



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
EESTI MEREAKADEEMIA  
Meremajanduse keskus

Kalev Kadak

**VAKRÕÕMI LODJA PÖÖRDPROJEKTEERIMINE JA  
SELLE VASTAVUSE HINDAMNE TÄNAPÄEVA  
STANDARDITEGA**

Lõputöö

Juhendaja: Paavo Kuuseok

Kuressaare, 2020

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele,  
olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Kalev Kadak

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 095227SDSR

Üliõpilase e-posti aadress: kalev@vetmar.com

Juhendaja: Paavo Kuuseok

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: /tiitel, ees- ja perekonnanimi/

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

# SISUKORD

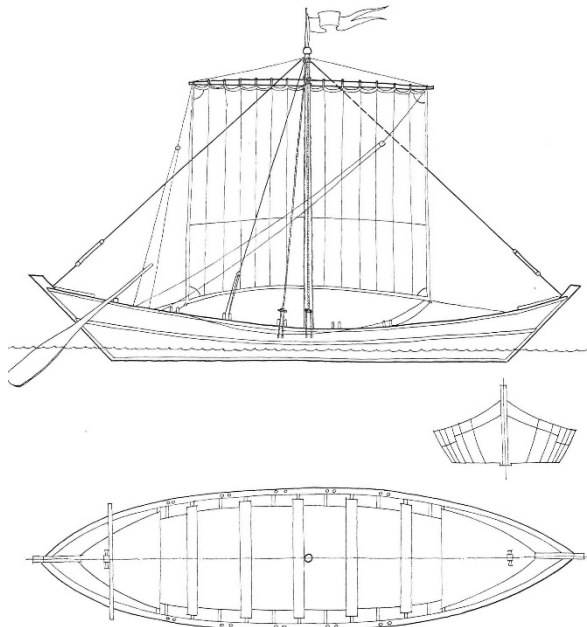
SISUKORD .....	3
TERMINID .....	4
SISSEJUHATUS .....	5
1. PÖÖRDPROJEKTEERIMINE, PÜSTIVUS JA STANDARDID .....	7
1.1. Pöördprojekteerimine .....	7
1.2. Laeva püstivus ja stabiilsus .....	10
1.3. Väikelaevadirektiiv ja standardid .....	13
2. VÄIKELAEVA MÕÕTMINE .....	17
2.1. Mõõtemetodi valik .....	17
2.2. Mõõtmise käik .....	18
3. DIGITALISEERIMINE .....	20
4. STABIILSUSARVUTUSED JA VASTAVUS STANDARDILE .....	22
4.1. Nihutatud koormuse test .....	22
5. KEREKUJU MUUDATUSED .....	27
5.1. Lodja kerekuju muudatused .....	27
VAKRÕÕMI LODJA TEOREETILINE JOONIS .....	30
KOKKUVÕTE .....	31
SUMMARY .....	32
KASUTATUD KIRJANDUS .....	33
LISAD .....	34

## TERMINID

Lodi	Lai ja lamedapõhjaline paat või laev eelkõige siseveekogudel
Pöördprojekteerimine	Olemasoleva objekti järgi joonise koostamine
DMM	<i>Dynamic Measuring Machine</i> – seade objekti mõõtmete määramiseks
Interferomeeter	Seade kahe valguslaine võrdlemiseks nende omavahelise interferentsi põhjal
Marker	Mõõtmises kasutatav punkt, mis paigutatakse objektile või ruumi
Punktipilv	Omavahel seotud hulk punkte koos koordinaatidega
Hüdrostaatiline rõhk	Rõhk vedelikus
Triangulatsioon	Kauguse mõõtmine kolmnurkade abil
Teodoliit	Optiline seade nurkade määramiseks
Baas	Kaugus kahe mõõteseadme vahel
Vabaparras	Laeva parda madalaima punkti kõrgus veepinnast
Püstivus	Laeva võime taastada tasakaaluasendit
Kreen	Laeva külgakalle
Ujuvuskese	Laeva veealuse osa kese
Metatsenter	Üleslükkejõu ja laeva sümmeetriatasandi lõikepunkt
LC1 ( <i>Load Condition</i> )	Koormusolukord, kus meeskond on paigutatud vööri
LC2	Koormusolukord, kus meeskond on paigutatud ahtrisse
CL ( <i>Crew Limit</i> )	Lubatud meeskonna suurus
Kreeniv moment	Vääne, millega üritatakse laeva külili keerata
Püstiv moment	Vääne, millega laevakere üritab ennast püstasendisse keerata
Miidel	Laevakere ristlõige keskel
$h_{D(R)}$	Minimaalne lubatud vabaparda kõrgus

