

**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Jūrų inžinerijos katedra

Dovydas Lubys

**KU MOKSLINIŲ-TYRIMŲ LAIVO  
KILINIO IR VERTIKALIAUS  
SUPIMOSI TYRIMAI NAUDOJANT  
CFD PROGRAMINĘ ĮRANGĄ**

Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos  
(621H52001) baigiamasis darbas

Klaipėda, 2016

## LYDRAŠTIS

## SANTRAUKA

Lubys D. KU Mokslinių tyrimų laivo kilinio ir vertikalios supimosi tyrimai naudojant CFD programinę įrangą. Darbo vadovas – doc. dr. V. Djačkov, konsultuojantis dėstytojas – doc. dr. J. Čerka, Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2016. – 79 p.

Šiame magistratūros baigiamajame darbe nagrinėjamas Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ kilinis ir vertikalusis supimasis.

Pirmiausia darbe atliekama mokslinių darbų analizė, kuria siekiant išsiaiškinti su kiliniu ir vertikaliu supimusi susijusius klausimus, bei faktorius, kurie turi įtakos šiai jūrinei savybei.

Pirmojoje baigiamojo darbo dalyje nagrinėjama linijinė katamaranų supimosi teorija, teoriją sudarančios formulės, bei formulių dedamosios. Šiame skyriuje užrašomos patikslintos laivo supimosi formulės, kurių pagrindu atliekami matematiniai supimosi eksperimentai.

Antrojoje darbo dalyje atliekami katamarano „Mintis“ supimosi tyrimai, tarpusavyje lyginant rezultatus gautus trimis skirtingais būdais: apskaičiuotus linijinės laivo supimosi teorijos pagrindu, atlikus natūraliuosius katamarano supimosi bandymus naudojant judesių sensorius, bei kilinio ir vertikalios supimosi rezultatus, apskaičiuotus kompiuterine skaičiuojamąja skysčių dinamikos programa „FLOW – 3D“.

Paskutinėje darbo dalyje susistemunami ir analizuojami gauti rezultatai, juos lyginant tarpusavyje.

**Raktiniai žodžiai:** katamaranas, kilinis supimasis, vertikalusis supimasis, katamarano supimosi eksperimentas, natūralūs bandymai, linijinė laivo supimosi teorija, skaičiuojamoji skysčių dinamika.

## SUMMARY

Lubys D. KU scientific - research vessel pitching and heaving study using CFD software The supervisor assoc. prof. dr. V. Djačkov, the advisor tutor doc. dr. J. Čerka, Klaipėda University: Klaipėda, 2016. – 79 p.

In this Master`s Thesis it is being analyzed the pitching and the heaving of the Klaipėda University scientific research vessel “Mintis”.

Firstly, it is performed the scientific analysis which is aimed at finding out the answers to the questions related with the pitching and the heaving as well as the analysis of the factors which have influence over that marine feature is being carried out.

In the first part of the Master`s Thesis work the linear theory of the catamaran pitching, the theory comprising formulas and their components are being analyzed. In this part of the work more precise formulas of the vessel pitching are recorded, on the basis of which mathematical pitching experiments are being carried out.

In the second part of the work the study of the catamaran “Mintis” pitching are being carried out and the results, which have been obtained using three different techniques: calculated on the basis of the vessel pitching linear theory, by performing natural catamaran pitching tests using movement sensor and by using the pitching and heaving results which have been calculated using the liquid calculation dynamics computer program „FLOW – 3D“, are being compared between.

In the last part of the work the results are systematized and analyzed as well as they are being compared between.

Key words: catamaran, pitching, heaving, experiment of the catamaran pitching, natural tests, vessel pitching linear theory, the liquid calculation dynamics.

# Laivų projektavimo ir statybos magistrantūros studijų (621H52001) programos baigiamasis darbas

**Užduotis studentui:** Dovydui Lubiui

**Baigiamojo darbo temos pavadinimas:** KU mokslinių – tyrimų laivo kilnio ir vertikalaus supimosi tyrimai naudojant CFD programinę įrangą

## Darbo sudėtis

### ĮVADAS

- I. UŽSEINIO MOKSLININKŲ ATLIKTŲ TYRIMŲ APŽVALGA
- II. KATAMARANŲ SUPIMOSI PROBLEMOS SPRENDIMAS
- III. KATAMARANO JUDĖJIMĄ, ESANT REGULIARIAM BANGAVIMUI, NUSAKANČIOS PATIKSLINTOSIOS LYGTYS
- IV. KU MOKSLINIŲ – TYRIMŲ LAIVO KILNIO IR VERTIKALAUŠ SUPIMOSI SKAIČIAVIMAS KOMPIUTERINĖS PROGRAMOS PAGALBA
  - 4.1. Supimosi skaičiavimo kompiuterinės programos aprašymas
  - 4.2. Tiriamojo objekto – Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ aprašymas
  - 4.3. Katamarano „Mintis“ kilnio ir vertikalaus supimosi skaičiavimas kompiuterine programa praktinis realizavimas
- V. NATURALŪS „MINTIS“ SUPIMOSI BANDYMAI
  - 5.1. Bandymui naudotos įrangos aprašymas
  - 5.2. Natūralaus laivo supimosi eksperimento ir gautų duomenų aprašymas
- VI. KU MOKSLINIŲ TYRIMŲ LAIVO SUPIMOSI TYRIMAS NAUDOJANT „FLOW - 3D“ PROGRAMĄ
  - 6.1. Mokslinių – tyrimų laivo korpuso braižymas „Delft ship“ programa
  - 6.2. Laivo „Mintis“ supimosi bandymas naudojant „FLOW – 3D“ programą
- VII. GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ
- VIII. REKOMENDACIJOS – TOLIMESNIŲ TYRIMŲ REIKALINGUMAS

### IŠVADOS

### LITERATŪRA

### PRIEDAI

Darbo vadovas (-ė): .....

(vardas, pavardė, parašas)

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

|  |    |
|--|----|
| 1 lentelė. Supimosi dempferavimo ir prijungtųjų masių koeficientai. .... | 16 |
| 2 lentelė. Pagrindiniai laivo techniniai duomenys. ....                  | 34 |
| 3 lentelė. Rezultatai gauti atlikus bandymus. ....                       | 56 |

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

|  |    |
|--|----|
| 1 pav. Katamaranų ir vienkorpusių laivų, esant vienodiems korpusų ilgiams ir vienodoms vandentalpoms, amplitudinių – dažnių palyginimas. ....  | 21 |
| 2 pav. Laivo laisvės laipsniai.....  | 21 |
| 3 pav. Laivo svyravimų dedamosios. ....  | 22 |
| 4 pav. Rebuliarios bangos profilis, bei jos dedamosios.....  | 23 |
| 5 pav. Prijungtosios masės koeficiento priklausomybė nuo horizontalaus katamarano klirenso.....  | 24 |
| 6 pav. Išvestinės $C_z^\alpha = dC_z/d\alpha$ nustatymui naudojamas grafikas. ....   | 28 |
| 7 pav. Išvestinės $C_m^\alpha = dC_m/d\alpha$ nustatymui naudojamas grafikas. ....   | 28 |
| 8 pav. Slėgio centro koeficiento $C_d$ nustatymui naudojamas grafikas. ....  | 28 |
| 9 pav. Kompiuterinės programos visų galimų atlikti skaičiavimų algoritmai.....   | 31 |
| 10 pav. Programos interpoliacijos kodo pavyzdys. ....  | 32 |
| 11 pav. Programos duomenų kopijavimo modulio kodo fragmentas.....  | 33 |
| 12 pav. Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“.....   | 34 |
| 13 pav. Skaičiavimo užduoties formavimas.....  | 36 |
| 14 pav. Bangos sąlygų formavimas.....  | 37 |
| 15 pav. Pagrindinės tiriamojo laivo charakteristikos. ....   | 37 |
| 16 pav. Duomenys hidrodinaminių jėgų dedamųjų skaičiavimui .....   | 39 |
| 17 pav. Laivą veikiančių hidrodinaminių jėgų koeficientai ir laivo kilinio ir vertikalios supimosi lygčių sistemai spręsti reikalingi koeficientai, bei skaičiavimo rezultatai. .... | 41 |
| 18 pav. Laivo kilinio ir vertikalios supimosi charakteristikų skaičiavimas.....  | 41 |
| 19 pav. Laivo supimosi pobūdis įvairiais laiko momentais. Laivui judant 8 mazgų greičiu, statmenai bangoms, kai bangos ilgis 12 metrų. ....  | 42 |
| 20 pav. Laivo denio užliejimo grafikas. Laivui judant 8 mazgų greičiu, statmenai bangoms, kai bangos ilgis 12 metrų.....   | 43 |
| 21 pav. Kilinio ir vertikalios supimosi priklausomybės nuo dažnio.....   | 43 |
| 22 pav. Katamarano vertikalios supimosi ir amplitudžių – dažnio charakteristikos. ....   | 43 |
| 23 pav. Judesio sensorius ir girokompasas „Octans 3000“ .....  | 45 |
| 24 pav. Bandymų atlikimo vietos koordinatės. ....  | 46 |
| 25 pav. Natūralių bandymų, kilinio supimosi rezultatai.....  | 47 |
| 26 pav. Natūralių bandymų, vertikalios supimosi rezultatai.....  | 47 |
| 27 pav. Katamarano „Mintis“ modelis. ....  | 49 |
| 28 pav. Skaičiuojamųjų tinklų ribos .....  | 51 |
| 29 pav. Skaičiavimo masyvo sienelių sąlygų nustatymai.....   | 52 |

|  |    |
|--|----|
| 30 pav. Objekto judėjimo galimybių nustatymas .....                                      | 52 |
| 31 pav. Laivo masės ir inercijos momentų nustatymas .....                                | 53 |
| 32 pav. Katamarano kilinio supimosi kampo (laipsniais) priklausomybės nuo laiko (s)..... | 55 |
| 33 pav. Laivo vertikalios supimosi amplitudės priklausomybė nuo laiko (s).....           | 55 |

## TURINYS

|   |    |
|---|----|
| <b>ĮVADAS</b> .....   | 10 |
| <b>I. UŽSIENIO MOKSLININKŲ ATLIKTŲ TYRIMŲ APŽVALGA</b> .....  | 12 |
| <b>II. KATAMARANŲ SUPIMOSI PROBLEMOS SPRENDIMAS</b> .....   | 15 |
| <b>III. KATAMARANO JUDĖJIMĄ, ESANT REGULIARIAM BANGAVIMUI, NUSAKANČIOS PATIKSLINTOSIOS LYGTYS</b> .....                         | 20 |
| <b>IV. KU MOKSLINIŲ – TYRIMŲ LAIVO KILINIO IR VERTIKALAUŠ SUPIMOSI SKAIČIAVIMAS KOMPIUTERINĖS PROGRAMOS PAGALBA</b> .....       | 31 |
| 4.1. Supimosi skaičiavimo kompiuterinės programos aprašymas.....  | 31 |
| 4.2. Tiriamojo objekto – Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ aprašymas .....  | 34 |
| 4.3. Katamarano “Mintis” kilinio ir vertikalauš supimosi skaičiavimas kompiuterine programa praktinis realizavimas.....         | 36 |
| <b>V. NATURALŪS „MINTIS“ SUPIMOSI BANDYMAI</b> .....  | 44 |
| 5.1. Bandymui naudotos įrangos aprašymas .....  | 44 |
| 5.2. Natūralaus laivo supimosi eksperimento ir gautų duomenų aprašymas .....  | 45 |
| <b>VI. IŠVADOS KU MOKSLINIŲ – TYRIMŲ LAIVO KILINIO IR VERTIKALAUŠ SUPIMOSI SKAIČIAVIMAS KOMPIUTERINĖS PROGRAMOS PAGALBA</b> ... | 48 |
| 6.1. Mokslinių – tyrimų laivo korpuso braižymas „Delft ship“ programa.....  | 48 |
| 6.2. Laivo „Mintis“ supimosi bandymas naudojant „FLOW – 3D“ programą.....   | 49 |
| <b>VII. GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ</b> .....   | 56 |
| <b>IŠVADOS</b> .....  | 58 |
| <b>LITERATŪRA</b> .....   | 60 |
| <b>PRIEDAI</b> .....  | 63 |

## IVADAS

Daugiakorpūsiai laivai (katamaranai, trimaranai) pastaraisiais metais darosi vis populiarešni ir jų skaičius visame pasaulyje kasmet tik auga. Didėjantis daugiakorpūsių laivų populiarumas grindžiamas tuo, jog esant tokiai pačiai vandentalpai, kaip vienkorpūsių laivų, daugiakorpūsiai laivai – šiuo atveju katamaranas, turi kur kas didesnę denio plotą, mažesnę grimzlę, talpina daugiau keleivių ir ekipažo, geba išvystyti didesnę greitį, bei geresnę eigumą.

Nors iki šiol didžioji dalis katamaranų buvo keleiviniai ar krovininiai keltai, dabar vis daugiau atsiranda katamaranų, kurie naudojami specialiai paskirčiai, pavyzdžiui – moksliniams vandenynų ir jūrų tyrimams. Moksliniams tyrimams daugiakorpūsiai laivai naudojami dėl mažos grimzlės ir galimybių dirbti sekliose vietose, mažesnio skersinio supimosi, bei geresnio skersinio stovumo, kuris yra kur kas geresni nei vienkorpūsių laivų. Didelis denis katamaranams suteikia platesnes galimybes kuo racionaliau išnaudoti jį: gabenti krovinius, išdėstyti gyvenamasias, bei pagalbines patalpas (gyvenamosios kajutės, mokslinių tyrimų laboratorijos), taip pat suteikia galimybę visame denio plote montuoti gerves, kranus, taip pat kitą mokslinę įrangą.

Nepaisant išvardintų privalumų, katamaranų naudojimas yra ribotas dėl jų jūrinių savybių. Katamaranų (t.y. daugiakorpūsių laivų) kilinis supimasis yra toks pat, o neretai ir dar blogesnis nei vienkorpūsių laivų. Viso to pasekmė, tai nepalankios, o kartais ir katastrofiškos pasekmės, viena iš tokių – laivo stovumo praradimas ir skendimas. Apie katamaranų kilinį supimąsi taip pat nėra sukaupta daug žinių, todėl ši jūrinė savybė turėtų būti iširta nuosekliau.

Todėl kilinio, bei vertikalaus supimosi tyrimas yra vienas iš svarbiausių katamaranų tyrimo uždavinių.

### ***Darbo tikslas:***

Naudojant CFD programinę įrangą sudaryti katamarano kilinio ir vertikalasu supimosi sąlygas, patikslintas linijinės teorijos ir natūralių bandymų rezultatais.

### ***Tyrimo objektas:***

Katamarano kilinis ir vertikalusis supimasis.

### ***Pagrindiniai darbo uždaviniai:***

1. Atlikti užsienio autorių mokslinių darbų analizę.
2. Atlikti kilinio ir vertikalaus laivo supimosi linijinės teorijos analizę.
3. Atlikti Klaipėdos universiteto mokslinių – tiriamų laivo supimosi skaičiavimus pagal linijines laivo kilinio ir bžvertikalaus supimosi teorijos metodiką.

4. Atlikti KU laivo „Mintis“ natūralius supimosi bandymus, naudojant judesio sensorius.
5. Atlikti KU mokslinių – tiriamų laivo supimosi skaičiavimus naudojant CFD programinę įrangą.
6. Skaičiavimo rezultatų bei eksperimentinių laivo supimosi duomenų palyginimas bei analizė.

***Tyrimo metodai:***

1. Matematiniai skaičiavimai remiantis linijine laivo supimosi teorija.
2. Natūralių bandymų atlikimas nereguliaraus bangavimo sąlygomis.
3. Matematinis eksperimentas naudojant CFD programinę įrangą.

# 1. UŽSIENIO MOKSLININKŲ ATLIKTŲ TYRIMŲ APŽVALGA

Nors susidomėjimas bei pirmieji tyrimai susiję su daugiakorpusiais laivais – katamaranais prasidėjo dar 20 amžiaus 7 – ajame dešimtmetyje, nemažai mokslininkų vis dar tebetęsia tyrimus susijusius su šiais laivais. Daugiausia klausimų kelianti sritis, tai katamaranų supimasis, bei faktoriai darantys didžiausią įtaką šiai jūrinei savybei.

V. Dubrovskij [9] tyrė jūrinių savybių charakteristikas, ko pasakoje pateikė kompleksinį jūrinių savybių charakteristikų palyginimo metodą. Šis metodas leido palyginti supimosi ir pagreičio amplitudes bet kuriame taške, taip pat slemingą, denio užliejimą, bei įvairių laivų susukimo momentus. Kaip pavyzdį autorius pateikia šį metodą lygindamas vandentalpinio tipo katamaraną ir katamaraną su mažu vaterlinijos plotu.

I. Borodaj [21] tyrė katamaranų bei kitų daugiakorpusių laivų supimosi priklausomybę, nuo laivo judėjimo įvairiomis sąlygomis. Autorius pasiūlė principus įvertinančius bendras daugiakorpusių laivų supimosi charakteristikas esant reguliariam ir nereguliariam bangavimams.

M. Alferjev bei G. Madorskij [19] pasiūlė keletą variantų kaip įvertinti katamaranų jūrinių savybių charakteristikas. Mokslininkai didžiausią dėmesį skyrė katamaranų kilinio supimosi tyrimui. Pateikė keletą ganėtinai paprastų ir tikslių metodikų, leidžiančių apytiksliai įvertinti katamaranų kilinio supimosi charakteristikas. Tačiau tyrėjai pastebi, jog pasiūlytos metodikos nevisiškai leidžia įvertinti faktorius, kurie įtakoja katamaranų kilinį supimąsi, todėl metodikos turi būti tikslinamos.

I. Kogan [23] pasiūlė metodiką, leidžiančią apskaičiuoti katamarano supimąsi, kai jis juda esant įstrižam reguliariam bangavimui. Ši metodika taip pat galėtų būti taikoma nustatant katamarano supimąsi esant nereguliariam trimačiam bangavimui. Tačiau pastebima, jog autorius nagrinėja katamarano judėjimą palyginti mažiems greičiams.

J. Mastuškin [25] pasiūlė teorinę analizę, kuri leistų įvertinti katamarano pridėtąją inerciją, atsižvelgiant į horizontalaus klirensio dydį laive. Autorius pateikia formules katamarano, sudaryto iš dviejų elipsoidų, prijungtai inercijai apskaičiuoti. Taip pat J. Mastuškin atliko skaičiavimus ir pateikė koeficientus, kurie leido įvertinti prie katamarano prijungtąją inerciją.

Autorius padarė išvadas, jog jeiigu atstumas tarp katamarano korpusų yra lygus vieno korpuso pločiui, tada katamarano prijungtoji inercija, dėl hidrodinaminės korpusų įtakos, vidutiniškai išauga 20%.

B. Bouscasse, R. Broglia, F. Stern [1] straipsnyje tiria, katamaranų greičio (Frūdo sk.) ir bangos ilgio  $\lambda/L$  sąveiką dėl kilinio ir vertikalios supimosi atsiradimo. Taip pat aptaria daugiakorpusių laivų, su mažu vaterlinijos plotu turimus natūralius supimus, kurie atsiranda natūraliai ir yra aprašomi homogeninėmis lygtimis.

Modelinių tyrimų eigoje mokslininkai pabrėžia jog laivas kilinio ir vertikalaus supimosi metu su savimi kartu judina ir inertiškas vandens mases, kurios taip pat prisideda prie nagrinėjamų katamarano supimųsi.

Mokslininkai T. Katayama, M. Kotaki ir Y. Ikeda [17] tyrė daugiakorpusių laivų supimąsi. Buvo atlikti natūralūs tyrimai su katamaranais ir trimaranais, tiek jiems stovint, tiek ir plaukiant (Frudo skaičius buvo keičiamas nuo 0 iki 0,6). Tiek stovint laivams, tiek plaukiant tyrėjai nustatė, jog labiausiai supimosi amplitudė didėja dėl bangų interferencijos poveikio tarp korpusų ir labiausiai pasireiškia katamaranams, tuo tarpu trimaranams šis efektas įtakos praktiškai neturi.

S.Zaghi, R. Broglia, A. Di Mascio [16] atliko plataus pobūdžio matematinius, praktinius ir skaitmeninius eksperimentus, kuriais buvo siekiama išsiaiškinti bangų interferencijos pasekmes katamaranui, bangoms atsimušus nuo dviejų katamaranų korpusų ir susitikus tarpinėje zonoje.

Tyrimo eigoje atlikus skaičiavimus, buvo nustatyta, jog dėl interferencijos, tarpe tarp dviejų katamarano korpusų, susidaro slėgių skirtumas. Visa tai buvo paskaičiuota naudojant programą RANS. Be to buvo nustatyti laivo judėjimo greičiai, kurie sukelia didesnę ar mažesnę interferencijas: mažiausia interferencija – Fr skaičius  $< 0,35$ , didžiausia kai  $Fr \sim 0,5$ , nereikšminga –  $Fr > 0,75$ . Taip pat tyrėjai padarė išvadą, jog kuo korpusai arčiau vienas kito, tuo greičiau pasireiškia nelinijinė bangų interferencija. Mokslininkai pabrėžia, jog reikia atlikti dar daug matematinių eksperimentų, norint perprasti priežastis, kurios sukelia naudingą interferenciją.

T. Castiglione, F. Stern, M. Kandasamy ir S. Bova [18] straipsnyje aprašė atliktą katamaranų tyrimą reguliarių bangų aplinkoje. Tyrimo tikslas buvo nustatyti priklausomybę tarp laivo geometrijos, greičio (Frudo sk.), bangos šlaito kampo, bangos ilgio, bei kilinio ir vertikalojo supimųsi. Autoriai aprašė modelinių tyrimų „skaičiavimų eigą“, aptarė gautus rezultatus ir juos palygino su rezultatais gautais pasitelkus CFDShip – Iowa V.4 programinę įrangą.

Palyginus rezultatus buvo nustatyta paklaida kuri nebuvo didesnė kaip 6 %, be to tyrėjai išvadose pateikia, jog katamarano vertikalusis supimasis turi tendenciją didėti kai laivo greitis  $Fr=0,75$ , o bangos ilgis  $\lambda/L=1.1$ . Katamarano kilinis supimasis taip pat didėja, kai  $Fr=0,45$ , o  $\lambda/L$  atrežia prie 1,4.

R. B. Luhulima, D. Setyawan ir I.K.A.P. Utama [15] straipsnyje nagrinėja vienkorpusių ir daugiakorpusių laivų stabilumo ir jūrinių savybių kriterijus, bei juos lygina tarpusavyje. Tyrimas buvo atliktas ramiam vandenyje ir tada kai bangos su laivu kontaktuoja įvairiais kampais ( $0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}, 135^{\circ}, 180^{\circ}$ ). Skaičiavimai atlikti Maxsurf ir CFD – ANSYS AQUA programomis. Tyrimo tikslas gautų rezultatų lyginimas tarpusavyje.

Abiem programomis atlikti skaičiavimai prie to paties greičio  $Fr=0,3$ , keičiant tik bangos kampus.

Išsiaiškinta, jos skaičiuojant abiem programomis rezultatų nukrypimai nėra žymūs, todėl tyrėjai rekomenduoja abi programas katamaranų (kitų laivų taip pat) supimosi skaičiavimams.

F. Stern, Z. Wang, J. Yang ir kiti [11] nagrinėja ir aptaria visas CFDShip – Iowa modeliavimo bei skaičiavimo metodikas, kurių pagrindu dirba ši didelio našumo programa.

Ypač didelis dėmesys skiriamas naujos kartos CFDShip – Iowa V.6 programos serijai, kuri skirta jūrų architektūros, vandenynų inžinerijos, laivų projektavimo, bei laivų jūrinių savybių tyrimų sektoriui.

Mokslininkų teigimu ši programa daro didelę ir labai sparčią pažangą, kuri leis modelinius laivų jūrinių savybių tyrimus visiškai perkelti į virtualią erdvę.

*Yra atlikta nemažai mokslinių tyrimų, susijusių su katamaranų supimosi teorija, taip pat su įvairiais faktoriais darančiais įtaką jų jūrinėms savybėms. Tačiau iki šiol nėra pakankamai padaryta katamaranų supimosi tyrimų tarpusavio palyginimų, tokių kaip: linijinės supimosi teorijos skaičiavimų rezultatų palyginimas su supimosi rezultatais, gautais CFD programinės įrangos pagalba, taip pat su rezultatais gautais atlikus natūralius laivo supimosi bandymus. Tyrimų tarpusavio palyginimas leistų įvertinti kiekvieno jų tarpusavio tikslumą ir paklaidas.*

*Pastebima, jog šiais laikais vis populiarsnis tampa laivų jūrinių savybių modeliavimas naudojant CFD programinę įrangą, kurios pagalba gaunami kokybiški ir arti realybės esantys rezultatai. Todėl yra būtinybė nustatyti CFD programos sąlygas, kuriomis remiantis būtų galima patikimai atlikti katamaranų vertikalaus ir kilinio supimosi skaičiavimus taip, kad laivo supimąsi būtų galima skaičiuoti esant įvairioms bangavimo sąlygoms. Šiam tikslui pasiekti atliksime linijinės supimosi teorijos, natūralių tyrimų ir CFD programos skaičiavimų rezultatų tarpusavio palyginimą, norėdami įsitikinti, jog visų trijų bandymų rezultatai, su tam tikra paklaida, tarpusavyje sutampa.*

## 2. KATAMARANŲ SUPIMOSI PROBLEMOS SPRENDIMAS

Lyginant su vienkorpusiais laivais, katamaranai yra kur kas sudėtingesnis tyrimo objektas. Tai galima paaiškinti mažiau ištirtais hidrodinaminiais reiškiniais, atsirandančiais dvikorpusių laivų supimosi metu, ir sudėtingesne šių laivų konstrukcija. Jai aprašyti būtina išnagrinėti ne tik pagrindinius elementus, bet ir horizontalų klirensą, bei papildomas katamaranų charakteristikas. Šias charakteristikas sudaro jungiamojo tilto išdėstymas pagal korpuso ilgį ir aukštį (vertikalus klirensas), taip pat jo forma [22].

Katamaranų, susidedančių iš dviejų vienodų korpusų, kilinio supimosi analizė atliekama su prielaida, kad inercinės, dempferavimo (jėgos slopinančios laivo supimąsi), atstatomųjų ir sužadinančių jėgų, veikiančių santykinai siaurus katamarano korpusus, esant pakankamam klirenso dydžiui, momentai mažai skiriasi nuo atitinkamų vienkorpūsio laivo momentų (kai laivai turi vienodus matmenis ir geometriškai panašius korpuso apvadus).

Katamaranų, kaip ir vienkorpusių vandentalpinio tipo laivų, kilinio supimosi diferencialinės lygtys sudaromos ir sprendžiamos kartu su analogiškoms vertikalaus supimosi lygtimis, kurios ir sudarys laivo kilinio supimosi, esant reguliariam bangavimui lygčių sistemą.

Egzistuojančios diferencialinės lygtys (3) formulė katamarano kilinio supimosi charakteristikoms skaičiuoti, neatsižvelgiant į jungiamojo tilto, kuris gali liestis su vandeniu, laivo korpusui svyruojant pakankamai didele amplitude, įtaka supimuisi, nedaug skiriasi nuo analogiškų lygčių, aprašančių vienkorpūsio laivo kilinį supimąsi.

Iš esančių keleto laivo kilinio supimosi lygčių žymėjimo būdų, mes pasirinktos mokslininko Remezo pasiūlytus lygties žymenis, kurie naudojami visame darbe [27]. Laivo supimąsi sužadinančių jėgų žymėjimas (1):

$$\left. \begin{matrix} A_j^S \\ A_j^C \end{matrix} \right\} = \int_{-L/2}^{L/2} a_j \begin{cases} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{cases} dx, \quad (1)$$

$$\left. \begin{matrix} A_j^{XS} \\ A_j^{XC} \end{matrix} \right\} = \int_{-L/2}^{L/2} a_j x \begin{cases} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{cases} dx,$$

čia  $A_j^S, A_j^C, A_j^{XS}, A_j^{XC}$  – žymėjimas sukurtas pagal principą: jei integralinėje funkcijoje yra  $a_j$  (pagrindinė sužadinamosios jėgos dedamoji) tai sužadinimo jėgos integralas žymimas  $A_j$ , jeigu į pntegralinę funkciją įeina  $\sin k_1 x, \cos k_1 x$ , tai integralas  $A_j$  viršutiniame indekse žymimas pirmosiomis raidėmis s arba c ( $A_j^S, A_j^C$ ). Jeigu integralinėje funkcijoje yra daugiklis  $x$  (atstumas tarp

laivo skaičiuojamojo skerspjūvio ir laivo svorio centro), tai jis taip pat nurodamas viršutiniame indekse ( $A_j^{XS}$ ,  $A_j^{XC}$ ).

Šio žymėjimo principus taikysime ir toliau, visame baigiamajame darbe.

Dempferavimo  $\Lambda_{ij}$ , ir prijungtųjų masių  $M_{ij}$  koeficientai:

$$\left. \begin{aligned} M_{ij}^s \} \\ M_{ij}^c \} &= \int_{-L/2}^{L/2} \kappa_k^0 \mu_{ij} \begin{Bmatrix} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{Bmatrix} dx \\ \Lambda_{ij}^s \} \\ \Lambda_{ij}^c \} &= \int_{-L/2}^{L/2} \kappa_k^0 \lambda_{ij} \begin{Bmatrix} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{Bmatrix} dx \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} M_{ij}^{xs} \} \\ M_{ij}^{xc} \} &= \int_{-L/2}^{L/2} \kappa_k^0 \mu_{ij} x \begin{Bmatrix} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{Bmatrix} dx \\ \Lambda_{ij}^{xs} \} \\ \Lambda_{ij}^{xc} \} &= \int_{-L/2}^{L/2} \kappa_k^0 \lambda_{ij} x \begin{Bmatrix} \sin k_1 x \\ \cos k_1 x \end{Bmatrix} dx \end{aligned} \right\}$$

čia  $\lambda_{ij}$  – tai izoliuoto kontūro Dempferavimo koeficientas, turintis teorinio španhauto formą;  
 $\mu_{ij}$  – izoliuoto kontūro prijungtosios masės koeficientas, priklausantis nuo teorinio španhauto formos;

$\kappa_k^0$  – redukavimo koeficientas.

