo eksperimento matavimo sistema (SI) ir temperatūros matavimo vienetai (šiuo atveju pagal Celcijų).

3. Prieš eksperimentą būtina nustatyti fizikinius parametrus, kurie priklauso nuo atliekamo eksperimento specifikos:
  - *Model setup -> Physics-> Gravity and Non-Inertial Reference Frame* - nustatoma tai, kad simuliacijos metu bus įvertintas greitaigio katerio korpuso judėjimas z ašimi,  $g = -9,81 \text{ m/s}^2$
  - *Model setup -> Physics-> Viscosity and Turbulence->Viscous Flow* uždedama varnelė, kad simuliacijos metu būtų įvertintas nustatyto skysčio klampumas.
  - *Model setup -> Physics-> Moving and Simple Deforming Objects* - nustatoma, kad simuliacijos metu būtų įvertinamas laivo korpuso geometrijos judėjimas ir dėl vandens pasipriešinimo susidariusio slėgio veikimas į jį. Taip pat tame pačiame lange pažymime varnele *Implicit*.
4. Nustatomi skysčio, kuriame bus patalpintas greitaigio katerio korpusas, parametrai. (šiuo atveju vanduo 20 °C). Tai galima padaryti *Model setup -> Fluids->Fluid 1 ->Load material properties* bei iš sąrašo pasirinkus norimą skystį.
5. Nustačius pagrindinius fizikinius ir kitus parametrus, įkeliamas laivo korpuso modelis STL formatu, kuris buvo sumodeliuotas „DelftShip“ programa (žr. 3.2.1 ir 3.22 punktus). Tai galima atlikti *Model setup -> Meshing & Geometry->Import STL file*. Įkėlus laivo korpuso modelį, atliekami šie veiksmai:
  - Vienas svarbiausių kriterijų, nuo kurio priklauso eksperimento tikslumas, yra teisingas tinklelio bloko(-ų) sudarymas. Tinklelio blokas- tai simuliacinė skysčio srauto erdvė, kurioje bus patalpintas greitaigio katerio korpuso geometrijos modelis, STL formatu. Šiuo atveju sukurti 3 tinklelio blokai su atitinkamais pavadinimais: *Mesh block 1*, *Mesh block 2* ir *Mesh block 3*. Tai galima padaryti *Model setup -> Meshing & Geometry* kairėje lango pusėje paspaudus *Show The Mesh Window* ir atsiradusį “+” ženklą dešinėje lango pusėje.

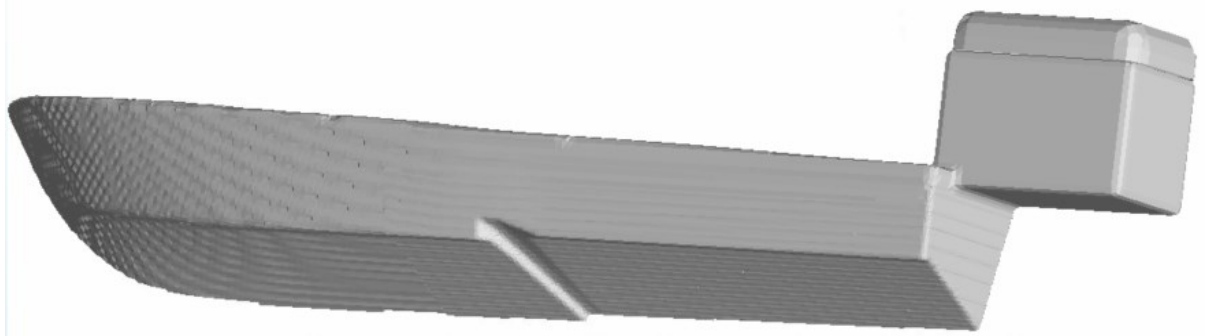
Atsižvelgiant į matematinio eksperimento tikslą ir norimus gauti rezultatus, parenkamas tinklelio blokų geometrinis dydis ir tikslumas taip, kad būtų atkartotos kuo realesnės sąlygos, o per mažos tinklelio blokų ribos neįtakotų eksperimento rezultatų. Bendras tinklelių blokų išdėstymas pateiktas 18 pav.



18 pav. Tinklelių blokų išdėstymas „Flow-3D“ programoje (sudaryta autoriaus).

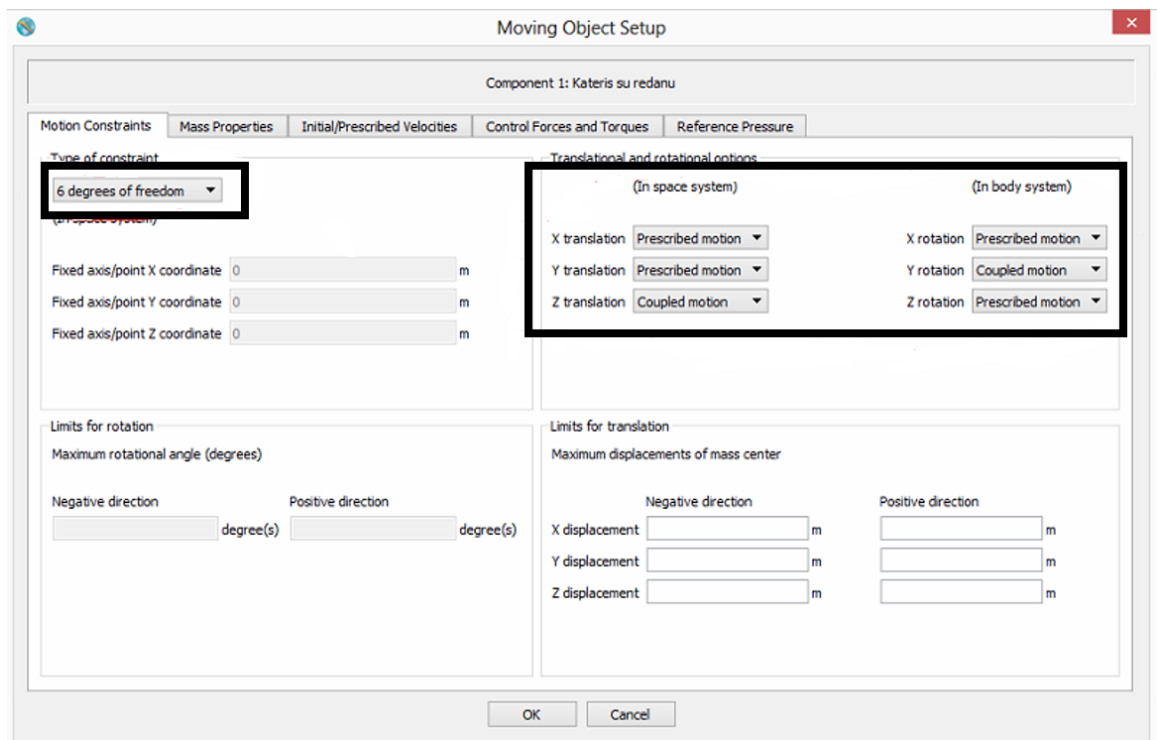
Pats stambiausias ir dižiausias tinklėlis yra *Mesh block 1* (nr. 1), *Mesh block 2* yra 4 kartus tankesnis tinklėlis už pirmąjį. Pats smulkiusias tinklėlis yra *Mesh block 3*, net 16 kartų mažesnis nei *Mesh block 1* tinklėlis. Tai yra dėl to, kad jis yra redano zonoje, kuri ir yra tirama šiame tyrime. Tinkleliai parenkami ir patalpinami taip, kad viena korpuso pusė būtų jų ribose, o kita pusė už jų ribų. Tokiu atveju bus tirama tik viena greitaegio katerio korpuso pusė, o kita judės analogiškai. Tai yra daroma siekiant sumažinti eksperimento skaičiavimo laiką.

6. Būtina patikrinti ar sukurtų tinklelių tankis yra pakankamas ir tiksliai yra atkuriamos laivo korpuso geometrinės formos. Ypač svarbu patikrinti vietas su staigiais perėjimais (šiuo atveju redano zoną). Tai galima padaryti paspaudus *Model setup -> Meshing & Geometry -> FAVOR->Render*. Aproximuota laivo korpuso geometrija pateikta 19 pav.



19 pav. Aproximuota laivo korpuso geometrija (sudaryta autoriaus).

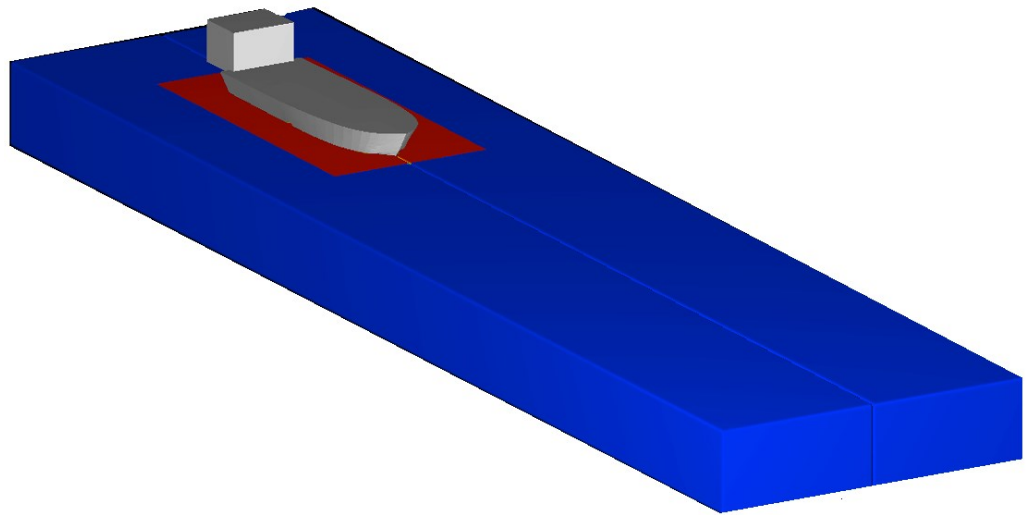
7. Nustatomas laivo korpusą aptekančio skysčio srauto greitis ir bangas absorbuojančias zonas:
  - *Model setup -> Meshing & Geometry* kairėje lango pusėje paspaudus *Show The Mesh Boundaries Window ->Mesh block 1->Boundaries->V->X Max ->Specified Velocity-> X Velocity* nustatomas aptekančio vandens srauto greitis m/s. Šiuo atveju nustatomas pradinis -5,1 m/s (10 mazgų) greitis.
  - Nustatome bangas absorbuojančią zoną- *Model setup -> Meshing & Geometry* kairėje lango pusėje paspaudus *Show The Mesh Boundaries Window ->Mesh block 1->Boundaries->V->X Min* pažymime varnele *Outflow*.
  - *Show the Initial window->Global->Velocities->X direction* ir įvedame pradinį greitį (-5,1m/s). Vanduo tekės x ašies atžvilgiu kryptimi iš „+“ į „-“ Greitis nurodomas su minuso ženklu, taip nurodant teisingą vandens tekėjimo kryptį greitaeigio katerio korpuso atžvilgiu.
8. Nustatomas vaterlinijos aukštis nulinės koordinatės atžvilgiu. Kadangi STL failas buvo perstumtas 2m Z ašimi, todėl *Show the Initial window->Global->Fluid initialization->Initial fluid elevation* nustatomas 2,54m vandens lygis. Taip pat pasirenkame *Use fluid elevation*.
9. Pasirenkama, kokie fizikiniai parametrai bus analizuojami eksperimento metu bei kokių intervalu bus fiksuojami ir saugomi rezultatai *Model setup -> Output* bei pažymimi šie parametrai:
  - *Fluid velocities;*
  - *Hydraulic data*
  - *Pressure.*
  - *Select data interval* pasirenkama 1 s.
10. Parenkami paties korpuso judėjimo nustatymai. Tai galima padaryti *Meshing and Geometry* ir pasirinkus įkeltą modelį, skiltyje *Component Properties* pasirenkama *Moving Object->Moving object Properties->Edit*.



20 pav. Laivo korpuso judėjimo nustatymų parinkimas (sudaryta autoriaus).