## SISSEJUHATUS

Juhuse tahtel sai töö autor väikese puupaadi omanikuks. Saaremaale omase madala rannikumere jaoks mõeldud lodi on tehtud aastal 1982. Lodi, kui laevatüüp, on Venemaalt pärit lamedapõhjaline paat või purjelaev, mis oli



Joonis 1: Kaasani lodi [1]

levinud 11.-18. sajandil. Lotjasid kasutati jõgedel ja järvedel kaubaveoks. Neid veeti kõite abil kaldalt või kasutati liikumiseks purjesid või aere. Autori lodi on 4.2m pikkune aerude jõul liikuv alus. Valmistajaks on tuntud paadiehitaja Leopold Vagrõõm (1907 - 1995). Vagrõõmi paadid olid hinnatud kõrge kvaliteedi ja heade meresõidumaduste poolest. Samuti oli hinnatud tema oskus valmistada kergesti liikuvaid aluseid. Lodja eripära on madal süvis ja kerge

kaar, mis võimaldab seda kasutada üksi ja madalas rannikuvees. Turul on selliseid väikelaevu vähe, kuna eelistatakse suuremaid aluseid. Sellest ka mõtte, kas oleks otstarbekas ja võimalik sellise väikelaeva tootmine tänapäeval?

Lõputöö eesmärk on :

- ajaloolise väikelaeva (lodja) pöördprojekteerimine;
- lodja vastavuse hindamine tänapäevastele väikelaevade ehitusnormidele.

Juhul, kui lodi ei vasta nõuetele, uuritakse, mida on vaja muuta, et see vastavusse viia. Lisaks saab töö käigus dokumenteeritud osa Saaremaa laevaehituse ajaloost.

Töö võib jagada kolme etappi:

- Lodja pöördprojekteerimine;

- Stabiilsus- ja ujuvusarvutused vastavalt standardile;
- Lodja kerekuju muudatused;

Kui mudel ei vasta standardist tulenevatele ujuvusnõuetele, on vajalikud muudatused. Väikeaeva stabiilsust ja ujuvust mõjutavad mitmed tegurid. Töö käigus uuritakse, kuidas muutuvad stabiilsusnäitajad nende tegurite mõjul. Samuti seda, kuidas neid on võimalik muuta, säilitades väikelaeva esialgsed disainieesmärgid - võimalikult väike kaal, et lotja oleks võimalik üksi kasutada ja ilma erivahenditeta transportida. Samuti vaadatakse võimalusi, kas ja kuidas toota konkreetset väikelaeva esialgsel kujul.

Soovin tänada õppejõude ja kunagisi kolleege, kes nägid autori motiveerimisega rohkem vaeva, kui ta ise selle töö koostamisega.

# **1. PÖÖRDPROJEKTEERIMINE, PÜSTIVUS JA STANDARDID**

## **1.1. Pöördprojekteerimine**

Kui inseneerias luuakse mudeli alusel füüsiline objekt, siis pöördprojekteerimises saadakse olemasolevast füüsilisest objektist mudel või joonised. Pöördprojekteerimisel on palju kasutusvaldkondi. Sageli on vaja olemasolevast detailist valmistada koopia kui vastava detaili jooniseid või dokumentatsiooni pole käepärast. Osadel juhtudel võib tekkida vajadus olemasolevat disaini parendada või muuta. Tööstusaladel, kus esteetiline disain on määrav, näiteks autotööstuses, võivad disainerid eelistada elusuurusel puust või savist mudelit. [2]

Pöördprojekteerimine on tööstuses laialt kasutatav tehnoloogia, mille käigus luuakse olemasolevast objektist mudel või joonised. Pöördprojekteerimise eesmärgid võivad olla erinevad. Alates tööstusspionaažist kuni ajalooliste esemete või objektide digitaliseerimiseni.

Jooniste saamiseks on vaja objekt mõõta. Selleks on mitmeid vahendeid: käsitsi joonestatud eskiis, millele lisatakse mõõdud. See meetod on olnud kasutusel läbi aegade.

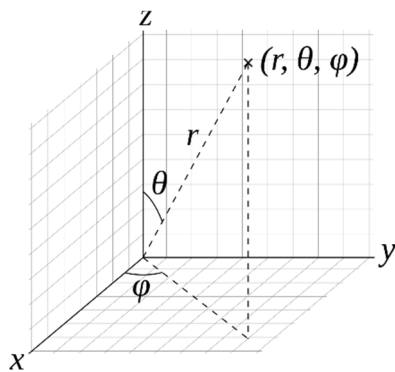
Robotiseeritud mõõtmisüsteemid DMM, mis „katsuvad“ objekti ja saadud puutepunktide järgi tuletatakse objekti kuju. DMM väga kallis ja harilikult on mõõdetav objekt suurusjärgu võrra väiksem. Käesoleva projekti puhul pole see otstarbekas.