Katamarano jūrines savybes, esant reguliariam bangavimui, pradėsime analizuoti nuo vertikalaus ir kilinio supimosi lygties, kurią pasiūlė mokslininkas Lugovskij [24].

$$\begin{cases} a_{33}\ddot{\xi}_g + b_{33}\dot{\xi}_g + c_{33}\xi_g + a_{35}\ddot{\psi} + b_{35}\dot{\psi} + c_{35}\psi = \alpha_3 \cos \sigma_k t + \beta_3 \sin \sigma_k t, \\ a_{53}\ddot{\xi}_g + b_{53}\dot{\xi}_g + c_{53}\xi_g + a_{55}\ddot{\psi} + b_{55}\dot{\psi} + c_{55}\psi = \alpha_3 \cos \sigma_k t + \beta_3 \sin \sigma_k t, \end{cases} \quad (3)$$

čia  $\sigma_k = \sigma_0 - k \cdot v \cdot \cos \varepsilon$  – menamasis bangos dažnis;

$\sigma_0$  – ciklinis bangos dažnis;

$v$  – laivo greitis;

$\varepsilon$  – kampas tarp bangų sklidimo ir laivo judėjimo krypties;

$\xi_g$  – laivo svorio centro aplikatė;

$\psi$  – laivo kilinio supimosi kampai;

$a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ ,  $c_{ij}$ , ( $i, j = 3, 5$ ) – prijungtųjų masių, bei supimosi Dempferavimo koeficientai, kurių dydžiai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė. Supimosi dempferavimo ir prijungtų masių koeficientai

| Indeksas | Inercijos jėgos  | Dempferavimo jėgos                              | Atstatomosios jėgos                        |
|----------|------------------|---|--|
| $ij$     | $a_{ij}$         | $b_{ij}$  | $c_{ij}$                                   |
| 33       | $m + M_{33}$     | $\Lambda_{33}$                                  | $\rho g S_0$                               |
| 35       | $M_{35} - m x_g$ | $\Lambda_{33} + v M_{33}$                       | $-\rho g S_0 (x_c - x_g) + v \Lambda_{33}$ |
| 53       | $M_{35} - m x_g$ | $\Lambda_{33} - v M_{33}$                       | $-\rho g S_0 (x_c - x_g) - v \Lambda_{33}$ |
| 55       | $I_y + M_{55}$   | $\Lambda_{55} + v^2 \sigma_0^{-2} \Lambda_{33}$ | $\rho g I_y - v^2 M_{33}$                  |

- čia  $m$  – laivo masinė vandentalpa;  
 $g$  – laisvojo kritimo pagreitis ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );  
 $\rho$  – vandens tankis;  
 $S_0$  – laivo konstrukcinės vaterlinijos plotas;  
 $x_g$  – laivo svorio centro abscisė;  
 $x_c$  – laivo vandentalpos centro abscisė;  
 $I_y$  – laivo masės inercijos momentas.

Kiti elementai ( $M_{ij}$ ,  $\Lambda_{ij}$ ) randami pasitelkus plokščiųjų laivo skerspjūvių hipotezę [4, 20].

- $M_{33} = \int_{L/2}^{-L/2} \mu_{33}(x) dx$  – prijungtoji laivo vandens masė laivui patiriant vertikaluji supimąsi;
- $M_{35} = \int_{L/2}^{-L/2} \mu_{33}(x) dx$  – prijungtosios vandens masės statinis momentas aplink skersinę svorio centro masę;
- $M_{55} = \int_{L/2}^{-L/2} \mu_{33}(x) dx$  – vandens masės prijungtasis inercijos momentas;
- $\Lambda_{33} = \int_{L/2}^{-L/2} \lambda_{33}(x) dx$  – vertikalaus supimosi dempferavimo koeficientas;
- $\Lambda_{35} = \int_{L/2}^{-L/2} x^2 \lambda_{33}(x) dx$  – vertikalaus ir kilinio supimosi tarpusavio sąveikos dempferavimo koeficientas;
- $\Lambda_{55} = \int_{L/2}^{-L/2} x^2 \lambda_{33}(x) dx$  – kilinio supimosi dempferavimo koeficientas.

- čia  $\lambda_{33}(x)$  – dempferavimo koeficientas įvertinantis teorinio španhauto formą;  
 $\mu_{33}(x)$  – teorinio španhauto vertikaliųjų svyravimų prijungtos masės koeficientas [10, 29].

Sužadintuosios jėgos ir momentai:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \alpha_3 &= r_0 [\rho g \Lambda_3^c - \sigma_0 (M_{33}^c \sigma_k - \Lambda_{33}^s)], \\
 \bullet \quad \beta_3 &= r_0 [-\rho g \Lambda_3^s + \sigma_0 (M_{33}^s \sigma_k + \Lambda_{33}^c)], \\
 \bullet \quad \alpha_5 &= r_0 \{-\rho g \Lambda_3^{xc} + \sigma_0 [M_{33}^{xc} \sigma_k - \Lambda_{33}^{xs} - v(M_{33}^s + \Lambda_{33}^c \sigma_k^{-1})]\}, \\
 \bullet \quad \beta_5 &= r_0 \{\rho g \Lambda_3^{xs} - \sigma_0 [M_{33}^{xs} \sigma_k + \Lambda_{33}^{xc} - v(M_{33}^c - \Lambda_{33}^s \sigma_k^{-1})]\}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Pagrindinės dedamosios, kurios sudaro sužadinamąsias jėgas:

$$\left. \begin{aligned}
 A_3^s &= \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3 b_1 \sin k_1 x dx \\
 A_3^{xs} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3 b_1 \sin k_1 x dx \\
 A_3^c &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3 b_1 \cos k_1 x dx \\
 A_3^{xc} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3 b_1 \cos k_1 x dx
 \end{aligned} \right\}, \tag{5}$$

čia  $b_1 = b - k\omega_f$ , kur  $b$  – španhauto plotis konstrukcinės vaterlinijos plotyje;

$k_1 = k \cos \varepsilon$ , kur  $k = \frac{2\pi}{\lambda_b}$  – bangų skaičius;

$\lambda_b$  – bangos ilgis;

$\omega_f$  – panirusio į vandenį španhauto plotas;

$\kappa_3$  – redukcijos koeficientas;

$x$  – atstumas tarp laivo skaičiuojamojo skerspjūvio ir jo svorio centro.

Sužadintų jėgų difrakcinės dempferavimo dedamosios:

$$\left. \begin{aligned}
 \Lambda_{33}^s &= \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \lambda_{33}(x) \sin k_1 x dx \\
 \Lambda_{33}^{xs} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \lambda_{33}(x) \sin k_1 x dx \\
 \Lambda_{33}^c &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \lambda_{33}(x) \cos k_1 x dx \\
 \Lambda_{33}^{xc} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \lambda_{33}(x) \cos k_1 x dx
 \end{aligned} \right\}. \tag{6}$$

Sužadintų jėgų difrakcinės inercinės jėgos dedamosios:

$$\left. \begin{aligned}
 M_{33}^s &= \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \sin k_1 x dx \\
 M_{33}^{xs} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \sin k_1 x dx \\
 M_{33}^c &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \cos k_1 x dx \\
 M_{33}^{xc} &= \int_{\frac{L}{2}}^{-L/2} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \cos k_1 x dx
 \end{aligned} \right\}. \tag{7}$$

Atliekant katamarano supimosi skaičiavimus naudojant šias lygtis yra gaunami gana neblogi ir patikimi rezultatai, kurių pagalba galima spręsti apie laivo supimosi pobūdį, sekti laivo denio užliejamumą, prie tam tikro bangavimo pobūdžio, bei nustatyti supimosi charakteristikas esant reguliariam bangavimui [2, 24].

Dėl katamarano korpusų hidrodinaminės sąveikos kinta inercinės, dempferavimo, atstatomosios ir sužadamosios jėgos. Vienas iš svarbiausių faktorių, įvertinančių antrojo korpuso įtaką ir papildančių katamarano kilinio supimosi lygtį, yra prijungtosios vandens masės [10].

Katamarano prijungtosios vandens masės priklauso nuo santykinio horizontalaus klirensio dydžio. Siekiant įvertinti prijungtosios masės priklausomybę nuo horizontalaus klirensio, įvedamas prijungtosios masės koeficientas. Šis koeficientas parodo, kiek skiriasi dviejų katamarano korpusų prijungtoji masė nuo vieno izoliuoto korpuso prijungtosios masės [10].

### 3. KATAMARANO JUDĖJIMĄ, ESANT REGULIARIAM BANGAVIMUI, NUSAKANČIOS PATIKSLINTOSIOS LYGTYS

Skirtumas tarp katamaranų ir laivų su vienu korpusu supimosi charakteristikų yra nusakomas pagrindinių matmenų santykiais, laivo korpuso apvadų forma, apkrovų pasiskirstymu, korpusų skaičiumi, bei jų išdėstymu vienas kito atžvilgiu.

Paprastai jūriniai katamaranai labai skiriasi nuo vienkorpusių laivų, lyginant jų gabaritinių matmenų santykius:

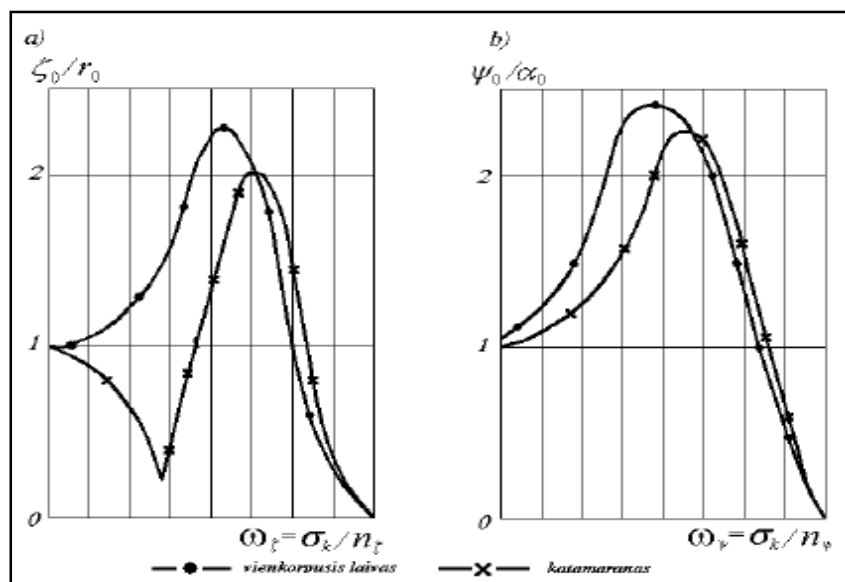
- Santykinis denio plotis (katamaranas  $L/B = 1 \div 5$ , vienkorpusio laivo  $L/B = 2,5 \div 11$ );
- Santykinai mažesnis korpuso plotis (katamarano  $B_1/d = 2 \div 0,2$ , didžiosios daugumos vienkorpusių laivų  $B_1 = 2 \div 4$ );
- Santykinai didesnis borto aukštis (katamarano  $L/D = 0,1 \div 0,3$ , vienkorpusio laivo  $L/D = 0,05 \div 0,15$ ).

Kai katamarano ir vienkorpusio laivo vandentalpos, ilgis ir korpusų apvadų formos yra vienodos, katamarano metacentrinis spindulys, bei inercijos momentas skersinės ašies atžvilgiu yra šiek tiek mažesnis negu vienkorpusio laivo. Todėl laisvojo kilinio ir vertikalios supimosi dažniai yra labai artimi vienas kitam, tačiau neretai katamaranų supimosi dažniai yra šiek tiek didesni [30].

1 paveiksle yra pateikiami tipiniai katamarano ir vienkorpusio laivo supimosi amplitudiniai – dažniai, kai abiejų laivų vandentalpos yra vienodos [26].

Kai laivo greičiai yra nedideli ( $Fr \leq 0,3$ ), tiek katamarano, tiek vienkorpusio laivo supimosi grafikai yra labai panašūs – labai artimi pagal abscisės ir ordinatės reikšmes. Laivams plaukiant prieš ir pagal bangas, katamarano su tradiciniais apvadais kilinio supimosi charakteristikos, galima sakyti, yra visiškai vienodos, kaip ir vienkorpusio laivo. Tačiau aukštų supimosi dažnių diapazone katamaranams gali pasireikšti „rezonansinis“ supimasis.

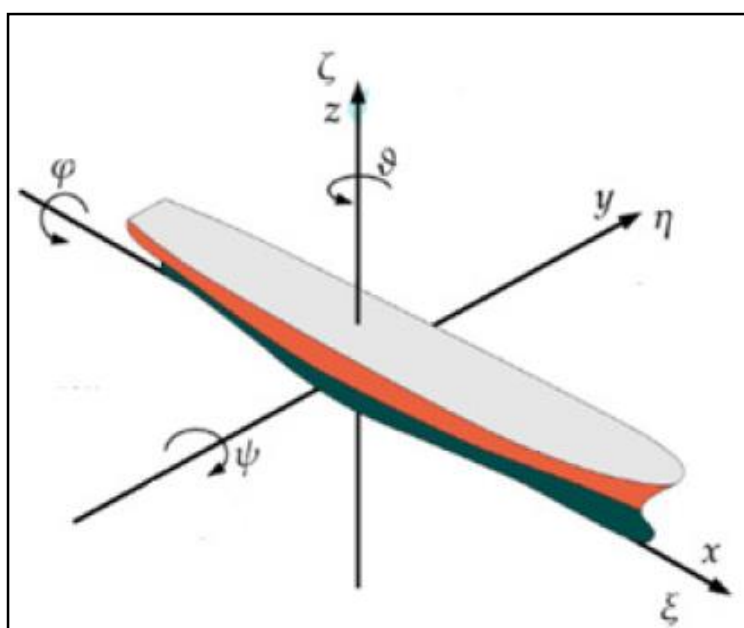
Tačiau gali būti ir taip, jog katamarano kilinio supimosi charakteristikos gali būti ir blogesnės nei vienkorpusio laivo. Taip gali būti, jeigu katamarano korpusas yra ilgesnis ir gana išstėtas.



1 pav. Katamaranų ir vienkorpusių laivų, esant vienodiems korpusų ilgiams ir vienodoms vandentalpoms, amplitudinių – dažnių palyginimas: a – vertikalus supimasis prieš bangas; b – kilinis supimasis esant lydimojo bangavimo sąlygoms [8]

Skaičiuojant katamarano kilinį ir vertikalusį supimąsi, pagrindą sudaro vieno korpuso geometriniai duomenys. Dydžiai, priklausantys visam katamaranui, pateikiami 2 kartus mažesni, o korpusų hidrodinaminės sąveikos ypatybės lygtyse atsispindi, kaip jėgų, veikiančių katamaraną, papildymai.

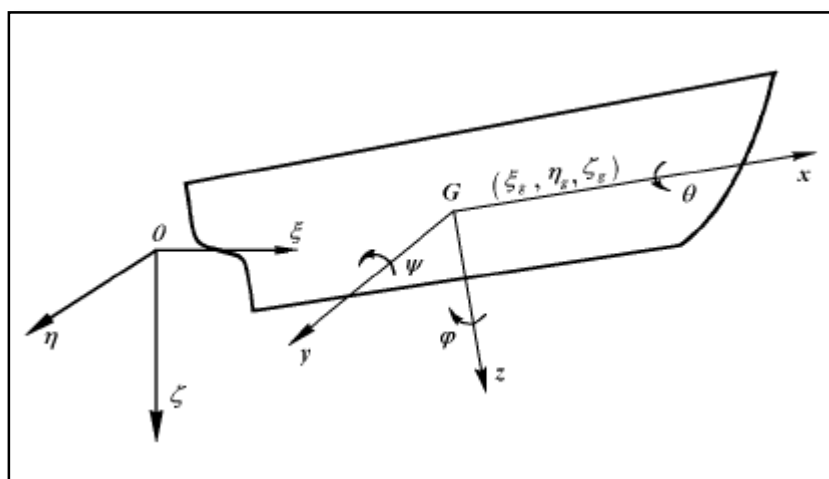
Laivas laikomas absoliučiai laisvu, kietu kūnu, kuris turi 6 laisvės laipsnius (žr. 2 pav.), bei atlieka tris linijinius judesius, išilgai pasirinktų, erdvėje viena kitai statmenų koordinatinių ašių ir tris sukimosi judesius aplink jas [4].



2 pav. Laivo laisvės laipsniai [6]

Praktikoje dažniausiai minėtos koordinačių sistemos ašys imamos taip, kad laivui esant pusiausvyros padėtyje, jų pradžia sutaptų su laivo svorio centru, o pačios ašys būtų imamos, kaip laivo inercijos ašys. Nubrėžus nejudančias ir judančias koordinačių ašis, kaip parodyta 3 paveiksle [6], sudėtingus svyravimus charakterizuos šios dedamosios:

- $\xi$  – linijiniai svyravimai išilginės ašies kryptimi – horizontalusis – išilginis svyravimas;
- $\eta$  – linijiniai svyravimai skersinės ašies kryptimi – horizontalusis – skersinis svyravimas, arba kitaip – dreifas;
- $\zeta$  – linijinis svyravimas vertikalsios ašies kryptimi – vertikalusis svyravimas, arba kitaip dar vertikalusis supimasis;
- $\theta$  – kampinis svyravimas apie išilginę ašį – bortinis (šoninis) supimasis;
- $\psi$  – kampinis svyravimas apie skersinę ašį – kilinis supimasis;
- $\varphi$  – skersinis supimasis apie vertikaliąją ašį – vingiavimas [6].



3 pav. Laivo svyravimų dedamosios [6]

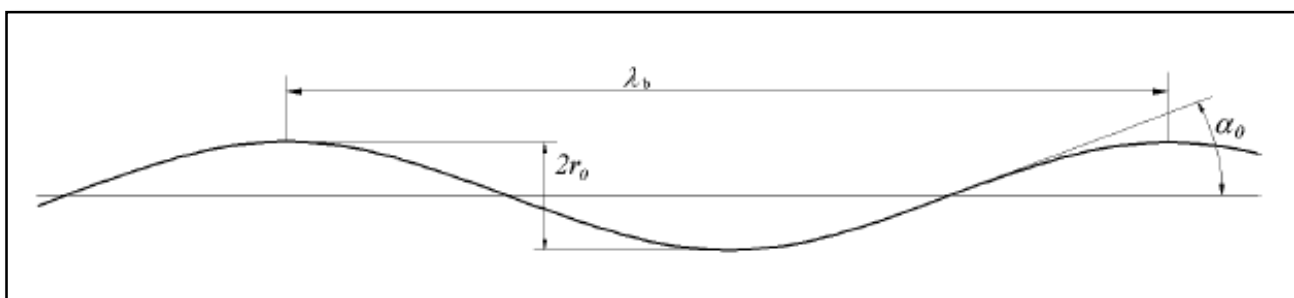
Taigi, tiriant katamarano išilginius svyravimus, galima taikyti pagrindines bendrosios tiesinės laivo supimosi teorijos taisykles bei teiginius, kai laivas juda statmenai bangoms (bangų sklaidimo kryptis į laivapriekį) [10].

Išilginį supimasi sudaro: vertikalusis, kilinis ir horizontalusis – išilginis supimaisi. Laivo išilginio supimosi teorijoje paprastai nagrinėjami tik vertikalusis ir kilinis supimaisi, nes jie glaudžiai tarpusavyje susiję ir daro įtaką vienas kitam. Mažiausiai įtakos išilginiam supimuisi, lyginant su kitais dviem, turi horizontalusis – išilginis supimasis, todėl dažnai jo sudaromi jėgos momentai laikomi nereikšmingai maži, lyginant su vertikaliuoju ir kiliniu supimusi, todėl nenagrinėjami [24, 27].

Pagrindinis laivo supimosi žadinimo šaltinis yra bangos ir vėjas. Reguliarios bangos – tai pastovaus ilgio ir periodo bangos. Laivo supimasis esant reguliariam bangavimui – tai supimasis sužadintame jūros paviršiuje, susidedančiame iš plokščių, progresinių su mažomis amplitudėmis bangų.

Pagrindiniai elementai apibūdinantys šio tipo bangas yra šie (žr. 4 pav.):

- Bangos aukštis  $h_b=2r_0$  – tai atstumas nuo bangos viršūnės (keteros) iki bangos pado. Jis lygus dvigubai bangos amplitudės reikšmei  $r_0 \approx 0,085\lambda_b^{0,75}$ ;
- Bangos ilgis  $\lambda_b$  – tai atstumas tarp dviejų bangos viršūnių, arba bangos padų;
- Bangos periodas  $\tau = \sqrt{\frac{2\pi}{g}}\lambda_b$  – tai laikotarpis tarp dviejų nuosekliai einančių bangos viršūnių;
- Bangos profilio greitis  $c = \lambda_b/\tau$  – tai atstumas į kurį per laiko vienetą perkeliama bangos viršūnė;
- Didžiausias bangos šlaito kampas  $\alpha_0$  – tai didžiausias kampas, kurį sudaro bangos liestinė su horizontu;
- Bangos statumas  $\frac{2r_0}{\lambda_b}$  – charakterizuojamas bangos aukščio ir jos ilgio santykiu [6]. Kai šis santykis per didelis, bangų aukštis tampa santykinai didelis palyginus su bangos ilgiu. Tokios bangos tampa nestabilios – jos suyra.



4 pav. Reguliarios bangos profilis, bei jo dedamosios [6]

Norint sužinoti ir įvertinti katamarano korpusų sąveiką tarpusavyje, bei šios sąveikos poveikį laivo supimuisi yra būtina į kilinio supimosi lygtis įtraukti faktorius, kurie tai nulemia. Visam tam puikiai tinka L. Sedovo skaičiavimo metodas, kuris leidžia įvertinti klirenso įtaką laivo supimuisi. Pagal šią metodiką laivas yra pakeičiamas plokštelių pora, judančia nevysiškai ramaus skysčio paviršiumi [28]. Šiuo atveju prijungtoji masė plokštelėms judant bus lygi:

$$\mu_y = \frac{\rho\pi}{2} B^2 (1 + 2\bar{C})^2 \left[ 1 - 2 \frac{E(k)}{F(k)} \right], \quad (8)$$

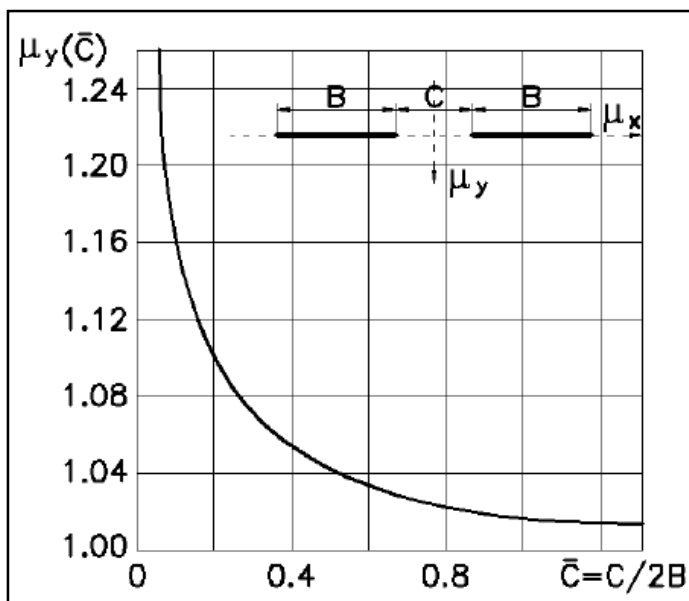
čia  $E(k)$  ir  $F(k)$  – pirmosios ir antrosios eilės pilnasis elipsinis integralas, todėl:

$$k = \frac{1}{2+2\bar{C}}. \quad (9)$$

Atsižvelgiant į santykį (9) pertvarkome formulę, kuri leidžia apskaičiuoti prijungtąją katamarano masę įvertinant klirensą:

$$\mu_y = (1 + 2\bar{C})^2 \left[ 1 - 2 \frac{E(k)}{F(k)} \right]. \quad (10)$$

Prijungtosios masės koeficiento reikšmę galima nustatyti iš grafiko (žr. 5 pav.).



5 pav. Prijungtosios masės koeficiento priklausomybė nuo horizontalaus katamarano klirenso [8]

Grafike pateikiama prijungtosios masės koeficiento priklausomybė nuo horizontalaus katamarano klirenso. Paėmus prijungtosios masės koeficiento reikšmę, atsižvelgiant į santykinį horizontalų klirenso ir įtraukiant į kilinio supimosi lygtis, įvertinama horizontalaus klirenso įtaka katamarano kilinio ir vertikalios supimosi charakteristikoms [19]. Šio koeficiento pagalba įvertiname, kiek skiriasi dviejų katamarano korpusų prijungtoji masė nuo vieno izoliuoto korpuso prijungtosios masės.

V. Djačkov siekdamas patikslinti katamarano kilinio supimosi lygčių skaičiavimus ir paversti kuo tikslesnius, pasinaudojo prijungtosios masės koeficientu, į skaičiavimus įtraukiant katamarano kilinio supimosi lygtis, bei santykinio horizontalaus klirenso priklausomybės grafikus [8].

Prijungtų masių koeficientus mokslininkas rado pasitelkęs plokščių laivo skerspjūvių teoriją.

- $M_{33} = \mu_y(\bar{C}) \int_{L/2}^{-L/2} \mu_{33}(x) dx$  – prijungtos vandens masės esant vertikaliam supimuisi;
- $M_{35} = \mu_y(\bar{C}) \int_{L/2}^{-L/2} x \mu_{33}(x) dx$  – prijungtos masės inercijos momentas skersinės svorio centro ašies atžvilgiu;
- $M_{55} = \mu_y(\bar{C}) \int_{L/2}^{-L/2} x^2 \mu_{33}(x) dx$  – prijungtos vandens masės inercijos momentas.

Koeficientas  $\mu_y(\bar{C})$ , kurį į prijungtųjų masių ir sužadinimo jėgų lygtis įtraukė V. Djačkov leido patikslinti katamaranų supimosi lygčių komponentus. Gautomis naujomis lygtimis, kur kas tiksliau apskaičiuojamos daugiakorpusių laivų jūrinių savybių charakteristikos. Skaičiavimai atliekami atsižvelgiant į korpusų tarpusavio sąveikas [8].

Supimosi dempferavimo koeficientai apskaičiuojami pagal formules, pateiktas 2 skyriuje. Sužadinosios jėgos ir momentai randami pagal (4) formulę. Sužadintųjų jėgų pagrindinės dalies koeficientai apskaičiuojami pagal (5) formulę. Sužadintųjų jėgų supimosi slopinimo difrakcinių komponentų koeficientai – pagal (6) formulę.

Turėdami  $\mu_y(\bar{C})$  koeficientą, statome jį į (7) formulę ir perskaičiuojame sužadintų jėgų difrakcinės inercinės jėgos dedamąsias:

$$\left. \begin{aligned} M_{33}^s &= \mu_y(\bar{C}) \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \sin k_1 x dx \\ M_{33}^{xs} &= \mu_y(\bar{C}) \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \sin k_1 x dx \\ M_{33}^c &= \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \cos k_1 x dx \\ M_{33}^{xc} &= \mu_y(\bar{C}) \int_{\frac{L}{2}}^{-\frac{L}{2}} \kappa_3^0 \mu_{33}(x) \cos k_1 x dx \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Į (1) lygtį įtraukus visus komponentus, gausime naujas katamarano judėjimo diferencialines lygtis (žr. (12) lygtį) laivui patiriant kilinį supimąsi, kai laivo judėjimo greitis –  $v$  m/s.

$$\left\{ \begin{array}{l} (m + \mathbf{M}_{33})\ddot{\xi}_g + \Lambda_{33}\dot{\xi}_g + \rho g S_0 \xi_g + (\mathbf{M}_{35} - m x_g)\ddot{\psi} + (\Lambda_{35} + v\mathbf{M}_{33})\dot{\psi} + (-\rho g S_0 x_f + v\Lambda_{33})\psi = \\ = r_0 \left( \rho g A_3^C - \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^C \sigma_k - \Lambda_{33}^S) \right) \cos \sigma_k t + r_0 \left( -\rho g A_3^S + \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^S \sigma_k + \Lambda_{33}^C) \right) \sin \sigma_k t; \\ (\mathbf{M}_{35} - m x_g)\ddot{\xi}_g + (\Lambda_{35} - v\mathbf{M}_{35})\dot{\xi}_g + (-\rho g S_0 x_f - v\Lambda_{33})\xi_g + (I_y - \mathbf{M}_{55})\ddot{\psi} + \left( \Lambda_{55} + \frac{v^2}{\sigma_0^2} \Lambda_{33} \right) \dot{\psi} + (\rho g I_y - v^2 \mathbf{M}_{33})\psi = \\ = r_0 \left( -\rho g A_3^{XC} + \sigma_0 \left( \mathbf{M}_{33}^{XC} \sigma_k - \Lambda_{33}^{XS} - v \left( \mathbf{M}_{33}^S + \frac{\Lambda_{33}^S}{\sigma_k} \right) \right) \right) \cos \sigma_k t + r_0 \left( \rho g A_3^{XS} - \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^{XS} \sigma_k + \Lambda_{33}^{XC}) - v \left( \mathbf{M}_{33}^C - \frac{\Lambda_{33}^S}{\sigma_k} \right) \right) \sin \sigma_k t; \end{array} \right. , \quad (12)$$

Lygtyje komponentai, kuriuos patikslino ir į kilinio supimosi lygtį įtraukė V. Djačkov paryškintos tamsesniu šriftu.

čia  $\mathbf{M}_{33}$  - prijungtos vandens masės esant vertikaliajam supimuisi;

$\mathbf{M}_{35}$  - prijungtos masės inercijos momentas skersinės svorio;

$\mathbf{M}_{55}$  - prijungtos vandens masės inercijos momentas;

$\mathbf{M}_{33}^C, \mathbf{M}_{33}^S, \mathbf{M}_{33}^{XC}, \mathbf{M}_{33}^{XS}$  - patikslinti sužadintų jėgų, inercinių difrakcinių jėgų komponentų koeficientai.