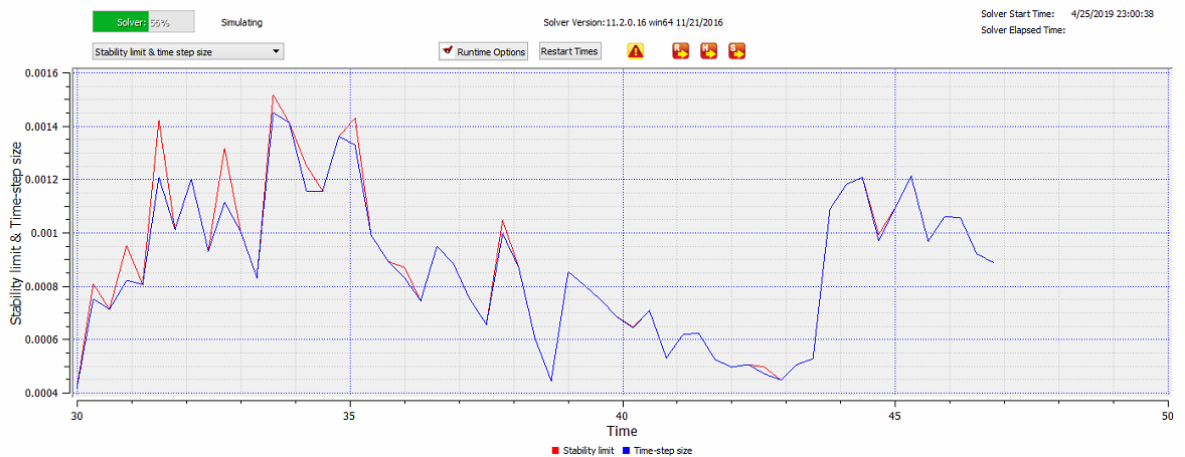
*Motion Constrains*->*Type of Constraint*, parenkamas kūno laisvės laipsnių skaičius - 6, bet suvaržant judėjimą, kuris nereikalingas atliekant eksperimentą. Šiuo atveju *Motion Constrains*->*Translational and rotational options* nustatome, kad laivas galėtų judėti Z ašimi vertikaliai ir sukstis Y ašimi). Jei objektui leidžiama judėti ašimi nustatoma *coupled motion*, jei neleidžiama - *prescribed*, žr. 20 pav. Taip pat skiltyje *Mass properties*-> *Mass density* nustatome laivo korpuso medžiagos tankį, šiuo atveju  $206 \text{ kg/m}^3$ .

11. Patikrinama ar matematinis eksperimentas sudarytas teisingai bei nėra jokių loginių klaidų ir simuliaciją bus galima atlikti sėkmingai. Tai programa padaro automatiškai paspaudus *Simulate*-> *Preprocess Simulation*->*Local* .
12. Atlikus eksperimento patikimumo patikrinimą, dar prieš paleidžiant simuliaciją, galima pamatyti vizualų simuliacijos vaizdą ir eksperimento ribas: *Analyze*->*3D*->*Render* , žr. 21 pav.



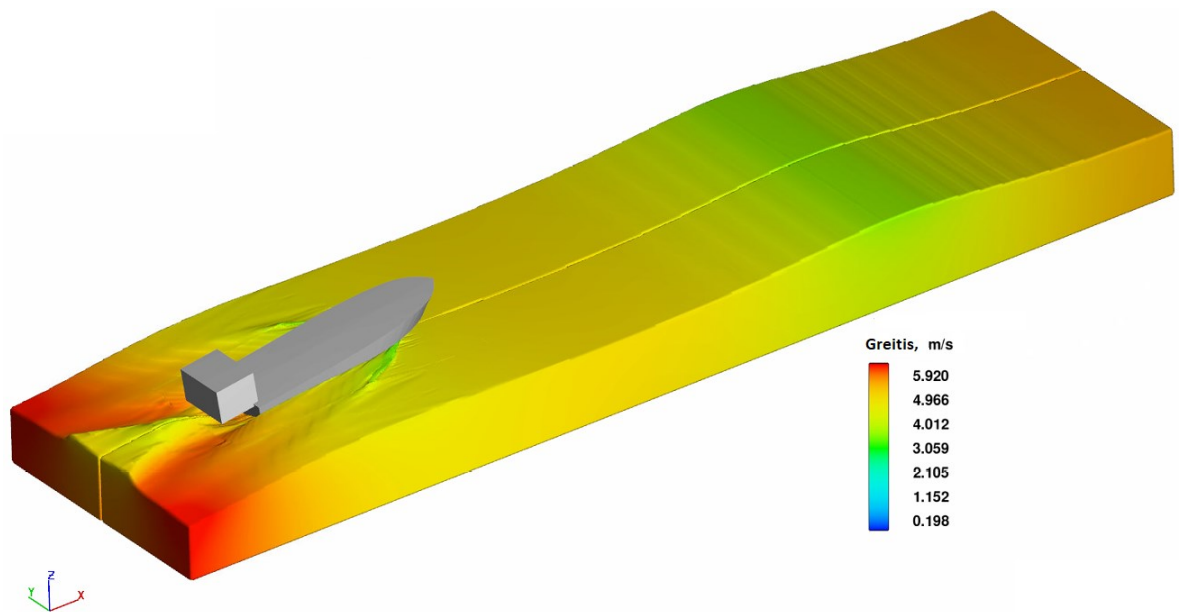
21 pav. Vizualizuota eksperimento erdvė prieš simuliaciją (sudaryta autoriaus).

13. Jei, 10 punkte patikrinus sudaryto eksperimento patikimumą, nebuvo nustatyta jokių klaidų, pradedama eksperimento simuliacija *Simulate*->*Run Simulation*. Simuliacijai prasidėjus, nustatytu greičiu, laivo korpusą pradeda aptekėti vandens srautas, kuris yra nukreiptas į laivapriekį. Eksperimento skaičiavimų metu galima stebėti, kaip laikui einant keičiasi įvairūs parametrai (vandens pasipriešinimas į korpusą, vandens tūrio kitimas, suvilgytas paviršiaus plotas ir kt.). Visus šiuos parametrus galima stebėti pagrindiniame programos lange.



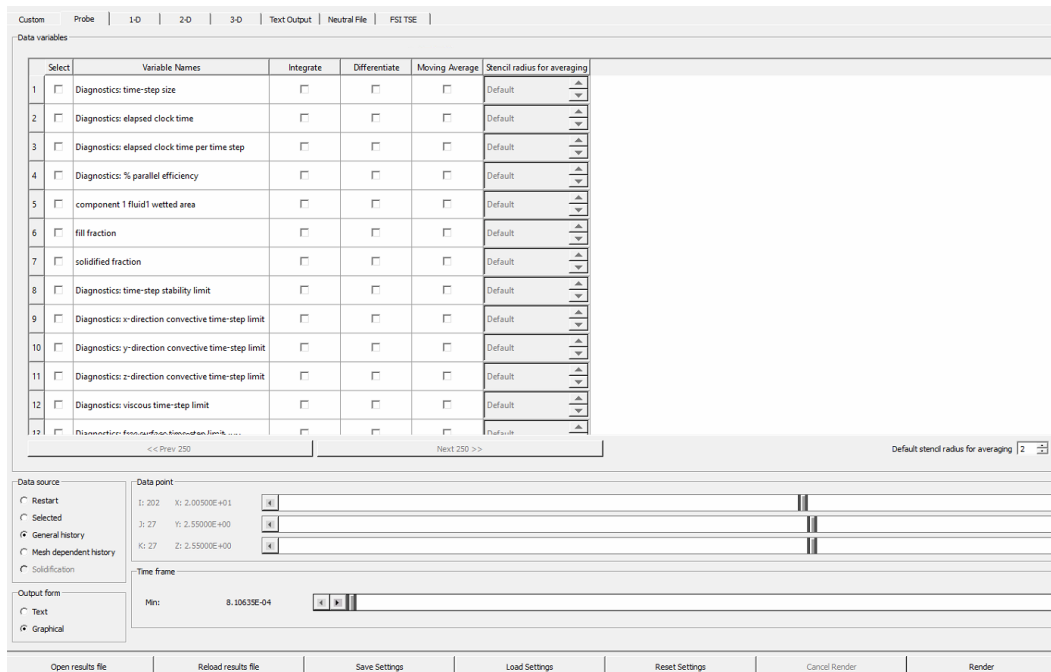
22 pav. Parametrų kitimo grafinė vizualizacija laikui bėgant (sudaryta autoriaus).

Eksperimento metu įvairių parametrų pokytį stebėti realiu laiku galima ne tik grafine, bet ir vizualizuota 3D išraiška (žr. 23 pav.)



23 pav. Korpusą aptekančio vandens srauto greičių pasiskirstymas eksperimento metu (sudaryta autoriaus).

14. Pasibaigus simuliacijai, eksperimento rezultatai gaunami *Analyze->Probe, Data Source->General History, Output files->Text* (arba *Graphical*) bei *Data variables* pažymėjus varnele tuos kintamuosius, kurių rezultatus norima gauti. Tada, apatinėje užduočių juostoje, paspaudus mygtuką *Render* sugeneruojami norimi duomenys pagal nustatytus kriterijus ir formą (žr. 24 pav.). Gautų rezultatų 3D vizualizaciją galima gauti 12 punkte aprašytu būdu pasirinkus atitinkamų duomenų stebėjimą.



24 pav. Eksperimentų rezultatai ir jų atvaizdavimo formos pasirinkimas (sudaryta autoriaus).

Skaičiavimai buvo atlikti su 2 skirtingais greitaeigių glisuojančių laivų korpusų modeliais (žr. 2 ir 3 priedus). Kadangi darbe didžiausias dėmesys skiriamas korpusui su redanu, o korpuso be redanų modelis buvo reikalingas tik kaip šablonas korpusams su redanais sumodeliuoti, todėl su šiuo korpusu skaičiavimai nebuvo atliekami ir pateikiami. Bendrai buvo atlikta 14 skaičiavimų, esant skirtingam vandens srauto greičiui. Naudoti vandens srauto greičiai, skirtingais matavimo vienetais, pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Eksperimente naudojami vandens srauto greičiai

Matavimo dydis	Greitis						
	<b>m/s</b>	5.1 - 28.3	5.1	10.5	15.5	20.5	25.5
<b>km/h</b>	18.5 - 101.9	18.5	37.8	55.8	73.8	91.8	101.9
<b>Mazgai</b>	10.0 - 55.0	10.0	20.4	30.1	39.8	49.6	55.0
<b>Frūdo sk.</b>	0.4-2.3	0.4	0.9	1.3	1.7	2.1	2.3

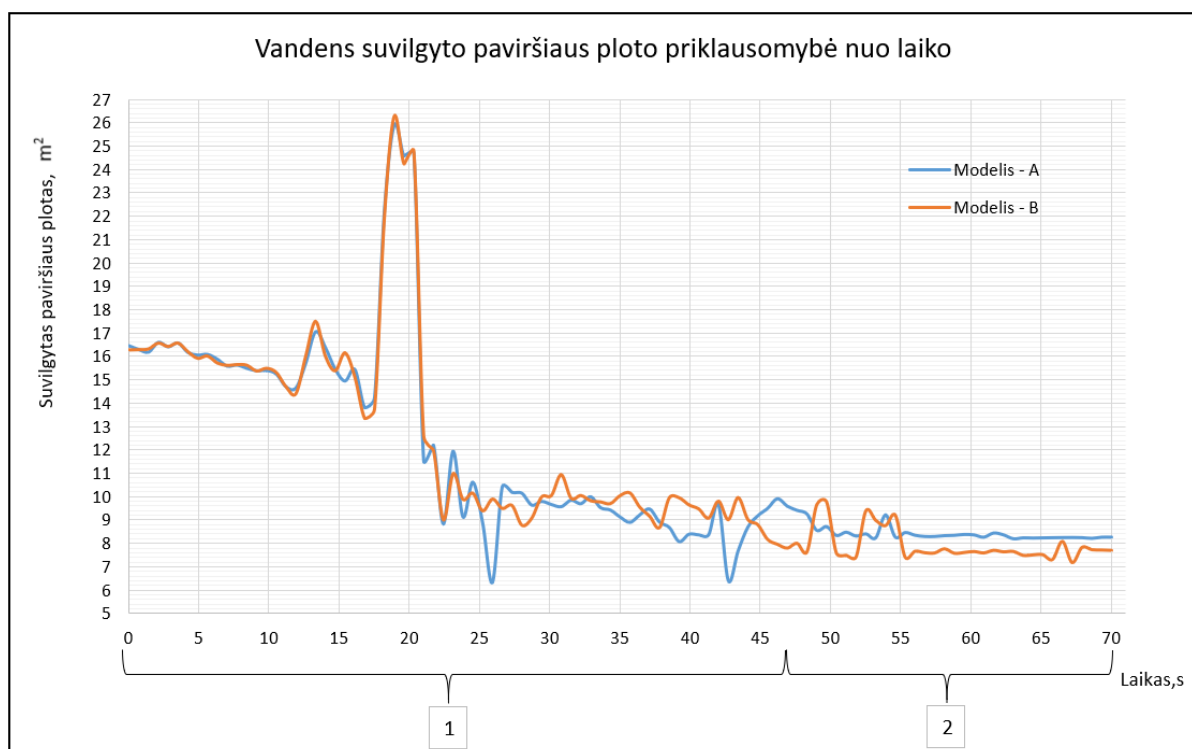
Pradėjus skaičiavimus pastebėta, kad skaičiuojant kiekvieno modelio vandens pasipriešinimą esant tam tikram greičiui bei reikiamo tikslumo tinkleliui, laiko sąnaudos yra per didelės. Tinklelio tikslumo keisti nebuvo galima, nes tada gauti rezultatai nebūtų tikslūs. Todėl, nuspręsta pirmiausia su kiekvienu laivo modeliu atlikti eksperimentą naudojant grubesnę tinkelį, kurio metu korpusą aptekancio vandens srauto greitis intervale  $5,1-28,3\text{m/s}$  ( $10-55$  mazgai) laikui bėgant didėtų pagreičiu  $0,5\text{m/s}^2$ , tada simuliaciją pakartoti esant nusistovėjusiems vandens srauto greičiams ( $5,1\text{m/s}$ ,  $10,5\text{m/s}$ ,  $15,5\text{m/s}$ ,  $20,5\text{m/s}$ ,  $25,5\text{m/s}$ ,  $28,3\text{m/s}$ ) bei smulkesniam tinkleliui.