Kolmas võimalus on kolmemõõtmeline skaneerimine. Sel puhul kasutatakse optilisi vahendeid. Eeliseks on madalam hind ja piisav tulemuse saamise kiirus. Seda on kasutatakse antud töös.

### **Lasermõõtmine**

Lasermõõtmisel kasutatakse laserskannerit. Laserskanner on seade, mis koosneb laserist, interferomeetrist, peeglist ja nurgamõõteanduritest. Pöörates laseri peeglit kahes tasapinnas mõõdetakse objekti pinnal oleva punkti kaugus

r ja vastavad laserkiire kaldenurgad telgede suhtes  $\theta$  ning  $\phi$ . Ruum defineeritakse nii, et koordinaatide alguspunktiks on mõõtesead. Sellega



saadakse iga mõõdetud punkti sfäärilased koordinaadid. Need teisendatakse ristkoordinaatideks

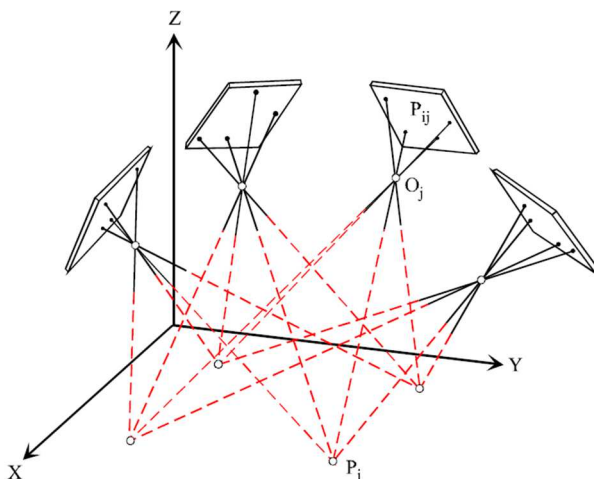
$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

$$z = r \cos \theta$$

Mõõtmine on automaatne ja tulemuseks saadakse punktipilv.

## Fotogrammeetria



Joonis 2: punkti kujutised fotogrammeetrias

Fotogrammeetrias kasutatakse objekti iseloomustavate punktide jäädvustamiseks kaamerat. Fotod tehakse mitme nurga alt. Saadud digitaalfotode alusel arvutab tarkvara objekti punktide ja objektile kleebitud markerite põhjal välja objekti 3D kuju. Pildistatavas ruumis olevad referentspunktid võimaldavad hiljem

määrata kaamera asukohad.

Referentspunktid võivad olla kodeeritud. Kodeeritud punktid sisaldavad numbrikoodi ja võimaldavad mitmes osas pildistatud objekti hiljem automaatselt kokku viia. [3] Fotogrammeetriat kasutatakse laialdaselt objektidest 3D kujutiste saamiseks ja hilisemaks

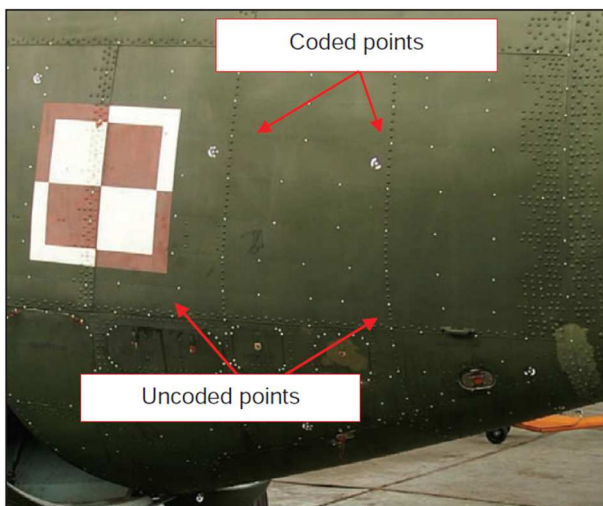
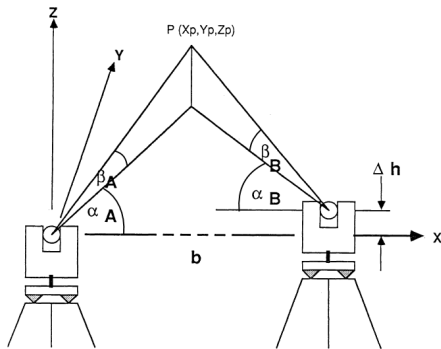


Foto 1: Gom TRITOP mõõtesüsteemi kodeeritud ja tavalised markerid helikopteri kerel [4]



deformatsioonide määramiseks või objekti esialgsele spetsifikatsioonile vastavuse hindamiseks. Saadud tulemuseks on punktipilv, mida saab töödelda pindade või võrgustike saamiseks.