Laivams, kurie turi du ar daugiau korpusais, judančių santykinai dideliais greičiais, yra būtinybė patikslinti judėjimo lygčių komponentus. Šiam tikslui panaudosime papildomų jėgų ir momentų, esant kiliniam supimuisi lygtis, kurios sudaromos atsižvelgiant į šias išvestines:

$$\begin{aligned} dC_z/d\alpha &= C_z^\alpha, \\ dC_m/d\alpha &= C_m^\alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Į katamarano judėjimo lygtis taip pat įtraukiame ir slėgio centro koeficientą  $C_d$ . [19]

$$\begin{cases} \Delta P = \rho v^2 S_0 (1 - \sin \beta_k) \left( -C_z^\alpha \psi + \frac{C_d L}{2v} C_z^\alpha \dot{\psi} + \frac{1}{v} C_z^\alpha \xi_g \right) \\ \Delta m = 0,5 \rho v^2 S_0 L (1 - \sin \beta_k) \left( -C_z^\alpha \psi + \frac{C_d L}{2v} C_z^\alpha \dot{\psi} + \frac{1}{v} C_m^\alpha \xi_g \right) \end{cases}, \quad (14)$$

čia  $C_z^\alpha$  – keliamosios jėgos koeficientas, kuris yra nustatomas pagal grafiką (žr. 6 pav.) atsižvelgiant į L/B santykį, bei laivo greitaeigiškumą – Frudo skaičių (Fr);

$C_m^\alpha$  – momento koeficiento išvestinė pagal atakos kampą, nustatomą pagal grafiką (žr. 7 pav.), šio koeficiento reikšmė taip pat priklauso nuo L/B santykio ir Fr;  $C_d$  – slėgio centro koeficientas, nustatomas grafiškai (žr. 8 pav.), nustatomas atsižvelgiant į L/B ir Fr;

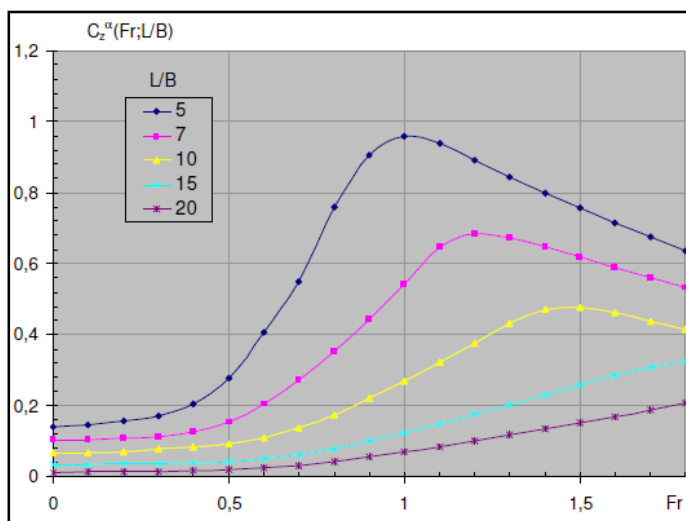
L – laivo korpuso ilgis tarp laivapriekinio ir laivagalinio statmens; B – laivo korpuso plotis (vieno katamarano);

Fr – Frudo skaičius apskaičiuojamas pagal formulę:  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$ ;

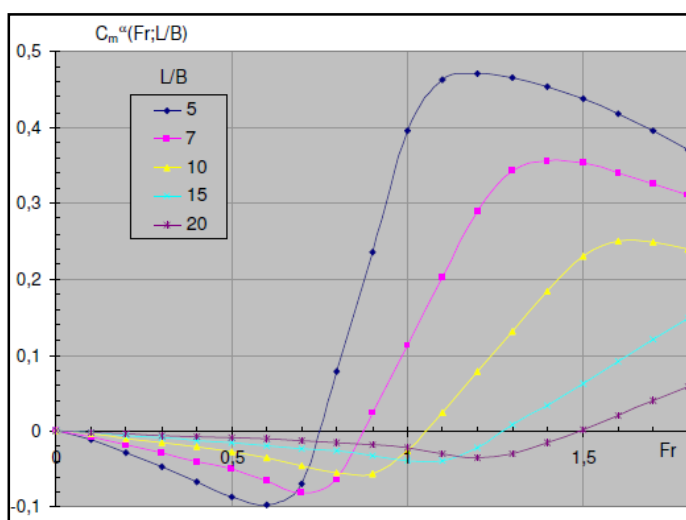
$\beta_k$  – vidutinis katamarano korpuso kiliškumo kampas, kuris randamas pagal (15) formulę:

$$\beta_k = \frac{\beta_1 B_1 + \beta_5 B_5 + \beta_{10} B_{10} + \beta_{15} B_{15} + \beta_{19} B_{19}}{B_1 + B_5 + B_{10} + B_{15} + B_{19}}, \quad (15)$$

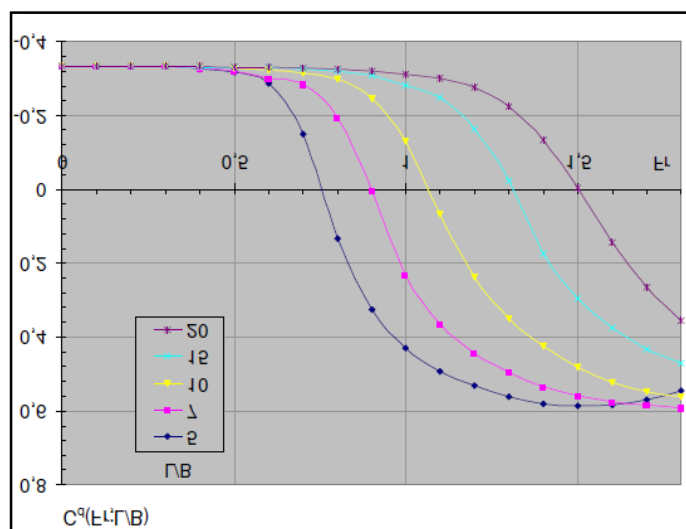
čia  $\beta_i, B_i$  – kiliškumo kampas ir španhauto plotis pagal  $i$  – tojo španhauto vaterliniją.



6 pav. Išvestinės  $C_z^\alpha = dC_z/d\alpha$  nustatymui naudojamas grafikas [8]



7 pav. Išvestinės  $C_m^\alpha = dC_m/d\alpha$  nustatymui naudojamas grafikas [8]



8 pav. Slėgio centro koeficiento  $C_a$  nustatymui naudojamas grafikas [8]

V. Djačkov savo daktaro disertacijoje panaudoja papildomų masių ir momentų lygtis [30], jas įtraukdamas į katamarano kilinio supimosi lygtis. Koeficientai  $C_z^\alpha$ ,  $C_m^\alpha$ ,  $C_d$ , kurie randami iš grafikų, taip pat prisideda prie patikslintų katamaranų kilinio supimosi lygčių. Šios lygtys sudaro pagrindą tolimesniems katamaranų kilinio ir vertikalios supimosi tyrimams [8].

Pasinaudoję žemiau esančios lygties dedamosiomis ir įtraukę jas į (2) formulę, užrašysime katamarano kilinio supimosi diferencialines lygtis, leidžiančias įvertinti pataisas, kai laivo greitis  $Fr > 0,3$ . Patikslintose katamarano kilinio supimosi lygtyse (17) atsižvelgiama į šias pataisas.

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{33}^z &= \rho v S_0 (1 - \sin \beta_k) C_z^\alpha \\ \lambda_{35}^z &= \rho v S_0 (1 - \sin \beta_k) \frac{C_d L}{2} C_z^\alpha \\ \lambda_{33}^m &= \rho v S_0 (1 - \sin \beta_k) \frac{L}{2} C_m^\alpha \\ \lambda_{55}^m &= \rho v S_0 (1 - \sin \beta_k) \frac{C_d L^2}{4} C_m^\alpha \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

Patikslintos lygtys (17), į kurias V. Djačkov įtraukė katamarano greitaeigiškumo pataisas, leidžia tiksliau spręsti katamaranų supimosi uždavinius esant reguliariam bangavimui, kai Frudo skaičius  $Fr > 0,3$ . Šias lygtis galima laikyti universaliomis, nes greitaeigiškumo pataisa daugiausia priklauso nuo laivo eigos greičio. Esant mažiems eigos greičiams pataisos bus per mažos, kad turėtų reikšmingesnės įtakos katamaranų supimosi charakteristikoms [8].

$$\left\{ \begin{array}{l}
(m + \mathbf{M}_{33})\ddot{\xi}_g + (\Lambda_{33} + \lambda_{33}^z)\dot{\xi}_g + \rho g S_0 \xi_g + (\mathbf{M}_{35} - m x_g)\ddot{\psi} + (\Lambda_{35} + \lambda_{35}^z + v \mathbf{M}_{33})\dot{\psi} + (-\rho g S_0 x_f + v \Lambda_{33} - v \lambda_{33}^z)\psi = \\
= r_0 \left( \rho g A_3^C - \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^C \sigma_k - \Lambda_{33}^S) \right) \cos \sigma_k t + r_0 \left( -\rho g A_3^S + \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^S \sigma_k + \Lambda_{33}^C) \right) \sin \sigma_k t; \\
(\mathbf{M}_{35} - m x_g)\ddot{\xi}_g + (\Lambda_{35} + \lambda_{35}^m - v \mathbf{M}_{35})\dot{\xi}_g + (-\rho g S_0 x_f - v \Lambda_{33})\xi_g + (I_y - \mathbf{M}_{55})\ddot{\psi} + \left( \Lambda_{55} + \frac{v^2}{\sigma_0^2} \Lambda_{33} + \lambda_{55}^m \right) \dot{\psi} + (\rho g I_y - v^2 \mathbf{M}_{33} - v \lambda_{35}^m) \psi = , \quad (17) \\
= r_0 \left( -\rho g A_3^{XC} + \sigma_0 \left( \mathbf{M}_{33}^{XC} \sigma_k - \Lambda_{33}^{XS} - v \left( \mathbf{M}_{33}^S + \frac{\Lambda_{33}^S}{\sigma_k} \right) \right) \right) \cos \sigma_k t + r_0 \left( \rho g A_3^{XS} - \sigma_0 (\mathbf{M}_{33}^{XS} \sigma_k + \Lambda_{33}^{XC}) - v \left( \mathbf{M}_{33}^C - \frac{\Lambda_{33}^S}{\sigma_k} \right) \right) \sin \sigma_k t;
\end{array} \right.$$

Lygtyje komponentai, kuriuos patikslino ir į kilinio supimosi lygtį įdėjo V. Djačkov paryškintos tamsesniu šriftu.

čia  $\lambda_{33}^z$  – dinaminės jėgos papildomas dempferavimo koeficientas, kuris atsiranda laivui patiriant vertikalųjį supimąsi;

$\lambda_{35}^z$  – dinaminės jėgos papildomas dempferavimo koeficientas nuo vertikalaus ir kilinio supimosi;

$\lambda_{35}^m$  – dinaminio momento papildomas dempferavimo koeficientas, kuris atsiranda nuo vertikalaus ir kilinio supimosi;

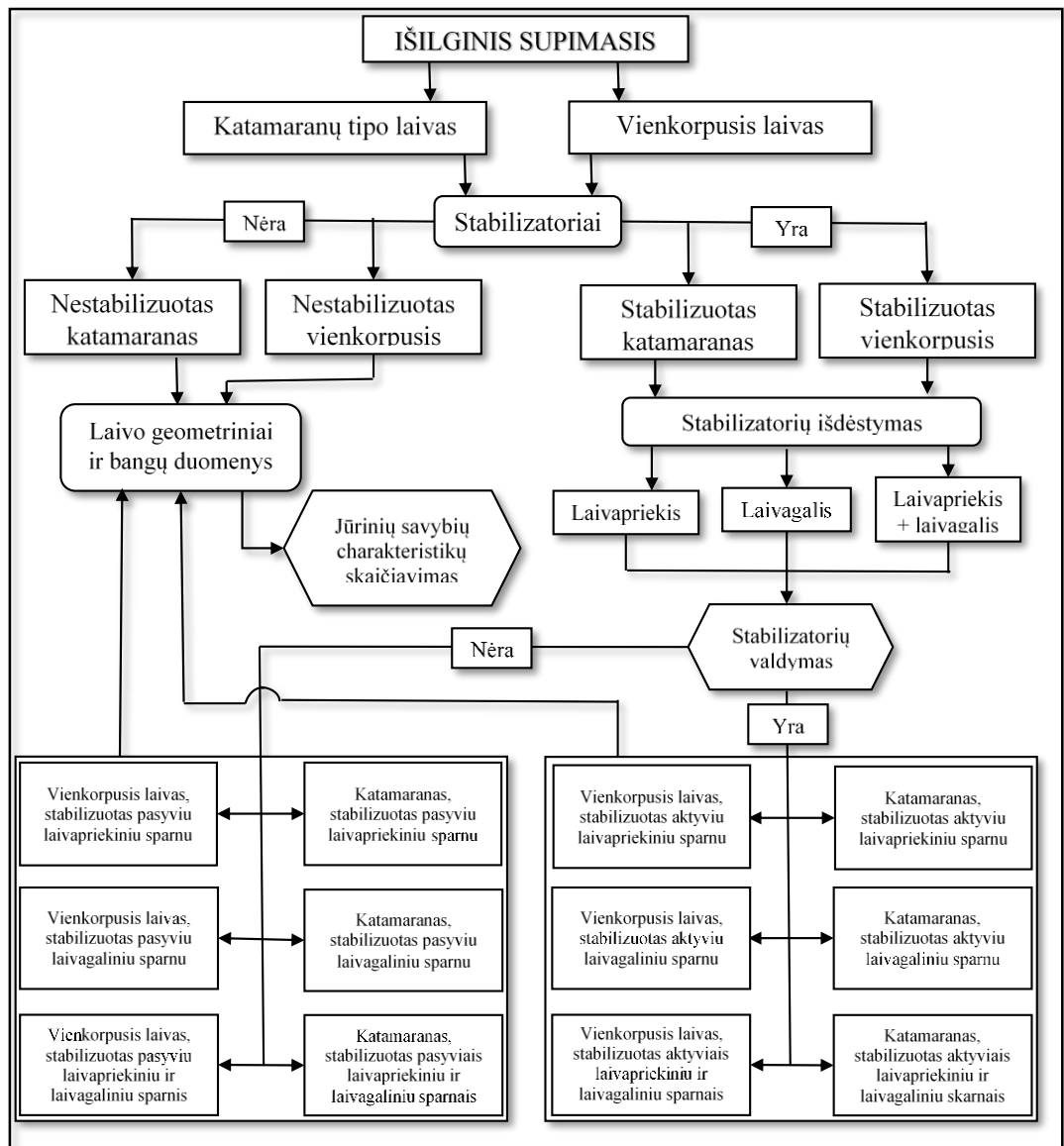
$\lambda_{55}^m$  – dinaminio momento papildomas dempferavimo koeficientas, kuris atsiranda nuo kilinio supimosi;

$\lambda_{33}^z, \lambda_{35}^z, \lambda_{35}^m, \lambda_{55}^m$  – katamarano greitaieigiškumo pataisa.

## 4. KU MOKSLINIŲ – TYRIMŲ LAIVO KILNIO IR VERTIKALAUŠ SUPIMOSI SKAIČIAVIMAS KOMPIUTERINĖS PROGRAMOS PAGALBA

### 4.1. Supimosi skaičiavimo kompiuterinės programos aprašymas

Naudojant patikslintas kilnio supimosi lygtis buvo sudaryta kompiuterinė programa, kuri suteikia galimybę apskaičiuoti tiek katamaranų, tiek vienkorpusių laivų kilnio ir vertikalaus supimosi charakteristikas. Skaičiuodama laivo supimosi programa geba įvertinti ir prie jo esančius supimosi stabilizavimo įrenginius, tačiau kadangi nagrinėjamas – KU mokslinių – tyrimų laivas jų neturi, todėl atliekant skaičiavimus į juos neatsižvelgsime. Kompiuterinės programos visų galimų atlikti skaičiavimų algoritmai pateikiami 9 paveiksle.



9 pav. Kompiuterinės programos visų galimų atlikti skaičiavimų algoritmai

Ši kompiuterinė programa sukurta Microsoft Office Excel programos pagrindu su papildomais moduliais, kuriuos sudarė Visual Basic for Applications. Programa skaičiavimus atlieka linijinės laivo supimosi teorijos pagrindais, kurią nagrinėjome baigiamojo darbo pradžioje, pagrindais (žr. 2.1. skyrių).

Programoje sudedamosios hidrodinaminės jėgos, kurios veikia laivą, apskaičiuojamos pagal skerspjūvių hipotezę [4]. Kad skaičiavimai būtų kuo tikslesni, į programą įtraukta prijungtųjų masių ir supimosi dempfiravimo koeficientai, redukciniai koeficientai bei greitaiegiškumo faktoriai [26]. Skaičiavimai atliekami Excel faile, suvestų formulių pagalba, o visi gaunami rezultatai pateikiami lentelėse, bei grafikuose.

Skaičiuojant kiekvieno španto skerspjūvio prijungtųjų masių dydžius ir redukcinių koeficientų reikšmes programa, taikomas Splaino interpoliacijos metodas (žr. 10 pav.), kuris leidžia skaičiuoti labai greitai. Jeigu skaičiavimai būtų atliekami rankiniu būdu – tam neužtektų ir keleto valandų. Integruojant pagal laivo ilgį, taikomas Simpsono metodas, leidžiantis gauti didesnę rezultatų tikslumą.

```
Cubic spline interpolation

Dim NumX As Integer
Dim NumY As Integer
Dim NumPoint As Integer
Dim ColX As Boolean
Dim ColY As Boolean

If Range_X.Rows.Count = 1 Then
    NumX = Range_X.Columns.Count
    ColX = False
Else
    NumX = Range_X.Rows.Count
    ColX = True
End If
```

10 pav. Programos interpoliacijos kodo pavyzdys

Norint atlikti skaičiavimus reikia sudaryti skaičiavimo užduotį, t. y. nustatyti laivo tipą (vienkorpūsis arba katamaranas), taip pat reikia pasirinkti ar laivas yra su supimosi stabilizatoriais, nes jei laivas stabilizuojamas reikia nustatyti stabilizatorių išdėstymo schemą, bei jų tipą. Taip pat skaičiuojant reikia įtraukti papildomus laivo duomenis: španhautų skerspjūvių pločius, jų grimzlę ir plotą, taip pat skaičiuojamojo laivo pagrindinius duomenis, tokius kaip: korpuso ilgis, plotis, grimzlė, borto aukštis, greitaiegiškumas ir kiti.

Atliekant skaičiavimus reikia įtraukti bangų ilgius, pagal kuriuos bus apskaičiuojamos supimosi charakteristikos: laivo kilinio supimosi amplitudinės – dažninės ir fazinės – dažninės charakteristikos. Taip pat sudaromi, supimosi parametrų ir laivo poslinkių parametrų grafikai. Į grafikus įtraukus skaičiuojamojo laivo korpuso kontūro koordinatas, galima pamatyti laivo supimosi pobūdį bangose įvairiais laiko momentais, taip pat gauti galimo laivo denio užliejimo grafiką.

Papildomi programos moduliai, kurie parašyti Visual Basic for Applications, yra skirti atlikti operacijas, kurių neįmanoma atlikti vien tik su programa Microsoft Excel. Vienas iš programos modulių skirtas interpoliacijai atlikti, kiti moduliai atlieka duomenų kopijavimo funkcijas (žr. 11 pav.).

```
Sub Makroc1()  
  Range("B38:G38").Select  
  Selection.Copy  
  Range("V51").Select  
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
    :=False, Transpose:=False  
End Sub
```

11 pav. Programos duomenų kopijavimo modulio kodo fragmentas

Atliekant skaičiavimus su skirtingais bangos ilgiais, kiekvieno skaičiavimo rezultatai kopijuojami iš darbinio programos lauko (žr. 16 pav.) į rezultatų išvedimo lauką. Iš šių laukų imami duomenys grafikams sudaryti (žr. 18 pav.).

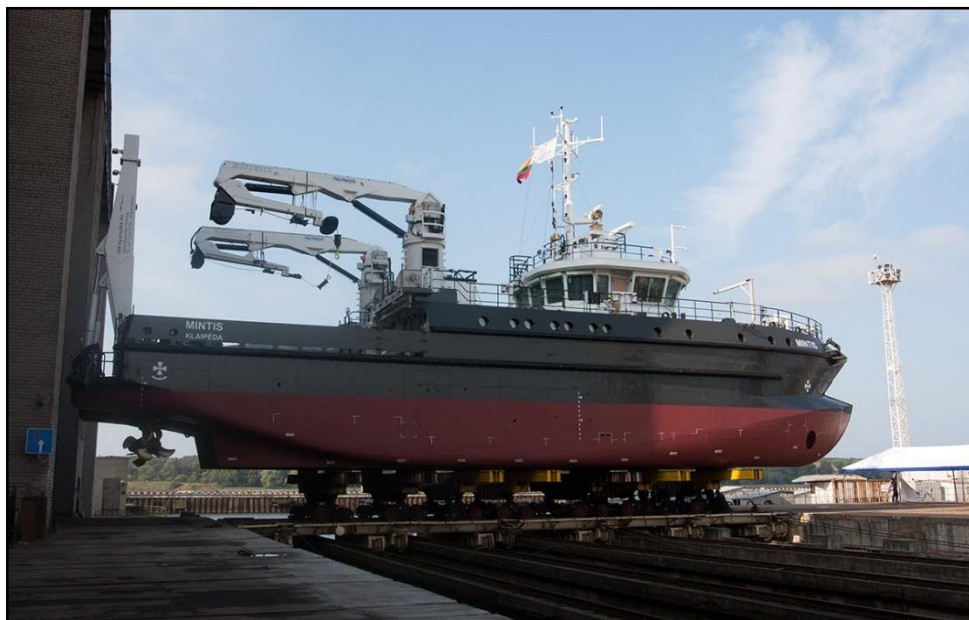
Norint, kad programa nubraižytų amplitudines – dažnines charakteristikas yra būtina nustatyti bangų ilgio reikšmę, pagal kurią bus atliekamas amplitudinių supimosi reikšmių skaičiavimai.

Programoje taip pat numatyta galimybė atlikti kilinio ir vertikalaus supimosi parametrų skaičiavimus esant nereguliariam bangavimui, bet šiame darbe to nenaudosime, skaičiavimus atliksime reguliariam bangavimui esant.

Bangavimo ir supimosi procesai paprastai laikomi stacionariais atsitiktiniais procesais, kurių poslinkiai, greičiai ir pagreičiai pasiskirsto pagal normalų Relėjaus dėsnį. Remiantis spektriniu metodu nereguliarus bangavimas nagrinėjamas, kaip spektrinių (harmoninių) bangavimo sudedamųjų poveikis laivui, kuris reaguoja kaip linijinė dinaminė sistema su žinomąja perdavimo funkcija [5]. Svarbiausia spektrinė supimosi charakteristika – jo energetinis spektras, esant nuliniam (labai mažam) laivo greičiui.

## 4.2. Tiriamojo objekto – Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ aprašymas

Klaipėdos universiteto mokslinių – tyrimų laivas, tai specialios paskirties daugiafunkcinis, laivas, kurio paskirtis – visų pagrindinių okeanografinių, ekologinių, geologinių ir biologinių fizikinių – cheminių tyrimų atlikimas Baltijos jūroje ir kituose vandenyse (žr. 12 pav.).



12 pav. Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“ [1]

Laivo projekto techninis sprendimas (maža grimzlė, ekonomiškumas ir didelis manevringumas) užtikrina, jog laivas gali atlikti tyrimus atviroje jūroje, uostų akvatorijose, pakrantės ruože, mariose bei didesnių upių žiotyse.

Laivas gali nutolti iki 200 jūrmylių (apytiksliai 370 km) nuo kranto, o moksliniai tyrimai ir bandymai atliekami, kai vėjo greitis neviršija 18 m/s, o bangų aukštis nedidesnės kaip 3,5 m.

Be mokslinių tyrimų šis daugiafunkcinis laivas gali atlikti ir daugiau užduočių. „Mintis“ taip pat skirtas įvairaus jūrinio sektoriaus veiklų poreikiams tenkinti: vykdyti jūrinės aplinkos monitoringą, tirti žuvų išteklius, reaguoti į aplinkos taršos incidentus, vykdyti palaidoto cheminio ginklo rajonų taršos monitoringą. Laivas prisideda prie jūrų ūkio stambių infrastruktūros projektų [1].

Funkcijos, kurias atlieka mokslinių tyrimų laivas:

- vandens baseinų gylių matavimas ir dugno morfologijos nustatymas;
- dugno paviršiaus inventorizacija, nuskendusių objektų identifikavimas ir apskaita;
- seismo – akustiniai jūros dugno tyrimai, identifikuojant po nuosėdomis palaidotus objektus bei nustatant giluminę dugno struktūrą iki 20 – 30 metrų po vandens telkinio dugno paviršiumi;
- vandens baseinų dugno mėginių paėmimas;

- vandens stovymės monitoringas;
- gruntų stipruminių savybių tyrimai;
- gręžinių kabotažas;
- struktūriniai žemės gelmių tyrimai;
- naudingų iškasenų jūroje ir kranto zonoje paieškos;
- struktūriniai žemės gelmių tyrimai;
- geodeziniai matavimai, reljefo matavimai [12].

Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ pagrindiniai techniniai duomenys pateikiami 2 lentelėje.

2 lentelė. Pagrindiniai laivo techniniai duomenys

| Pavadinimas   | Reikšmė       |
|---|---------------|
| Laivo tipas   | Katamaranas   |
| Ledo klasė  | ICE – 1C      |
| Bendras laivo tonažas                                       | 499 GT        |
| Laivo dedveitas   | Apie 100 t    |
| Visas laivo ilgis   | 38,70 m       |
| Laivo ilgis tarp statmenų                                   | 35,25 m       |
| Laivo plotis (ties mideliu)                                 | 12,00 m       |
| Katamarano vieno korpuso plotis (ties mideliu)              | 3,97 m        |
| Borto aukštis   | 4,50 m        |
| Grimzlė (vasaros krovininės markės ribose)                  | 2,80 m        |
| Plaukiojimo autonomiškumas                                  | 21 diena      |
| Plaukiojimo nuotolis  | 2500 jūrmylės |
| Maksimalus laivo greitis                                    | 12,50 kts     |
| Ekonominis laivo greitis                                    | 11,50 kts     |
| Atstumas tarp vandens ir katamaranus jungiančios platformos | 1,20 m        |
| Bendra pagrindinių variklių galia                           | 2000 kW       |
| Įgulos skaičius laive                                       | 6 asmenys     |
| Mokslinio personalo skaičius laive                          | Iki 12 asmenų |

### 4.3. Katamarano „Mintis” kilinio ir vertikalaus supimosi skaičiavimas kompiuterine programa praktinis realizavimas

Katamarano vertikaliam ir kiliniam supimuisi apskaičiuoti naudojama Microsoft Office Excel programa su papildomais moduliais, kurią aptarėme 3.1. skyriuje.

Tiriamąjį objektą – Klaipėdos universiteto mokslinių – tyrimų laivas „Mintis“. Laivas bei jo techniniai duomenys aprašyti 3.2. skyriuje. Laivo teorinis brėžinys pateikiamas 1 priede.

Norint atlikti skaičiavimus reikia sudaryti skaičiavimo užduotį, t. y. nustatyti laivo tipą (vienkorpusis arba katamaranas), taip pat reikia pasirinkti ar laivas yra su supimosi stabilizatoriais, (jeigu laivo stabilizuojamas reikia pasirinkti stabilizatorių tipą, bei išdėstymo schemą).

Skaičiavimo užduotis formuojama pagal jau atliktus natūralius bandymus, kurių metu gauti tokie rezultatai: bangos ilgis – 12m, bangos su laivo korpusu susiduria  $180^{\circ}$  kampu, laivo greitis 8 mazgai.

Natūralius laivo supimosi bandymo rezultatus ir patį bandymą, kur kas plačiau nagrinėsime sekančiame skyriuje.

Skaičiavimo užduotis formuojama šviesiai žalios spalvos langeliuose, ( žr. 13 pav.).

| Konstantos                     |          |
|--------------------------------|----------|
| g, m/s <sup>2</sup>            | 9.81     |
| r, t/m <sup>3</sup>            | 1.025    |
| g, kN/m <sup>3</sup>           | 10.05525 |
| Laivo požymiai                 |          |
| Korpusas                       | 2        |
| Supimosi slopintuvai - sparnai | 0        |
| Laivapriekis - Laivagalis      | 0        |
| Sparnų valdymas                |          |
| Laivapriekis                   | 0        |
| Laivagalis                     | 0        |

13 pav. Skaičiavimo užduoties formavimas

Laivo požymių nustatymas:

Korpusas: 1 – vienkorpūs laivas; 2 – katamaranas.

Supimosi slopintuvai – sparnai: 0 – nėra; 1 – yra.

Laivagalis – Laivapriekis: 1 – laivapriekinis sparnas; 2 – laivagalinis sparnas; 3 – laivapriekinis ir laivagalinis sparnai.

Laivapriekis: 0 – nevaldomas sparnas; 1 – valdomas sparnas.

Laivagalis: 0 – nevaldomas sparnas; 1 – valdomas sparnas.