## 5. MATEMATINIO EKSPERIMENTO GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikus vandens pasipriešinimo skaičiavimus „Flow-3D“ programa, abiem greitaėigių glisuojančių laivų su redanu modeliams, buvo gauti rezultatai, kurie pateikti baigiamojo dabro prieduose. Gauti rezultatai bus lyginami tarpusavyje, išskiriami pagrindiniai skirtumai ir panašumai, dėl kurių padidėja arba pamažėja vandens pasipriešinimas laivo korpusui judant. Kadangi eksperimento metu skaičiavimai buvo atliekami tik vienai laivo korpuso pusei (žr. 4.1 poskyrį, 5 punktą), todėl gauti rezultatai buvo padauginti iš dviejų.

### 5.1. Vandens suvilgyto paviršiaus ploto palyginimas

Yra žinoma, kad vandens pasipriešinimas laivo korpusui judant, priklauso nu vandens suvilgyto paviršiaus ploto t.y. jam didėjant, didėja ir vandens pasipriešinimas. „Flow-3D“ programa buvo atliktas eksperimentas vandens suvilgyto paviršiaus ploto priklausomybei nuo laiko nustatyti. Eksperimento pirmąsias 45s modelį aptekančio vandens srauto greitis kito 5,1-28,3m/s pagreičiu 0,5m/s<sup>2</sup> (žr. 25 pav. intervalą „1“), tada likusias 23s pastoviu 28,3m/s greičiu (žr. 25 pav. intervalą „2“).



25 pav. Vandens suvilgyto paviršiaus ploto priklausomybė nuo laiko (sudaryta autoriaus).

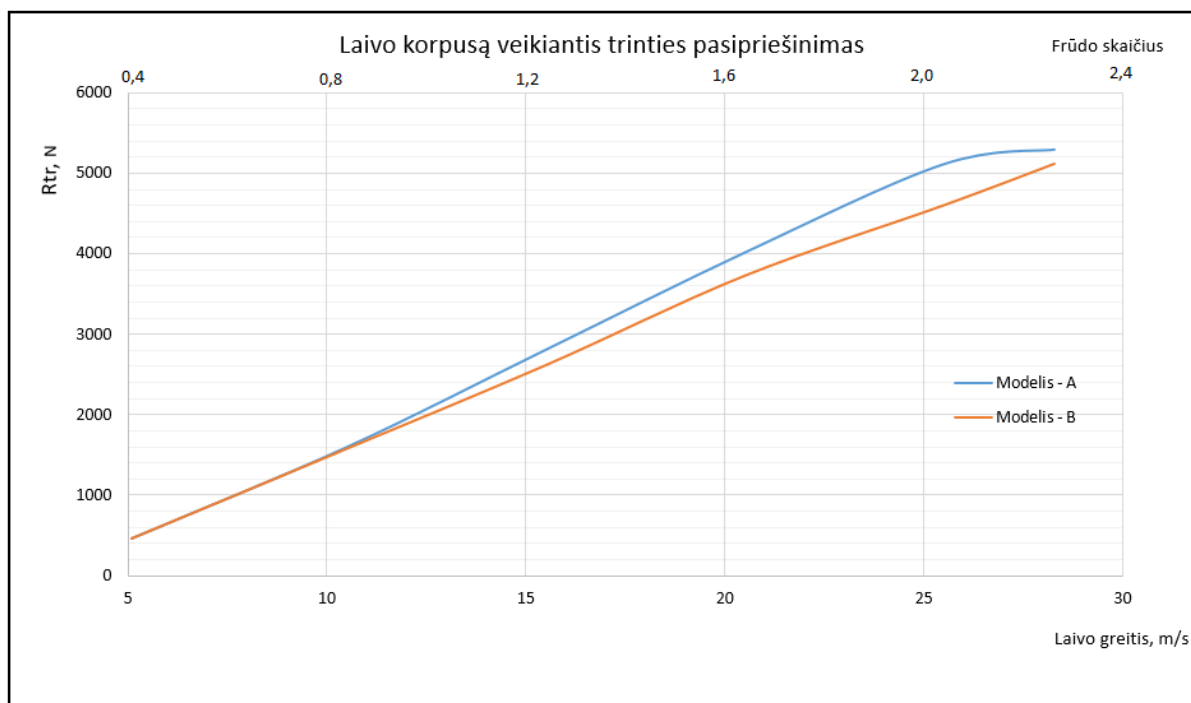
Aukščiau pateiktame 25 pav. matyti, kad 17-21s vandens suvilgyto paviršiaus plotas padidėja beveik dvigubai. Tai įvyko dėl laivo modelio susidūrimo su banga, tačiau toliau modelis grįžta į

nusistovėjusią būseną. Taip pat matyti, kad nuo eksperimento pradžios iki ~23s, vandens suvilgyto paviršiaus plotas sumažėjo beveik ~40% bei abiejų modelių vandens suvilgyto paviršiaus plotas tam tikru laiko momentu vidutiniškai skyrėsi tik 1,5 %, o laiko intervale ~23 - 70s vandens suvilgyto paviršiaus plotas sumažėjo tik 20-25% bei kiekvieno modelio vandens suvilgyto paviršiaus plotas tam tikru laiko momentu vidutiniškai skyrėsi ~10 %. Tai reiškia, kad nuo ~23 eksperimento sekundės (greitis ~16,5m/s) laivo modelis pilnai pereina į glisavo režimą ir skirtingas redano išdėstymas ant laivo korpuso turi įtakos vandens suvilgytam korpuso paviršiui.

Remiantis 25 pav. pateiktais rezultatais matyti, kad laiko intervale 55-70s bei esant pastoviam 28,3m/s (55 mazgų) greičiui, modelio - B vandens suvilgyto paviršiaus plotas yra ~8,2% mažesnis nei modelio - A, taigi mažesnis ir vandens pasipriešinimas.

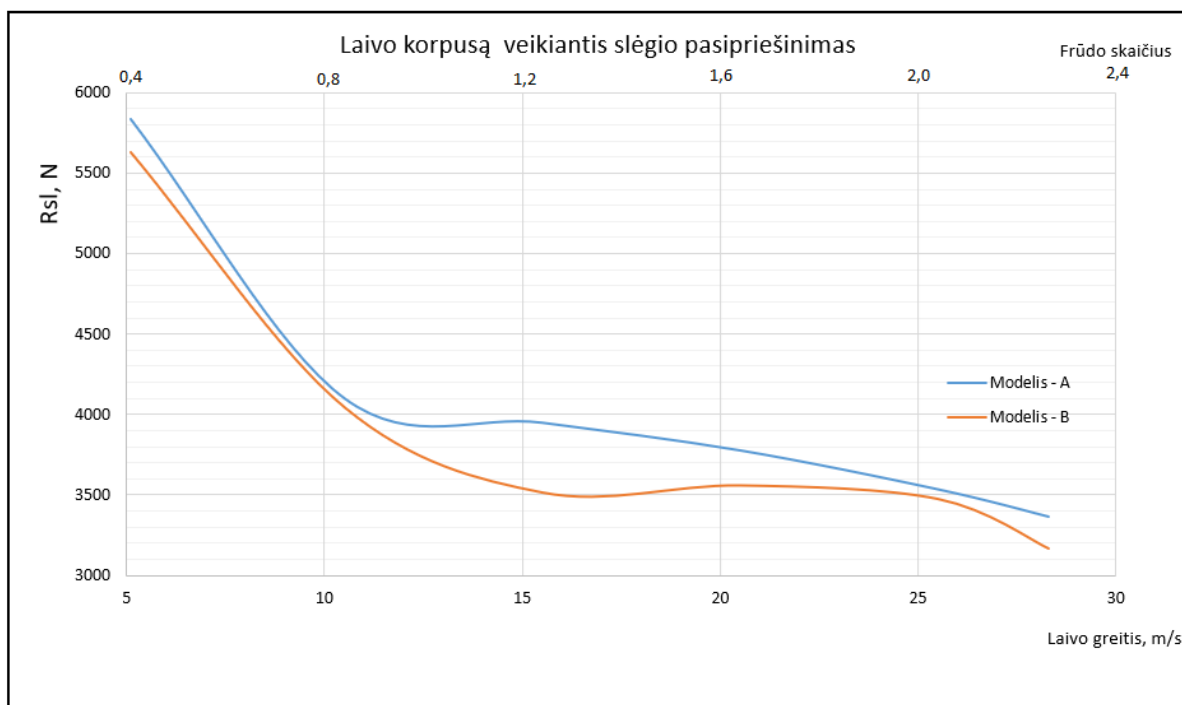
## 5.2. Vandens pasipriešinimas į laivo modelio korpusą.

Kompiuterinė programa „Flow-3D“ laivo korpuso bendrą vandens pasipriešinimo rezultatus pateikia išskaidydama juos į dvi grupes: slėgio (*angl. pressure*) ir trinties (*angl. shear*) pasipriešinimo jėgas. Žemiau pateikiami gauti rezultatai, kuriuose lyginama A ir B korpuso modelių kiekvienos iš pasipriešinimo dedamųjų bei bendra priklausybė nuo greičio. Laivo korpusą veikiančio trinties pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio pateikiama 26 pav.



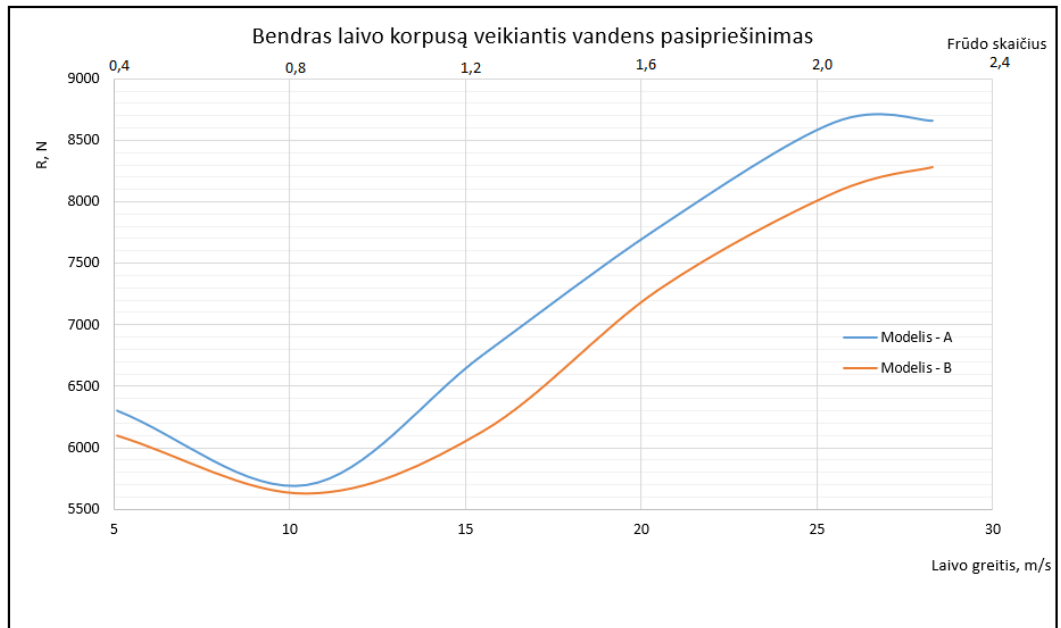
26 pav. Laivo korpusą veikiančio trinties pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus).

Iš aukščiau pateikto grafiko matyti, kad didėjant vandens srauto greičiui, abu modelius veikiančio trinties pasipriešinimo reikšmės didėja tolygiai t.y. tarp jų yra tiesinė priklausomybė. Taip pat matyti, kad didžiausias skirtumas (~11%) tarp A ir B modelių yra tada, kai laivo greitis yra ~25m/s. Esant 28,3m/s greičiui B modelio korpusą veikiantis trinties pasipriešinimas yra ~4% mažesnis.



27 pav. Laivo korpusą veikiančio slėgio pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus).

Iš 27 pav. Matyti, kad didėjant vandens srauto greičiui, slėgio pasipriešinimas mažėja. A modelio slėgio pasipriešinimo priklausomybės nuo greičio kreivė yra panaši į modelio B, tačiau modelį B veikiantis slėgio pasipriešinimas, esant skirtingiems greičiams, yra visada mažesnis. Esant 28,3m/s greičiui jis yra mažesnis ~5,9%. Grafike matyti, kad greičio intervale ~0-16m/s pasipriešinimas mažėja labiausiai, tada beveik nebekinta. Tai yra todėl, kad nuo šios ribos (kaip aprašyta 5.1 punkte) laivo korpusas pilnai pereina į glisavo režimą.