## Trianguatsioonimeetod



Joonis 3: punkti P mõõtmine teodoliitidega

Triangulatsioon on meetod, mille puhul määratakse tundmatu punkti asukoht ruumis kahe fikseeritud punkti abil. Selleks on vaja teada fikseeritud punktide vahekaugust (baas) ja nurki mõõdetava punkti ja baasi suhtes. Nurkade määramiseks kasutatakse teodoliite. Teodoliit on nurgamõõteseade, mis koosneb teleskoobist ja mõõdikust. Punkti mõõtmiseks ruumis suunatakse teleskoop punktile.

Tulemuseks saadakse vaadeldava punkti

nurgad baasi suhtes. Horisontaalnurk ehk asimuut ja vertikaalnurk ehk kõrgus. Punkti P koordinaadid leitakse valemiga:

$$X_P = \frac{(Y_A - Y_B) + X_A \cot \alpha_B + X_B \cot \alpha_A}{\cot \alpha_A + \cot \alpha_B}$$

$$Y_P = \frac{(X_B - X_A) + Y_A \cot \alpha_B + Y_B \cot \alpha_A}{\cot \alpha_A + \cot \alpha_B}$$

$$Z_P = \frac{\Delta h}{2} + \frac{b(\sin \alpha_B \tan \beta_A + \sin \alpha_A \tan \beta_B)}{2 \sin(\alpha_A + \alpha_B)}$$

kus A( $X_A, Y_A, Z_A$ ) ja B( $X_B, Y_B, Z_B$ ) on teodoliitide asukohad ruumis, b –

horisontaalne kaugus teodoliitide vahel (baas)

ja  $\Delta h$  teodoliitide kõrguste vahe

horisontaaltasapinnast. Kahe või enama

teodoliidiga mõõtmisel määratakse kohalik

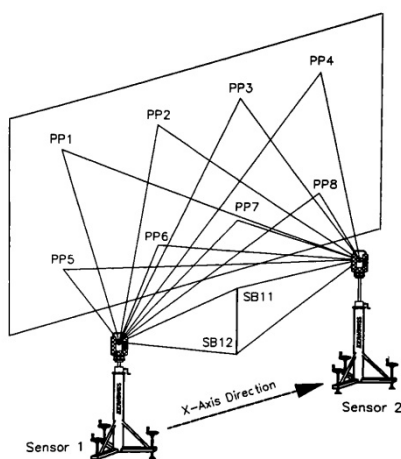
koordinaatsüsteem. Teodoliidi A asukoht

loetakse koordinaatide algpunktiks. X-telg

valitakse paralleelne teodoliitide baasiga. Z-

teljeks valitakse teodoliidi A püsttelg.

Teodoliitide asukohtade fikseerimiseks

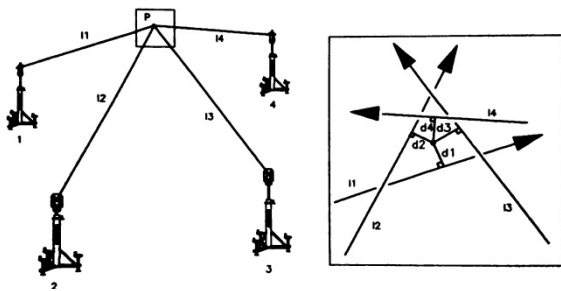


kalibreeritakse süsteem. Selleks kasutatakse mõõtlatti SB ja ruumis fikseeritud punkte  $PP_{1..n}$ .