Tiriant laivo judėjimo sąlygas, esant laivo supimuisi bangose, yra būtina nustatyti bangos parametrus (bangos ilgį bei bangos sklidimo kampą), (žr.14 pav.).

| Bangos parametrai       |       |
|-------------------------|-------|
| $\lambda$ , m           | 12    |
| $\varepsilon$ , laipsn. | 180   |
| $r_0$ , m               | 0.550 |
| $\tau$ , 1/s            | 3     |

14 pav. Bangos sąlygų formavimas

Taip pat reikia įvesti skaičiuojamojo laivo pagrindines charakteristikas (žr. 15 pav.). Duomenys, kuriuos privalu įrašyti norint gauti teisingus supimosi duomenis, rašomi į šviesiai žalios spalvos langelius. Reikšmes, esančias baltos spalvos langeliuose, programa paskaičiuoja automatiškai.

| Laivo charakteristikos           |          |
|----------------------------------|----------|
| L, m                             | 38.64    |
| B, m                             | 3.975    |
| d, m                             | 3.0      |
| V, m <sup>3</sup>                | 633.62   |
| D, kN                            | 3185.60  |
| M, t                             | 324.73   |
| Z <sub>g</sub> , m               | 5.0      |
| X <sub>g</sub> , m               | -0.09    |
| Z <sub>c</sub> , m               | 1.634    |
| X <sub>c</sub> , m               | -0.349   |
| X <sub>f</sub> , m               | 1.314    |
| $\alpha$                         | 0.5431   |
| $\delta$                         | 0.4565   |
| S <sub>0</sub> , m <sup>2</sup>  | 125.64   |
| i <sub>y</sub> , m <sup>4</sup>  | 13014.00 |
| I <sub>y</sub> , tm <sup>2</sup> | 29239.50 |
| v <sub>s</sub> , kt              | 8,0      |
| v, m/s                           | 4.12     |
| Fr                               | 0.212    |
| dL, m                            | 3.864    |
| L/B                              | 9.72     |
| R, m                             | 22.97    |
| C, m                             | 4.05     |
| c = C/2B                         | 0.51     |

15 pav. Pagrindinės tiriamojo laivo charakteristikos

Skaičiuojant laivo hidrodinaminių jėgų dedamąsias įvedame papildomus laivo duomenis: španhautų skerspjūvių plotus, pločius ir grimzlę (atstumą nuo vaterlinijos iki kilio linijos) (žr. 16, 17 pav.).

| Charakteristika  | Španhauto numeris |             |              |             |             |             |             |             |             |             |             | M <sub>55</sub>      | 3223.649                   |
|--|-------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------------|
|  | 20                | 18          | 16           | 14          | 12          | 10          | 8           | 6           | 4           | 2           | 0           | ΔD                   | 783.391                    |
| x, m   | -19.32            | -15.456     | -11.592      | -7.728      | -3.864      | 0           | 3.864       | 7.728       | 11.592      | 15.456      | 19.32       | T <sub>ζ</sub> , c   | 3.5557                     |
| x <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>  | 373.26            | 238.8879    | 134.3745     | 59.72198    | 14.9305     | 0           | 14.9305     | 59.72198    | 134.3745    | 238.8879    | 373.26      | T <sub>ψ</sub> , c   | 4.5302                     |
| b=2y <sub>i</sub> , m  | 2.16              | 3.734       | 3.968        | 3.975       | 3.975       | 3.975       | 3.975       | 3.781       | 3.279       | 2.251       | 0.001       | n <sub>ζ</sub> , 1/c | 1.767074                   |
| b <sup>2</sup> , m <sup>2</sup>  | 4.7               | 13.9        | 15.7         | 15.8        | 15.8        | 15.8        | 15.8        | 14.3        | 10.8        | 5.1         | 0.0         | n <sub>ψ</sub> , 1/c | 1.386956                   |
| T, m   | 0.814             | 1.148       | 3            | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           | 3           | 2.939       | 0.001       |                      |                            |
| ω, m <sup>2</sup>  | 1.0606            | 4.113       | 9.08852      | 11.1401     | 11.5043     | 11.5018     | 11.3449     | 10.6935     | 8.9709      | 4.9766      | 0           |                      |                            |
| β  | 0.603             | 0.959       | 0.763        | 0.934       | 0.965       | 0.965       | 0.951       | 0.943       | 0.912       | 0.752       | 0.500       |                      |                            |
| 2T/b   | 0.753704          | 0.61489     | 1.512097     | 1.509434    | 1.509434    | 1.509434    | 1.509434    | 1.586882    | 1.829826    | 2.611284    | 2           |                      |                            |
| vT кажущаяся   | 1.623714          | 2           | 2            | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 0.001995             |                            |
| vT истинная  | 0.426209          | 0.601091    | 1.570796     | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.538857    | 0.000524    |                      |                            |
| <b>n<sub>s</sub></b>   | <b>1</b>          | <b>4</b>    | <b>2</b>     | <b>4</b>    | <b>2</b>    | <b>4</b>    | <b>2</b>    | <b>4</b>    | <b>2</b>    | <b>4</b>    | <b>1</b>    |                      |                            |
| μ <sub>33</sub> (x), т/м   | <b>1.09</b>       | <b>6.17</b> | <b>4.23</b>  | <b>7.13</b> | <b>7.76</b> | <b>7.76</b> | <b>7.48</b> | <b>6.76</b> | <b>4.78</b> | <b>0.88</b> | <b>0.00</b> | <b>Menamas</b>       |                            |
| n <sub>s</sub> *μ <sub>33</sub> (x), т/м                                 | 1.085044          | 24.68515    | 8.464686     | 28.53025    | 15.5193     | 31.02123    | 14.96681    | 27.0216     | 9.551016    | 3.537208    | 5.82E-07    | <b>217.9</b>         | <b>M33, т</b>              |
| x*n <sub>s</sub> *μ <sub>33</sub> (x), т                                 | -20.9631          | -381.534    | -98.1226     | -220.482    | -59.9666    | 0           | 57.83176    | 208.8229    | 110.7154    | 54.67109    | 1.13E-05    | <b>449.5</b>         | <b>M35, тм</b>             |
| x <sup>2</sup> *n <sub>s</sub> *μ <sub>33</sub> (x), тм                  | 405.0062          | 5896.985    | 1137.438     | 1703.883    | 231.7108    | 0           | 223.4619    | 1613.784    | 1283.413    | 844.9964    | 0.000217    | <b>17182.8</b>       | <b>M55, тм<sup>2</sup></b> |
| I <sub>33</sub> (x), кН с/м <sup>2</sup>                                 | <b>11.37</b>      | <b>3.21</b> | <b>16.38</b> | <b>4.23</b> | <b>3.27</b> | <b>3.28</b> | <b>3.67</b> | <b>3.67</b> | <b>3.61</b> | <b>6.01</b> | <b>0.00</b> | <b>Menamas</b>       |                            |
| n <sub>s</sub> *I <sub>33</sub> (x), кН с/м <sup>2</sup>                 | 11.3715           | 12.82041    | 32.76861     | 16.91186    | 6.537979    | 13.10048    | 7.333046    | 14.67637    | 7.220437    | 24.04378    | 1.51E-05    | <b>189.1</b>         | <b>Λ33, т</b>              |
| x*n <sub>s</sub> *I <sub>33</sub> (x), кН с/м                            | -219.697          | -198.152    | -379.854     | -130.695    | -25.2628    | 0           | 28.33489    | 113.419     | 83.6993     | 371.6206    | 0.000291    | <b>459.3</b>         | <b>Λ35, тм</b>             |
| x <sup>2</sup> *n <sub>s</sub> *I <sub>33</sub> (x), кН с/м <sup>2</sup> | 4244.553          | 3062.64     | 4403.265     | 1010.01     | 97.61528    | 0           | 109.486     | 876.5017    | 970.2423    | 5743.768    | 0.005624    | <b>26427.3</b>       | <b>Λ55, тм<sup>2</sup></b> |
| kT   | 0.426209          | 0.601091    | 1.570796     | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.570796    | 1.538857    | 0.000524    |                      |                            |
| H <sub>E</sub>   | 1.63E-16          | 1.99E-16    | 8.1E-17      | 8.12E-17    | 8.12E-17    | 8.12E-17    | 8.12E-17    | 7.72E-17    | 6.7E-17     | 4.69E-17    | 6.13E-17    |                      |                            |
| κ <sub>2</sub>   | 0.843884          | 0.790254    | 0.561761     | 0.561761    | 0.561761    | 0.561761    | 0.561761    | 0.561761    | 0.561761    | 0.567598    | 0.999811    |                      |                            |
| κ <sub>3</sub>   | 0.753844          | 0.664507    | 0.318161     | 0.318161    | 0.318161    | 0.318161    | 0.318161    | 0.318161    | 0.318161    | 0.325551    | 0.999702    |                      |                            |
| κ <sub>6</sub>   | 0.728003          | 0.628478    | 0.2789       | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.286032    | 0.99967     |                      |                            |
| κ <sub>3</sub> <sup>0</sup>  | 0.728003          | 0.628478    | 0.2789       | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.2789      | 0.286032    | 0.99967     |                      |                            |
| sin(k <sub>1</sub> x)  | -0.63742          | 0.971632    | -0.21201     | -0.78629    | 0.899405    | 0           | -0.89941    | 0.786288    | 0.212007    | -0.97163    | 0.637424    |                      |                            |
| cos(k <sub>1</sub> x)  | -0.77051          | -0.2365     | 0.977268     | -0.61786    | -0.43712    | 1           | -0.43712    | -0.61786    | 0.977268    | -0.2365     | -0.77051    |                      |                            |

16 pav. Duomenys hidrodinaminių jėgų dedamųjų skaičiavimui

| Charakteristika     | Španhauto numeris |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |                     |
|---------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------------------|
|                     | 20                | 18       | 16       | 14       | 12       | 10       | 8        | 6        | 4        | 2        | 0        |           |                     |
| $A^s_3$             | -0.77121          | 4.084496 | 0.106349 | 1.856217 | -1.17071 | 0        | 1.122967 | -1.81647 | -0.19099 | 0.447169 | 0.000637 | 4.72497   | $A^s_3$             |
| $A^c_3$             | -0.93223          | -0.99418 | -0.49023 | 1.458601 | 0.568971 | -2.60163 | 0.545768 | 1.427369 | -0.88041 | 0.108843 | -0.00077 | -2.30538  | $A^c_3$             |
| $A^{xs}_3$          | 14.89975          | -63.13   | -1.23279 | -14.3448 | 4.523619 | 0        | 4.339145 | -14.0377 | -2.214   | 6.91145  | 0.012311 | -82.78364 | $A^{xs}_3$          |
| $A^{xc}_3$          | 18.0107           | 15.36608 | 5.68269  | -11.2721 | -2.1985  | 0        | 2.108848 | 11.0307  | -10.2057 | 1.682274 | -0.01488 | 38.88495  | $A^{xc}_3$          |
| $M^s_{33}$          | -0.50351          | 15.07397 | -0.50051 | -6.25657 | 3.892925 | 0        | -3.75434 | 5.925725 | 0.56474  | -0.98305 | 3.71E-07 | 17.3      | $M^s_{33}$          |
| $M^c_{33}$          | -0.60864          | -3.66906 | 2.307135 | -4.91636 | -1.89198 | 8.651822 | -1.82463 | -4.65639 | 2.603226 | -0.23928 | -4.5E-07 | -5.5      | $M^c_{33}$          |
| $\Lambda^s_{33}$    | -5.2769           | 7.828771 | -1.93757 | -3.7087  | 1.640014 | 0        | -1.83945 | 3.218466 | 0.426936 | -6.6822  | 9.6E-06  | -8.2      | $\Lambda^s_{33}$    |
| $\Lambda^c_{33}$    | -6.37868          | -1.90555 | 8.931416 | -2.91427 | -0.79706 | 3.653725 | -0.89398 | -2.52905 | 1.968003 | -1.62647 | -1.2E-05 | -3.2      | $\Lambda^c_{33}$    |
| $M^{xs}_{33}$       | 9.727832          | -232.983 | 5.801872 | 48.35074 | -15.0423 | 0        | -14.5068 | 45.794   | 6.546466 | -15.1941 | 7.17E-06 | -208.0    | $M^{xs}_{33}$       |
| $M^{xc}_{33}$       | 11.75893          | 56.70905 | -26.7443 | 37.99366 | 7.31062  | 0        | -7.05036 | -35.9846 | 30.17659 | -3.6983  | -8.7E-06 | 90.8      | $M^{xc}_{33}$       |
| $\Lambda^{xs}_{33}$ | 101.9498          | -121.001 | 22.46029 | 28.66083 | -6.33701 | 0        | -7.10764 | 24.87231 | 4.949038 | -103.28  | 0.000185 | -70.6     | $\Lambda^{xs}_{33}$ |
| $\Lambda^{xc}_{33}$ | 123.2361          | 29.45224 | -103.533 | 22.52147 | 3.079822 | 0        | -3.45435 | -19.5445 | 22.81309 | -25.1388 | -0.00022 | 63.7      | $\Lambda^{xc}_{33}$ |

16 pav. tėsinsys. Duomenys hidrodinaminių jėgų dedamųjų skaičiavimui

| Inercinių jėgų koeficientai    |           |
|--------------------------------|-----------|
| a33, T                         | 542.7     |
| a35, TM                        | 562.9     |
| a53, TM                        | 562.9     |
| a55, TM <sup>2</sup>           | 46422.3   |
| Dempferavimo jėgų koeficientai |           |
| b33, κH c/M                    | 216.1     |
| b35, κH c                      | 1183.1    |
| b53, κH c                      | -516.2    |
| b55, κH c M                    | 27091.6   |
| Atstojamųjų jėgų koeficientai  |           |
| c33, κH/M                      | 1263.3    |
| c35, κH                        | -992.4    |
| c53, κH                        | -2439.0   |
| c55, κH M                      | 127479.5  |
| Šužadinamųjų jėgų koeficientai |           |
| d33,                           | -9355.7   |
| d35,                           | -12007.0  |
| d53,                           | -13453.5  |
| d55,                           | -780928.1 |
| e33,                           | 955.8     |
| e35,                           | 5233.7    |
| e53,                           | -2283.6   |
| e55,                           | 119842.6  |
| Sužadintosios jėgos            |           |
| α3                             | 7.2       |
| β3                             | 65.2      |
| α5                             | 287.1     |
| β5                             | 589.1     |

| Koeficientai lygčių sistemai spręsti |             |
|--------------------------------------|-------------|
| a <sub>0</sub>                       | 7.0181E+09  |
| b <sub>0</sub>                       | -1.8246E+09 |
| c <sub>0</sub>                       | -6.9108E+06 |
| d <sub>0</sub>                       | -4.4502E+07 |
| e <sub>0</sub>                       | -3.0037E+06 |
| f <sub>0</sub>                       | -4.3432E+06 |
| Δ                                    | 5.2583E+19  |
| ζ <sub>1</sub> M                     | 0.001       |
| ζ <sub>2</sub> M                     | -0.006      |
| ζ <sub>0</sub> M                     | 0.006       |
| tg γ <sub>ζ</sub>                    | 9.9         |
| γ <sub>ζ</sub>                       | 84.3        |
| ψ <sub>1</sub> laipsn.               | -0.01       |
| ψ <sub>2</sub> laipsn.               | -0.04       |
| ψ <sub>0</sub> laipsn.               | 0.04        |
| tg γ <sub>ψ</sub>                    | -2.734      |
| γ <sub>ψ</sub>                       | 110.1       |

17 pav. Laivą veikiančių hidrodinaminių jėgų koeficientai ir laivo kilnio ir vertikalaus supimosi lygčių sistemai spręsti reikalingi koeficientai, bei skaičiavimo rezultatai

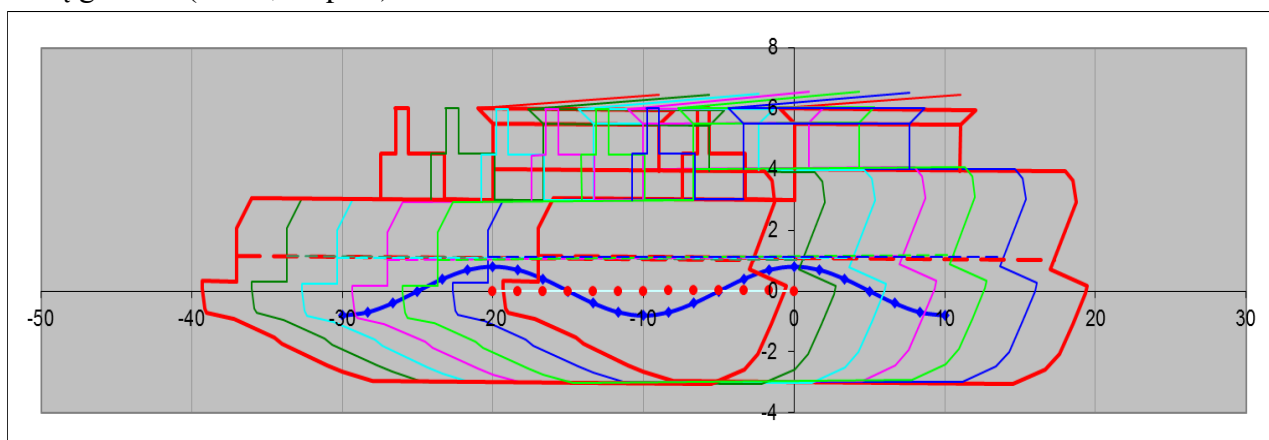
| λ, M                           | 200   | 150   | 100   | 60    | 50    | 40     | 30     | 20     | 12    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| σ <sub>0</sub>                 | 0.56  | 0.64  | 0.79  | 1.01  | 1.11  | 1.24   | 1.43   | 1.76   | 2.27  |
| σ <sub>κ</sub>                 | 0.68  | 0.81  | 1.04  | 1.45  | 1.63  | 1.89   | 2.30   | 3.05   | 4.42  |
| ω <sub>ζ</sub>                 | 0.39  | 0.46  | 0.59  | 0.82  | 0.92  | 1.07   | 1.30   | 1.73   | 2.50  |
| ω <sub>ψ</sub>                 | 0.49  | 0.59  | 0.75  | 1.04  | 1.17  | 1.36   | 1.66   | 2.20   | 3.19  |
| ζ <sub>0</sub> M               | 4.05  | 3.02  | 1.84  | 0.81  | 0.76  | 0.68   | 0.55   | 0.39   | 0.37  |
| ζ <sub>0</sub> /r              | 0.90  | 0.83  | 0.68  | 0.37  | 0.22  | 0.13   | 0.12   | 0.01   | 0.01  |
| γ <sub>3</sub> , laipsn        | 8.23  | 9.93  | 12.97 | 17.24 | 11.39 | 331.01 | 300.71 | 276.93 | 84.26 |
| ψ <sub>0</sub> , laipsn.       | 11.92 | 10.62 | 8.87  | 6.55  | 5.47  | 4.62   | 3.98   | 2.87   | 2.11  |
| ψ <sub>0</sub> /α <sub>0</sub> | 1.46  | 1.21  | 0.92  | 0.60  | 0.48  | 0.30   | 0.04   | 0.02   | 0.00  |

18 pav. Laivo kilnio ir vertikalaus supimosi charakteristikų skaičiavimas

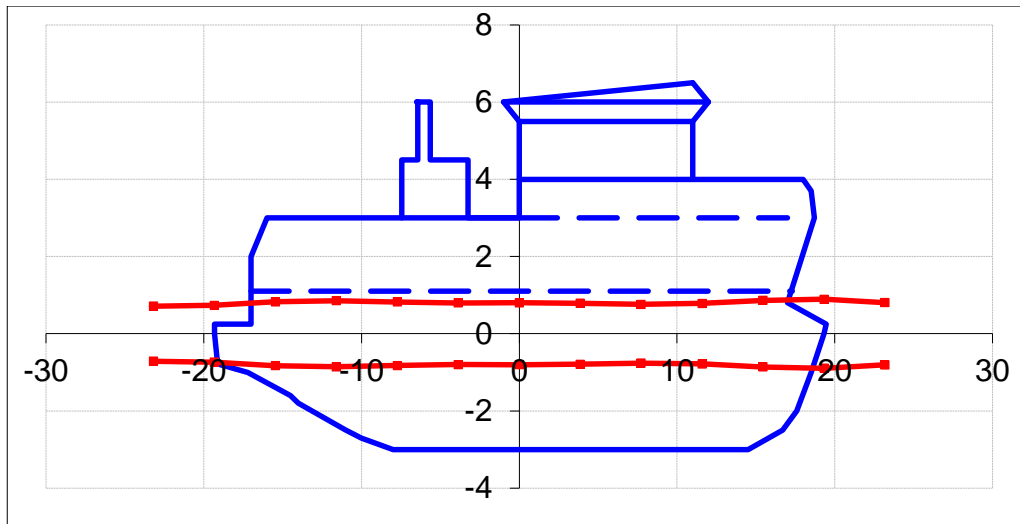
| $\lambda, \text{ m}$                               | 200    | 150    | 100    | 60     | 50     | 40     | 30     | 20     | 12     |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\zeta_1$  | 70.48  | 83.01  | 100.06 | 123.30 | 135.91 | 163.10 | 240.48 | 31.37  | 110.10 |
| $\zeta_2$  | 4.01   | 2.97   | 1.79   | 0.64   | 0.35   | 0.15   | 0.07   | 0.00   | 0.00   |
| $\psi_1$   | -0.58  | -0.52  | -0.41  | -0.20  | -0.07  | 0.08   | 0.11   | 0.01   | -0.01  |
| $\psi_2$   | 3.98   | 1.29   | -1.55  | -3.59  | -3.93  | -3.47  | -0.27  | 0.24   | -0.01  |
| $r_0$  | -11.23 | -10.54 | -8.74  | -5.47  | -3.81  | -1.05  | 0.47   | -0.14  | -0.04  |
| $\alpha_{0w}$                                      | 4.52   | 3.64   | 2.69   | 1.83   | 1.60   | 1.35   | 1.09   | 0.80   | 0.55   |
| $k_1$  | 8.14   | 8.74   | 9.68   | 11.00  | 11.51  | 12.17  | 13.08  | 14.47  | 16.44  |
| $\alpha_{0}^{kn}$                                  | -0.03  | -0.04  | -0.06  | -0.10  | -0.13  | -0.16  | -0.21  | -0.31  | -0.52  |
| $\alpha_{1}^{kn0} = \psi_0$                        | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{2}^{kn0} = I^{kn} \psi_0 \sigma_k / v$    | 11.92  | 10.62  | 8.87   | 6.55   | 5.47   | 3.62   | 0.54   | 0.28   | 0.04   |
| $\alpha_{3}^{kn0} = \zeta_0 \sigma_k / v$          | 19.98  | 21.16  | 22.68  | 23.17  | 21.83  | 16.76  | 3.06   | 2.06   | 0.45   |
| $\alpha_{4}^{kn0} = r_0 \sigma_k e^{-k_1 h_n} / v$ | 38.57  | 34.13  | 26.69  | 13.52  | 7.97   | 4.56   | 4.07   | 0.40   | 0.38   |
| $\alpha_{5}^{kn0} = K_1^{kn} \psi_0$               | -39.66 | -36.97 | -33.14 | -28.05 | -26.10 | -23.60 | -20.19 | -15.07 | -8.64  |
| $\alpha_{6}^{kn0} = K_2^{kn} \sigma_k \psi_0$      | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{7}^{kn0} = K_3^{kn} \sigma_k^2 \psi_0$    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\Sigma \alpha^{kn}, \text{ laipsn.}$              | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{0}^{kk}$                                  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{1}^{kk0} = \psi_0$                        | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{2}^{kk0} = I^{kk} \psi_0 \sigma_k / v$    | 11.92  | 10.62  | 8.87   | 6.55   | 5.47   | 3.62   | 0.54   | 0.28   | 0.04   |
| $\alpha_{3}^{kk0} = \zeta_0 \sigma_k / v$          | -15.66 | -16.59 | -17.78 | -18.16 | -17.11 | -13.14 | -2.40  | -1.61  | -0.35  |
| $\alpha_{4}^{kk0} = r_0 \sigma_k e^{-k_1 h_k} / v$ | 38.57  | 34.13  | 26.69  | 13.52  | 7.97   | 4.56   | 4.07   | 0.40   | 0.38   |
| $\alpha_{5}^{kk0} = K_1^{kk} \psi_0$               | -40.42 | -37.91 | -34.42 | -29.87 | -28.15 | -25.94 | -22.89 | -18.19 | -11.83 |
| $\alpha_{6}^{kk0} = K_2^{kk} \sigma_k \psi_0$      | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\alpha_{7}^{kk0} = K_3^{kk} \sigma_k^2 \psi_0$    | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |
| $\Sigma \alpha^{kk}, \text{ laipsn.}$              | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   |

18 pav. tēsinys. Laivo kilinio ir vertikālais supimosi raksturojošo skaitļi

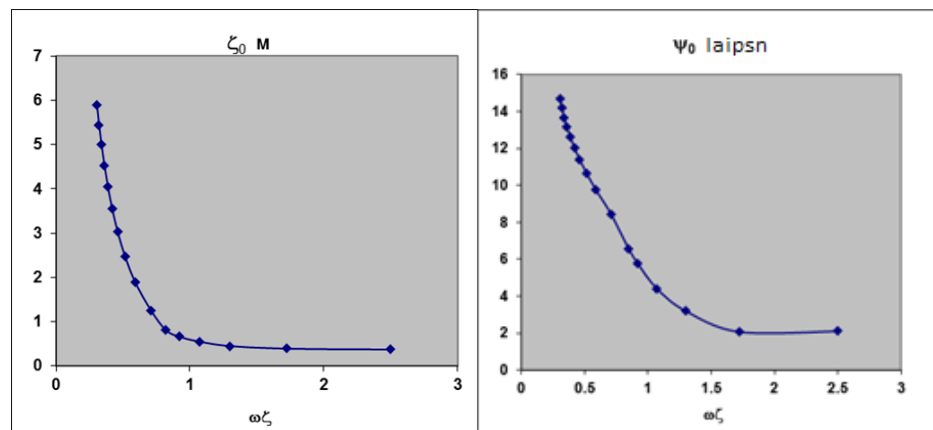
Iztaču visus nepieciešamos parametrus programma veic aprēķinus, un izveido grafikus. Grafikuosē redzams katamarāna „Mintis” kontūras, kurās gūtas ievērojamas koordinātas. Grafikuosē parādīta: laiva supimosi stāvoklis pret viļņiem dažādos laika brīžos (skat. 19. att.), bezspānā laiva deni uzlieguma grafiks (skat. 20. att.). Tādā veidā veidoti arī supimosi parametru un laiva noslieku grafiki (skat. 21., 22. att.).



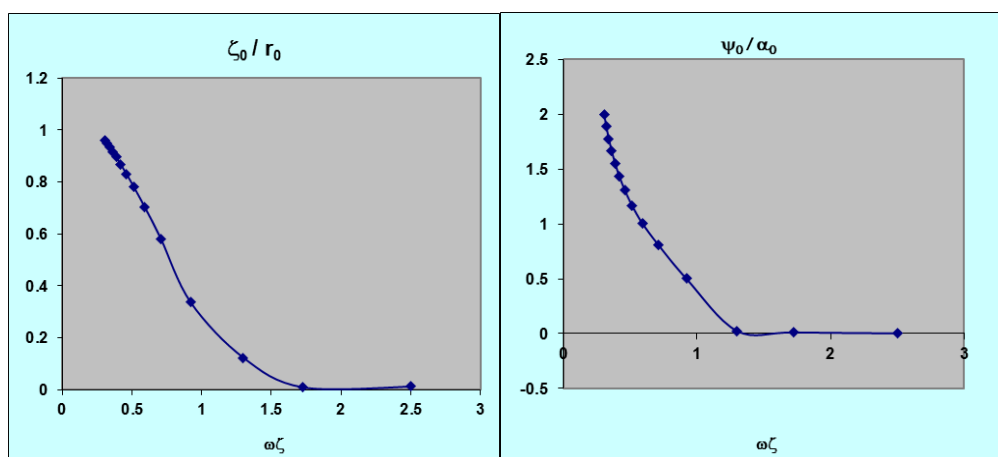
19. att. Laiva supimosi stāvoklis dažādos laika brīžos. Laivai kustoties 8 mazgā ātrumā, vienlaikus viļņiem, kuru viļņa garums ir 12 metri



20 pav. Laivo denio užliejimo grafikas. Laivui judant 8 mazgų greičiu, statmenai bangoms, kai bangų ilgis 12 metrų



21. pav. Kilinio ir vertikalios supimosi priklausomybės nuo dažnio



22 pav. Katamarano vertikalaus supimosi ir amplitudžių – dažnio charakteristikos

Laivo supimosi pobūdžio ir denio užliejimo grafikai sudaromi esant trims skirtingiems bangos ilgiams. Pirmasis bangos ilgis lygus 12 m, antrasis – 40 m, trečiasis – 60 m. Antrąjį bangos ilgį – 40 m imame todėl, nes toks bangos ilgis yra artimas laivo ilgiui. Šiomis sąlygomis tikėtinas intensyvus

katamarano kilinis ir vertikalus supimasis. Grafikai buvo sudaromi prie pastovaus katamarano greičio – 8 mazgų, keičiant tik bangų ilgį.

Laivo supimosi pobūdžio ant bangos, tam tikru laiko momentu grafikai, prie bangos ilgių: 12; 40; 60 m pateikiami 2 priede.

Laivo denio užliejimo grafikai, kai laivas supasi skirtingų parametų bangose pateikiami 3 priede.

*Kaip matyti iš prieduose pateiktų grafikų, kilinis supimasis intensyviausias, kai bangos ilgis artimas laivo ilgiui – 40 m, tai pagrindžia iškeltą prielaidą apie laivo korpuso ilgio ir bangos ilgio priklausomybę vienas nuo kito. Esant didžiausiam supimui laivo korpusus jungiantis tiltelis kontaktuoja su vandeniu.*

*Kadangi mes siekiame palyginti tris skirtingus kilinio ir vertikalus laivo supimosi skaičiavimo metodus, dabar didžiausią dėmesį skirsime 12 metrų ilgio bangai, nes pagal tokius pat bangos parametrus buvo atliktas natūrinis bandymas ir skaičiavimai su „FLOW – 3D“ programa.*

*Atlikus skaičiavimus Microsoft Office Excel programos pagrindu su papildomais moduliais, kuriuos sudarė Visual Basic for Applications, gauti štai tokie rezultatai: kilinis supimasis ( $\psi$ ) lygus  $2,11^\circ$ , o vertikaliojo ( $\xi$ ) supimosi amplitudė lygi 0,37 m.*

*Šios programa galima ganėtinai nesunkiai apskaičiuoti katamarano, ar vienkorpūsio laivo, kilinio ir vertikalus supimosi charakteristikas. Programa gali būti naudojama mokymo tikslais, bei kaip pagalbininkas vertinant tiriamo laivo supimosi.*

## 5. NATURALŪS LAIVO SUPIMOSI BANDYMAI

### 5.1. Bandymui naudotos įrangos aprašymas

Atliekant natūralius laivo supimosi bandymus naudotas judesių sensorius ir girokompasas „Octans 3000“ (žr. 23 pav.) – tai hidrografinė inercinė navigacijos sistema, kuria gana tiksliai nustatomos povandeninių srovių judėjimo koordinatės realiu laiku. Šis įrenginys gali būti eksportuojamas kartu su „Realaus laiko kinematinė visuotinės padėties nustatymo sistema“ (angl. RTK – GPS – Real Time Kinematic – Global Positioning System). Tai suteikia galimybę maksimaliai sumažinti koordinačių nuokrypius, kai sensoriaus pagalba matuojami laivo kilinis, išilginis ir bortinis supimaisi. Matavimų ataskaitoje sensorius pateikia laivo supimosi koordinačių kitimo greičius, bei pagreičius.



23 pav. Judesių sensorius ir girokompasas „Octans 3000“ [14]

Šis įrenginys pagamintas iš titano ir aliuminio lydinio. Yra gana mažų gabaritinių matmenų – 179 x 318 mm. Prietaisu galima naudotis, kai lauko temperatūra yra nuo -40 iki 60 OC [10]. Kilinio ir bortinio supimosi matavimų paklaida – 0,01 laipsnio, vertikaliojo supimosi matavimų paklaida iki 2,5 %.

Judesių sensoriaus matavimų greitis – 750 laipsn/s, duomenų perdavimo sparta 1 – 200 Hz [14].

## 5.2. Natūralaus laivo supimosi eksperimento ir gautų duomenų aprašymas

Eksperimento tikslas – išmatuoti laivo „Mintis“ kilinio ir vertikalios supimosi dydžius, nereguliuose jūrinėse bangose.

Tyrimo objektas – Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivas „Mintis“. Platesnis laivo aprašymas pateiktas 3.2. skyriuje.

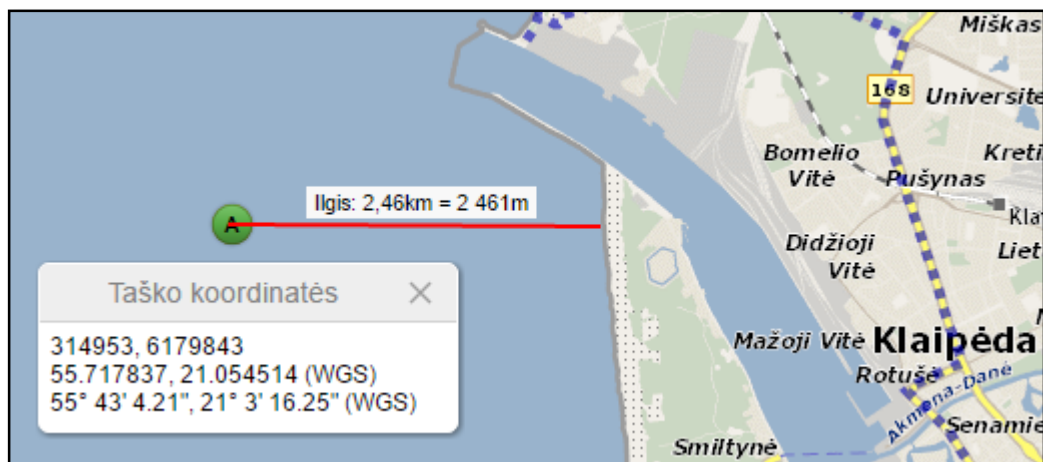
Bandymo metu naudota įranga – judesių sensorius ir girokompasas „Octans 3000“. Platesnė informacija 4.1. skyriuje.

Natūralūs laivo supimosi bandymai buvo atliekami laivui plaukiant 8 mazgų (~ 4,11 m/s greičiu), prieš 0,55 metrų aukščio amplitudės bangas, kurių periodas ~ 3 sekundės. Atsižvelgiant į bangų amplitudę ir periodą gauname, jog bangos ilgis lygus 12 metrų (18) formulė.

$$\lambda_b = \frac{\tau^2 \cdot g}{2 \cdot \pi} , \quad (18)$$
$$\lambda_b = \frac{2,77^2 \cdot 9,81}{2 \cdot 3,14} = 11,99 \approx 12 \text{ m} .$$

Atliekant supimosi bandymą, sensorius buvo nuleistas į vandenį, specialiu vikšrinu keltuvu, tam kad gauti duomenys būtų kuo tikslesni. Sensorius nėra įtaisytas toje pačioje vietoje, kurioje yra laivo svorio centras, todėl aparatas yra sukalibruotas taip, jog vis tiek rodytų laivo supimąsi, lyg jis būtų laivo svorio centre.