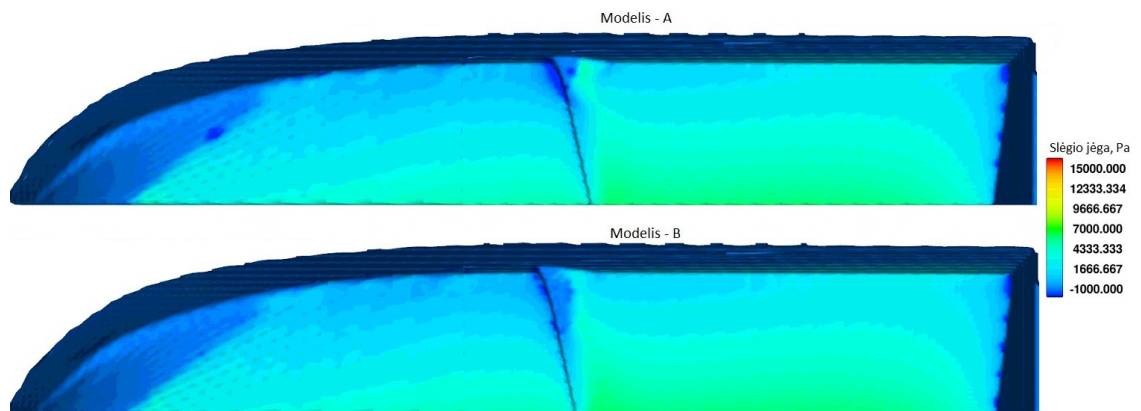


28 pav. Laivo korpusą veikiančio bendro vandens pasipriešinimo priklausomybė nuo greičio (sudaryta autoriaus).

Iš 27 pav. Pateikto grafiko matyti, kad iki 10m/s greičio, slėgio pasipriešinimas sudaro didžiąją dalį viso pasipriešinimo, todėl ir 28pav. pateiktame bendro vandens pasipriešinimo priklausomybės nuo greičio grafike, intervale 0-10m/s, priklausomybė yra panaši-mažėjanti. Pasiekus 10m/s greitį slėgio pasipriešinimas beveik nebekinta, tačiau greičiui didėjant tiesine priklausomybe pradeda didėti trinties pasipriešinimas, dėl to bendras vandens pasipriešinimas greičiui didėjant taip pat pradeda didėti. Apibendrinant, B modelio bendras vandens pasipriešinimas yra mažesnis nei A modelio, o esant 28,3m/s greičiui skirtumas yra ~4,5%.

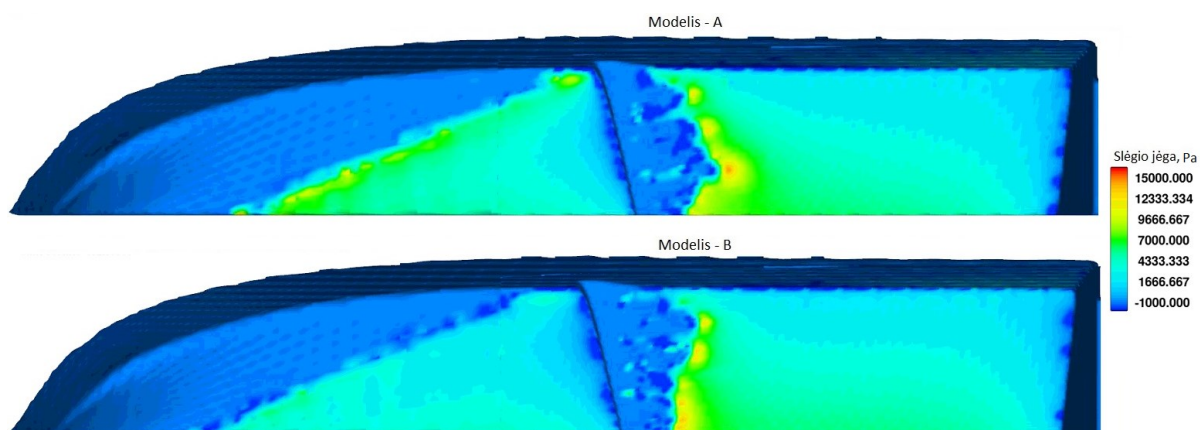
### 5.3. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi

Žemiau grafine išraiška pateikiamas A ir B laivo modelio korpusus veikiančios slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo korpuso dugnine dalimi.



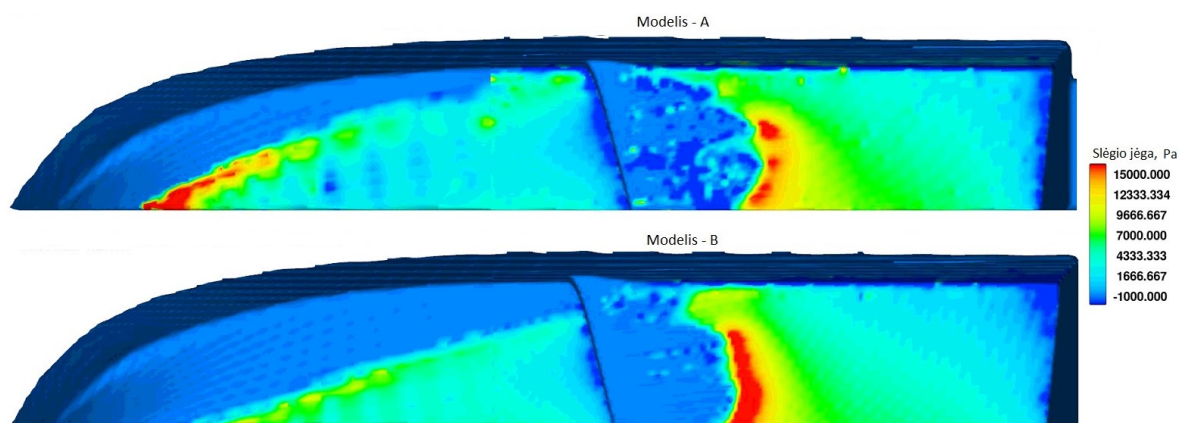
29 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant 5,1 m/s greičiui (sudaryta autoriaus).

Iš aukščiau pateikto paveikslo matyti, kad abu korpusus veikiantis slėgis pasiskirstęs panašiai. Didžiausias spaudimas į korpusą yra laivagalyje ties kyliu.



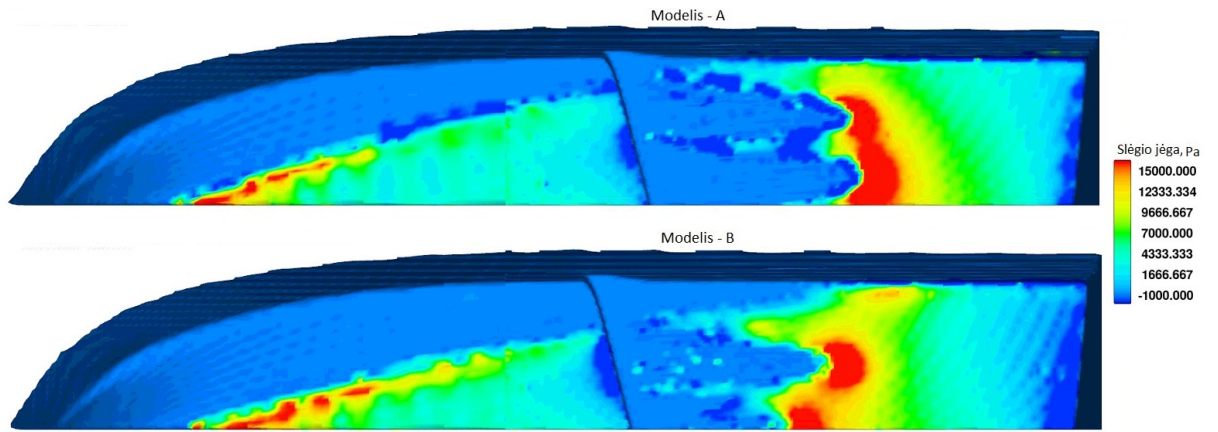
30 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant **10,5 m/s** greičiui (sudaryta autoriaus).

Kaip matyti aukščiau, A ir B laivo modelio korpusus aptekant vandens srautui 10,5m/s greičiu neišryškėja esminių skirtumų, kurie turėtų didelės įtakos susidarančiam vandens pasipriešinimui. Tik matyti, kad A modelio laivapriekinę dalį veikia didesnė slėgio jėga, nei B modelį.



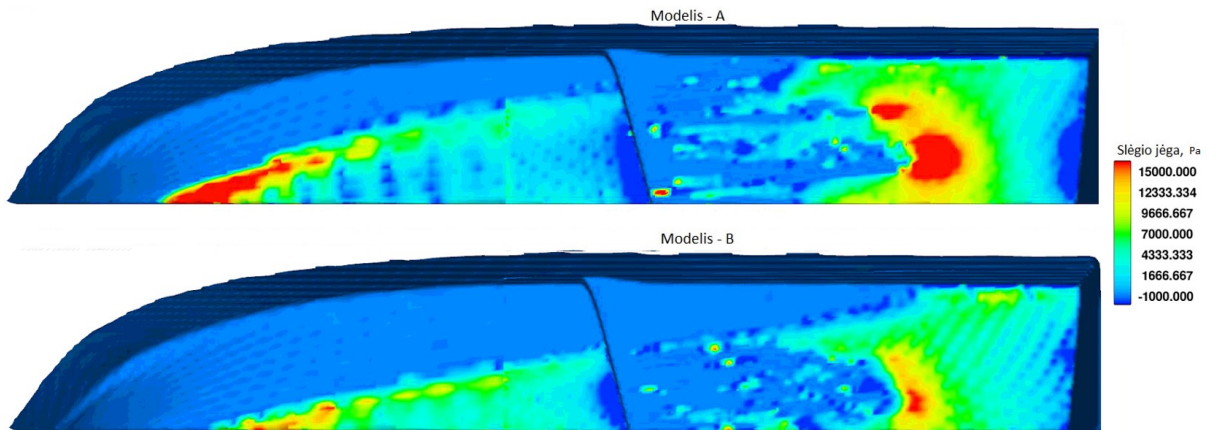
31 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant **15,5 m/s** greičiui (sudaryta autoriaus).

Aukščiau pateiktame paveiksle matyti, kad A laivo modelio korpusą aptekant vandens srautui 15,5m/s greičiu, didesnis slėgis veikia laivapriekinę korpuso dalį, o B modelio - link laivagalio.



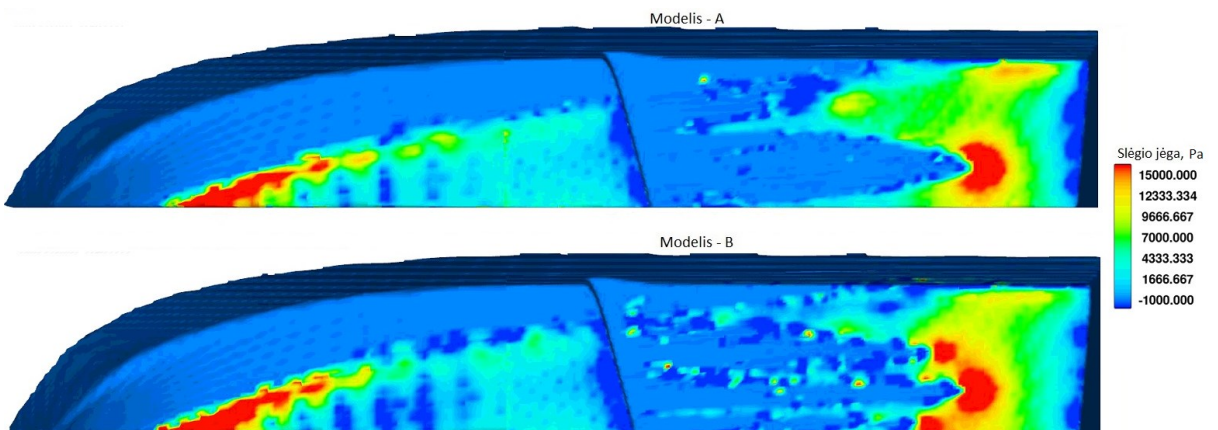
32 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant **20,5 m/s** greičiui (sudaryta autoriaus).

Abu modelius veikiančios slėgio jėgos pasiskirstymas yra panašus, tad iš iliustracijos sudėtinga nustatyti, kuriuo atveju sukuriamas vandens pasipriešinimas yra mažesnis.



33 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant **25,5 m/s** greičiui (sudaryta autoriaus).

Esant 25,5-28,3m/s vandens srauto greičiui, matyti, kad B modelio korpuso vandens suvilgyto paviršiaus plotas yra mažesnis.