Süsteemi mõõteviga tekib operaatori vigadest punktide sihtimisel ja teodoliitide mõõtemääramatusest. Viga esitatakse süsteemi poolt

standardhällbena. 
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

Mõõdetavale objektile kleebitakse markerid, mille põhjal on hiljem võimalik



Joonis 4 Standardhällve punkti mõõtmisel nelja teodoliidiga

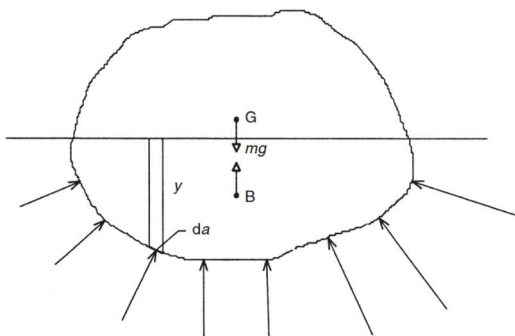
koostada objekti mudel. Kuna teodoliidid ei tohi mõõtmise ajal nihkuda, ei pruugi kõik objekti punktid olla korruga mõlema teodoliidi abil vaadeldavad. Sel puhul on võimalik kasutada lisateodoliite või mõõta objekt mitmes osas. Vähemalt kolm esimese punktipilve punkti mõõdetaks teise mõõtmise käigus. Ühised punktid

võimaldavad saadud punktipilved omavahel ühendada.

## 1.2. Laeva püstivus ja stabiilsus

### Kehade ujuvuse tingimus

Vedelikus vabalt ujuvale kehale mõjub allapoole suunatud raskusjõud. Kehale



Joonis 5: Vabalt ujuvale kehale mõjuvad jõud ja rõhud

massiga  $m$  mõjub jõud  $P=m \times g$ , kus  $g$  on raskuskiirendus. Kuna keha on tasakaaluasendis, peab talle mõjuma samal sirgel sama suur vastassuunaline jõud. Vastasel korral hakkaks keha liikuma. Vastassuunaline jõud tekib hüdrostaatilistest rõhkudest. Need mõjuvad keha pinna normaali suunas ning on teisendatavad

horisontaalseteks ja vertikaalseteks komponentideks. Vertikaalsete komponentide summa peab võrduma vedelikus ujuva keha kaaluga.

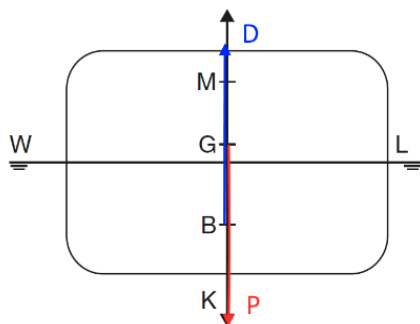
Raskusjõudu võib kujutada rakendatuna keha raskuskeskmesse G. Sarnaselt võib raskusjõule vastupidist jõudu kujutada vastupidise suunaga, rakendatuna punkti B. Kujutame rõhku  $p$  väikesele pinnaühikule  $da$ , mis asub veepiirist sügavusel  $y$ .  $p = \rho \times g \times y$ , kus  $\rho$  on vedeliku tihedus. Normaalisuunaline jõud pindalaühiku  $da$  kohta  $F = \rho \times g \times y \times da$ . Olgu nurk  $\varphi$  nurk pinnaühiku  $da$  normaali ja horisontaali vahel. Sel juhul  $(\rho \times g \times y \times da) \cos \varphi = \rho \times g (V_{da})$ , kus  $V_{da}$  on pinnaühikule vastava vertikaalse veealuse osa ruumala. Integreerides seda üle kogu keha veealuse osa, saame ujuvusjõuks  $D = \rho \times g \times \nabla$ . Kus  $\nabla$  on kogu keha veealuse osa ruumala. See on samas ka väljasurutud vedeliku ruumala ehk veeväljasurve. Ujuvusjõud on rakendatud veealuse osa keskmesse B. Kuna ujuvusjõud on võrdne keha kaaluga, saame  $m = \rho \times \nabla$ . Keha mass võrdub tema poolt välja surutud vee massiga. [6]

## Vabaparras ja ujuvusvaru

Ujuv laev surub välja oma massiga võrdse vee ruumala. Laeva veealune osa see, mis tagab ujuvuse. Laeva veepealne suletud osa ei ole kasutuses laevale ujuvuse andmises ja on seetõttu varuks. Kui laevale lisatakse lasti, saadakse vajalik ujuvus veepealsete suletud osade arvelt. Ujuvusvaru on laeva veepealsete suletud osade ruumala. Seda võidakse esitada ruumalana või protsendina laeva kogumahust. [7]

Vabaparras on teki minimaalne kõrgus merepinnast. Vabaparda kõrgus mõjutab laeva stabiilsust suurte kreeninurkade puhul. Samuti iseloomustab see laeva ujuvusvaru. [6]