Taip pat verta paminėti, jog katamarano „Mintis“ supimosi matavimai buvo atliekami nuo kranto nutolus apytiksliai 2,4 – 2,5 kilometro. Bandymų vieta parodyta 24 paveiksle. Tai reiškia, jog pakrantė nedarė jokios įtakos bangų parametrų kitimui.

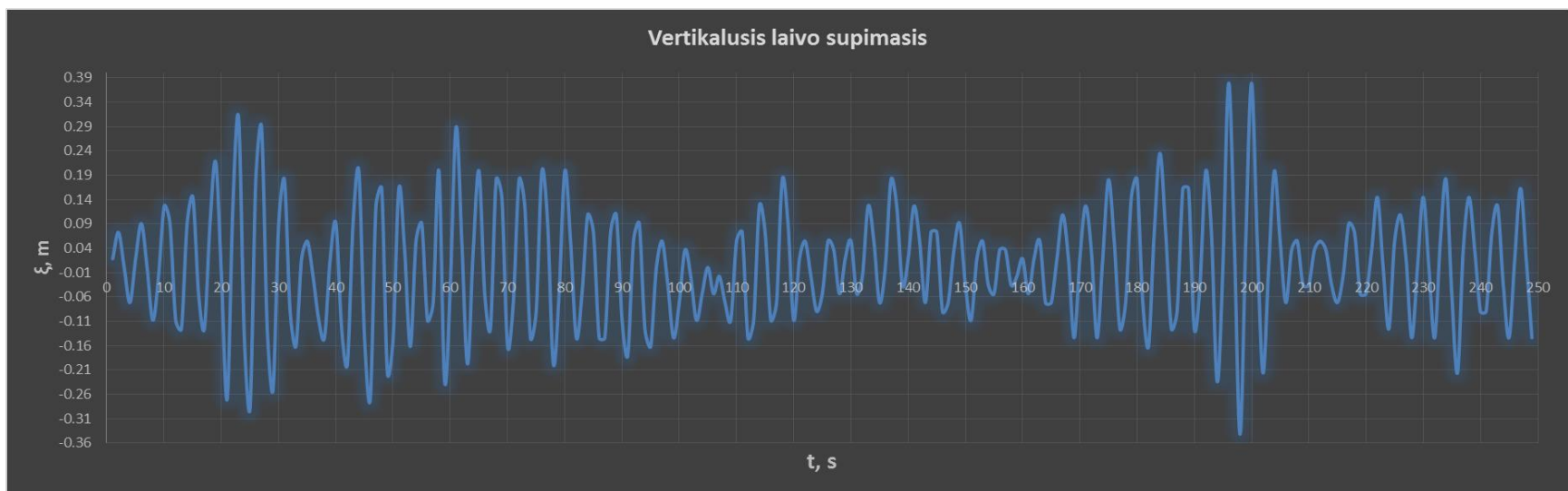


24 pav. Bandymų atlikimo vietos koordinatės

Atlikus supimosi bandymą, buvo gauti kilinio ir vertikalios laivo supimosi rezultatai, kurių grafikai pateikiami 25 ir 26 paveiksluose. Skaitinės grafikų reikšmės pateikiamos 4 priede.



25 pav. Natūralių bandymų, kilinio supimosi rezultatai



26 pav. Natūralių bandymų, vertikalaus supimosi rezultatai

Kadangi atliekant bandymą bangavimas yra nereguliarus, bangų amplitudės yra kintančios. Plaukdamas laivas kontaktuoja su skirtingų amplitudžių bangų paketais (būna keletas didesnių bangų, o po jų seka kelios mažesnės amplitudės bangos (žr. 25 ir 26 pav.)), todėl priimsime vieną sąlygą, kad kai keletas bangų paketų yra panašūs – bangavimas yra stacionarus, arba kitaip sakant nusistovėjęs. Tai leis paskaičiuoti kilinio ir vertikalaus supimosi vidutinę reikšmę. Taip bus daroma todėl, kad šiuos rezultatus galėtume palyginti su rezultatais, gautais rezultatais Excel bei „FLOW – 3D“ programomis.

Vidutinės kilinio svyravimo reikšmės atskaičiuojamos, pagal (19) formulę:

$$\bar{\psi} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \psi_n, \quad (19)$$

$$\psi_1 = \psi_{1max} + \psi_{1min},$$

$$\psi_1 = 0,24 + 0,01 = 0,25^0,$$

$$\bar{\psi} = \frac{1}{67} \sum_{n=1}^n 47,75 = 0.712 \approx 0.71^0,$$

čia  $\psi_{nmax}$  – maksimali n – tojo svyravimo reikšmė;

$\psi_{nmin}$  – minimali n – tojo svyravimo reikšmė;

n – svyravimo numeris.

Vidutinė vertikalaus laivo supimosi reikšmė randama pagal (20) formulę:

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \xi_n, \quad (20)$$

$$\xi_1 = \xi_{1max} + \xi_{1min},$$

$$\xi_1 = 0.07 + 0.1 = 0.17 \text{ m},$$

$$\bar{\xi} = \frac{1}{63} \sum_{n=1}^n 18.1 = 0.287 \approx 0.29 \text{ m},$$

čia  $\xi_{nmax}$  – maksimali n – tojo svyravimo reikšmė;

$\xi_{nmin}$  – minimali n – tojo svyravimo reikšmė;

n – svyravimo numeris.

*Atlikus natūralius Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ supimosi bandymus išsiaiškinta, jog laivui plaukiant 8 mazgų (~ 4,11 m/s greičiu), prieš 0,55 metrų aukščio amplitudės bangas, kurių periodas ~ 3 sekundės,  $\bar{\psi}$  supimosi reikšmė lygi 0,71<sup>0</sup>, o  $\bar{\xi}$  amplitudės vidutinė reikšmė lygi 0.29 m. Gautos reikšmės turėtų skirtis nuo kitų atliktų supimosi skaičiavimų ir eksperimentų, kadangi atliekant natūralius bandymus bangavimas nėra kontroliuojamas, jis – nepastovus (nors ir buvo priimta prielaida, jog šį supimąsi laikysime stacionariu, kad rezultatus būtų galima palyginti su kitais atliktais eksperimentais).*

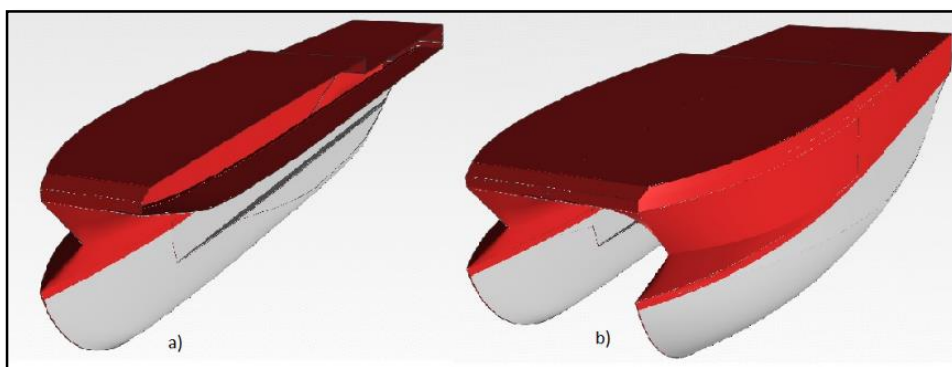
## 6. KU MOKSLINIŲ TYRIMŲ LAIVO SUPIMOSI TYRIMAS NAUDOJANT „FLOW - 3D“ PROGRAMĄ.

### 6.1. Mokslinių tyrimų laivo korpuso braižymas „Delft Ship“ programa

„Delft Ship – 7.23“ , tai aukštos kokybės programinės įrangos paketas, skirtas jūriniam sektoriui. Programa specializuota į 3D grafikos laivų korpusų kūrimą ir modeliavimą. Šia programa pagalba galima ne tik modeliuoti ar kurti laivus, bet ir gauti sumodeliuoto laivo hidrostatinę ataskaitą, kurioje pateikiama:

- Suprojektuoto laivo geometriniai duomenys;
- laivo svorio centro ir vandentalpos centro koordinatės;
- korpuso pilnumo koeficientai;
- k.t [7].

Šia programa buvo sumodeliuotas ir sudarytas katamarano „Mintis“ korpuso modelis (žr. 27 pav.), kuris vėliau naudojamas supimosi skaičiavimams su „FLOW – 3D“ programa. Modelis braižomas pagal teorinį laivo brėžinį, kuris pateiktas 1 priede, geometriniai laivo parametrai imami iš 3.2 skyriaus 2 lentelės. Modeliuojant šio katamarano korpusą, braižoma buvo tik viena laivo pusė, kadangi laivas simetriškas vidinio atžvilgiu, kitą laivo pusę programa sukuria veidrodiniu principu (žr. 27 pav.).



27 pav. Katamarano „Mintis“ modelis.

a) Braižytoji modelio pusė. b) Abi laivo pusės

Nubraižius katamaraną, brėžinio failas buvo išsaugotas STL formatu (WBS-62\_HULL\_2.stl), kad iškart būtų galima jį naudoti programoje „FLOW – 3D“ skaičiuojant laivo kilinį ir vertikaluji supimąsi.

## 6.2. Laivo „Mintis“ supimosi bandymas naudojant „FLOW – 3D“ programą.

„FLOW – 3D“, tai skaičiuojamosios skysčių dinamikos (angl. CFD - computational fluid dynamics) programa, kuri pasaulyje naudojama nuo 1985 metų. Ši programa suteikia galimybę 3D aplinkoje nagrinėti skysčio dinamikos ir kieto kūno, turinčio šešis laisvės laipsnius, tarpusavio sąveiką. „FLOW – 3D“ programa yra puikus pasirinkimas moksliniams tyrimams atlikti, kadangi programa atlieka plataus masto skaičiavimus per sąlyginai mažą laiko tarpą, taip pat pateikia reikalingus grafikus, bei viso tyrimo 3D vizualizaciją [10].

Programa buvo atliekamas atvirkštiniu principu pagrįstas bandymas, t.y., kai laivas – stacionarus objektas, o tekančio vandens srautas apteka jį nustatytu greičiu.

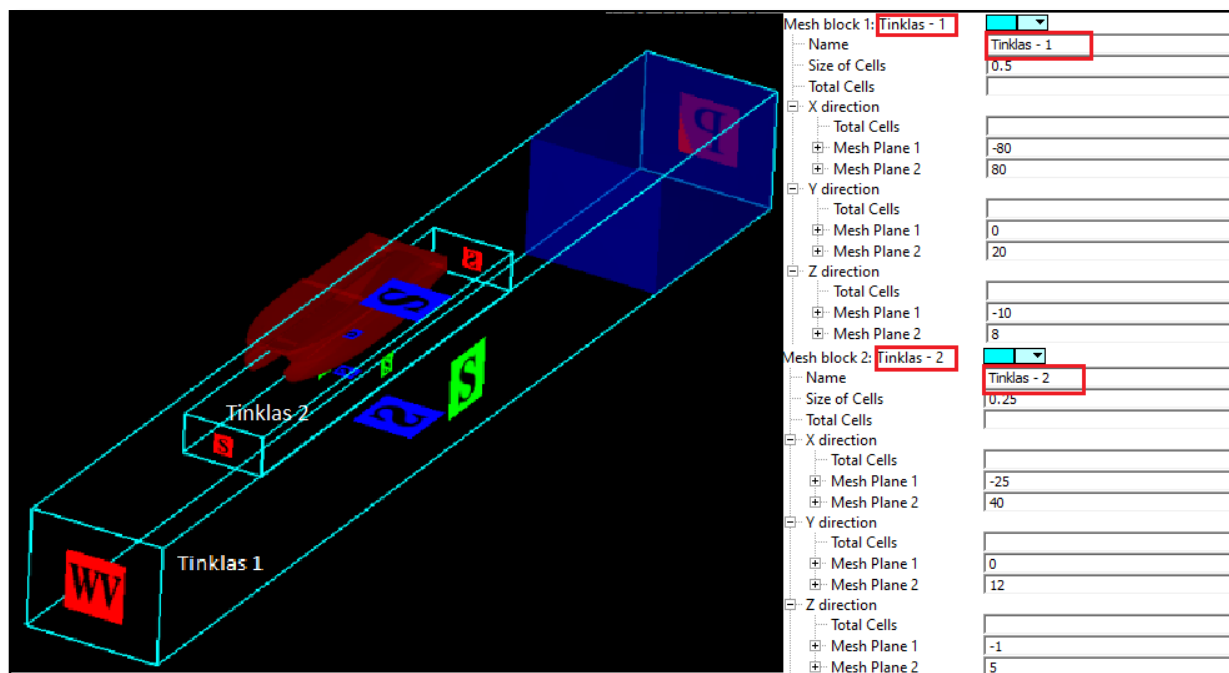
Norint su „FLOW – 3D“ atlikti skaičiavimus yra reikalingi pradiniai duomenys: laivo korpuso geometrija (laivo korpusas, kurį braižėme „Delft Ship“ programa), tiriamojo objekto – Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo masės ir inercijos momentų.

Kilinio ir vertikalaus supimosi skaičiavimai atliekami įgyvendinus šias komandas:

1. Sukurta nauja direktorija skaičiavimo duomenims saugoti (Add new simulation);
2. Atsižvelgiant į koordinačių ašių kryptis nustatymas laisvojo kritimo pagreitis ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) (Model setup / Gravity), jis nustatomas;
3. Nustatyta, kad tiriamasis objektas yra judantis kūnas (Model setup / Moving and simple deforming object);
4. Nustatytas skystis, kuriame bus atliekamas bandymas (naudojamas gėlas vanduo, kurio tankis  $1,025 \text{ kg/m}^3$ ; (Model setup / viscosity and turbulence/ Fluid database);
5. Pasirenkami reikalingi dydžiai, kuriuos skaičiuos programa, kilinis ir vertikalusis supimasis, (Model setup / Output);
6. Nustatomas laiko tarpas, per kurį programa atliks skaičiavimus (pasirenkame 120 sekundžių, šis laiko tarpas yra pakankamas, kad laivo supimasis būtų nusistovėjęs ir gauti rezultatai būtų kuo tikslesni) (Model setup / General);
7. Įkeliamas nubraižyto laivo geometrijos failas (Model setup / import geometry);
8. Nustatomas skaičiavimo tinklelis (Model setup / Cartesian / Add mesh) (žr. KKK pav.);
9. Į skaičiavimo tinklelio galą įtraukiama bangas absorbuojanti zona (Meshing and geometry / Component properties / Waves absorbing properties). Ši zona yra įtraukiama tam, kad banguojant nekristų vandens lygis (žr. 28 pav.).

Skaičiavimo tinkleliu yra apibrėžiama zona, kurioje atliekami skaičiavimai. Visas tinklas yra padalijamas į tam tikrą skaičių mažų elementarių tūrio vienetų. Kuo elementaraus tūrio vienetas mažesnis, tuo sklandžiau yra pavaizduojama laivo korpuso geometrija, bet didelis elementariųjų tūrių skaičius labai įtakoja laiką, per kurį atliekami skaičiavimai.

Pirmiausia pasirenkamos skaičiuojamojo tinklo ribos, ir nustatoma kokio dydžio elementarieji tūriai bus tame tinkle.(žr. 28 pav.).



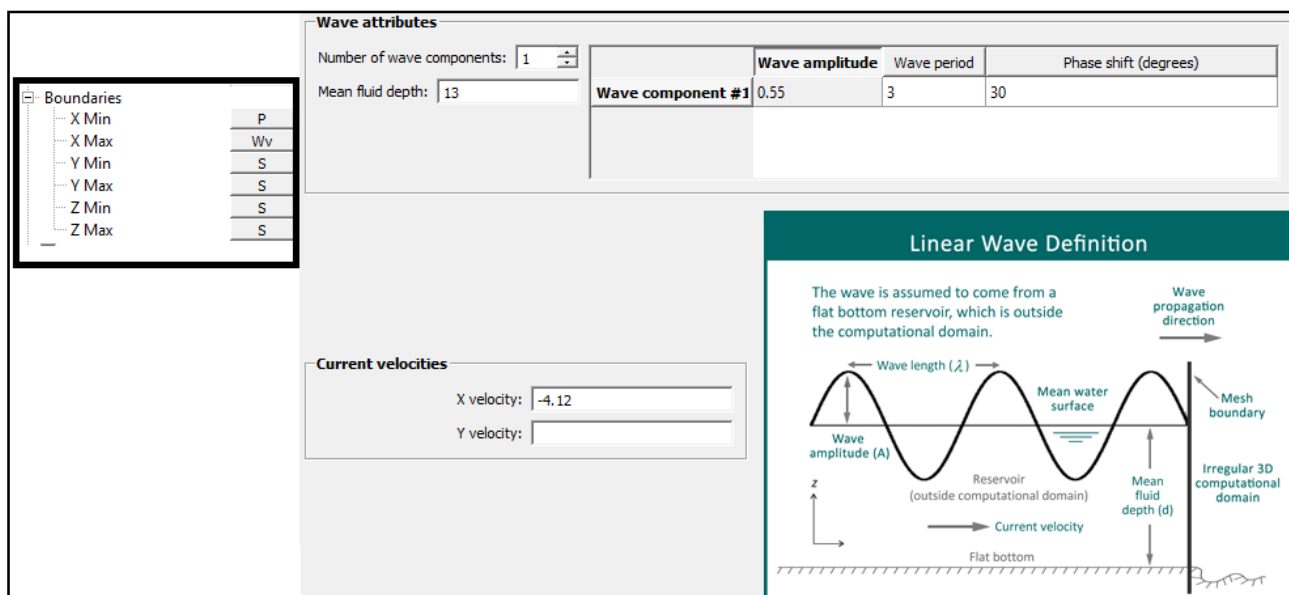
28 pav. Skaičiuojamųjų tinklų ribos

Skaičiavimui atlikti naudojami du skirtingi skaičiavimo tinklai.

Tinklas 1 – tai visa eksperimento zona, kurios matmenys  $160 \times 20 \times 18$  m., vieno elementaraus tūrio vieneto matmenys  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  m.

Tinklas 2 – tai kur kas mažesnių matmenų, jis yra tik aplink laivo korpusą. Šio tinklelio matmenys  $65 \times 12 \times 6$  m, o tinklelį sudarančio vieno elementaraus tūrio vieneto matmenys -  $0,25 \times 0,25 \times 0,25$  m. Smulkesnis tinklelis suteikia galimybę pasiekti kur kas tikslesnių atliekamo eksperimento rezultatų.

Kitas eksperimento žingsnis – skaičiavimo masyvo kiekvienos sienelės pradinių sąlygų nustatymas, tai atliekama programos Boundary juostoje (žr. 29 pav.)



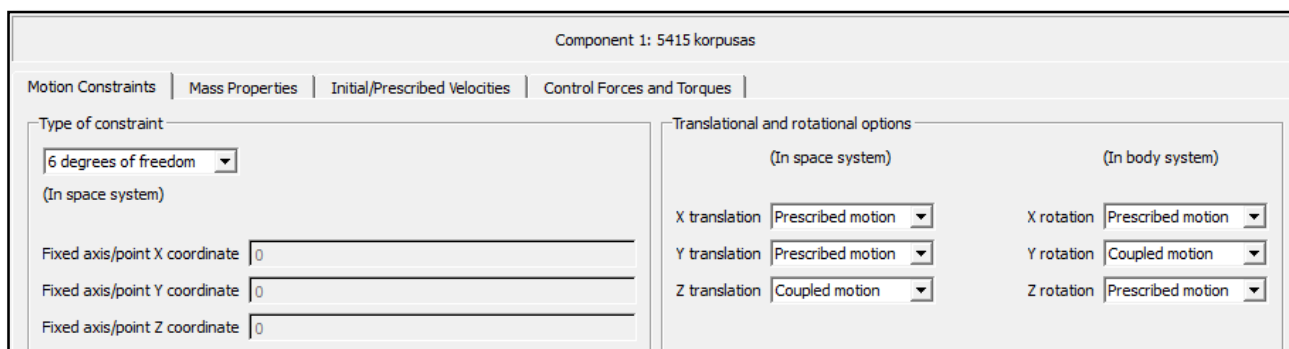
29 pav. Skaičiavimo masyvo sienelių sąlygų nustatymai

Skaičiavimų masyve nustatome linijinių reguliarių bangų parametrus: bangos amplitudę (0,55m), periodą (3 sekundės), vandens tėkmės greitį (4,12 m/s), bei vandens gylį (13 m). Visą tai padarome  $X_{max}$  grafoje. Vandens tėkmės greitis įvedamas tam, kad būtų sudaromos laivo realaus plaukimo sąlygos, kadangi dabar laivas yra stacionarus ir nejudantis.

$X_{min}$  – grafoje nustatome slėgį, tai reiškia, jog vandens lygis yra = const.

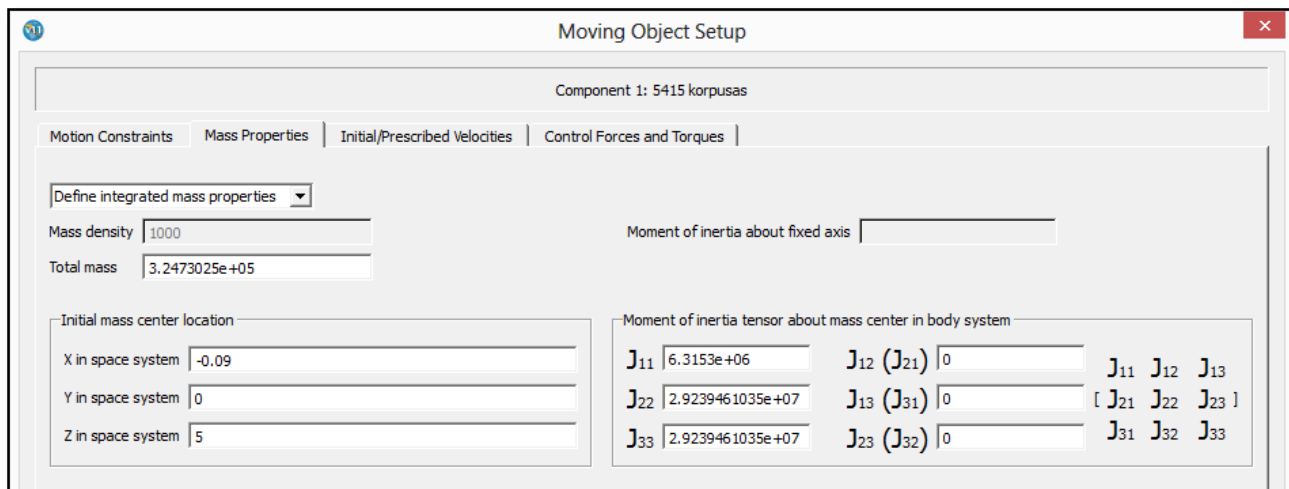
Visose kitose grafose:  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$ ,  $Z_{min}$ ,  $Z_{max}$ , nustatomi simetrijos nustatymai (angl. Symmetry), tai reiškia, jog simetrijos ribose nėra skaičiuojami šlyties momentai, vandens srauto greitis, bei veikiančios jėgos.

Atlikus šiuos nustatymus, programos grafoje (Component / Component 1:5415 korpusas / component properties/ Type of moving object) pasirenkamos objekto galimybės judėti šešiais laisvės laipsniais, bet suvaržomas judėjimas, kurio mums nereikia atliekant eksperimentą (padaroma, kad laivas galėtų judėti pagal Z ašį vertikaliai ir pagal Y ašį sukamaisiais judesiais). Jei objektui leidžiama judėti ties ta koordinate rašoma coupled motion, jei neleidžiama – prescribed (žr. 30 pav.).



30 pav. Objekto judėjimo galimybių nustatymas

Paskutiniai nustatymai, kuriuos reikia įvesti į „FLOW – 3D“ programą norint atlikti eksperimentą – katamarano „Mintis“ masės centro koordinatėms ir inercijos momentų nustatymas. Šie nustatymai atliekami Mass properties lange (žr. 31 pav.).



31 pav. Laivo masės ir inercijos momentų nustatymas

Verta paminėti, jog laivo masė, svorio centro koordinatės ir inercijos momentai nurodyti du kartus mažesni, negu yra iš tiesų. Taip yra todėl, kad programa skaičiavimus atlieka imdama puse katamarano korpuso, kuri papuola į skaičiavimo masyvą. Tai gerai matyti 28 pav.

Bendroju atveju laivo masės inercijos momentai aplink x, y ir z ašis gali būti paskaičiuojami pagal šias formules [29]:

$$\begin{aligned}
 I_{xx} &= \int_M (z^2 + y^2) dm \approx \sum_i m_i (z_i^2 + y_i^2), \\
 I_{zz} &= \int_M (z^2 + x^2) dm \approx \sum_i m_i (z_i^2 + x_i^2), \\
 I_{yy} &= \int_M (x^2 + y^2) dm \approx \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2),
 \end{aligned} \tag{21}$$

- čia  $I_{xx}$  – inercijos momentas x ašies atžvilgiu;  
 $I_{zz}$  – inercijos momentas z ašies atžvilgiu;  
 $I_{yy}$  – inercijos momentas y ašies atžvilgiu;  
x, z, y – laivo elementariųjų masių koordinatės.

Laivo masės inercijos momentas įvertinus hidrodinaminę vandens masę yra susietas tokia priklausomybe [20]:

$$J_{ii} + \lambda_{kk} = MR_{ii}^2, \quad (22)$$

čia  $J_{ii}$  – Laivo masės inercijos momentas;

$\lambda_{kk}$  – hidrodinaminė vandens masė;

$M$  – laivo masė;

$R_{ii}$  – laivo masės inercijos spindulys.

Laivo masės inercijos spindulys kinta šiose ribose [12].

$$R_{xx} = 0,3B \div 0,4B;$$

$$R_{yy} = 0,22L \div 0,28L; \quad (23)$$

$$R_{zz} = 0,22L \div 0,28L.$$

čia  $B$  – katamarano vieno korpuso plotis;

$L$  – katamarano korpuso ilgis.

Sudarome lygtis pagal kurias apskaičiuojame inercijos momentus apie x, y, z ašis.

$$J_{11} = \frac{M(0,4B)^2}{1,3} = \frac{324730(0,4 \cdot 3,975)^2}{1,3} = 6315300 = 6,315 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2,$$

$$J_{22} = \frac{M(0,28L)^2}{1,3} = \frac{324730(0,28 \cdot 38,64)^2}{1,3} = 29239461035 = 2,924 \cdot 10^7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \quad (24)$$

$$J_{33} = J_{22} = \frac{324730(0,28 \cdot 38,64)^2}{1,3} = 2,924 \cdot 10^7 \text{ kg} \cdot \text{m}^2,$$

čia  $J_{ii}$  – laivo korpuso masės inercijos momentas;

$J_{11}$  – laivo masės inercijos momentas x ašies atžvilgiu;

$J_{22}$  – laivo masės inercijos momentas y ašies atžvilgiu;

$J_{33}$  – laivo masės inercijos momentas z ašies atžvilgiu.

Laivo masės inercijos momentai y ir z ašies atžvilgiu yra priimami vienodi, kadangi linijinėje laivo supimosi teorijoje taip yra priimta.

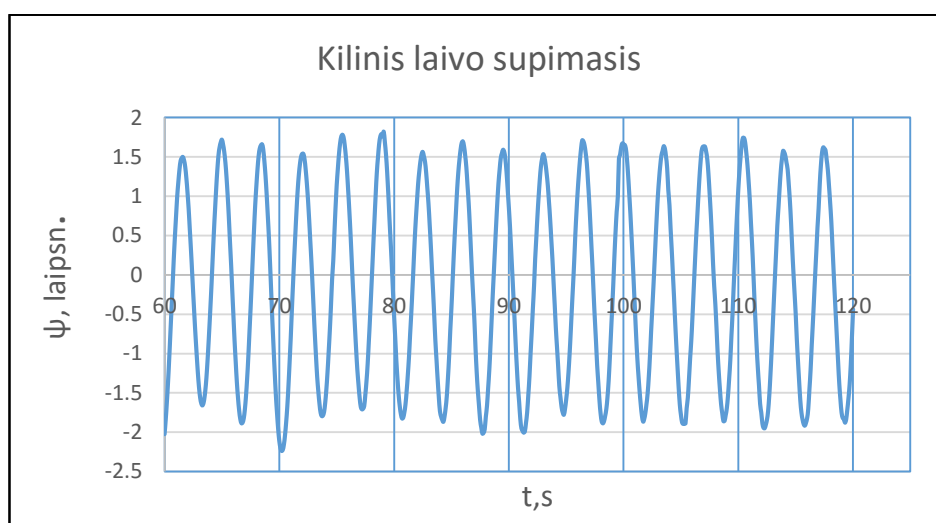
Žinoma reikia pabrėžti, jog laivo inercijos momentai yra apskaičiuojami apytiksliai, su tam tikromis nedidelėmis paklaidomis. Taip yra todėl, nes teorinėmis formulėmis nėra įvertinamas,

tiriamu laivo, katamarano „Mintis“, masių susikongravimas laive, o tai turi įtakos inercijos momentų reikšmėms, kilinio ir vertikalios supimosi reikšmių dydžiams.

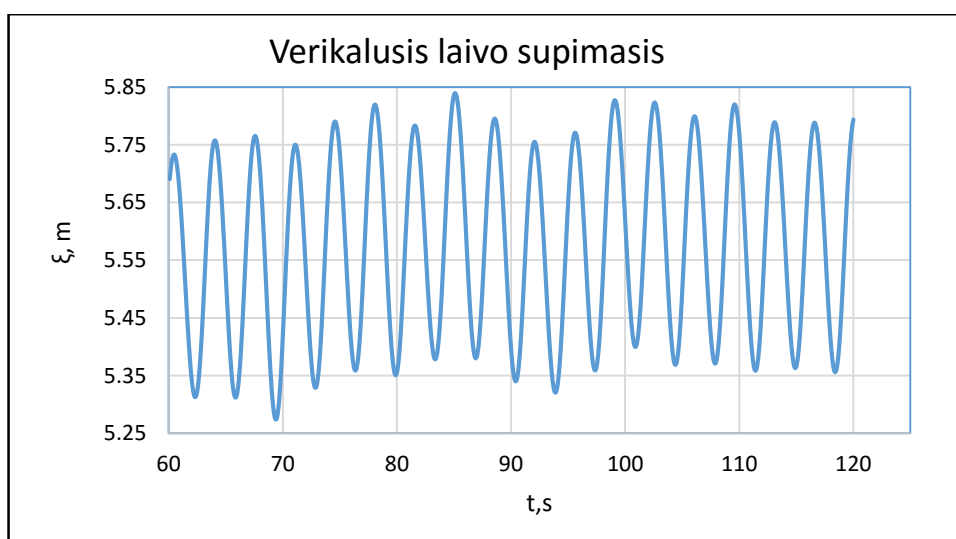
Atlikus visus reikiamus nustatymus aktyvuojama programa, kad būtų pradėtas skaičiuoti eksperimentas. Tai atliekame programos juostoje aktyvavus Simulate komanda.