34 pav. Slėgio jėgos pasiskirstymas po laivo modelio korpuso dugnine dalimi esant **28,3 m/s** greičiui (sudaryta autoriaus).

Remiantis aukščiau pateiktais paveikslais matyti, kad redanas, laivo korpusui judant, vandens suvilgytą paviršiaus plotą padalija į 2 dalis. Pateiktame 29 pav. matyti, kad iškart už redano slėgio jėga sumažėja, dėl ko atsiranda papildomas vandens nesuvilgytas korpuso paviršiaus plotas, kuris greičiui didėjant taip pat didėja. Taip pat matyti, kad A modelio laivapriekinę dalį veikianti slėgio jėga yra visada didesnė (arba panaši) nei B modelį veikianti jėga. Nors 5.1 ir 5.2 punktuose išanalizavus eksperimento rezultatus nustatyta, kad B modelio tiek vandens suvilgytas paviršiaus plotas, tiek bendras vandens pasipriešinimas yra mažesnis nei A modelio, tačiau iš aukščiau pateiktų paveikslų sunku nustatyti, kuri ir kiek korpuso konfigūracija yra efektyvesnė. Iš šių paveikslų galima nustatyti tik kaip pasiskirsto slėgio jėga tam tikrose vietose po laivo korpuso dugnine dalimi, jį aptekant vandens srautui. Gauta informacija padeda nustatyti, kurią korpuso dalį reikia koreguoti siekiant padidinti korpuso efektyvumą.

## IŠVADOS

1. Atlikus mokslinės literatūros analizę, greitaeigių laivų korpuso formos oprimizavimo tematika, nustatyta, kad didžioji dalis atliktų tyrimų buvo atlikti eksperimentinių bandymų baseinuose ir (arba) naudojant SSD principu veikiančią programinę įrangą. Moksliniuose šaltiniuose, kuriuose buvo analizuojami glisuojančių laivų korpusai su redanais, tyrimo rezultatais pagrįsta, kad tinkamai suprojektuotas redanas sumažina bendrą vandens pasipriešinimą esant tam tikram greičiui.
2. Remiantis išanalizuotuose moksliniuose šaltiniuose pateikta informacija ir rekomendacijomis, projektuojant glisuojančių laivų korpusus su redanais, automatizuota laivų korpusų modeliavimo programa „DelftShip“, sumodeliuoti 2 glisuojančių laivų korpusai su redanu: modelis - A, kurio redanas nuo svorio centro koordinatės nutolęs link laivapriekio atstumu- 0,540m ir modelis - B, kurio redanas nuo svorio centro koordinatės nutolęs link laivapriekio atstumu- 0,675m.
3. Naudojant skaičiuojamosios skysčių dinamikos programą „Flow-3D“ sudaryta 14 matematinių eksperimentų. Pradėjus skaičiavimus pastebėta, kad skaičiuojant kiekvieno modelio vandens pasipriešinimą esant tam tikram greičiui bei reikiamo tikslumo tinkleliui, laiko sąnaudos yra per didelės. Tinklelio tikslumo keisti nebuvo galima, nes tada gauti rezultatai nebūtų tiksūs. Todėl, pirmiausia su kiekvienu laivo modeliu atliktas eksperimentas naudojant grubesnę tinkelį, kurio metu korpusą aptekančio vandens srauto greitis intervale 5,1-28,3m/s (10-55 mazgai) laikui bėgant didėjo pagreičiu  $0,5\text{m/s}^2$ , tada, naudojant restart funkciją, simuliacija pakartota esant nusistovėjusiems vandens srauto greičiams (5,1m/s, 10,5m/s, 15,5m/s, 20,5m/s, 25,5m/s, 28,3m/s) bei smulkesniam tinkleliui.
4. Kai tinklelis yra grubus, o modelius aptekančio vandens srauto greitis yra pastovus- 28,3m/s (55 mazgai) modelio - B vandens suvilgyto paviršiaus plotas yra ~8,2% mažesnis, nei modelio - A. Nustatyta, kad abu laivo korpuso modeliai į pilną glisavimo režimą pereina ~ 23 eksperimento sekundę, kai vandens srauto greitis ~16,5m/s. Palyginus, abu modelius veikiantį slėgio ir trinties paispriešinimus, nustatyta, kad abiem atvejais modelį - B veikiantis pasipriešinimas yra mažesnis. Esant 28,3m/s greičiui B modelio korpusą veikiantis trinties pasipriešinimas yra ~4% mažesnis, o slėgio pasipriešinimas ~5,9% mažesnis. Bendras B modelio vandens pasipriešinimas yra mažesnis nei A modelio, o esant 28,3m/s greičiui skirtumas yra ~4,5% .

## REKOMENDACIJOS

Taigi, projektuojant redaną, panašiam į darbe aprašytam korpusui, rekomenduojama, kad redanas nuo svorio centro koordinatės link laivapriekio būtų nutolęs atstumu ne mažesniu nei 25% svorio centro x koordinatės. Tačiau, taip pat reikėtų plačiau išanalizuoti iki kokios ribos tai yra efektyvu bei kaip keičiasi laivo diferento kampas esant vienai ar kitai korpuso konfigūracijai, nes nuo to priklauso laivo stovumas.

Siekiant gauti tikslesnius vandens pasipriešinimo prognozavimo rezultatus, atliekant matematinį eksperimentą, reikia eksperimentą formuoti naudojant didesnio tikslumo tinklelį redano zonoje. Tam galėtų būti atliktas atskiras tyrimas. Detalesniai redano įtakos vandens pasipriešinimo analizei, taip pat reikėtų atlikti papildomų matematinių eksperimentų esant tam pačiam atstumui nuo svorio centro koordinatės, tačiau skirtingam aukščiui.

## LITERATŪRA

1. Almeter J. 2011. High speed planing hulls resistance prediction methods and comparison. Turkey: Istanbul Technical University.
2. Bakhtiari M., Veysi S., Ghassemi H. 2016. Numerical Modeling of the Stepped Planing Hull in Calm Water. Iran: Amirkabir University of Technology.
3. Begovic E., Bertorello C., Pennino S. 2014. Experimental seakeeping assessment of warped planing hull. Italy: University of Napoli Federico II.
4. Caterino Di F., Niazmand Bilandi R., d, Mancini S. 2018. A Numerical Way for a Stepped Planing Hull Design and Optimization. Iran: Persian Gulf University.
5. Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F. 2017. An experimental comparison between different artificial air cavity designs for a planing hull. Italy: University of Messina.
6. Cucinotta F., Guglielmino E., Sfravara F. 2019. A critical CAE analysis of the bottom shape of a multi stepped air cavity planing hull. Italy: University of Messina.
7. Čerka J. 2005. Laivo eigumas. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
8. Danielsson J. 2012. Conceptual design of a high-speed superyacht tender. Marina system centre for naval architecture.
9. Doustdar M. M., Kazemi H. 2018. Effects of fixed and dynamic mesh methods on simulation of stepped planing craft, *Journal of Ocean Engineering and Science*. Iran: Imam Hossein University.
10. Faltinsen O. 2005. Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles. New York: Cambridge University Press.
11. Frisk D., Tegehall L. 2015. Prediction of High-Speed Planing Hull Resistance and Running Attitude. Sweden: Chalmers University of Technology.
12. Garland R. W. 2010. Stepped Planing Hull Investigation. United States Naval Academy.
13. Loni A., Ghadimi P. and etc. 2013. Developing a computer program for mathematical investigation of stepped planing hull characteristics. Iran: Amirkabir University of Technology.
14. Marco De A., Mancini S., Miranda S. and etc. 2017. Experimental and numerical hydrodynamic analysis of a stepped planing hull. Italy: University of Napoli Federico II.
15. Matveev I. M. 2012. Two-dimensional modeling of stepped planing hulls with open and pressurized air cavities. USA; Washington State University.
16. Savitsky D. 1964. Hydrodynamic Design of Planing Hulls. MARINE TECHNOLOGY.
17. Stonkus V. 2006. Laivo teorija. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
18. Svahn D. 2009. Performance Prediction of Hulls with Transverse Steps. Sweden: Royal Institute of Technology (KTH).

19. Ваганов А. М. 1978. Проектирование скоростных судов. ленинград: издательство судостроители .
20. Planing Hulls - Ship Motion [Interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. Vasario 10d.] Prieiga per internetą:  
<https://www.flow3d.com/industries/coastal-and-maritime/planing-hulls-ship-motion/>
21. Ship model towing tank [Interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. Vasario 09d.] Prieiga per internetą:  
<http://www.polandatsea.com/ship-model-towing-tank-opened-at-gdansk-university-of-technology/>
22. The Racing Cat - Professional BoatBuilder [Interaktyvus], [žiūrėta 2019 m. Vasario 03d.] Prieiga per internetą:  
<https://proboat.com/wp-content/uploads/2011/04/hispeedpower127low.pdf>

## **PRIEDAI**

1 priedas. Matematinio eksperimento, atlikto SSD programa „Flow-3D“ bei naudojant modelį- A, skaičiavimo rezultatai

<b>Modelj - A aptekancio vandens srauto greitis 5,1-28,3m/s</b>				
Laikas, s	Vandens suvilgytas paviršiaus plotas, m <sup>2</sup>	Slėgio pasipriešinimas x ašimi, N	Trinties pasipriešinimas x ašimi, N	Bendras vandens pasipriešinimas x ašimi, N
60.0013	8.2373648	-13972.572	-198.19402	-14170.766
60.6988	8.1567059	-3097.1731	-202.3187	-3299.4917
61.4031	8.1003733	-3011.874	-200.99965	-3212.8738
62.1006	8.3092651	-2946.7576	-211.60927	-3158.3667
62.8032	8.2140484	-2995.0557	-205.98911	-3201.0449
63.5031	8.2960787	-3224.4077	-204.85274	-3429.2603
64.1977	8.0962038	-3841.8721	-196.22255	-4038.0945
64.903	8.0363226	-3940.5369	-205.15106	-4145.688
65.5989	8.0511055	-4033.7966	-218.02156	-4251.8179
66.2987	7.9499016	-3925.1467	-223.87544	-4149.0225
66.9986	7.8003526	-3917.4827	-225.05887	-4142.5415
67.702	7.8234324	-3677.4626	-231.8876	-3909.3503
68.4022	7.7538066	-3472.311	-231.20122	-3703.5122
69.1008	7.701344	-3211.054	-236.17075	-3447.2246
69.8011	7.7077141	-2993.4077	-244.24016	-3237.6477
70.5015	7.6313901	-2712.5837	-246.91069	-2959.4944
71.2016	7.3567643	-2320.3086	-246.13222	-2566.4409
71.9014	7.3330574	-2277.8223	-271.90826	-2549.7305
72.6004	7.8634372	-2033.4595	-322.83188	-2356.2913
73.3008	8.5370283	-2347.7637	-320.47787	-2668.2417
74.0007	8.1987581	-2915.2151	-248.83998	-3164.0552
74.7001	7.7340417	-3681.7034	-225.22935	-3906.9329
75.4018	7.4819221	-2989.2183	-192.53564	-3181.7539
76.1004	7.7261915	-2084.8955	-194.2282	-2279.1235
76.7999	6.9126849	-777.63947	-122.22551	-899.86499
77.4995	7.1231847	2491.7991	-96.662354	2395.1367
78.2004	11.120238	-7596.0503	-1155.8628	-8751.9131
78.9013	12.958848	-15300.911	-2070.9348	-17371.846
79.6004	12.297979	-13724.062	-2006.1313	-15730.194
80.301	12.360648	-6102.4712	-1666.0752	-7768.5464
81.0012	5.7805495	-2767.6379	-823.75647	-3591.3945
81.6998	6.1083908	-4400.7583	-1183.6685	-5584.4268
82.4014	4.42243	-3830.9827	-857.84528	-4688.8281
83.1004	5.9771852	-4298.6548	-1407.912	-5706.5669
83.8	4.5730786	-6472.9126	-957.91528	-7430.8276
84.5001	5.3145108	-5616.7578	-1315.7821	-6932.54
85.2008	4.446115	-6833.2217	-1125.2983	-7958.52
85.9008	3.172941	-2638.9075	-823.37183	-3462.2793
86.6001	5.2217875	-4579.665	-1326.6362	-5906.3013