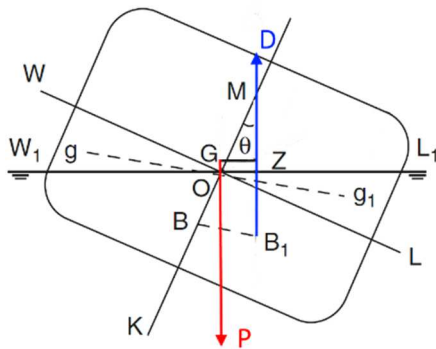
## Metatsenter ja metartsentriline kõrgus



Joonis 6 keskmised tasakaaluasendis

Laeva raskuskese G on punkt, millele on rakendatud vertikaalselt alla suunatud kaal P. Lõik KG on laeva vertikaalse raskuskeskme VCG kaugus kiilust. Ujuvuskese B on punkt millele on rakendatud ülessuunatud ujuvusjõud D. Ujuvuskese on laeva veealuse osa raskuskese. Lõik KB on ujuvuskeskme kõrgus laeva kiilust VCB. Lõik

$$KM=KB+BM=KG+KM.$$



Joonis 7: keskmeh ja jõud kreeni korral[7]

Laeval tekib kreen, kui laevakerele mõjuvad välised kallutavad jõud.

Kujutame laevakere, mis ujub tasakaaluasendis (Joonis 5). Raskuskese ja ujuvuskese asuvad samal vertikaaljoonel. Samuti tasakaalusutavad kaal ja ujuvusjõud. Nüüd las mõjuda laevale kreeniv jõud, mis kallutab laevakeret väikese nurga  $\theta$  võrra (Joonis 6), tekitades uue veeliini  $W_1L_1$ . Kuna

laeva kaal ja raskuskese ei muutu, rakendub see jätkuvalt punktis G. Kreeni tõttu väljub veest laevakere kiilukujuline osa  $WOW_1$  keskmega g. Vee alla vajub sama suur kiilukujuline osa  $LOL_1$  raskuskeskmega  $g_1$ . Veest väljunud osa raskuskese g nihkub punkti  $g_1$ , mistõttu veealuse osa ruumala kese nihkub punkti  $B_1$ . Nihe  $BB_1$  on paralleelne nihkega  $gg_1$  ja

$$BB_1 = \frac{v \times gg_1}{V}$$

$$BB_1 = BM \tan \theta$$

$$BM \tan \theta = \frac{v \times gg_1}{V}$$

$$BM = \frac{v \times gg_1}{V \tan \theta}$$

kus  $v$  on kiilu  $WOW_1$  ruumala kogu laeva pikkuses ja  $V$  laeva veeväljasurve. Laevakere püsttelg ja ujuvuskese  $B_1$  läbiv vertikaal lõikuvad metatsentris M. Metatsentri asukoht ei muutu oluliselt väikese kreeninurga puhul ( $\theta < 15^\circ$ ). Seda loetakse algseks metatsentriks ja lõiku GM metatsentriks kõrguseks. Kuna P ja D ei asu enam samal sirgel, tekib laevale püstivusmoment.[7] Püstivusmomendi õla pikkus  $GZ = GM \times \sin \theta$  ja moment  $RM = GM \times \sin \theta \times P = m \times g \times GZ$ . [8]

Kiilu lõike raskuskeskme kaugus  $g_1$  asub laeva pikiteljest  $2/3$  lõigu OW pikkuse kaugusel. Et leida  $v \times gg_1$ , jagatakse laevakere pikilõikudeks  $dx$  ja võetakse kiilu  $WOW_1$  laiuseks  $y$  pool laevakere laiusest.

Dx laiuse kiilu  $WOW_1$  ruumala

$$V_{dx} = \frac{1}{2}y \times y \tan \theta dx$$

Kiilu nihutamisest tekkiv moment

$$M_{dx} = \frac{4}{3}y \times \frac{1}{2}y^2 \tan \theta dx = \frac{2}{3}y^3 \tan \theta dx$$

Kogu moment laevakere ulatuses:

$$M = v \times g g_1 = \sum \frac{2}{3}y^3 \tan \theta dx = \tan \theta \frac{2}{3} \sum y^3 dx$$

Et veeliini inertsimoment  $I = \frac{2}{3} \sum y^3 dx$ , (1.2.1) saame

$$v \times g g_1 = I \tan \theta$$

$$BM = \frac{v \times g g_1}{V \tan \theta}$$

$$BM = \frac{I \tan \theta}{V \tan \theta}$$

$$BM = \frac{I}{V}$$

Inertsimoment  $I$  sõltub laevakere laiuse kuubist. [9]