Gautų rezultatų peržiūra atliekama Analyze /Probe / General data history komandos pagalba.

Apskaičiavus Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ kilinį ir vertikalųjį supimą gauti rezultatai, kurie grafiškai pateikiami 32 ir 33 pav. Grafike horizontalioji ašis žymi laiką (t,s), o vertikalioji ašis kiliniame supime žymima kampo kitimo greitis, vertikaliajame supime – amplitudę. Grafikuose pateikti tik rezultatai gauti, kai bangavimas yra nusistovėjęs. Viso eksperimento grafikai pateikiami priede (žr. 5 priedą).



32 pav. Katamarano kilinio supimosi kampo (laipsniais) priklausomybės nuo laiko (s)



33 pav. Laivo vertikalios supimosi amplitudės priklausomybė nuo laiko (s)

*Iš grafiko vaizduojančio laivo kilinio supimosi – diferento priklausomybę nuo laiko (32 pav.) matome, jog esant 0,55 m aukščio linijinėms reguliarioms bangoms, kurių periodas 3 s, vidutinė kilinio supimosi reikšmė lygi 3,45 laipsnio ( $\psi_{vid} = 3,45$  laipsnio).*

*Paanalizavę katamarano vertikalaus supimosi amplitudės grafiko priklausomybę nuo laiko (33 pav.), laivui supanti reguliariose 0,55 m aukščio linijinėse bangose, kurių periodas 3 s, matome jog vidutinė vertikalaus supimosi amplitudės reikšmė lygi 0,42 metro ( $\zeta_{vid} = 0,42$  m.).*

*Gauti rezultatai bus lyginami su rezultatais, gautais ankstesnių bandymų metu.*

## 7. GAUTŲ REZULTATŲ ANALIZĖ

Atlikus visus suplanuotus, mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ kilinio ir vertikalaus supimosi, bandymus, pagal: linijinę laivo supimosi teoriją, natūralius supimosi bandymus, esant nereguliaraus bangavimo sąlygomis, bei eksperimentu remiantis „FLOW – 3D“ programine įranga, gauti rezultatai, kurie toliau bus analizuojami ir lyginami tarpusavyje.

Visi skaičiavimai atliekami identiškais sąlygomis: laivo greitis 8 mazgai, bangos amplitudė 0,55 m. bangos ilgis 12 m, periodas tarp bangų – 3 sekundės.

Gauti rezultatai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė. Rezultatai gauti atlikus bandymus.

| Eksperimentas   | Kilinio supimosi rezultatai<br>$\psi$ , laipsn. | Vertikalaus supimosi rezultatai<br>$\xi$ , m |
|---|---|--|
| Matematiniai skaičiavimai remiantis linijine laivo supimosi teorija | 2,11  | 0,37   |
| Natūralūs bandymai nereguliaraus bangavimo sąlygomis                | 0,71  | 0,29   |
| Matematinis eksperimentas remiantis „FLOW – 3D“ programine įranga   | 3,45  | 0,42   |

Analizuojant gautus mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ kilinio ir vertikalaus supimosi duomenis, kaip pagrindiniai – baziniai imami tie, kurie gauti remiantis „FLOW – 3D“ programine įranga. Taip daroma todėl, nes skaičiavimo algoritmai, esantys programoje, geba puikiai įvertinti natūralią laivo ir skysčio tarpusavio sąveiką, tiksliai įvertina laivo inercijos momentus, kurie turi didelę įtaką katamarano supimuisi. Tai leidžia daryti prielaidą, kad programa esant idealioms kontroliuojamoms supimosi sąlygoms pateikia tikslius rezultatus.

Kitų eksperimentų rezultatai, kaip pagrindiniai nenaudojami dėl šių priežasčių:

1. Natūralių bandymų nereguliaraus bangavimo sąlygomis gauti rezultatai negali būti imami kaip pagrindas, nes laivas supasi nereguliose bangose, veikiant vėjui, bei kitiems supimuisi įtaką turintiems komponentams.

2. Rezultatai gauti matematiniais skaičiavimais, kurie paremti linijine supimosi teorija, taip pat nebus imami už pagrindą, nes jie gauti skaičiuojant teorinėmis formulėmis, dėl to gali būti didesnės ar mažesnės supimosi reikšmių paklaidos.

Atsižvelgiant į 3 lentelėje pateiktus duomenis bus lyginama ir analizuojama, kaip tarpusavyje skiriasi kilinio ir vertikalaus supimosi rezultatų reikšmės.

Pirmiausia palyginamos tiriamojo laivo kilinio ir vertikalaus supimosi reikšmės, gautos „FLOW – 3D“ programa su linijine laivo supimosi teorija.

Kilinio supimosi  $\psi$  reikšmė, gauta kompiuterine programa „FLOW – 3D“, pagalba yra 1,65 karto, arba 38,84 % didesnė, o vertikalojo supimosi  $\xi$  reikšmė 1,14 karto, arba 11,9 % didesnė negu apskaičiuotus remiantis linijine laivo supimosi teorija.

Rezultatai skiriasi sąlyginai nežymiai, nes bangų, laivo ir aplinkos parametrai yra labai panašūs, be to, kompiuterinės programos skaičiavimų algoritmai yra pagrįsti linijine laivo supimosi teorija, tik įvedama daugybę kintamųjų, dėl kurių skaičiavimų rezultatus tampa realūs (atitinka realų laivo supimąsi).

Kitas žingsnis – bus lyginamos katamarano kilinio ir vertikalaus supimosi reikšmės, gautos „FLOW – 3D“ programa su natūraliais supimosi bandymais, kurie atlikti esant nereguliariam bangavimui.

Kilinio supimosi  $\psi$  reikšmė gauta kompiuterine programa „FLOW – 3D“, yra 4,85 karto, arba 79,41 % didesnė, o vertikalojo supimosi  $\xi$  reikšmė 1,45 karto, arba 30,95 % didesnė, nei išmatavus natūralųjį laivo supimąsi.

Palyginus gautus rezultatus matyti, jog labiausiai tarpusavyje skiriasi matematinis eksperimentas remiantis „FLOW – 3D“ programine įranga ir natūralūs bandymai nereguliaraus bangavimo sąlygomis. Tai galima paaiškinti tuo, jog natūralūs bandymai, priešingai negu skaičiavimai kompiuterine programa, atliekami nekontroliuojamoje aplinkoje – bangavimas nereguliarus, bangų amplitudė yra kintanti ir laivą pasiekia skirtingų amplitudžių bangų paketai (keletas didesnių bangų, o po jų seka kelios mažesnės amplitudės bangos (žr. 25 ir 26 pav.)).

Laivo supimosi amplitudžių pulsacija paaiškinama tuo, jog kai laivas susiduria su paketu bangų, kurių amplitudės sąlyginai didelės, vertikalusis ir kilinis supimasis didėja, o kai laivą pasiekia žemesnės bangos – supimasis mažėja.

## IŠVADOS

Išanalizavus užsienio mokslininkų atliktus tyrimus galima daryti išvadą, jog yra atlikta nemažai mokslinių tyrimų, susijusių su katamaranų vertikaliuoju ir kiliniu supimusi, taip pat su įvairiais faktoriais darančiais įtaką jiems. Tačiau iki šiol nėra pakankamai padaryta katamaranų supimosi tyrimų tarpusavio palyginimų, t.y., linijinės supimosi teorijos skaičiavimų rezultatų palyginimų su supimosi rezultatais, gautais pasinaudojus CFD programine įranga, taip pat su rezultatais, gautais atlikus natūralius laivo supimosi bandymus. Visa tai leistų įvertinti kiekvieno tyrimų tarpusavio tikslumą ir paklaidas.

Atlikus teorinės dalies analizę, susijusią su katamaranų kiliniu ir vertikaliuoju supimusi, pastebėta, jog gana žymią įtaką katamarano supimuisi turi šie faktoriai: korpuso forma, laivo greitaeigiškumas, dempferavimo bei prijungtųjų masių koeficientai, laivo masės inercijos momentas, laivo judėjimo ir bangos sklidimo tarpusavio kampai. Taip pat užrašytos patikslintos katamarano kilinio supimosi lygtys.

Atlikus skaičiavimus Microsoft Office Excel programa pagrindu, kuri sudaryta linijinės supimosi teorijos pagrindu, su papildomais moduliais, kuriuos sudarė Visual Basic for Applications, gauti štai tokie rezultatai: kilinis supimasis ( $\psi$ ) lygus  $2,11^0$ , o vertikalojo ( $\xi$ ) supimosi amplitudė lygi 0,37 m. Taip pat gauti laivo supimosi pobūdžio įvairiais laiko momentais ir laivo denio užliejimo grafikai, laivui judant 8 mazgų greičiu, statmenai bangoms, kai bangos ilgis 12 metrų.

Atlikus natūralius Klaipėdos universiteto laivo „Mintis“ supimosi bandymus išsiaiškinta, jog laivui plaukiant 8 mazgų ( $\sim 4,11$  m/s greičiu), prieš 0,55 metrų aukščio amplitudės bangas, kurių periodas  $\sim 3$  sekundės,  $\bar{\psi}$  supimosi reikšmė lygi  $0,71^0$ , o  $\bar{\xi}$  amplitudės vidutinė reikšmė lygi 0.29 m. Gautos reikšmės skiriasi nuo kitų, atliktų supimosi skaičiavimų ir eksperimentų, kadangi atliekant natūralius bandymus bangavimas nėra kontroliuojamas, jis – nepastovus. (nors ir buvo priimta prielaida, jog šį supimąsi laikysime stacionariu, kad rezultatus būtų galima palyginti su kitais atliktais eksperimentais).

Atlikus laivo vertikalaus ir kilinio supimosi eksperimentą „FLOW – 3D“ programa buvo gauti šie grafikai: laivo kilinio supimosi – diferento priklausomybę nuo laiko (žr. 32 pav.) ir katamarano vertikalaus supimosi amplitudės priklausomybę nuo laiko (žr. 33 pav.). Iš gautų grafikų matome, jog esant 0,55 m aukščio linijinėms reguliarioms bangoms, kurių periodas 3 s, vidutinė kilinio supimosi reikšmė lygi  $\psi_{\text{vid}} = 3,45$  laipsnio, o vidutinė vertikalaus supimosi amplitudės reikšmė lygi  $\xi_{\text{vid}} = 0,42$  m. Atlikus skaičiavimus taip pat buvo gautas video failas, kuriame labai aiškiai pateikiamas laivo supimasis prie nustatytų bangavimo parametrų.

Susisteminus, palyginus ir išanalizavus visus gautus Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ kilinio ir vertikalaus supimosi eksperimentų rezultatus, gauname tokias išvadas:

1. Kilinio supimosi  $\psi$  reikšmė, gauta kompiuterine programa „FLOW – 3D“ yra 1,65 karto, arba 38,84 % didesnė, o vertikaliojo supimosi  $\xi$  reikšmė 1,14 karto, arba 11,9 % didesnė negu apskaičiuotus remiantis linijine laivo supimosi teorija.

Rezultatai skiriasi sąlyginai nežymiai, nes bangų, laivo ir aplinkos parametrai yra labai panašūs, be to kompiuterinės programos skaičiavimų algoritmai yra pagrįsti linijine laivo supimosi teorija, tik įvedant daugybę kintamųjų, dėl kurių skaičiavimų rezultatai tampa realūs (atitinka realų laivo supimąsi).

2. Kilinio supimosi  $\psi$  reikšmė gauta kompiuterine programa „FLOW – 3D“ yra 4,85 karto, arba 79,41 % didesnė, o vertikaliojo supimosi  $\xi$  reikšmė 1,45 karto, arba 30,95 % didesnė, negu išmatavus natūralųjį laivo supimąsi.

Tai galima paaiškinti tuo, jog natūralūs bandymai, priešingai negu skaičiavimai kompiuterine programa, atliekami nekontroliuojamoje aplinkoje – bangavimas nereguliarus, bangų amplitudė yra kintanti ir laivą pasiekia skirtingų amplitudžių bangų paketai (keletas didesnių bangų, o po jų seka kelios mažesnės amplitudės bangos).

Palyginus visus gautus rezultatus matyti, jog reikalingi tolimesnis šios temos plėtojimas, tarpusavyje lyginant supimosi rezultatus, gautus prie kitų bangavimo parametrų (bangos ilgis –  $\lambda$  m, bangos aukščio amplitudė -  $h_b=2r_0$ , m), taip pat prie skirtingų laivo judėjimo greičių –  $v$ , m/s.

Atlikus platesnio spektro tyrimus ir lyginant bei stebint rezultatų kitimo dėsningumus, būtų galima tikslinti linijinės laivo supimosi teorijos lygtis, o tai leistų gauti dar tikslesnius rezultatus.

## LITERATŪRA

1. Baltijos slėnis oficialus puslapis [interaktyvus]. Informacijos centras [žiūrėta 2016 m. balandžio 5 d.]. Prieiga per internetą: [http://balticvalley.lt/?page\\_id=1642](http://balticvalley.lt/?page_id=1642).
2. Belenky V. L., Sevastianov N. B. Stability and safety of ships. Oxford: Elsevier Ltd. The United Kingdom, 2003, Vol. 2, 432 p.
3. Benjamin Bouscasse, Riccardo Broglia, Frederick Stern, 2012. Experimental investigation of a fast catamaran in head waves. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015 lapkričio 9d.]. Prieiga per internetą: < [www.elsevier.com/locate/oceaneng](http://www.elsevier.com/locate/oceaneng) >.
4. Bertram V. Practical Ship Hydrodynamics. Oxford: Linacre House, The United Kingdom, 2002, 270 p.
5. Biran A. B. Ship Hydrostatics and Stability. Oxford: Linacre House, The United Kingdom, 2003, 344 p.
6. Čerka J. Laivo hidroaeromechanika. Monografija. Klaipėda: Klaipėdos universitetas. 2009, 18 – 22, 44 – 48 p.
7. Delft ship oficialus puslapis. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. gegužės 7 d.]. Prieiga per internetą: < <http://www.delftship.net/DELFTship/index.php/delftship/delftship-free> >
8. Djačkov. V. Greitaeigių katamaranų išilginio supimosi problemos esant bangavimui. Klaipėda: Klaipėdos universitetas. 2004, 26 – 32p.
9. Dubrovskiy V. A. Complex Comparison of Seakeeping: Method and Example // Marine Technology, 2000, Vol. 37, Nr. 4, 223 – 229p.
10. Flow science oficialus puslapis. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2016 m. Balandžio 2 d.]. Prieiga per internetą:< <https://www.flow3d.com/home/products/flow-3d>.
11. Frederick Stern, Zhaoyuan Wang, Jianming Yang, Hamid Sadat-hosseini, Mousaviraad Maysam, Shanti Bhushan, Matteo Diez, Sung-Hwan Yoon, Ping-Chen Wu, Seong Yeon, Timur Dogan, Dong-Hwan Kim, Silvia Volpi, Michael Conger, Michael Thad, Tao Xing, 2015. Recent progress in CFD for naval architecture and ocean engineering. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015m. lapkričio 9d. ]. Prieiga per internetą: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001605815604528> >.
12. Klaipėdos universitetas oficialus puslapis [interaktyvus]. Informacijos centras [žiūrėta 2014 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ku.lt/jmtc/atviros-prieigos-centras/moksliniu-tyrimu-laivas-ir-ekspedicine-iranga/>
13. Journée, J.M.J., Adegeest, L. J. M. 2003. Theoretical manual of „Seaway for Windows“.
14. Octans Subsea [interaktyvus]. Informacijos centras [žiūrėta 2016 m. kovo 20 d.]. Prieiga

perinternetą: [https://www.ixblue.com/sites/default/files/downloads/ixblue-ps-octans\\_3000-02-2014-web.pdf](https://www.ixblue.com/sites/default/files/downloads/ixblue-ps-octans_3000-02-2014-web.pdf)

15. Richard B Luhulima, D Setyawan ir I K A P Utama, 2014. Selecting Monohull, Catamaran and Trimaran as Suitable Passenger Vessels Based on Stability and Seakeeping Criteria. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015m. lapkričio 11d.]. Prieiga per internetą: <[http://www.shipstab.org/files/Proceedings/ISSW/ISSW\\_2014\\_Kuala\\_Lumpur\\_Malaysia/Papers/ISSW\\_2014\\_s8-p03.pdf](http://www.shipstab.org/files/Proceedings/ISSW/ISSW_2014_Kuala_Lumpur_Malaysia/Papers/ISSW_2014_s8-p03.pdf)>.

16. Stefano Zaghi, Riccardo Broglia, Andrea Di Mascio, 2011. Analysis of the interference effects for high-speed catamarans by model tests and numerical simulations. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015m. lapkričio 19d.]. Prieiga per internetą: <[www.elsevier.com/locate/oceaneng](http://www.elsevier.com/locate/oceaneng)>.

17. Takayama Toru, Katoki Mosanori, Ikeda Yoshiho, 2007. A Study on the Characteristics of Roll Damping of Multi – hull Vessels. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015m. Lapkričio 11d.]. Prieiga per internetą: <[www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab15/papersearch/papers/2007-008.html](http://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab15/papersearch/papers/2007-008.html)>.

18. Teresa Castiglione, Frederick Stern, Manivannan Kandasamy, Sergio Bova, 2009. Unsteady rans simulations for a catamaran advancing in regular waves. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2015m. lapkričio 19d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.researchgate.net/publication/263925830>>.

19. Алферьев М. Я., Мадорский Г.С. Транспортные катамараны внутреннего плавания. Москва: Транспорт, 1976, 336 с.

20. Благовещенский С. Н., Холодилин А. Н. Справочник по статике и динамике корабля. Т. 2. Ленинград: Судостроение, 1976, 176 с

21. Бородай И. К., Нецветаев Ю. А. Качка судов на морском волнении. Ленинград: Судостроение, 1969, 429 с.

22. Бородай И. К., Нецветаев Ю. А. Качка судов на морском волнении. Ленинград: Судостроение, 1982, 288 с

23. Коган И. М. Уравнения качки катамарана движущегося на косом регулярном волнении // Труды НКИ. Теория и гидромеханика. Николаев, 1981, вып. 176, 35-39.

24. Луговский В. В. Качка корабля. Санкт – Петербург: СПб МТУ, 1999, 425с.

25. Мастушкин Ю. М. О влиянии величины горизонтального клиренса на присоединенную инерцию катамарана // Труды КТИРПХ. Мореходные качества судов. Калининград, 1972, вып. 38, 26-33 с.

26. Многокорпусные суда. Под редакцией Дубровского В. А. Ленинград: Судостроение, 1978, 304 с.

27. Ремез Ю. В. Качка корабля. Ленинград: Судостроение, 1983, 328 с.

28. Седов Л. И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. Москва: Наука, 1980, 448 с.
29. Семенов – Тянь – Шанский В. В., Благовещенский С. Н., Холодилин А. Н. Качка корабля. Ленинград: Судостроение, 1969, 392 с.
30. Холодилин А. Н., Шмырев А. Н. Мореходность и стабилизация судов на волнении. Ленинград: Судостроение, 1976, 328 с.

## **PRIEDAI**

## **PRIEDAI**

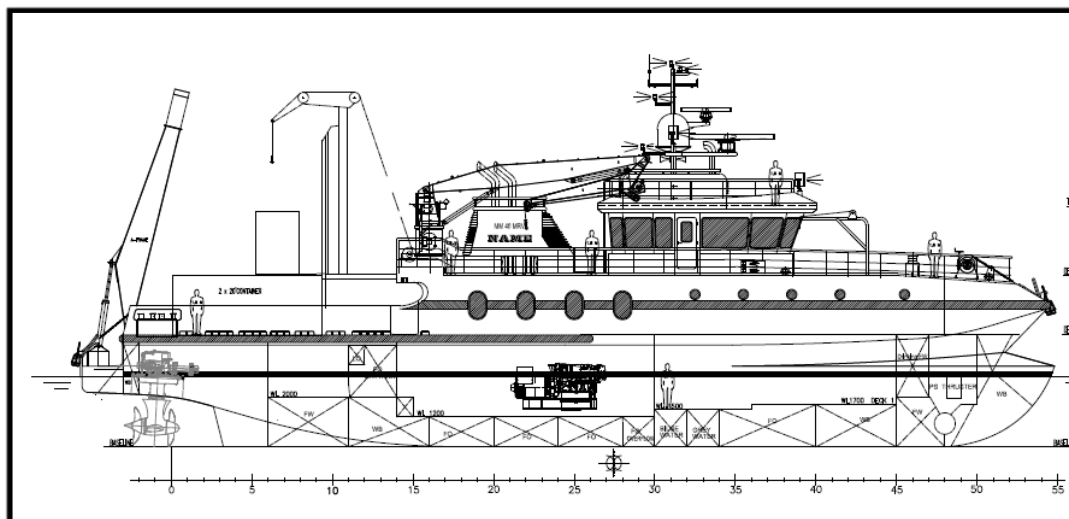
1 PRIEDAS. Klaipėdos universiteto mokslinių tyrimų laivo „Mintis“ teorinis brėžinys.

2 PRIEDAS. Laivo supimosi pobūdžio ant bangos grafikai, tam tikru laiko momentu, prie tam tikro bangos ilgio.

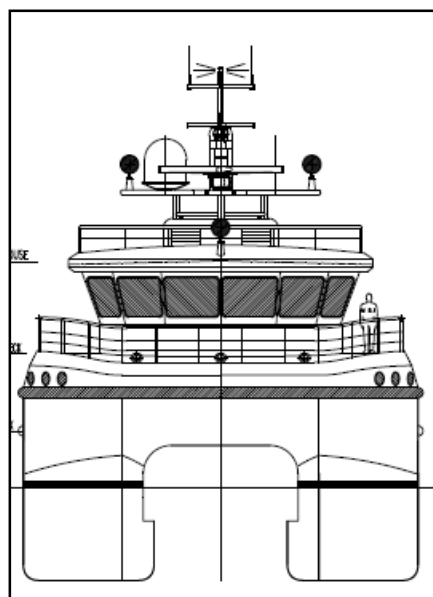
3 PRIEDAS. Laivo denio užliejimo grafikai, prie tam tikro bangos ilgio.

4 PRIEDAS. Skaitinės natūralaus kilinio ir vertikalaus supimosi bandymo rezultatų reikšmės.

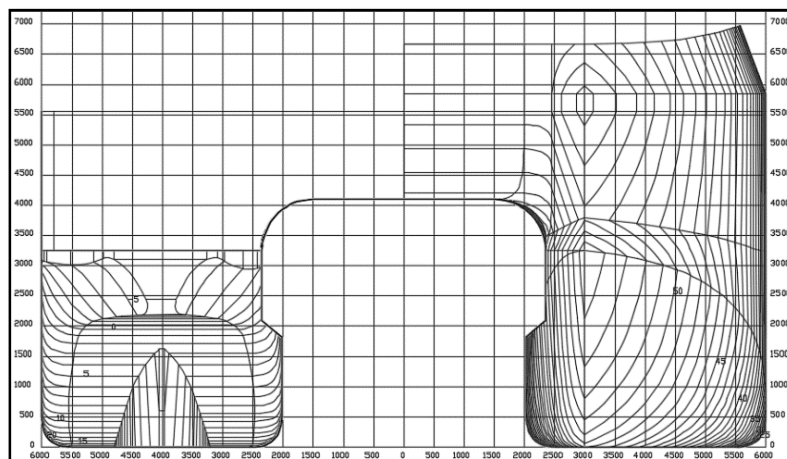
5 PRIEDAS. Skaitinės kilinio ir vertikalaus supimosi rezultatų reikšmės gautos „FLOW – 3D“ programa.



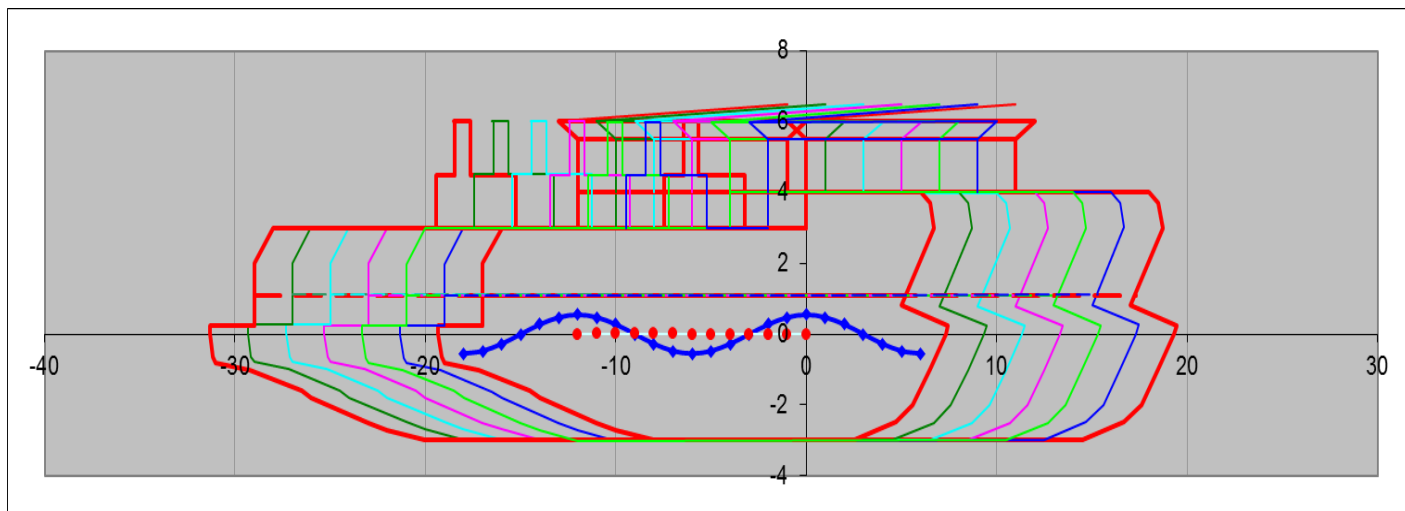
a) Vaizdas iš šono.



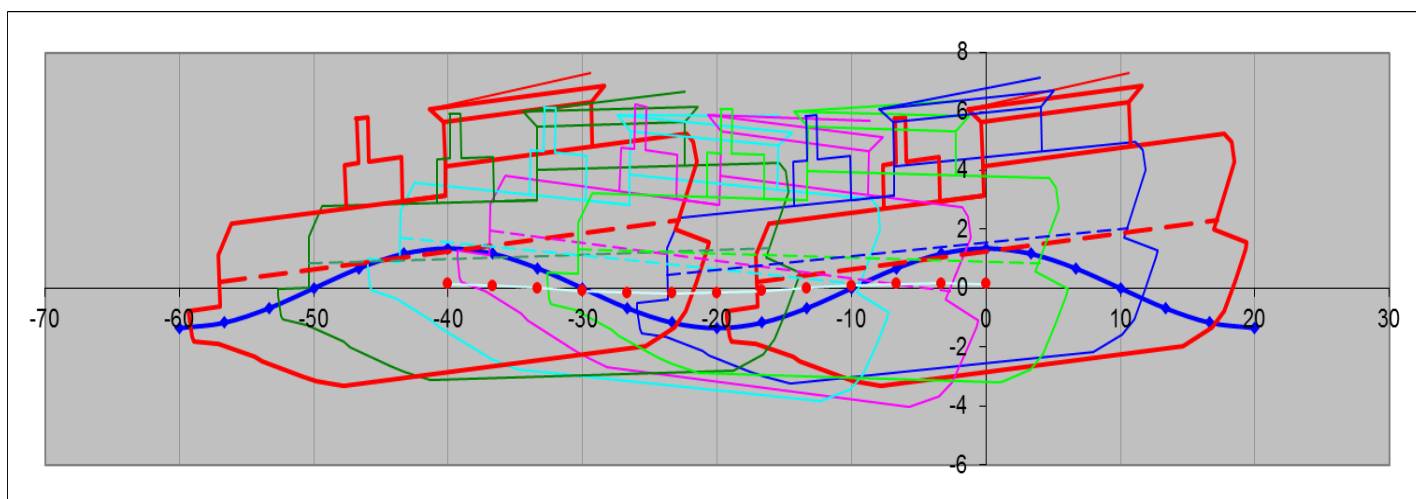
b) Vaizdas iš priekio



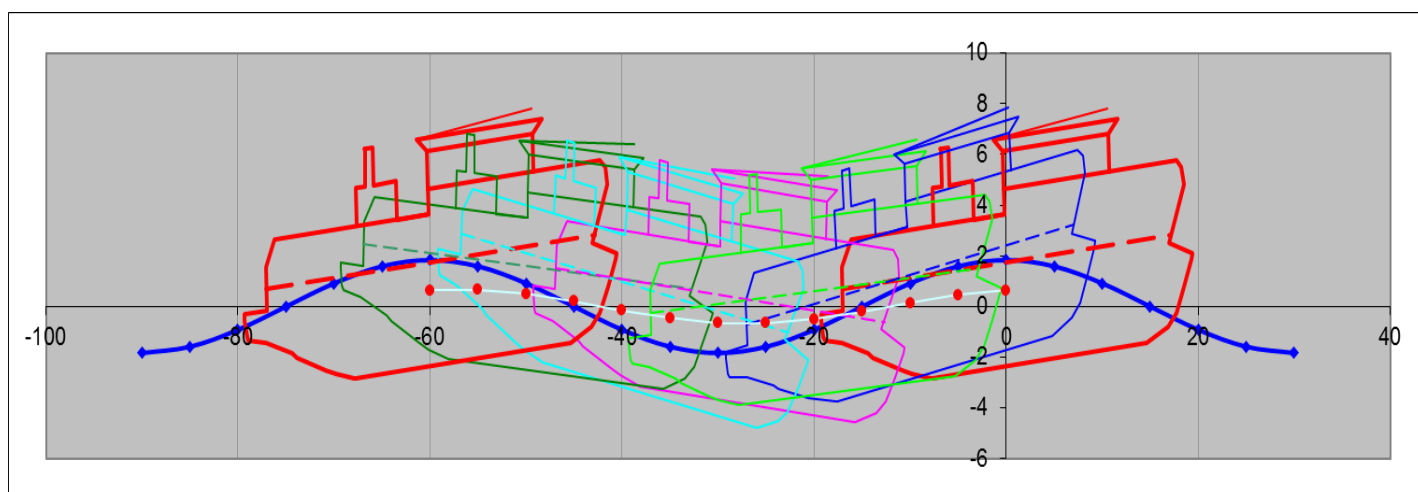
c) Teorinis laivo brėžinys.