87.3014	5.0973511	-3195.5947	-1458.2528	-4653.8477
88	5.0781631	-4476.9937	-1494.0364	-5971.0298
88.7003	4.8255267	-4549.7046	-1489.4088	-6039.1133
89.4009	4.9043798	-4799.1162	-1547.1448	-6346.2612
90.1002	4.8385162	-5214.0459	-1620.0487	-6834.0947
90.8004	4.7921915	-4968.5532	-1633.1437	-6601.6968
91.5004	4.930325	-4882.8154	-1733.2361	-6616.0513
92.1999	4.8567739	-4719.3345	-1779.6814	-6499.0156
92.9011	5.0038824	-5229.1602	-1902.3322	-7131.4927
93.6003	4.7700729	-4754.272	-1904.2867	-6658.5586
94.3002	4.7193499	-4930.376	-1953.7948	-6884.1704
95.0004	4.5690107	-5071.4761	-1926.2913	-6997.7676
95.7	4.4559636	-5109.2979	-1943.7903	-7053.0879
96.4002	4.6183958	-5566.1865	-2048.3572	-7614.5435
97.1002	4.7406373	-7420.168	-2204.5256	-9624.6934
97.801	4.4620914	-6248.1226	-2140.0259	-8388.1484
98.5001	4.3467588	-7581.2017	-2118.5039	-9699.7061
99.2007	4.0451674	-5496.9263	-2017.7299	-7514.6562
99.9007	4.2025409	-6030.8364	-2166.3225	-8197.1592
100.6	4.1878996	-6186.2129	-2217.4482	-8403.6611
101.301	4.1918082	-6645.1514	-2290.3389	-8935.4902
102	4.8371253	-6269.5269	-2702.1914	-8971.7188
102.7	3.2103622	-5627.5068	-1674.7965	-7302.3032
103.4	3.8454571	-6128.2256	-2012.6938	-8140.9194
104.101	4.3573866	-6175.5654	-2435.6953	-8611.2607
104.8	4.5974984	-10032.776	-2701.4307	-12734.207
105.5	4.755527	-9866.4199	-2913.5569	-12779.977
106.201	4.9614577	-12101.797	-3142.8215	-15244.618
106.901	4.8027639	-10321.495	-3212.625	-13534.12
107.601	4.7128682	-12515.864	-3298.7822	-15814.646
108.301	4.6362224	-8980.7373	-3266.001	-12246.738
109.001	4.2854156	-9599.4697	-2963.0232	-12562.492
109.7	4.3657775	-9776.3848	-2965.7561	-12742.141
110.4	4.1759925	-9413.6582	-2876.7378	-12290.396
111.1	4.2457037	-9991.0957	-2944.3564	-12935.452
111.801	4.1629949	-10006.059	-2874.3818	-12880.44
112.5	4.2096009	-9900.4258	-2922.2134	-12822.64
113.201	4.1228533	-8959.6006	-2852.3674	-11811.968
113.901	4.6139832	-10049.313	-3206.0554	-13255.369
114.601	4.1385198	-9458.3457	-2845.1003	-12303.445
115.3	4.2392926	-9428.001	-2909.5881	-12337.589
116.001	4.1800327	-9785.9883	-2861.4172	-12647.405
116.7	4.1543832	-8849.6367	-2833.6155	-11683.252
117.401	4.154676	-10632.732	-2853.2251	-13485.957
118.101	4.1717825	-10417.551	-2859.2625	-13276.813
118.8	4.1785603	-8726.8281	-2820.897	-11547.726
119.501	4.1972637	-10192.883	-2861.9023	-13054.785

120.201	4.1877675	-9988.6484	-2864.5393	-12853.188
120.901	4.1387448	-10842.193	-2804.8835	-13647.077
121.6	4.2279177	-11194.237	-2880.6919	-14074.929
122.301	4.1890073	-10386.583	-2866.7422	-13253.325
123	4.1053085	-8847.292	-2830.2612	-11677.554
123.7	4.1246424	-9173.1562	-2821.6824	-11994.839
124.401	4.1204166	-9547.6348	-2820.95	-12368.584
125.101	4.1243505	-8755.2715	-2826.9202	-11582.191
125.801	4.1281247	-9216.5059	-2822.2751	-12038.781
126.501	4.1306939	-9519.2383	-2821.3274	-12340.565
127.2	4.1322093	-8786.7441	-2825.3066	-11612.051
127.9	4.1288233	-9221.9688	-2820.0876	-12042.057
128.601	4.1143866	-9530.0547	-2818.3457	-12348.4
129.301	4.1382704	-8781.9404	-2826.5698	-11608.511
130	4.1388087	-8737.4014	-2838.321	-11575.723
<b>Modelj - A aptekānĶio vandens srauto greitis 5,1m/s</b>				
30.0005	20.864029	-4787.0649	-402.00232	-5189.0674
30.3003	21.026903	-2907.5466	-351.63406	-3259.1807
30.6	20.482763	-3210.9624	-312.2457	-3523.208
30.9003	18.153336	-3726.6021	-303.4696	-4030.0715
31.1998	16.245638	-4684.8271	-338.99823	-5023.8252
31.5006	15.743857	-5519.8335	-335.41202	-5855.2456
31.7998	14.533088	-5787.8062	-303.82574	-6091.6318
32.1003	13.144858	-4985.5361	-272.32391	-5257.8604
32.4002	12.272723	-4618.8232	-252.52272	-4871.3462
32.7003	11.478148	-4509.521	-244.79382	-4754.3149
33.0001	11.081147	-4516.019	-252.13806	-4768.1572
33.3004	10.693115	-4360.9922	-260.06522	-4621.0576
33.5997	10.722784	-4208.062	-265.82556	-4473.8877
33.8999	10.503419	-3987.7388	-263.64813	-4251.3867
34.2001	10.381094	-3883.8909	-258.09482	-4141.9858
34.5004	10.29144	-3810.5249	-257.80792	-4068.3328
34.8003	10.135363	-3749.4023	-262.44128	-4011.8435
35.1	9.8819046	-3680.4758	-266.05756	-3946.5334
35.4001	9.9632425	-3571.3948	-265.30966	-3836.7043
35.7002	10.016574	-3738.1685	-263.45682	-4001.6252
36.0007	9.9039917	-3599.1963	-263.61334	-3862.8098
36.3006	9.7504482	-3493.2959	-263.41574	-3756.7117
36.5997	9.6129932	-3452.3347	-263.63742	-3715.9722
36.9	9.5264521	-3391.2258	-261.52582	-3652.7517
37.2	9.5622215	-3307.3613	-262.10846	-3569.4697
37.4998	9.6156883	-3242.5774	-264.49048	-3507.0676
37.7998	9.6025381	-3293.4883	-262.86404	-3556.3523
38.1	9.5349751	-3280.374	-261.7204	-3542.0942
38.4004	9.4950485	-3269.1431	-261.12436	-3530.2673
38.7002	9.4976759	-3193.2356	-263.13065	-3456.3665

38.9999	9.4444847	-3211.6965	-262.57465	-3474.2712
39.3	9.3599148	-3170.261	-261.55829	-3431.8191
39.6002	9.228158	-3167.9695	-262.48474	-3430.4541
39.9001	9.1530743	-3155.9607	-262.08359	-3418.0444
40.2003	9.09867	-3009.6833	-261.13095	-3270.8142
40.4998	9.2488346	-3124.95	-265.72253	-3390.6726
40.8002	9.3050718	-3092.1382	-263.94318	-3356.0813
41.1003	9.253727	-3053.9338	-260.44318	-3314.377
41.4001	9.216814	-3071.4324	-260.42493	-3331.8574
41.7001	9.1241274	-3150.9885	-260.35965	-3411.3481
42.0002	9.1244001	-3135.4258	-262.76917	-3398.1951
42.3002	9.0644903	-3152.6016	-262.17743	-3414.7791
42.6003	9.0742826	-3056.6941	-261.46375	-3318.158
42.9001	9.056263	-3011.6726	-260.96652	-3272.6392
43.2005	9.0533161	-3024.3887	-259.64133	-3284.03
43.5005	9.0862417	-2980.3411	-259.32159	-3239.6628
43.8003	9.1145735	-2958.0103	-259.79559	-3217.8057
44.1001	9.0739336	-2960.158	-258.7952	-3218.9531
44.4003	9.0667763	-2932.9414	-258.38339	-3191.3247
44.7002	8.997714	-2952.2754	-256.59967	-3208.875
45.0003	8.9283028	-2908.7119	-255.03465	-3163.7466
45.3	8.8730078	-2892.5698	-254.69264	-3147.2625
45.5998	8.8478336	-2878.5183	-255.08438	-3133.6025
45.9	8.842783	-2841.4131	-255.49818	-3096.9114
46.1999	8.7999191	-2857.9727	-254.44392	-3112.4165
46.5	8.7394371	-2863.3816	-253.98645	-3117.3679
46.8005	8.7129297	-2852.0518	-253.87355	-3105.9253
47.1002	8.6710386	-2840.3789	-253.84908	-3094.228
47.4003	8.6514511	-2848.657	-254.37	-3103.0271
47.7001	8.6757803	-2852.1169	-254.07751	-3106.1946
48.0004	8.6747084	-2911.4746	-254.32297	-3165.7974
48.3002	8.6344919	-2857.5359	-251.85039	-3109.3862
48.6001	8.6055555	-2840.1892	-251.8485	-3092.0376
48.8999	8.6480141	-2814.3608	-252.87537	-3067.2361
49.1999	8.6615429	-3081.0159	-252.63861	-3333.6543
49.5003	8.6536131	-2937.8147	-250.94093	-3188.7556
49.8002	8.6506233	-2893.7266	-250.82886	-3144.5554
50.1002	8.6422348	-2883.7537	-250.14717	-3133.9009
50.4001	8.5748844	-2891.6689	-248.23224	-3139.9011
50.7001	8.5349951	-2881.1221	-248.02274	-3129.145
51.0003	8.5151281	-2823.4443	-246.42871	-3069.873
51.3002	8.422842	-2806.7393	-244.52669	-3051.2661
51.6	8.424099	-2784.9536	-245.0667	-3030.0203
51.9001	8.4570141	-2739.3521	-246.85027	-2986.2024
52.2001	8.4563494	-2724.7659	-247.0295	-2971.7952
52.4999	8.4207258	-2745.3005	-245.44287	-2990.7434
52.7997	8.3627081	-2757.8096	-244.41112	-3002.2207

53.1006	8.3295202	-2759.1052	-242.78854	-3001.8938
53.4004	8.2867384	-2761.2058	-241.21028	-3002.416
53.7002	8.3149395	-2784.0728	-241.76518	-3025.8379
54.0004	8.2854214	-2797.3372	-239.20059	-3036.5376
54.3004	8.2828445	-2834.9185	-239.23793	-3074.1562
54.5999	8.2403803	-2820.2239	-237.90813	-3058.1321
54.8997	8.1717377	-2815.5303	-237.1899	-3052.7202
55.2001	8.2467136	-2740.0071	-239.9306	-2979.9375
55.5007	8.3202963	-2751.6992	-240.97516	-2992.6743
55.7997	8.2377911	-2729.2756	-237.60152	-2966.8772
56.1003	8.2034025	-2745.7974	-236.52188	-2982.3193
56.4007	8.2182484	-2823.9956	-236.63092	-3060.6265
56.7001	8.2319908	-2836.7673	-236.8765	-3073.6438
57.0002	8.21383	-2867.7561	-235.92975	-3103.6858
57.2998	8.1855145	-2858.2034	-233.6637	-3091.8672
57.6005	8.1668291	-2863.4775	-232.58858	-3096.0659
57.9001	8.1703215	-2878.1052	-232.91367	-3111.0188
58.2004	8.1491213	-2869.9893	-233.3703	-3103.3596
58.5004	8.1905622	-2871.4277	-234.1265	-3105.5542
58.8001	8.2005854	-2882.1426	-234.22264	-3116.3652
59.1001	8.2114544	-2955.437	-233.05077	-3188.4878
59.4002	8.0869312	-2920.072	-230.87236	-3150.9446
59.7004	8.1580973	-2925.4526	-233.62021	-3159.0728
60.0006	8.2808561	-2908.262	-236.26283	-3144.5247
<b>Modelj - A aptekančio vandens srauto greitis 10,5m/s</b>				
100.003	5.5432253	-372753.22	-854.57745	-373607.78
100.203	6.5208554	-5264.7505	-766.32898	-6031.0791
100.403	6.2394133	-2851.8237	-735.16882	-3586.9927
100.603	5.9858875	-2679.6375	-701.80109	-3381.4387
100.803	5.8215904	-2363.6567	-709.61865	-3073.2754
101.002	5.9397311	-2157.823	-756.35028	-2914.1733
101.203	6.0269456	-2178.8303	-776.97522	-2955.8054
101.403	5.9811683	-2035.8495	-775.67273	-2811.5222
101.603	5.9979029	-2096.1685	-781.24738	-2877.4158
101.803	6.0091233	-2109.8833	-778.74982	-2888.6331
102.003	6.0069408	-2030.4	-782.2439	-2812.6438
102.203	6.0014424	-2075.5093	-783.85175	-2859.3611
<b>Modelj - A aptekančio vandens srauto greitis 15,5m/s</b>				
110.007	3.6096506	-1210382.2	-954.90741	-1211337.1
110.207	2.589133	-2663.7515	-355.20135	-3018.9529
110.407	1.6337006	-382.47119	-280.04904	-662.52026
110.607	6.2633538	-6367.8252	-1806.0681	-8173.8936
110.807	8.6086054	-5732.2271	-2286.6853	-8018.9126
111.007	9.3810034	-3417.1382	-1927.8229	-5344.9609
111.207	7.4479213	-2360.6511	-1015.1273	-3375.7783
111.406	5.1828823	-1784.5193	-608.02032	-2392.5396