Kui raskuskese  $G$  on metatsentrist  $M$  madlamal, on laevakere stabiilsus positiivne ja laev üritab ennast püstasendisse tagasi keerata. Kui raskuskese on metatsentrist kõrgemal, on laeva stabiilsus negatiivne ja tekkiv moment üritab kreeni suurendada. Kui metatsenter ja raskuskese langevad kokku, on õlg  $GZ = 0$  ja laev on 0-stabiilsusega. Sel puhul püstivat momenti ei teki ja laev jääb pärast välise jõu kadumist kreeni. [10]

### 1.3. Väikelaevadirektiiv ja standardid

Et väikelaeva saaks toota ja müüa, peab see vastama Euroopa Liidu väikelaevadirektiivile. Direktiivi üheks osaks on nõuded laeva stabiilsusele ja ujuvusele. Vastavast standardile on stabiilsust ja ujuvust võimalik määrata katseliselt. Selleks on vaja täismõõdus väikelaeva ja mõõta vabaparda kõrgust erinevate koormuste ja nende paigutuste korral. Selle meetodi puuduseks on see, et laev peab juba valmis olema ehitatud. Kui selgub, et see ei vasta

nõuetele, pole enam lihtne muudatusi sisse viia. Lisaks on meie kliimas neid katseid mugav teha suvel.

Ühe võimalusena lubab standard ujuvust ja stabiilsust hinnata arvutuslikult. Sel juhul on võimalik väikelaeva käitumist simuleerida arvutis oleva mudeli abil. Programm arvutab välja laevakere asendi vees erinevate koormuste korral.

Euroopa Liidus müüdavatele väikelaevadele kehtib Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2013/53/EL. [11]

Direktiivi artikkel 4 nõuab, et väikelaev ei tohi otstarbeka kasutuse korral ohustada inimeste tervist ja turvalisust, vara (Näiteks: Et püksid ei läheks märjaks) ega keskkonda.

Direktiivi artikkel 15 nõuab väikelaeva tootjalt või importijalt vastavusdeklaratsiooni, mis kinnitab, et väikelaev vastab artikli 4 nõuetele. Vastavusdeklaratsioonis peab olema näidatud ühtlustatud standard või tehniline spetsifikatsioon, mille alusel väikelaev vastab direktiivi lisa 1A toodud nõuetele.

Väikelaeva kujust ja suuruselt tingitud nõuded direktiivi lisa 1A on järgmised:

- Veesõiduk peab olema piisava püstivuse ja vabapardaga, arvestades laeva konstruktsioonikategooriat
- Veesõiduk on konstrueeritud selliselt, et on tagatud ujuvusomadused, mis on kohased sellele konstruktsioonikategooriale

Nende tingimuste vastavuse hindamisel on lubatud kasutada ühtlustatud standardit EVS-EN ISO 12217-3. Standard kehtib väikelaevadele kerepikkusega alla 6m.

Vastavalt standardi punktile 6.1 võib alla 6m ja D-konstruktsioonikategooria katmata tekiga väikelaeva püstivust katsetada kahel meetodil. [10]

Tabel1. Rakendatavate testimismetoodikate valik ISO 12217-3 järgi

Testimismetoodika valik	1	3
Kategooria	C või D	D

Mootorivõimsus	Määramata	<= 3kW
Vabaparda kõrguse test	p.6.3	-
Nihutatud koormuse test	p.6.5	-
Ujuvus veega täitumisel	Loodis	p.6.9
Ujuvustest	p.6.7	p.6.9

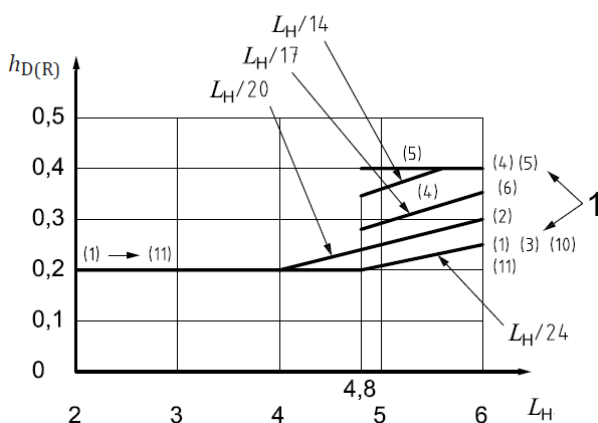
Nõuded testidele, kasutades valikut 1:

### Minimaalse vabaparda kõrguse test

Vabaparda kõrgus leitakse vastavalt standardi punktile 6.3.