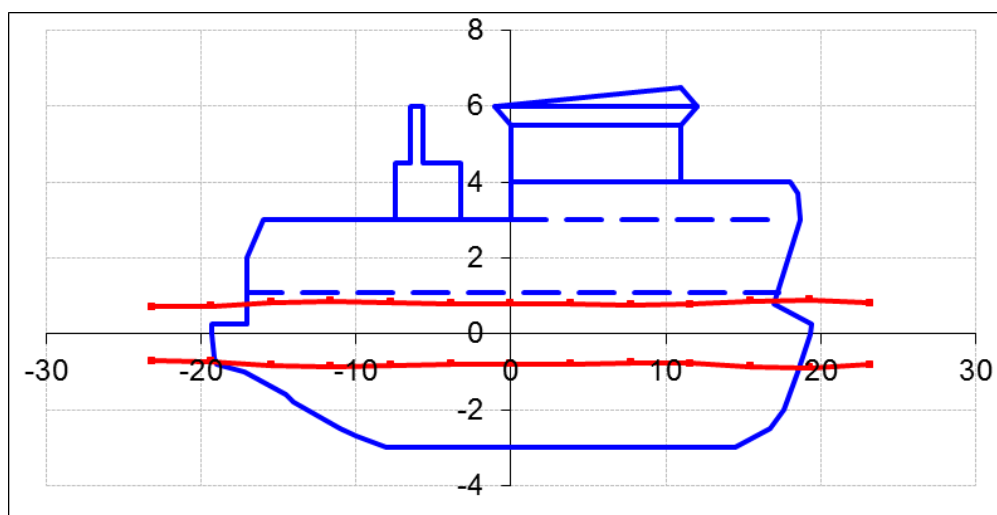
a) Laivo supimosi pobūdis ant bangos, tam tikru laiko momentu, kai bangos ilgis 12 m.



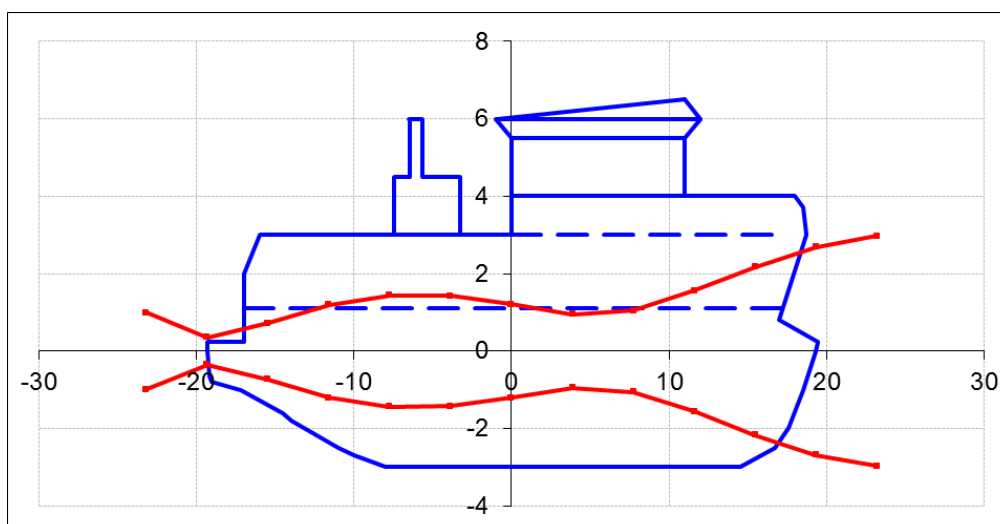
b) Laivo supimosi pobūdis ant bangos, tam tikru laiko momentu, kai bangos ilgis 40 m.



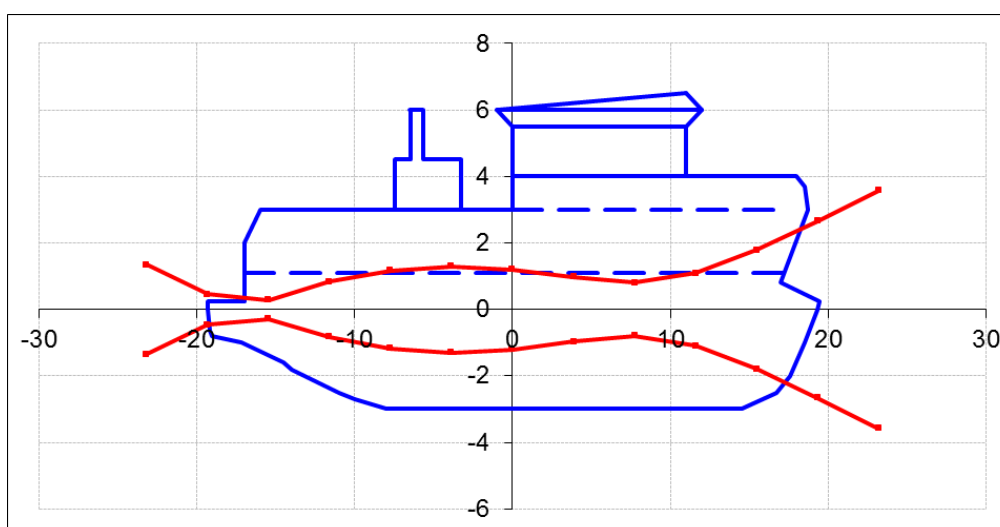
c) Laivo supimosi pobūdis ant bangos, tam tikru laiko momentu, kai bangos ilgis 60 m.



a) Laivo denio užliejimo grafikas esant 12 m ilgio bangoms.



b) Laivo denio užliejimo grafikas esant 40 m ilgio bangoms.



c) Laivo denio užliejimo grafikas esant 60 m ilgio bangoms.

| Laikas,<br>s. | Kilinis laivo<br>supimasis,<br>laipsn. | Vertikalusis<br>laivo<br>supimasis,<br>m |
|---------------|--|--|
| 0             | -0.23                                  | 0.018                                    |
| 1             | -0.24                                  | 0.072                                    |
| 2             | 0.01                                   | 0  |
| 3             | -0.03                                  | -0.072                                   |
| 4             | -0.25                                  | 0.018                                    |
| 5             | -0.21                                  | 0.09                                     |
| 6             | 0.02                                   | 0  |
| 7             | 0                                      | -0.108                                   |
| 8             | -0.21                                  | -0.018                                   |
| 9             | -0.23                                  | 0.126                                    |
| 10            | -0.1                                   | 0.09                                     |
| 11            | 0.09                                   | -0.108                                   |
| 12            | -0.06                                  | -0.126                                   |
| 13            | -0.55                                  | 0.09                                     |
| 14            | -0.27                                  | 0.144                                    |
| 15            | 0.53                                   | -0.054                                   |
| 16            | -0.02                                  | -0.126                                   |
| 17            | -1.06                                  | 0.09                                     |
| 18            | -0.23                                  | 0.216                                    |
| 19            | 0.78                                   | -0.018                                   |
| 20            | -0.34                                  | -0.27                                    |
| 21            | -1.01                                  | 0.126                                    |
| 22            | 0.21                                   | 0.306                                    |
| 23            | 0.63                                   | -0.144                                   |
| 24            | -0.59                                  | -0.288                                   |
| 25            | -0.59                                  | 0.18                                     |
| 26            | 0.29                                   | 0.288                                    |
| 27            | 0.04                                   | -0.126                                   |
| 28            | -0.37                                  | -0.252                                   |
| 29            | 0.21                                   | 0.09                                     |
| 30            | 0.09                                   | 0.18                                     |
| 31            | -0.56                                  | -0.09                                    |
| 32            | -0.02                                  | -0.162                                   |
| 33            | 0.41                                   | 0.018                                    |
| 34            | -0.51                                  | 0.054                                    |
| 35            | -0.63                                  | -0.018                                   |
| 36            | 0.54                                   | -0.108                                   |
| 37            | 0.29                                   | -0.144                                   |
| 38            | -0.9                                   | 0.018                                    |
| 39            | -0.34                                  | 0.09                                     |

| Laikas,<br>s. | Kilinis laivo<br>supimasis,<br>laipsn. | Vertikalusis<br>laivo<br>supimasis,<br>m |
|---------------|--|--|
| 40            | 0.65                                   | -0.126                                   |
| 41            | -0.18                                  | -0.198                                   |
| 42            | -0.73                                  | 0.09                                     |
| 43            | 0.15                                   | 0.198                                    |
| 44            | 0.36                                   | -0.144                                   |
| 45            | -0.56                                  | -0.27                                    |
| 46            | -0.19                                  | 0.126                                    |
| 47            | 0.44                                   | 0.162                                    |
| 48            | -0.27                                  | -0.216                                   |
| 49            | -0.53                                  | -0.144                                   |
| 50            | 0.34                                   | 0.162                                    |
| 51            | 0.3                                    | 0.036                                    |
| 52            | -0.87                                  | -0.162                                   |
| 53            | -0.44                                  | 0.054                                    |
| 54            | 0.77                                   | 0.09                                     |
| 55            | 0.12                                   | -0.108                                   |
| 56            | -1.18                                  | -0.072                                   |
| 57            | -0.24                                  | 0.198                                    |
| 58            | -0.23                                  | -0.234                                   |
| 59            | -0.97                                  | -0.036                                   |
| 60            | 0.13                                   | 0.288                                    |
| 61            | 0.45                                   | 0.054                                    |
| 62            | -0.3                                   | -0.198                                   |
| 63            | -0.4                                   | 0.036                                    |
| 64            | -0.07                                  | 0.198                                    |
| 65            | 0.02                                   | -0.054                                   |
| 66            | -0.18                                  | -0.126                                   |
| 67            | -0.37                                  | 0.18                                     |
| 68            | -0.02                                  | 0.144                                    |
| 69            | 0.12                                   | -0.162                                   |
| 70            | -0.53                                  | -0.072                                   |
| 71            | -0.41                                  | 0.18                                     |
| 72            | 0.45                                   | 0.126                                    |
| 73            | -0.13                                  | -0.144                                   |
| 74            | -0.71                                  | -0.09                                    |
| 75            | 0.16                                   | 0.198                                    |
| 76            | 0.08                                   | 0.09                                     |
| 77            | -0.51                                  | -0.198                                   |
| 78            | 0.04                                   | -0.054                                   |

| Laikas,<br>s. | Kilinis laivo<br>supimasis,<br>laipsn. | Vertikalusis<br>laivo<br>supimasis,<br>m |
|---------------|--|--|
| 79            | 0.12                                   | 0.198                                    |
| 80            | -0.47                                  | 0.054                                    |
| 81            | -0.14                                  | -0.144                                   |
| 82            | 0.18                                   | -0.054                                   |
| 83            | -0.43                                  | 0.108                                    |
| 84            | -0.33                                  | 0.072                                    |
| 85            | 0.15                                   | -0.144                                   |
| 86            | -0.1                                   | -0.144                                   |
| 87            | -0.22                                  | 0.072                                    |
| 88            | -0.02                                  | 0.108                                    |
| 89            | -0.14                                  | -0.108                                   |
| 90            | -0.22                                  | -0.18                                    |
| 91            | 0.01                                   | 0.054                                    |
| 92            | -0.18                                  | 0.09                                     |
| 93            | -0.4                                   | -0.126                                   |
| 94            | 0                                      | -0.162                                   |
| 95            | 0.08                                   | 0  |
| 96            | -0.32                                  | 0.054                                    |
| 97            | -0.12                                  | -0.036                                   |
| 98            | -0.09                                  | -0.144                                   |
| 99            | -0.24                                  | -0.072                                   |
| 100           | -0.05                                  | 0.036                                    |
| 101           | -0.27                                  | -0.018                                   |
| 102           | -0.44                                  | -0.108                                   |
| 103           | 0.18                                   | -0.054                                   |
| 104           | 0.11                                   | 0  |
| 105           | -0.69                                  | -0.054                                   |
| 106           | -0.22                                  | -0.018                                   |
| 107           | 0.42                                   | -0.072                                   |
| 108           | -0.19                                  | -0.108                                   |
| 109           | -0.66                                  | 0.054                                    |
| 110           | -0.1                                   | 0.072                                    |
| 111           | 0.18                                   | -0.144                                   |
| 112           | -0.46                                  | -0.108                                   |
| 113           | -0.42                                  | 0.126                                    |
| 114           | 0.12                                   | 0.072                                    |
| 115           | -0.11                                  | -0.108                                   |
| 116           | -0.27                                  | -0.072                                   |
| 117           | 0.18                                   | 0.18                                     |
| 118           | 0.01                                   | 0.09                                     |
| 119           | -0.39                                  | -0.108                                   |

| Laikas,<br>s. | Kilinis laivo<br>supimasis,<br>laipsn. | Vertikalusis<br>laivo<br>supimasis,<br>m |
|---------------|--|--|
| 120           | -0.08                                  | 0.018                                    |
| 121           | -0.08                                  | 0.054                                    |
| 122           | -0.26                                  | -0.018                                   |
| 123           | -0.22                                  | -0.09                                    |
| 124           | -0.24                                  | -0.054                                   |
| 125           | 0.04                                   | 0.054                                    |
| 126           | 0.1                                    | 0.036                                    |
| 127           | -0.42                                  | -0.054                                   |
| 128           | -0.35                                  | 0.018                                    |
| 129           | 0.16                                   | 0.054                                    |
| 130           | 0.03                                   | -0.054                                   |
| 131           | -0.48                                  | -0.018                                   |
| 132           | -0.38                                  | 0.126                                    |
| 133           | 0.08                                   | 0.054                                    |
| 134           | 0.16                                   | -0.072                                   |
| 135           | -0.4                                   | 0  |
| 136           | -0.2                                   | 0.18                                     |
| 137           | 0.31                                   | 0.126                                    |
| 138           | -0.12                                  | -0.036                                   |
| 139           | -0.28                                  | 0.018                                    |
| 140           | 0.06                                   | 0.126                                    |
| 141           | -0.11                                  | 0.054                                    |
| 142           | -0.27                                  | -0.072                                   |
| 143           | -0.05                                  | 0.072                                    |
| 144           | 0                                      | 0.072                                    |
| 145           | -0.07                                  | -0.09                                    |
| 146           | -0.15                                  | -0.072                                   |
| 147           | -0.45                                  | 0.036                                    |
| 148           | 0.03                                   | 0.09                                     |
| 149           | 0.23                                   | -0.036                                   |
| 150           | -0.41                                  | -0.108                                   |
| 151           | -0.36                                  | 0.018                                    |
| 152           | 0.15                                   | 0.054                                    |
| 153           | -0.02                                  | -0.036                                   |
| 154           | -0.41                                  | -0.054                                   |
| 155           | -0.1                                   | 0.036                                    |
| 156           | 0.07                                   | 0.036                                    |
| 157           | -0.28                                  | -0.036                                   |
| 158           | -0.23                                  | -0.018                                   |
| 159           | 0.1                                    | 0.018                                    |
| 160           | -0.01                                  | -0.054                                   |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 161        | -0.4                             | 0.018                           |
| 162        | -0.27                            | 0.054                           |
| 163        | 0.13                             | -0.072                          |
| 164        | 0                                | -0.072                          |
| 165        | -0.52                            | 0.018                           |
| 166        | -0.34                            | 0.108                           |
| 167        | 0.22                             | 0.018                           |
| 168        | -0.09                            | -0.144                          |
| 169        | -0.34                            | 0.018                           |
| 170        | -0.16                            | 0.126                           |
| 171        | 0.04                             | 0.036                           |
| 172        | 0.01                             | -0.144                          |
| 173        | -0.23                            | 0.018                           |
| 174        | -0.46                            | 0.18                            |
| 175        | -0.23                            | 0.054                           |
| 176        | 0.22                             | -0.126                          |
| 177        | -0.17                            | -0.072                          |
| 178        | -0.57                            | 0.144                           |
| 179        | -0.17                            | 0.18                            |
| 180        | 0.12                             | -0.072                          |
| 181        | 0.13                             | -0.162                          |
| 182        | -0.32                            | 0.072                           |
| 183        | -0.61                            | 0.234                           |
| 184        | -0.1                             | 0.072                           |
| 185        | 0.39                             | -0.126                          |
| 186        | -0.29                            | -0.09                           |
| 187        | -0.77                            | 0.162                           |
| 188        | 0.04                             | 0.162                           |
| 189        | 0.32                             | -0.126                          |
| 190        | -0.47                            | -0.036                          |
| 191        | -0.51                            | 0.198                           |
| 192        | 0.29                             | 0.072                           |
| 193        | 0                                | -0.234                          |
| 194        | -0.72                            | 0                               |
| 195        | -0.03                            | 0.378                           |
| 196        | 0.39                             | 0.054                           |
| 197        | -0.36                            | -0.342                          |
| 198        | -0.55                            | 0.054                           |
| 199        | 0.13                             | 0.378                           |
| 200        | 0.07                             | 0.054                           |
| 201        | -0.28                            | -0.216                          |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 202        | -0.09                            | 0                               |
| 203        | 0.01                             | 0.198                           |
| 204        | -0.35                            | 0.054                           |
| 205        | -0.24                            | -0.072                          |
| 206        | 0.19                             | 0.036                           |
| 207        | -0.04                            | 0.054                           |
| 208        | -0.45                            | -0.036                          |
| 209        | -0.29                            | -0.036                          |
| 210        | 0.17                             | 0.036                           |
| 211        | 0.15                             | 0.054                           |
| 212        | -0.29                            | 0.036                           |
| 213        | -0.41                            | -0.036                          |
| 214        | -0.09                            | -0.072                          |
| 215        | 0.12                             | -0.018                          |
| 216        | -0.24                            | 0.09                            |
| 217        | -0.31                            | 0.072                           |
| 218        | -0.1                             | -0.054                          |
| 219        | 0.01                             | -0.054                          |
| 220        | -0.13                            | 0.036                           |
| 221        | -0.21                            | 0.144                           |
| 222        | -0.2                             | 0                               |
| 223        | -0.05                            | -0.126                          |
| 224        | 0.01                             | 0.054                           |
| 225        | -0.36                            | 0.108                           |
| 226        | -0.06                            | 0.018                           |
| 227        | 0                                | -0.144                          |
| 228        | -0.3                             | 0                               |
| 229        | 0.03                             | 0.144                           |
| 230        | 0.06                             | 0                               |
| 231        | -0.37                            | -0.144                          |
| 232        | -0.31                            | 0.054                           |
| 233        | 0.25                             | 0.18                            |
| 234        | -0.03                            | -0.054                          |
| 235        | -0.47                            | -0.216                          |
| 236        | -0.2                             | 0.036                           |
| 237        | 0.08                             | 0.144                           |
| 238        | -0.08                            | 0.036                           |
| 239        | -0.07                            | -0.09                           |
| 240        | -0.02                            | -0.09                           |
| 241        | -0.35                            | 0.072                           |
| 242        | -0.35                            | 0.126                           |

| Laikas,<br>s. | Kilinis laivo<br>supimasis,<br>laipsn. | Vertikalusis<br>laivo<br>supimasis,<br>m |
|---------------|--|--|
| 243           | 0.27                                   | -0.036                                   |
| 244           | 0.14                                   | -0.144                                   |
| 245           | -0.84                                  | 0.018                                    |
| 246           | -0.42                                  | 0.162                                    |
| 247           | 0.66                                   | 0.018                                    |
| 248           | -0.11                                  | -0.144                                   |