111.607	4.1232753	-1589.1121	-754.19763	-2343.3096
111.807	4.8756971	-1731.41	-1248.9939	-2980.4041
112.007	6.2577615	-2626.4131	-1667.928	-4294.3408
112.207	6.3554139	-2233.8948	-1604.6632	-3838.5581
112.407	5.5937014	-2478.2983	-1290.7219	-3769.0203
112.607	5.0452647	-2241.001	-1097.7146	-3338.7156
112.807	4.5008898	-1651.028	-1054.7799	-2705.8079
113.007	4.683907	-2016.1821	-1220.8706	-3237.0527
<b>Modelj - A aptekančio vandens srauto greitis 20,5m/s</b>				
120.007	2.4166517	-73223.641	-1166.313	-74389.953
120.207	6.1068282	-3174.7563	-2622.5852	-5797.3413
120.407	6.1591816	1179.803	-2472.6418	-1292.8389
120.607	4.8704963	-2284.5547	-1620.7189	-3905.2734
120.807	4.0297885	310.65359	-1253.8408	-943.18719
121.007	3.8520503	-1714.3807	-1531.3743	-3245.7551
121.207	5.0219827	-2824.3003	-2122.9275	-4947.228
121.407	5.5565219	-1624.1008	-2348.7878	-3972.8887
121.607	4.980794	-2067.1992	-1982.8451	-4050.0444
121.807	4.5016975	-1866.6538	-1799.822	-3666.4758
122.007	3.6643379	-1158.7233	-1481.0486	-2639.772
122.207	4.2124252	-2080.9861	-1744.8589	-3825.845
122.407	4.8582749	-1793.5454	-2064.7695	-3858.3149
122.607	4.489933	-1668.3889	-1843.9572	-3512.3462
122.807	4.481678	-1424.9257	-1876.1082	-3301.0339
123.007	4.4561315	-1569.4258	-1891.2655	-3460.6914
123.207	4.408731	-1468.1373	-1857.5831	-3325.7205
<b>Modelj - A aptekančio vandens srauto greitis 25,5m/s</b>				
130.005	0.81974137	-25722.744	-705.27234	-26428.018
130.204	4.2786627	-7236.4092	-2413.6855	-9650.0947
130.405	2.885206	-1711.5159	-1321.6428	-3033.1587
130.604	3.7573965	-3738.929	-2283.8154	-6022.7441
130.804	5.5811462	-3061.5239	-3479.2124	-6540.7363
131.004	4.9687352	-4258.3032	-2710.1025	-6968.4058
131.205	3.5655768	-1640.6318	-1883.8737	-3524.5054
131.404	3.6587136	-1311.6582	-2182.7036	-3494.3618
131.605	4.6742563	-3073.8516	-2892.4771	-5966.3286
131.804	4.389606	-1654.6738	-2653.8816	-4308.5557
132.005	4.1685247	2300.1328	-2494.0837	-193.95096
<b>Modelj - A aptekančio vandens srauto greitis 28,3m/s</b>				
130	4.1292148	-92760.242	-3504.2529	-96264.492
130.2	3.805548	-1913.7268	-2770.0542	-4683.7808
130.4	3.652905	-1425.3796	-2664.6257	-4090.0054
130.6	3.4164574	-2036.2069	-2501.8545	-4538.0615
130.8	3.6605787	-2418.978	-2583.9922	-5002.9702
131	3.6605983	-2325.4626	-2638.9546	-4964.4175
131.2	3.1899033	-1756.4865	-2271.0083	-4027.4949

131.4	3.750102	-1631.0071	-2792.7085	-4423.7158
131.6	3.4454906	-1260.5786	-2500.2427	-3760.8213
131.8	3.7200902	-1571.8405	-2707.2842	-4279.1245
132	3.9569225	-1768.9113	-2886.4487	-4655.3604
132.2	3.6730528	-1569.3253	-2719.1748	-4288.5
132.4	3.5082877	-1586.828	-2582.594	-4169.4219
132.6	3.3368645	-1985.8687	-2502.4531	-4488.3218
132.8	3.6541204	-1477.704	-2690.386	-4168.0898
133	3.5361712	-1604.2108	-2648.3499	-4252.561
133.2	3.4385364	-1663.3423	-2604.124	-4267.4663
133.4	3.5250709	-1580.6968	-2648.792	-4229.4888
133.6	3.4295692	-1479.166	-2582.6843	-4061.8506
133.8	3.4458871	-1412.8712	-2564.1516	-3977.0227
134	3.5851324	-1497.1995	-2659.2896	-4156.4888
134.2	3.770663	-1469.1686	-2758.3496	-4227.5186
134.4	3.8357832	-1672.1625	-2820.283	-4492.4453
134.6	3.8338134	-1596.5811	-2798.8359	-4395.417

2 priedas. Matematinio eksperimento, atlikto SSD programa „Flow-3D“ bei naudojant modelį- B, skaičiavimo rezultatai

<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 5,1-28,3m/s</b>				
Laikas, s	Vandens suvilgytas paviršiaus plotas, m <sup>2</sup>	Slėgio pasipriešinimas x ašimi, N	Trinties pasipriešinimas x ašimi, N	Bendras vandens pasipriešinimas x ašimi, N
60.0012	8.1470366	-11695.479	-197.20081	-11892.68
60.6984	8.1538239	-3095.5029	-204.55931	-3300.0623
61.4001	8.1677256	-3071.355	-208.47688	-3279.832
62.1	8.2934904	-2959.0779	-212.35501	-3171.4329
62.798	8.2195663	-3018.916	-207.33214	-3226.248
63.4991	8.2929688	-3170.417	-205.69144	-3376.1084
64.1999	8.1098213	-3544.4446	-199.44167	-3743.8862
64.8983	7.9680047	-3915.2366	-203.06174	-4118.2983
65.5996	8.0163031	-3948.5706	-216.72314	-4165.2939
66.2997	7.8666339	-3768.145	-219.97491	-3988.1199
66.9988	7.8176084	-3743.3433	-226.61511	-3969.9583
67.6998	7.8333993	-3497.7588	-231.87193	-3729.6309
68.4014	7.8201399	-3270.8542	-235.40068	-3506.2549
69.1005	7.6958256	-3002.8203	-238.63576	-3241.4561
69.7999	7.7540469	-2785.8945	-250.16119	-3036.0557
70.5005	7.6644173	-2597.6472	-252.43776	-2850.085
71.1994	7.356163	-2302.8176	-248.87825	-2551.6958
71.8999	7.2118397	-2271.0859	-268.78625	-2539.8721
72.6015	8.0174637	-1914.1583	-337.93329	-2252.0916
73.2992	8.7555151	-2807.1274	-335.88443	-3143.012
73.9992	8.0139685	-2884.4321	-263.52914	-3147.9612
74.7019	7.7013202	-2707.7107	-222.32843	-2930.0393
75.3994	8.0829611	-2177.5564	-204.52249	-2382.0789
76.1001	7.5640931	-2096.3223	-168.908	-2265.2302
76.8017	6.6844993	-1422.1344	-136.44395	-1558.5782
77.5004	6.8778067	2272.3013	-137.12558	2135.1755
78.2009	10.976105	-7535.7085	-1117.401	-8653.1094
78.9006	13.143133	-14930.698	-2058.8577	-16989.557
79.5997	12.125896	-16945.188	-2039.609	-18984.797
80.3001	12.394905	-10525.262	-1755.1504	-12280.412
81.0008	6.3086805	-2304.9756	-751.71094	-3056.6865
81.7007	5.9981718	-3426.2805	-1171.4297	-4597.7104
82.4014	4.5132995	-6565.4697	-914.14276	-7479.6123
83.1004	5.5005217	-4351.4897	-1270.0763	-5621.5659
83.8009	4.9503827	-3421.5842	-1022.1317	-4443.7158
84.5011	5.0845194	-4524.3862	-1248.697	-5773.083
85.2004	4.7046628	-4874.1729	-1202.2251	-6076.3979
85.9013	4.9577236	-4387.1606	-1323.5037	-5710.6641
86.5997	4.7570806	-4525.311	-1299.8727	-5825.1836

87.3	4.8192892	-4929.3296	-1365.0349	-6294.3647
88.0009	4.3967447	-4864.5786	-1311.9657	-6176.5439
88.7001	4.5492249	-4442.4502	-1398.192	-5840.6426
89.401	5.001574	-4718.9058	-1589.6514	-6308.5571
90.1001	5.0331674	-5182.9873	-1685.3834	-6868.3711
90.8003	5.4778161	-5356.8911	-1876.7449	-7233.6362
91.5009	4.9762592	-4808.4209	-1766.4136	-6574.8345
92.201	5.0336628	-5342.4414	-1857.4891	-7199.9302
92.9	4.9208713	-5423.0786	-1878.2288	-7301.3071
93.6006	4.896594	-5848.4692	-1934.9598	-7783.4287
94.3004	4.8596954	-6132.853	-1969.4824	-8102.3354
95.0008	5.0326219	-7041.5854	-2146.2664	-9187.8516
95.6996	5.0866656	-7545.8921	-2234.3101	-9780.2021
96.4008	4.7809105	-6063.9956	-2143.0837	-8207.0801
97.0997	4.5898809	-6187.1045	-2176.9961	-8364.1006
97.8	4.3451934	-5508.6157	-2036.7976	-7545.4136
98.5008	4.9868627	-6488.0107	-2453.1487	-8941.1592
99.2001	4.9849153	-6954.8286	-2535.8979	-9490.7266
99.8998	4.8323894	-6845.2456	-2514.7961	-9360.042
100.6	4.7447033	-7297.8105	-2581.4697	-9879.2803
101.3	4.5490026	-6922.5405	-2497.2041	-9419.7451
102.001	4.9128585	-12468.586	-2766.3489	-15234.936
102.7	4.518189	-7452.1831	-2431.1362	-9883.3193
103.4	4.9860935	-7983.9863	-2812.24	-10796.227
104.1	4.5176473	-6874.314	-2656.2463	-9530.5605
104.8	4.4087377	-6230.6343	-2662.4963	-8893.1309
105.501	4.0941582	-7235.7231	-2520.5269	-9756.25
106.2	3.9897091	-6701.0952	-2510.1211	-9211.2168
106.9	3.9091623	-6735.2876	-2527.854	-9263.1416
107.601	4.0113082	-8554.1855	-2673.0977	-11227.283
108.301	3.8262742	-7875.3369	-2685.8914	-10561.229
109	4.835588	-10101.672	-3146.4165	-13248.088
109.7	4.8985291	-8010.0444	-3266.9888	-11277.033
110.4	3.8017936	-6442.5464	-2533.2153	-8975.7617
111.1	3.7535431	-6159.8887	-2524.012	-8683.9004
111.801	3.7174089	-6394.7051	-2483.8843	-8878.5889
112.5	4.7047482	-9261.54	-3196.3062	-12457.847
113.201	4.5035596	-10343.489	-3054.3379	-13397.827
113.9	4.3893561	-7892.6978	-2957.9529	-10850.65
114.601	4.6112609	-9030.7891	-3056.531	-12087.319
115.3	3.7128322	-6510.604	-2493.2585	-9003.8623
116.001	3.8414972	-6599.4424	-2620.415	-9219.8574
116.7	3.8095393	-6602.6899	-2596.8252	-9199.5146
117.4	3.8043323	-6540.396	-2605.5088	-9145.9053
118.1	3.8940675	-7015.9502	-2691.7305	-9707.6807
118.801	3.7984622	-6881.959	-2571.2668	-9453.2256