## 5 PRIEDAS

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 0.00       | -0.03536                      | -2.03                            | 5.67                             |
| 0.10       | -0.03231                      | -1.85                            | 5.69                             |
| 0.20       | -0.02827                      | -1.62                            | 5.71                             |
| 0.30       | -0.02405                      | -1.38                            | 5.72                             |
| 0.40       | -0.01877                      | -1.08                            | 5.73                             |
| 0.50       | -0.01337                      | -0.77                            | 5.73                             |
| 0.60       | -0.00784                      | -0.45                            | 5.73                             |
| 0.70       | -0.00248                      | -0.14                            | 5.72                             |
| 0.80       | 0.00335                       | 0.19                             | 5.70                             |
| 0.90       | 0.00829                       | 0.47                             | 5.68                             |
| 1.00       | 0.01271                       | 0.73                             | 5.66                             |
| 1.10       | 0.01725                       | 0.99                             | 5.63                             |
| 1.20       | 0.02040                       | 1.17                             | 5.60                             |
| 1.30       | 0.02336                       | 1.34                             | 5.56                             |
| 1.40       | 0.02531                       | 1.45                             | 5.53                             |
| 1.50       | 0.02588                       | 1.48                             | 5.50                             |
| 1.60       | 0.02614                       | 1.50                             | 5.46                             |
| 1.70       | 0.02536                       | 1.45                             | 5.43                             |
| 1.80       | 0.02394                       | 1.37                             | 5.40                             |
| 1.90       | 0.02145                       | 1.23                             | 5.37                             |
| 2.00       | 0.01827                       | 1.05                             | 5.35                             |
| 2.10       | 0.01464                       | 0.84                             | 5.33                             |
| 2.20       | 0.01020                       | 0.58                             | 5.32                             |
| 2.30       | 0.00570                       | 0.33                             | 5.31                             |
| 2.40       | 0.00070                       | 0.04                             | 5.31                             |
| 2.50       | -0.00415                      | -0.24                            | 5.32                             |
| 2.60       | -0.00914                      | -0.52                            | 5.34                             |
| 2.70       | -0.01348                      | -0.77                            | 5.36                             |
| 2.80       | -0.01764                      | -1.01                            | 5.39                             |
| 2.90       | -0.02165                      | -1.24                            | 5.42                             |
| 3.00       | -0.02483                      | -1.42                            | 5.46                             |
| 3.10       | -0.02725                      | -1.56                            | 5.50                             |
| 3.20       | -0.02854                      | -1.64                            | 5.54                             |
| 3.30       | -0.02899                      | -1.66                            | 5.58                             |
| 3.40       | -0.02839                      | -1.63                            | 5.62                             |
| 3.50       | -0.02684                      | -1.54                            | 5.66                             |
| 3.60       | -0.02442                      | -1.40                            | 5.69                             |
| 3.70       | -0.02098                      | -1.20                            | 5.71                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 3.80       | -0.01662                      | -0.95                            | 5.74                             |
| 3.90       | -0.01226                      | -0.70                            | 5.75                             |
| 4.00       | -0.00718                      | -0.41                            | 5.76                             |
| 4.10       | -0.00195                      | -0.11                            | 5.76                             |
| 4.20       | 0.00383                       | 0.22                             | 5.75                             |
| 4.30       | 0.00967                       | 0.55                             | 5.74                             |
| 4.40       | 0.01426                       | 0.82                             | 5.72                             |
| 4.50       | 0.01917                       | 1.10                             | 5.70                             |
| 4.60       | 0.02317                       | 1.33                             | 5.67                             |
| 4.70       | 0.02648                       | 1.52                             | 5.64                             |
| 4.80       | 0.02829                       | 1.62                             | 5.60                             |
| 4.90       | 0.02942                       | 1.69                             | 5.56                             |
| 5.00       | 0.02998                       | 1.72                             | 5.53                             |
| 5.10       | 0.02891                       | 1.66                             | 5.49                             |
| 5.20       | 0.02734                       | 1.57                             | 5.45                             |
| 5.30       | 0.02494                       | 1.43                             | 5.42                             |
| 5.40       | 0.02162                       | 1.24                             | 5.38                             |
| 5.50       | 0.01756                       | 1.01                             | 5.36                             |
| 5.60       | 0.01295                       | 0.74                             | 5.34                             |
| 5.70       | 0.00747                       | 0.43                             | 5.32                             |
| 5.80       | 0.00211                       | 0.12                             | 5.31                             |
| 5.90       | -0.00322                      | -0.18                            | 5.31                             |
| 6.00       | -0.00887                      | -0.51                            | 5.32                             |
| 6.10       | -0.01438                      | -0.82                            | 5.33                             |
| 6.20       | -0.01930                      | -1.11                            | 5.35                             |
| 6.30       | -0.02380                      | -1.36                            | 5.38                             |
| 6.40       | -0.02721                      | -1.56                            | 5.41                             |
| 6.50       | -0.03004                      | -1.72                            | 5.45                             |
| 6.60       | -0.03202                      | -1.83                            | 5.49                             |
| 6.70       | -0.03294                      | -1.89                            | 5.54                             |
| 6.80       | -0.03279                      | -1.88                            | 5.58                             |
| 6.90       | -0.03188                      | -1.83                            | 5.62                             |
| 7.00       | -0.02985                      | -1.71                            | 5.65                             |
| 7.10       | -0.02680                      | -1.54                            | 5.69                             |
| 7.20       | -0.02285                      | -1.31                            | 5.72                             |
| 7.30       | -0.01829                      | -1.05                            | 5.74                             |
| 7.40       | -0.01283                      | -0.74                            | 5.75                             |
| 7.50       | -0.00744                      | -0.43                            | 5.76                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 7.60       | -0.00140                      | -0.08                            | 5.77                             |
| 7.70       | 0.00466                       | 0.27                             | 5.76                             |
| 7.80       | 0.01002                       | 0.57                             | 5.75                             |
| 7.90       | 0.01536                       | 0.88                             | 5.73                             |
| 8.00       | 0.01958                       | 1.12                             | 5.71                             |
| 8.10       | 0.02326                       | 1.33                             | 5.68                             |
| 8.20       | 0.02642                       | 1.51                             | 5.64                             |
| 8.30       | 0.02800                       | 1.60                             | 5.61                             |
| 8.40       | 0.02872                       | 1.65                             | 5.57                             |
| 8.50       | 0.02894                       | 1.66                             | 5.53                             |
| 8.60       | 0.02783                       | 1.59                             | 5.48                             |
| 8.70       | 0.02520                       | 1.44                             | 5.44                             |
| 8.80       | 0.02194                       | 1.26                             | 5.40                             |
| 8.90       | 0.01770                       | 1.01                             | 5.37                             |
| 9.00       | 0.01292                       | 0.74                             | 5.33                             |
| 9.10       | 0.00805                       | 0.46                             | 5.31                             |
| 9.20       | 0.00230                       | 0.13                             | 5.29                             |
| 9.30       | -0.00398                      | -0.23                            | 5.28                             |
| 9.40       | -0.01029                      | -0.59                            | 5.27                             |
| 9.50       | -0.01621                      | -0.93                            | 5.28                             |
| 9.60       | -0.02160                      | -1.24                            | 5.29                             |
| 9.70       | -0.02662                      | -1.53                            | 5.31                             |
| 9.80       | -0.03068                      | -1.76                            | 5.34                             |
| 9.90       | -0.03417                      | -1.96                            | 5.37                             |
| 10.00      | -0.03681                      | -2.11                            | 5.41                             |
| 10.10      | -0.03844                      | -2.20                            | 5.46                             |
| 10.20      | -0.03909                      | -2.24                            | 5.50                             |
| 10.30      | -0.03884                      | -2.23                            | 5.55                             |
| 10.40      | -0.03769                      | -2.16                            | 5.59                             |
| 10.50      | -0.03551                      | -2.03                            | 5.63                             |
| 10.60      | -0.03269                      | -1.87                            | 5.66                             |
| 10.70      | -0.02918                      | -1.67                            | 5.69                             |
| 10.80      | -0.02435                      | -1.39                            | 5.72                             |
| 10.90      | -0.01949                      | -1.12                            | 5.74                             |
| 11.00      | -0.01387                      | -0.79                            | 5.75                             |
| 11.10      | -0.00764                      | -0.44                            | 5.75                             |
| 11.20      | -0.00186                      | -0.11                            | 5.75                             |
| 11.30      | 0.00393                       | 0.23                             | 5.74                             |
| 11.40      | 0.00916                       | 0.52                             | 5.72                             |
| 11.50      | 0.01402                       | 0.80                             | 5.70                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 11.60      | 0.01873                       | 1.07                             | 5.67                             |
| 11.70      | 0.02220                       | 1.27                             | 5.64                             |
| 11.80      | 0.02460                       | 1.41                             | 5.61                             |
| 11.90      | 0.02624                       | 1.50                             | 5.58                             |
| 12.00      | 0.02685                       | 1.54                             | 5.54                             |
| 12.10      | 0.02682                       | 1.54                             | 5.50                             |
| 12.20      | 0.02565                       | 1.47                             | 5.47                             |
| 12.30      | 0.02334                       | 1.34                             | 5.43                             |
| 12.40      | 0.02030                       | 1.16                             | 5.40                             |
| 12.50      | 0.01668                       | 0.96                             | 5.38                             |
| 12.60      | 0.01221                       | 0.70                             | 5.35                             |
| 12.70      | 0.00763                       | 0.44                             | 5.34                             |
| 12.80      | 0.00279                       | 0.16                             | 5.33                             |
| 12.90      | -0.00257                      | -0.15                            | 5.33                             |
| 13.00      | -0.00801                      | -0.46                            | 5.34                             |
| 13.10      | -0.01336                      | -0.77                            | 5.35                             |
| 13.20      | -0.01820                      | -1.04                            | 5.37                             |
| 13.30      | -0.02262                      | -1.30                            | 5.40                             |
| 13.40      | -0.02586                      | -1.48                            | 5.43                             |
| 13.50      | -0.02859                      | -1.64                            | 5.47                             |
| 13.60      | -0.03064                      | -1.76                            | 5.52                             |
| 13.70      | -0.03135                      | -1.80                            | 5.56                             |
| 13.80      | -0.03124                      | -1.79                            | 5.60                             |
| 13.90      | -0.03046                      | -1.75                            | 5.64                             |
| 14.00      | -0.02842                      | -1.63                            | 5.68                             |
| 14.10      | -0.02556                      | -1.46                            | 5.71                             |
| 14.20      | -0.02170                      | -1.24                            | 5.74                             |
| 14.30      | -0.01722                      | -0.99                            | 5.76                             |
| 14.40      | -0.01248                      | -0.72                            | 5.78                             |
| 14.50      | -0.00706                      | -0.40                            | 5.79                             |
| 14.60      | -0.00096                      | -0.06                            | 5.79                             |
| 14.70      | 0.00299                       | 0.17                             | 5.79                             |
| 14.80      | 0.00919                       | 0.53                             | 5.78                             |
| 14.90      | 0.01458                       | 0.84                             | 5.76                             |
| 15.00      | 0.01988                       | 1.14                             | 5.74                             |
| 15.10      | 0.02342                       | 1.34                             | 5.71                             |
| 15.20      | 0.02659                       | 1.52                             | 5.68                             |
| 15.30      | 0.02923                       | 1.67                             | 5.64                             |
| 15.40      | 0.03065                       | 1.76                             | 5.61                             |
| 15.50      | 0.03108                       | 1.78                             | 5.57                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 15.60      | 0.03049                       | 1.75                             | 5.53                             |
| 15.70      | 0.02875                       | 1.65                             | 5.50                             |
| 15.80      | 0.02629                       | 1.51                             | 5.46                             |
| 15.90      | 0.02304                       | 1.32                             | 5.43                             |
| 16.00      | 0.01883                       | 1.08                             | 5.41                             |
| 16.10      | 0.01436                       | 0.82                             | 5.38                             |
| 16.20      | 0.00938                       | 0.54                             | 5.37                             |
| 16.30      | 0.00396                       | 0.23                             | 5.36                             |
| 16.40      | -0.00187                      | -0.11                            | 5.36                             |
| 16.50      | -0.00707                      | -0.41                            | 5.37                             |
| 16.60      | -0.01213                      | -0.70                            | 5.38                             |
| 16.70      | -0.01674                      | -0.96                            | 5.40                             |
| 16.80      | -0.02100                      | -1.20                            | 5.43                             |
| 16.90      | -0.02433                      | -1.39                            | 5.46                             |
| 17.00      | -0.02718                      | -1.56                            | 5.50                             |
| 17.10      | -0.02932                      | -1.68                            | 5.54                             |
| 17.20      | -0.02985                      | -1.71                            | 5.59                             |
| 17.30      | -0.02970                      | -1.70                            | 5.63                             |
| 17.40      | -0.02914                      | -1.67                            | 5.67                             |
| 17.50      | -0.02651                      | -1.52                            | 5.71                             |
| 17.60      | -0.02352                      | -1.35                            | 5.74                             |
| 17.70      | -0.01976                      | -1.13                            | 5.77                             |
| 17.80      | -0.01498                      | -0.86                            | 5.79                             |
| 17.90      | -0.00971                      | -0.56                            | 5.81                             |
| 18.00      | -0.00444                      | -0.25                            | 5.82                             |
| 18.10      | 0.00120                       | 0.07                             | 5.82                             |
| 18.20      | 0.00718                       | 0.41                             | 5.82                             |
| 18.30      | 0.01232                       | 0.71                             | 5.80                             |
| 18.40      | 0.01785                       | 1.02                             | 5.79                             |
| 18.50      | 0.02262                       | 1.30                             | 5.76                             |
| 18.60      | 0.02606                       | 1.49                             | 5.74                             |
| 18.70      | 0.02897                       | 1.66                             | 5.70                             |
| 18.80      | 0.03066                       | 1.76                             | 5.67                             |
| 18.90      | 0.03124                       | 1.79                             | 5.63                             |
| 19.00      | 0.03072                       | 1.76                             | 5.59                             |
| 19.10      | 0.03175                       | 1.82                             | 5.55                             |
| 19.20      | 0.02943                       | 1.69                             | 5.51                             |
| 19.30      | 0.02654                       | 1.52                             | 5.47                             |
| 19.40      | 0.02273                       | 1.30                             | 5.44                             |
| 19.50      | 0.01780                       | 1.02                             | 5.41                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 19.60      | 0.01262                       | 0.72                             | 5.38                             |
| 19.70      | 0.00751                       | 0.43                             | 5.36                             |
| 19.80      | 0.00230                       | 0.13                             | 5.35                             |
| 19.90      | -0.00340                      | -0.19                            | 5.35                             |
| 20.00      | -0.00898                      | -0.51                            | 5.35                             |
| 20.10      | -0.01384                      | -0.79                            | 5.37                             |
| 20.20      | -0.01902                      | -1.09                            | 5.39                             |
| 20.30      | -0.02315                      | -1.33                            | 5.41                             |
| 20.40      | -0.02662                      | -1.53                            | 5.45                             |
| 20.50      | -0.02919                      | -1.67                            | 5.48                             |
| 20.60      | -0.03098                      | -1.78                            | 5.52                             |
| 20.70      | -0.03189                      | -1.83                            | 5.56                             |
| 20.80      | -0.03167                      | -1.81                            | 5.61                             |
| 20.90      | -0.03047                      | -1.75                            | 5.64                             |
| 21.00      | -0.02874                      | -1.65                            | 5.68                             |
| 21.10      | -0.02565                      | -1.47                            | 5.71                             |
| 21.20      | -0.02236                      | -1.28                            | 5.74                             |
| 21.30      | -0.01825                      | -1.05                            | 5.76                             |
| 21.40      | -0.01327                      | -0.76                            | 5.77                             |
| 21.50      | -0.00865                      | -0.50                            | 5.78                             |
| 21.60      | -0.00329                      | -0.19                            | 5.78                             |
| 21.70      | 0.00205                       | 0.12                             | 5.78                             |
| 21.80      | 0.00777                       | 0.45                             | 5.77                             |
| 21.89      | 0.01214                       | 0.70                             | 5.75                             |
| 22.00      | 0.01654                       | 0.95                             | 5.73                             |
| 22.10      | 0.02018                       | 1.16                             | 5.71                             |
| 22.20      | 0.02298                       | 1.32                             | 5.68                             |
| 22.30      | 0.02518                       | 1.44                             | 5.64                             |
| 22.40      | 0.02668                       | 1.53                             | 5.61                             |
| 22.50      | 0.02727                       | 1.56                             | 5.58                             |
| 22.60      | 0.02628                       | 1.51                             | 5.54                             |
| 22.70      | 0.02509                       | 1.44                             | 5.51                             |
| 22.80      | 0.02257                       | 1.29                             | 5.47                             |
| 22.90      | 0.01924                       | 1.10                             | 5.44                             |
| 23.00      | 0.01584                       | 0.91                             | 5.42                             |
| 23.10      | 0.01134                       | 0.65                             | 5.40                             |
| 23.20      | 0.00663                       | 0.38                             | 5.39                             |
| 23.30      | 0.00153                       | 0.09                             | 5.38                             |
| 23.40      | -0.00372                      | -0.21                            | 5.38                             |
| 23.50      | -0.00928                      | -0.53                            | 5.39                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 23.60      | -0.01449                      | -0.83                            | 5.40                             |
| 23.70      | -0.01897                      | -1.09                            | 5.42                             |
| 23.80      | -0.02321                      | -1.33                            | 5.45                             |
| 23.90      | -0.02710                      | -1.55                            | 5.48                             |
| 24.00      | -0.03029                      | -1.74                            | 5.52                             |
| 24.10      | -0.03147                      | -1.80                            | 5.56                             |
| 24.20      | -0.03217                      | -1.84                            | 5.60                             |
| 24.30      | -0.03262                      | -1.87                            | 5.64                             |
| 24.40      | -0.03143                      | -1.80                            | 5.69                             |
| 24.50      | -0.02944                      | -1.69                            | 5.72                             |
| 24.60      | -0.02689                      | -1.54                            | 5.76                             |
| 24.70      | -0.02275                      | -1.30                            | 5.79                             |
| 24.80      | -0.01796                      | -1.03                            | 5.81                             |
| 24.90      | -0.01234                      | -0.71                            | 5.83                             |
| 25.00      | -0.00747                      | -0.43                            | 5.84                             |
| 25.10      | -0.00172                      | -0.10                            | 5.84                             |
| 25.20      | 0.00427                       | 0.24                             | 5.84                             |
| 25.30      | 0.00937                       | 0.54                             | 5.83                             |
| 25.40      | 0.01428                       | 0.82                             | 5.81                             |
| 25.50      | 0.01909                       | 1.09                             | 5.79                             |
| 25.60      | 0.02273                       | 1.30                             | 5.76                             |
| 25.70      | 0.02546                       | 1.46                             | 5.73                             |
| 25.80      | 0.02781                       | 1.59                             | 5.70                             |
| 25.90      | 0.02928                       | 1.68                             | 5.66                             |
| 26.00      | 0.02961                       | 1.70                             | 5.62                             |
| 26.10      | 0.02848                       | 1.63                             | 5.58                             |
| 26.20      | 0.02647                       | 1.52                             | 5.54                             |
| 26.30      | 0.02381                       | 1.36                             | 5.50                             |
| 26.40      | 0.02001                       | 1.15                             | 5.47                             |
| 26.50      | 0.01595                       | 0.91                             | 5.44                             |
| 26.60      | 0.01119                       | 0.64                             | 5.42                             |
| 26.70      | 0.00554                       | 0.32                             | 5.40                             |
| 26.80      | -0.00024                      | -0.01                            | 5.38                             |
| 26.90      | -0.00503                      | -0.29                            | 5.38                             |
| 27.00      | -0.00998                      | -0.57                            | 5.38                             |
| 27.10      | -0.01635                      | -0.94                            | 5.39                             |
| 27.20      | -0.02156                      | -1.24                            | 5.41                             |
| 27.30      | -0.02560                      | -1.47                            | 5.44                             |
| 27.40      | -0.02889                      | -1.66                            | 5.47                             |
| 27.50      | -0.03216                      | -1.84                            | 5.50                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 27.60      | -0.03388                      | -1.94                            | 5.54                             |
| 27.70      | -0.03523                      | -2.02                            | 5.58                             |
| 27.80      | -0.03507                      | -2.01                            | 5.62                             |
| 27.90      | -0.03430                      | -1.97                            | 5.66                             |
| 28.00      | -0.03147                      | -1.80                            | 5.69                             |
| 28.10      | -0.02910                      | -1.67                            | 5.72                             |
| 28.20      | -0.02521                      | -1.44                            | 5.75                             |
| 28.30      | -0.02110                      | -1.21                            | 5.77                             |
| 28.40      | -0.01592                      | -0.91                            | 5.79                             |
| 28.50      | -0.01004                      | -0.58                            | 5.79                             |
| 28.60      | -0.00461                      | -0.26                            | 5.80                             |
| 28.70      | 0.00056                       | 0.03                             | 5.79                             |
| 28.80      | 0.00604                       | 0.35                             | 5.78                             |
| 28.90      | 0.01126                       | 0.65                             | 5.76                             |
| 29.00      | 0.01622                       | 0.93                             | 5.74                             |
| 29.10      | 0.02032                       | 1.16                             | 5.71                             |
| 29.20      | 0.02339                       | 1.34                             | 5.68                             |
| 29.30      | 0.02595                       | 1.49                             | 5.65                             |
| 29.40      | 0.02693                       | 1.54                             | 5.61                             |
| 29.50      | 0.02775                       | 1.59                             | 5.57                             |
| 29.60      | 0.02727                       | 1.56                             | 5.53                             |
| 29.70      | 0.02571                       | 1.47                             | 5.50                             |
| 29.80      | 0.02290                       | 1.31                             | 5.46                             |
| 29.90      | 0.01907                       | 1.09                             | 5.43                             |
| 30.00      | 0.01500                       | 0.86                             | 5.40                             |
| 30.10      | 0.01088                       | 0.62                             | 5.37                             |
| 30.20      | 0.00569                       | 0.33                             | 5.36                             |
| 30.30      | 0.00060                       | 0.03                             | 5.34                             |
| 30.40      | -0.00446                      | -0.26                            | 5.34                             |
| 30.50      | -0.00987                      | -0.57                            | 5.34                             |
| 30.60      | -0.01553                      | -0.89                            | 5.35                             |
| 30.70      | -0.02046                      | -1.17                            | 5.37                             |
| 30.80      | -0.02493                      | -1.43                            | 5.40                             |
| 30.90      | -0.02826                      | -1.62                            | 5.43                             |
| 31.00      | -0.03197                      | -1.83                            | 5.46                             |
| 31.10      | -0.03406                      | -1.95                            | 5.50                             |
| 31.20      | -0.03461                      | -1.98                            | 5.54                             |
| 31.30      | -0.03503                      | -2.01                            | 5.58                             |
| 31.40      | -0.03472                      | -1.99                            | 5.62                             |
| 31.50      | -0.03288                      | -1.88                            | 5.65                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 31.60      | -0.03052                      | -1.75                            | 5.69                             |
| 31.70      | -0.02660                      | -1.52                            | 5.71                             |
| 31.80      | -0.02251                      | -1.29                            | 5.73                             |
| 31.90      | -0.01727                      | -0.99                            | 5.75                             |
| 32.00      | -0.01264                      | -0.72                            | 5.75                             |
| 32.10      | -0.00745                      | -0.43                            | 5.75                             |
| 32.20      | -0.00238                      | -0.14                            | 5.75                             |
| 32.30      | 0.00344                       | 0.20                             | 5.74                             |
| 32.40      | 0.00850                       | 0.49                             | 5.72                             |
| 32.50      | 0.01311                       | 0.75                             | 5.70                             |
| 32.60      | 0.01743                       | 1.00                             | 5.67                             |
| 32.70      | 0.02113                       | 1.21                             | 5.64                             |
| 32.80      | 0.02399                       | 1.37                             | 5.61                             |
| 32.90      | 0.02568                       | 1.47                             | 5.57                             |
| 33.00      | 0.02676                       | 1.53                             | 5.54                             |
| 33.10      | 0.02610                       | 1.50                             | 5.50                             |
| 33.20      | 0.02458                       | 1.41                             | 5.46                             |
| 33.30      | 0.02239                       | 1.28                             | 5.43                             |
| 33.40      | 0.01980                       | 1.13                             | 5.40                             |
| 33.50      | 0.01624                       | 0.93                             | 5.37                             |
| 33.60      | 0.01246                       | 0.71                             | 5.35                             |
| 33.70      | 0.00803                       | 0.46                             | 5.33                             |
| 33.80      | 0.00345                       | 0.20                             | 5.32                             |
| 33.90      | -0.00161                      | -0.09                            | 5.32                             |
| 34.00      | -0.00676                      | -0.39                            | 5.32                             |
| 34.10      | -0.01173                      | -0.67                            | 5.34                             |
| 34.20      | -0.01606                      | -0.92                            | 5.35                             |
| 34.30      | -0.02018                      | -1.16                            | 5.38                             |
| 34.40      | -0.02467                      | -1.41                            | 5.41                             |
| 34.50      | -0.02711                      | -1.55                            | 5.45                             |
| 34.60      | -0.02937                      | -1.68                            | 5.49                             |
| 34.70      | -0.03053                      | -1.75                            | 5.53                             |
| 34.80      | -0.03104                      | -1.78                            | 5.57                             |
| 34.90      | -0.02973                      | -1.70                            | 5.61                             |
| 35.00      | -0.02774                      | -1.59                            | 5.65                             |
| 35.10      | -0.02509                      | -1.44                            | 5.68                             |
| 35.20      | -0.02163                      | -1.24                            | 5.71                             |
| 35.30      | -0.01738                      | -1.00                            | 5.74                             |
| 35.40      | -0.01263                      | -0.72                            | 5.75                             |
| 35.50      | -0.00727                      | -0.42                            | 5.77                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 35.60      | -0.00237                      | -0.14                            | 5.77                             |
| 35.70      | 0.00307                       | 0.18                             | 5.77                             |
| 35.80      | 0.00904                       | 0.52                             | 5.76                             |
| 35.90      | 0.01408                       | 0.81                             | 5.75                             |
| 36.00      | 0.01850                       | 1.06                             | 5.73                             |
| 36.10      | 0.02205                       | 1.26                             | 5.70                             |
| 36.20      | 0.02532                       | 1.45                             | 5.68                             |
| 36.30      | 0.02806                       | 1.61                             | 5.64                             |
| 36.40      | 0.02983                       | 1.71                             | 5.61                             |
| 36.50      | 0.02960                       | 1.70                             | 5.57                             |
| 36.60      | 0.02870                       | 1.64                             | 5.53                             |
| 36.70      | 0.02700                       | 1.55                             | 5.50                             |
| 36.80      | 0.02468                       | 1.41                             | 5.46                             |
| 36.90      | 0.02077                       | 1.19                             | 5.43                             |
| 37.00      | 0.01661                       | 0.95                             | 5.41                             |
| 37.10      | 0.01171                       | 0.67                             | 5.38                             |
| 37.20      | 0.00635                       | 0.36                             | 5.37                             |
| 37.30      | 0.00135                       | 0.08                             | 5.36                             |
| 37.40      | -0.00456                      | -0.26                            | 5.36                             |
| 37.50      | -0.01011                      | -0.58                            | 5.37                             |
| 37.60      | -0.01470                      | -0.84                            | 5.38                             |
| 37.70      | -0.02003                      | -1.15                            | 5.40                             |
| 37.80      | -0.02392                      | -1.37                            | 5.43                             |
| 37.90      | -0.02786                      | -1.60                            | 5.46                             |
| 38.00      | -0.03082                      | -1.77                            | 5.50                             |
| 38.10      | -0.03257                      | -1.87                            | 5.54                             |
| 38.20      | -0.03296                      | -1.89                            | 5.59                             |
| 38.30      | -0.03247                      | -1.86                            | 5.63                             |
| 38.40      | -0.03133                      | -1.79                            | 5.67                             |
| 38.50      | -0.02974                      | -1.70                            | 5.71                             |
| 38.60      | -0.02720                      | -1.56                            | 5.74                             |
| 38.70      | -0.02354                      | -1.35                            | 5.77                             |
| 38.80      | -0.01867                      | -1.07                            | 5.80                             |
| 38.90      | -0.01321                      | -0.76                            | 5.81                             |
| 39.00      | -0.00773                      | -0.44                            | 5.82                             |
| 39.10      | -0.00235                      | -0.13                            | 5.83                             |
| 39.20      | 0.00376                       | 0.22                             | 5.82                             |
| 39.30      | 0.00928                       | 0.53                             | 5.82                             |
| 39.40      | 0.01400                       | 0.80                             | 5.80                             |
| 39.50      | 0.01744                       | 1.00                             | 5.78                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 39.60      | 0.02568                       | 1.47                             | 5.75                             |
| 39.70      | 0.02667                       | 1.53                             | 5.72                             |
| 39.80      | 0.02839                       | 1.63                             | 5.69                             |
| 39.90      | 0.02919                       | 1.67                             | 5.66                             |
| 40.00      | 0.02891                       | 1.66                             | 5.62                             |
| 40.10      | 0.02882                       | 1.65                             | 5.58                             |
| 40.20      | 0.02807                       | 1.61                             | 5.55                             |
| 40.30      | 0.02564                       | 1.47                             | 5.51                             |
| 40.40      | 0.02196                       | 1.26                             | 5.48                             |
| 40.50      | 0.01778                       | 1.02                             | 5.45                             |
| 40.60      | 0.01339                       | 0.77                             | 5.43                             |
| 40.70      | 0.00819                       | 0.47                             | 5.41                             |
| 40.80      | 0.00291                       | 0.17                             | 5.40                             |
| 40.90      | -0.00257                      | -0.15                            | 5.40                             |
| 41.00      | -0.00824                      | -0.47                            | 5.40                             |
| 41.10      | -0.01357                      | -0.78                            | 5.41                             |
| 41.20      | -0.01850                      | -1.06                            | 5.43                             |
| 41.30      | -0.02235                      | -1.28                            | 5.46                             |
| 41.40      | -0.02586                      | -1.48                            | 5.49                             |
| 41.50      | -0.02890                      | -1.66                            | 5.52                             |
| 41.60      | -0.03122                      | -1.79                            | 5.56                             |
| 41.70      | -0.03257                      | -1.87                            | 5.60                             |
| 41.80      | -0.03201                      | -1.83                            | 5.64                             |
| 41.90      | -0.03070                      | -1.76                            | 5.68                             |
| 42.00      | -0.02872                      | -1.65                            | 5.71                             |
| 42.10      | -0.02629                      | -1.51                            | 5.75                             |
| 42.20      | -0.02261                      | -1.30                            | 5.77                             |
| 42.30      | -0.01810                      | -1.04                            | 5.80                             |
| 42.40      | -0.01269                      | -0.73                            | 5.81                             |
| 42.50      | -0.00768                      | -0.44                            | 5.82                             |
| 42.60      | -0.00282                      | -0.16                            | 5.82                             |
| 42.70      | 0.00264                       | 0.15                             | 5.82                             |
| 42.80      | 0.00824                       | 0.47                             | 5.81                             |
| 42.90      | 0.01346                       | 0.77                             | 5.79                             |
| 43.00      | 0.01780                       | 1.02                             | 5.77                             |
| 43.10      | 0.02139                       | 1.23                             | 5.74                             |
| 43.20      | 0.02430                       | 1.39                             | 5.71                             |
| 43.30      | 0.02647                       | 1.52                             | 5.68                             |
| 43.40      | 0.02747                       | 1.57                             | 5.64                             |
| 43.50      | 0.02854                       | 1.64                             | 5.60                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 43.60      | 0.02799                       | 1.60                             | 5.56                             |
| 43.70      | 0.02618                       | 1.50                             | 5.52                             |
| 43.80      | 0.02369                       | 1.36                             | 5.49                             |
| 43.90      | 0.01882                       | 1.08                             | 5.46                             |
| 44.00      | 0.01547                       | 0.89                             | 5.43                             |
| 44.10      | 0.01016                       | 0.58                             | 5.40                             |
| 44.20      | 0.00555                       | 0.32                             | 5.38                             |
| 44.30      | 0.00025                       | 0.01                             | 5.37                             |
| 44.40      | -0.00509                      | -0.29                            | 5.37                             |
| 44.50      | -0.01062                      | -0.61                            | 5.37                             |
| 44.60      | -0.01557                      | -0.89                            | 5.38                             |
| 44.70      | -0.02029                      | -1.16                            | 5.40                             |
| 44.80      | -0.02484                      | -1.42                            | 5.43                             |
| 44.90      | -0.02873                      | -1.65                            | 5.46                             |
| 45.00      | -0.03107                      | -1.78                            | 5.50                             |
| 45.10      | -0.03276                      | -1.88                            | 5.54                             |
| 45.20      | -0.03310                      | -1.90                            | 5.58                             |
| 45.30      | -0.03292                      | -1.89                            | 5.62                             |
| 45.40      | -0.03297                      | -1.89                            | 5.66                             |
| 45.50      | -0.02959                      | -1.70                            | 5.69                             |
| 45.60      | -0.02731                      | -1.56                            | 5.73                             |
| 45.70      | -0.02331                      | -1.34                            | 5.75                             |
| 45.80      | -0.01852                      | -1.06                            | 5.77                             |
| 45.90      | -0.01468                      | -0.84                            | 5.79                             |
| 46.00      | -0.00959                      | -0.55                            | 5.80                             |
| 46.10      | -0.00373                      | -0.21                            | 5.80                             |
| 46.20      | 0.00158                       | 0.09                             | 5.80                             |
| 46.30      | 0.00713                       | 0.41                             | 5.78                             |
| 46.40      | 0.01169                       | 0.67                             | 5.77                             |
| 46.50      | 0.01656                       | 0.95                             | 5.75                             |
| 46.60      | 0.02102                       | 1.20                             | 5.72                             |
| 46.70      | 0.02466                       | 1.41                             | 5.69                             |
| 46.80      | 0.02743                       | 1.57                             | 5.66                             |
| 46.90      | 0.02837                       | 1.63                             | 5.62                             |
| 47.00      | 0.02850                       | 1.63                             | 5.59                             |
| 47.10      | 0.02842                       | 1.63                             | 5.55                             |
| 47.20      | 0.02727                       | 1.56                             | 5.51                             |
| 47.30      | 0.02556                       | 1.46                             | 5.48                             |
| 47.40      | 0.02233                       | 1.28                             | 5.45                             |
| 47.50      | 0.01811                       | 1.04                             | 5.42                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 47.60      | 0.01351                       | 0.77                             | 5.40                             |
| 47.70      | 0.00835                       | 0.48                             | 5.38                             |
| 47.80      | 0.00248                       | 0.14                             | 5.37                             |
| 47.90      | -0.00251                      | -0.14                            | 5.37                             |
| 48.00      | -0.00667                      | -0.38                            | 5.38                             |
| 48.10      | -0.01177                      | -0.67                            | 5.39                             |
| 48.20      | -0.01726                      | -0.99                            | 5.41                             |
| 48.30      | -0.02170                      | -1.24                            | 5.43                             |
| 48.40      | -0.02550                      | -1.46                            | 5.47                             |
| 48.50      | -0.02869                      | -1.64                            | 5.50                             |
| 48.60      | -0.03071                      | -1.76                            | 5.54                             |
| 48.70      | -0.03245                      | -1.86                            | 5.59                             |
| 48.80      | -0.03241                      | -1.86                            | 5.63                             |
| 48.90      | -0.03115                      | -1.78                            | 5.67                             |
| 49.00      | -0.02957                      | -1.69                            | 5.71                             |
| 49.10      | -0.02692                      | -1.54                            | 5.74                             |
| 49.20      | -0.02313                      | -1.33                            | 5.77                             |
| 49.30      | -0.01904                      | -1.09                            | 5.79                             |
| 49.40      | -0.01352                      | -0.77                            | 5.81                             |
| 49.50      | -0.00856                      | -0.49                            | 5.82                             |
| 49.60      | -0.00240                      | -0.14                            | 5.82                             |
| 49.70      | 0.00339                       | 0.19                             | 5.82                             |
| 49.80      | 0.00853                       | 0.49                             | 5.81                             |
| 49.90      | 0.01417                       | 0.81                             | 5.79                             |
| 50.00      | 0.01910                       | 1.09                             | 5.77                             |
| 50.10      | 0.02291                       | 1.31                             | 5.74                             |
| 50.20      | 0.02618                       | 1.50                             | 5.71                             |
| 50.30      | 0.02892                       | 1.66                             | 5.68                             |
| 50.40      | 0.03036                       | 1.74                             | 5.64                             |
| 50.50      | 0.03036                       | 1.74                             | 5.60                             |
| 50.60      | 0.02935                       | 1.68                             | 5.56                             |
| 50.70      | 0.02706                       | 1.55                             | 5.52                             |
| 50.80      | 0.02430                       | 1.39                             | 5.48                             |
| 50.90      | 0.02067                       | 1.18                             | 5.45                             |
| 51.00      | 0.01669                       | 0.96                             | 5.42                             |
| 51.10      | 0.01160                       | 0.66                             | 5.39                             |
| 51.20      | 0.00676                       | 0.39                             | 5.38                             |
| 51.30      | 0.00132                       | 0.08                             | 5.36                             |
| 51.40      | -0.00515                      | -0.30                            | 5.36                             |
| 51.50      | -0.01081                      | -0.62                            | 5.36                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 51.60      | -0.01601                      | -0.92                            | 5.37                             |
| 51.70      | -0.02068                      | -1.18                            | 5.39                             |
| 51.80      | -0.02454                      | -1.41                            | 5.41                             |
| 51.90      | -0.02862                      | -1.64                            | 5.44                             |
| 52.00      | -0.03053                      | -1.75                            | 5.48                             |
| 52.10      | -0.03300                      | -1.89                            | 5.52                             |
| 52.20      | -0.03395                      | -1.94                            | 5.56                             |
| 52.30      | -0.03404                      | -1.95                            | 5.60                             |
| 52.40      | -0.03323                      | -1.90                            | 5.64                             |
| 52.50      | -0.03209                      | -1.84                            | 5.68                             |
| 52.60      | -0.03023                      | -1.73                            | 5.71                             |
| 52.70      | -0.02667                      | -1.53                            | 5.74                             |
| 52.80      | -0.02222                      | -1.27                            | 5.76                             |
| 52.90      | -0.01706                      | -0.98                            | 5.78                             |
| 53.00      | -0.01128                      | -0.65                            | 5.79                             |
| 53.10      | -0.00588                      | -0.34                            | 5.79                             |
| 53.20      | -0.00001                      | 0.00                             | 5.79                             |
| 53.30      | 0.00528                       | 0.30                             | 5.78                             |
| 53.40      | 0.01085                       | 0.62                             | 5.76                             |
| 53.50      | 0.01508                       | 0.86                             | 5.74                             |
| 53.60      | 0.01926                       | 1.10                             | 5.72                             |
| 53.70      | 0.02310                       | 1.32                             | 5.69                             |
| 53.80      | 0.02564                       | 1.47                             | 5.65                             |
| 53.90      | 0.02748                       | 1.57                             | 5.62                             |
| 54.00      | 0.02718                       | 1.56                             | 5.58                             |
| 54.10      | 0.02640                       | 1.51                             | 5.55                             |
| 54.20      | 0.02487                       | 1.42                             | 5.51                             |
| 54.30      | 0.02334                       | 1.34                             | 5.48                             |
| 54.40      | 0.01992                       | 1.14                             | 5.45                             |
| 54.50      | 0.01626                       | 0.93                             | 5.42                             |
| 54.60      | 0.01135                       | 0.65                             | 5.40                             |
| 54.70      | 0.00589                       | 0.34                             | 5.38                             |
| 54.80      | 0.00069                       | 0.04                             | 5.37                             |
| 54.90      | -0.00400                      | -0.23                            | 5.36                             |
| 55.00      | -0.00853                      | -0.49                            | 5.37                             |
| 55.10      | -0.01440                      | -0.83                            | 5.38                             |
| 55.20      | -0.01914                      | -1.10                            | 5.39                             |
| 55.30      | -0.02361                      | -1.35                            | 5.42                             |
| 55.40      | -0.02778                      | -1.59                            | 5.45                             |
| 55.50      | -0.03054                      | -1.75                            | 5.48                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 55.60      | -0.03211                      | -1.84                            | 5.52                             |
| 55.70      | -0.03312                      | -1.90                            | 5.56                             |
| 55.80      | -0.03347                      | -1.92                            | 5.60                             |
| 55.90      | -0.03283                      | -1.88                            | 5.64                             |
| 56.00      | -0.03170                      | -1.82                            | 5.68                             |
| 56.10      | -0.02972                      | -1.70                            | 5.71                             |
| 56.20      | -0.02531                      | -1.45                            | 5.74                             |
| 56.30      | -0.02117                      | -1.21                            | 5.76                             |
| 56.40      | -0.01554                      | -0.89                            | 5.78                             |
| 56.50      | -0.01046                      | -0.60                            | 5.79                             |
| 56.60      | -0.00517                      | -0.30                            | 5.79                             |
| 56.70      | 0.00011                       | 0.01                             | 5.79                             |
| 56.80      | 0.00516                       | 0.30                             | 5.78                             |
| 56.90      | 0.01047                       | 0.60                             | 5.76                             |
| 57.00      | 0.01479                       | 0.85                             | 5.74                             |
| 57.10      | 0.02010                       | 1.15                             | 5.72                             |
| 57.20      | 0.02426                       | 1.39                             | 5.69                             |
| 57.30      | 0.02717                       | 1.56                             | 5.65                             |
| 57.40      | 0.02826                       | 1.62                             | 5.62                             |
| 57.50      | 0.02800                       | 1.60                             | 5.58                             |
| 57.60      | 0.02763                       | 1.58                             | 5.54                             |
| 57.70      | 0.02553                       | 1.46                             | 5.51                             |
| 57.80      | 0.02333                       | 1.34                             | 5.47                             |
| 57.90      | 0.01987                       | 1.14                             | 5.44                             |

| Laikas, s. | Kilinis laivo supimasis, rad. | Kilinis laivo supimasis, laipsn. | Vertikalusis laivo supimasis, m. |
|------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 58.00      | 0.01614                       | 0.92                             | 5.41                             |
| 58.10      | 0.01195                       | 0.68                             | 5.39                             |
| 58.20      | 0.00674                       | 0.39                             | 5.37                             |
| 58.30      | 0.00104                       | 0.06                             | 5.36                             |
| 58.40      | -0.00421                      | -0.24                            | 5.36                             |
| 58.50      | -0.00924                      | -0.53                            | 5.36                             |
| 58.60      | -0.01440                      | -0.83                            | 5.37                             |
| 58.70      | -0.01940                      | -1.11                            | 5.39                             |
| 58.80      | -0.02426                      | -1.39                            | 5.41                             |
| 58.90      | -0.02766                      | -1.58                            | 5.44                             |
| 59.00      | -0.03062                      | -1.75                            | 5.48                             |
| 59.10      | -0.03174                      | -1.82                            | 5.52                             |
| 59.20      | -0.03205                      | -1.84                            | 5.56                             |
| 59.30      | -0.03281                      | -1.88                            | 5.60                             |
| 59.40      | -0.03210                      | -1.84                            | 5.64                             |
| 59.50      | -0.02988                      | -1.71                            | 5.68                             |
| 59.60      | -0.02749                      | -1.58                            | 5.71                             |
| 59.70      | -0.02434                      | -1.39                            | 5.74                             |
| 59.80      | -0.01996                      | -1.14                            | 5.77                             |
| 59.90      | -0.01388                      | -0.80                            | 5.78                             |
| 60.00      | -0.00763                      | -0.44                            | 5.79                             |