119.5	3.8145208	-6263.189	-2579.2983	-8842.4873
120.2	3.8352735	-6216.7471	-2602.6714	-8819.418
120.9	3.8055747	-6255.1514	-2582.2393	-8837.3906
121.6	3.8608904	-6610.6797	-2657.5127	-9268.1924
122.3	3.8290176	-6423.2295	-2593.0911	-9016.3203
123.001	3.8378205	-6821.5327	-2549.0535	-9370.5859
123.7	3.7539847	-6756.5786	-2499.8149	-9256.3936
124.401	3.7635195	-6544.3901	-2509.6921	-9054.082
125.101	3.7676566	-6319.0913	-2499.4802	-8818.5713
125.801	3.6652527	-6774.1045	-2447.8416	-9221.9463
126.5	4.0525413	-6289.7432	-2733.5381	-9023.2812
127.201	3.5982478	-6293.6113	-2352.9299	-8646.542
127.901	3.9246981	-6592.8101	-2681.2356	-9274.0459
128.6	3.8742158	-6366.8145	-2636.9473	-9003.7617
129.3	3.867753	-6346.6191	-2620.4216	-8967.041
130.001	3.8604317	-6264.9307	-2613.0139	-8877.9443
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 5,1m/s</b>				
30.0006	21.006063	-4612.1416	-412.71414	-5024.856
30.3	21.246555	-3145.5605	-361.82724	-3507.3879
30.5999	21.101463	-2935.9255	-324.50589	-3260.4314
30.8998	18.421824	-3588.9204	-302.91409	-3891.8347
31.2005	16.564087	-4626.9712	-338.77109	-4965.7422
31.5003	15.95035	-5380.3198	-331.36261	-5711.6826
31.7999	14.882633	-5514.9146	-306.24783	-5821.1626
32.0998	13.432259	-5091.3706	-279.75006	-5371.1206
32.4004	12.325068	-4555.8047	-257.02954	-4812.8345
32.7004	11.527083	-4487.7798	-249.49026	-4737.27
33.0002	11.15389	-4475.0503	-253.25514	-4728.3052
33.2999	10.638473	-4266.9541	-262.61005	-4529.564
33.6005	10.468814	-4207.8247	-265.08191	-4472.9067
33.9002	10.504399	-4029.8921	-262.07681	-4291.9688
34.1998	10.18498	-3825.1521	-259.18958	-4084.3418
34.5	10.080103	-3809.6907	-259.76584	-4069.4565
34.7999	10.037814	-3786.3291	-262.72205	-4049.051
35.1008	9.962676	-3668.2239	-265.73218	-3933.9561
35.3998	9.9860315	-3680.6929	-263.98975	-3944.6826
35.7005	10.052528	-3574.7156	-262.16699	-3836.8826
35.9998	9.9474268	-3557.251	-262.16986	-3819.4209
36.2999	9.7555676	-3458.4463	-262.62439	-3721.0708
36.6006	9.6324568	-3406.3186	-261.80286	-3668.1213
36.9002	9.6346397	-3385.0808	-263.1427	-3648.2234
37.2002	9.6162128	-3326.6467	-262.86777	-3589.5146
37.5003	9.5611162	-3317.4524	-262.04266	-3579.4949
37.7998	9.4974775	-3274.6758	-262.11798	-3536.7937
38.1005	9.4203892	-3266.4407	-262.22513	-3528.6658
38.4001	9.4324713	-3262.2498	-262.26917	-3524.519

38.7002	9.3722506	-3233.5176	-262.36755	-3495.8853
38.9999	9.3523674	-3184.4451	-262.39844	-3446.8435
39.2999	9.3198805	-3173.6846	-261.5658	-3435.2505
39.6002	9.3444424	-3147.1077	-260.67108	-3407.7788
39.9	9.2788744	-3202.2078	-259.55176	-3461.7595
40.2003	9.2408257	-3055.2144	-260.66772	-3315.8821
40.5	9.2215633	-3055.5164	-261.32242	-3316.8389
40.8003	9.2154751	-3109.8521	-261.92596	-3371.7778
41.1	9.1735554	-3049.9487	-261.01166	-3310.9602
41.4003	9.1879368	-3079.3013	-262.16739	-3341.4688
41.7003	9.1707783	-3074.8445	-261.6713	-3336.5156
42.0002	9.1547842	-3052.5393	-260.9187	-3313.458
42.3001	9.1042643	-2954.5288	-260.14435	-3214.6731
42.6004	9.0986309	-2995.104	-260.14117	-3255.2451
42.9003	9.0874443	-2983.7161	-259.40021	-3243.1162
43.2003	9.0617113	-2962.9084	-258.89127	-3221.7996
43.5	9.0153551	-2989.0908	-258.29614	-3247.387
43.8002	9.0645771	-2926.989	-258.80511	-3185.7942
44.1001	9.0714664	-2892.3701	-258.15906	-3150.5291
44.4	9.0321312	-2917.1921	-257.29175	-3174.4839
44.7006	8.9810295	-2875.2412	-255.85316	-3131.0942
45.0001	8.9372349	-2872.1914	-255.78119	-3127.9724
45.3007	8.9213285	-2847.3875	-256.55664	-3103.9441
45.5998	8.8883209	-2932.052	-256.9101	-3188.9622
45.9004	8.8709908	-2827.8933	-256.54218	-3084.4355
46.2004	8.8662748	-2811.842	-256.1048	-3067.9468
46.5003	8.8336248	-2812.74	-255.97484	-3068.7148
46.8003	8.7882967	-2811.6733	-255.72424	-3067.3977
47.0999	8.7936277	-2781.675	-255.79469	-3037.4697
47.4003	8.8035278	-2779.8354	-255.91331	-3035.7488
47.7002	8.8181276	-2732.4753	-255.62794	-2988.1033
48.0005	8.8213797	-2760.7922	-255.48662	-3016.2788
48.3003	8.7889442	-2779.9102	-253.94008	-3033.8503
48.6	8.695653	-2795.6433	-252.2894	-3047.9329
48.8999	8.70784	-2793.3665	-252.5065	-3045.8728
49.1999	8.7071781	-2804.3289	-252.15813	-3056.4868
49.5006	8.6830568	-2793.8843	-251.3806	-3045.2649
49.8001	8.6694307	-2794.8606	-250.9541	-3045.8147
50.1	8.6257477	-2807.5757	-250.159	-3057.7346
50.4006	8.6195812	-2876.3374	-250.00043	-3126.3379
50.7004	8.5968142	-2823.4587	-248.91077	-3072.3696
51.0004	8.563138	-2818.2998	-247.30675	-3065.6064
51.3002	8.5178947	-2827.8279	-246.79611	-3074.624
51.6006	8.4621429	-2822.0913	-245.2628	-3067.3542
51.9001	8.3912001	-2768.7527	-244.41257	-3013.1653
52.2001	8.3899269	-2729.9573	-245.05275	-2975.01
52.5004	8.3949909	-2750.322	-245.18576	-2995.5076

52.8	8.3867188	-2732.5654	-245.76048	-2978.3259
53.1002	8.3633976	-2723.2498	-245.36588	-2968.6157
53.4007	8.3233852	-2748.9985	-244.1181	-2993.1167
53.6999	8.3201466	-2759.0251	-243.56711	-3002.5923
54.0003	8.2854557	-2775.9041	-242.14597	-3018.05
54.3001	8.3183746	-2712.6047	-242.82327	-2955.428
54.5998	8.3151035	-2766.0105	-241.98073	-3007.9915
54.8996	8.3216457	-2768.5256	-239.95677	-3008.4824
55.1999	8.2825451	-2824.8655	-238.52873	-3063.3943
55.5002	8.2368908	-2793.8323	-237.8441	-3031.6765
55.7998	8.20755	-2778.8398	-237.81122	-3016.6511
56.1005	8.2217398	-2787.4014	-240.26186	-3027.6631
56.4	8.2153797	-2762.2024	-240.24469	-3002.447
56.7006	8.214406	-2720.9521	-239.24422	-2960.1963
57.0008	8.2469902	-2756.0103	-239.44566	-2995.4561
57.3003	8.2104158	-2768.3188	-237.26338	-3005.5823
57.6	8.1805763	-2770.6702	-236.01146	-3006.6816
57.9005	8.1980448	-2890.1177	-236.33563	-3126.4534
58.2002	8.1860237	-2820.6755	-234.65361	-3055.3291
58.5004	8.1831255	-2842.2773	-234.04614	-3076.3235
58.8003	8.1617699	-2800.5947	-234.1935	-3034.7883
59.1	8.168499	-2795.824	-234.66708	-3030.4912
59.4006	8.172452	-2804.4258	-234.55103	-3038.9768
59.7006	8.1961298	-2827.0437	-234.68454	-3061.7283
60.0002	8.1705351	-2843.0176	-233.03189	-3076.0496
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 10,5m/s</b>				
100.003	5.838881	-387548.88	-926.3573	-388475.25
100.203	7.4141893	-3940.1887	-872.97858	-4813.1675
100.403	6.7271357	-2599.8416	-727.33099	-3327.1724
100.603	6.2526445	-1833.702	-640.67828	-2474.3804
100.803	5.984324	-1851.297	-663.70807	-2515.0051
101.003	6.1859775	-1807.2257	-753.50757	-2560.7334
101.203	6.2625356	-1760.1334	-798.3609	-2558.4944
101.403	6.3131323	-1773.822	-816.38147	-2590.2036
101.603	6.3171759	-2631.7463	-809.52258	-3441.269
101.803	6.2373285	-1824.4849	-785.20593	-2609.6907
102.003	6.1537786	-1954.7455	-769.50482	-2724.2502
102.203	6.1086516	-1926.2125	-770.36359	-2696.5762
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 15,5m/s</b>				
110.003	3.2742317	-48586.043	-1028.1267	-49614.172
110.202	4.9028668	-2261.6748	-1271.3142	-3532.989
110.403	5.478416	-2054.5969	-1432.9177	-3487.5146
110.603	5.5692725	-1873.7313	-1430.6711	-3304.4026
110.803	5.2128453	-2140.6865	-1290.2981	-3430.9846
111.002	5.2240114	-1670.4998	-1236.944	-2907.4438
111.203	5.1036835	-1618.087	-1255.1793	-2873.2664

111.403	4.8605771	-1746.8772	-1252.8441	-2999.7214
111.603	5.0337605	-1737.726	-1323.0597	-3060.7856
111.803	5.1215658	-1932.7161	-1337.8938	-3270.6099
112.002	4.9676723	-1683.2001	-1312.297	-2995.4971
112.202	4.9283304	-1683.626	-1315.9515	-2999.5776
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 20,5m/s</b>				
120.005	2.4095604	-68021.406	-1195.072	-69216.484
120.205	6.5927849	-5092.0757	-2865.5891	-7957.665
120.405	6.1967273	-2074.1333	-2411.7996	-4485.9326
120.605	5.0452967	-1859.0521	-1542.5957	-3401.6479
120.805	3.8273098	-1342.2019	-1179.556	-2521.7578
121.005	3.9181883	-1397.652	-1540.3912	-2938.0432
121.205	5.1742377	-2490.259	-2205.4561	-4695.7153
121.405	5.5171824	-2570.2278	-2304.0071	-4874.2349
121.605	5.0466161	-3274.176	-1946.9094	-5221.0854
121.805	4.4995842	-1375.0729	-1700.8499	-3075.9229
122.005	4.0063415	-1656.6007	-1623.2067	-3279.8074
122.205	4.4816842	-1461.8151	-1865.006	-3326.821
122.405	4.8810921	-2044.8541	-2059.8013	-4104.6553
122.605	4.9796629	-2355.9214	-2065.1816	-4421.103
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 25,5m/s</b>				
130.002	0.60128164	2348.248	-110.06577	2238.1821
130.202	0.083893977	-24.873852	-0.48999149	-25.363844
130.402	0.004474242	-5.4293036	-0.25001043	-5.6793141
130.602	6.6596169	-7785.9307	-4664.1787	-12450.109
130.801	5.9510784	-3169.7395	-2925.3479	-6095.0874
131.001	3.5133996	-1461.5667	-1069.7317	-2531.2983
131.201	2.166949	-438.74319	-812.1004	-1250.8436
131.402	4.4157786	-3868.323	-2874.2041	-6742.5273
131.602	5.9003019	-3853.6709	-3617.4702	-7471.1411
131.801	4.5111513	-1706.8514	-2092.417	-3799.2683
132.002	3.1144626	-870.77942	-1473.7714	-2344.5508
132.201	4.0095701	-1936.3154	-2436.8013	-4373.1167
132.402	5.0152802	-2551.0564	-3079.9563	-5631.0127
<b>Modelj - B aptekančio vandens srauto greitis 28,3m/s</b>				
130.001	3.8459327	-59077.266	-3236.3601	-62313.625
130.201	3.9253678	-1452.0247	-2814.5386	-4266.5635
130.401	4.0622873	-2281.0481	-2991.2961	-5272.3442
130.601	4.4075642	-1708.6744	-3185.4441	-4894.1187
130.801	4.4353433	-2347.7969	-3168.6025	-5516.3994
131.001	4.4228673	-2358.1677	-3239.2148	-5597.3823
131.201	4.7258906	-2379.9502	-3384.353	-5764.3032
131.401	4.5791402	-2054.7012	-3362.0012	-5416.7026
131.601	4.5137868	-2725.1294	-3288.1577	-6013.2871
131.801	4.1128068	-2587.0776	-2993.1792	-5580.2568

132.001	3.6059058	-1494.8007	-2532.5994	-4027.3999
132.201	3.2381251	-1560.5797	-2335.553	-3896.1328
132.401	3.6135375	-1443.4867	-2600.2861	-4043.7729
132.601	3.2922006	-1405.5547	-2390.9509	-3796.5056
132.801	3.7888858	-2139.3865	-2807.7659	-4947.1523
133.001	2.7287166	6228.3071	-1873.672	4354.6353
133.201	3.0833492	-1263.9341	-2166.3931	-3430.3271
133.401	3.8396602	-3107.6233	-2803.4094	-5911.0327
133.601	4.190578	-1968.1984	-2946.1917	-4914.3901
133.801	3.6655705	-2103.2939	-2650.6343	-4753.9282
134.001	4.1412239	-1705.546	-2952.1338	-4657.6797