Minimaalne vabaparda kõrgus  $h_{D(R)}$  leitakse täislastis väikelaeva puhul. D-kategooria väikelaevale arvutatakse nõutud minimaalse vabaparda kõrgus  $h_{D(R)}$  vastavalt valemile:

$$h_{D(R)} = \max\left(0.2, \frac{L_H}{24}\right) (m) \quad (1.3.1)$$



Joonis 8 Minimaalse vabaparda kõrgus

### Nihutatud koormuse test

Nihutatud koormuse arvutused viiakse läbi vastavalt standardi punktile 6.5. See näitab väikelaeva püstivusomadusi nihutatud koormuste korral, näiteks meeskonna paigutamisel raskuskeskmest eemale. Testi võib läbi viia lihtsustatud kujul. Sel puhul on kogu test arvutuslik.

Leitakse täislastis väikelaeva mass  $m_{LDC}$  ja raskuskese kahe koormustingimuse, LC1 ja LC2, puhul. Maksimaalne lubatud meeskond CL,

85kg inimese kohta, paigutatakse nii, et nende vertikaalne raskuskese asub laeva pikiteljel 0.1m istmetest kõrgemal.

Leitakse kokpiti või meeskonnaala maksimaalne pikkus pikiteljel.

LC1 puhul paigutatakse meeskonna raskuskese laeva pikiteljele, kokpiti (kundetoolide asukoht) ahtripoolsest otsast 75% maksimaalse meeskonnala pikkuse kaugusele.

LC2 puhul paigutatakse meeskonna raskuskese laeva pikiteljele, kokpiti ahtripoolsest otsast 25% maksimaalse meeskonnala pikkuse kaugusele.

Leitakse püstivusmomentide kõver  $M_{RM}(\phi)$  vastavalt ISO 12217-1-le. ISO 12217-1 lisa E lubab püstivusmomenti leida katseliselt või kasutades eritarkvara. [13]

Leitakse kallutavate momentide graafik vastavalt valemile

$$M_{CL}(\phi) = 961 \times CL \left( \frac{B_C}{2} - 0.2 \right) \times \cos \phi \quad (N \cdot m) \quad (1.3.2)$$

kus CL on lubatud meeskonna suurus,  $B_C$  on meeskonnaala laius ja  $\phi$  on laeva kreen kraadides. Kui meeskonnale mõeldud ala sisaldab vähem, kui 400mm laiust tekki, kasutatakse momendi leidmiseks valemit.

$$M_{CL}(\phi) = 480 \times CL \times B_C \times \cos \phi \quad (N \cdot m) \quad (1.3.3)$$

$M_{RM}$  ja  $M_{CL}$  joonestatakse samale graafikule. Leitakse nurk  $\phi_0$ , kus graafikud lõikuvad. Väikelaev on läbib testi järgmistel tingimustel:

- Vabaparda kõrgus nurga  $\phi_0$  puhul on suurem kui 10mm
- $\phi_0 < 11.5 + \frac{(24-L_H)^3}{520}$  (°), välja arvatud tekita või osalise tekiga D-kategooria väikelaevad
- Suurim püstivusmoment kuni vabaparda kadumiseni on suurem, kui meeskonna kallutav moment nurga  $\phi_0$  juures.



## 2. VÄIKELAEVA MÕÕTMINE

### 2.1. Mõõtemetodi valik

Lodja mõõtmiseks oli erinevaid võimalusi. Gom ATOS fotogrammeetriaseadmed olid olemas TTÜ mehaanikateaduskonnas. Nende kasutamiseks tulnuks tellida töö mandrilt. Fotogrammetria mõõtmise ettevalmistuse käigus tuleb objektile ja ümbritsevasse ruumi paigaldada markerid. Mõõtmine ise on suhteliselt kiire. Objektist tehakse operaatori poolt hulk fotosid, mis töödeldakse hiljem tarkvaraliselt. Mõõtetäpsus antud objekti korral on 0.2mm.

Teise võimalusena oleks olnud võimalik rentida laserskänner Leica HDS3000 hinnaga 190€ päev. Laserskaneerimise korral on ettevalmistusaeg lühike. Skanner suudab tuvastada kuni 1800 punkti sekundis ja skaneeritava ala suurus on kuni 20000×5000 punkti. Paadi skaneerimiseks piisab ca 5000×1000 punktist. Lääkiva materjali korral on vaja pinnad matistada, kuna lisapeegeldused annavad vale mõõtetulemuse. HDS3000 mõõtetäpsus on 6mm, mis annab antud mõõtesituatsioonis rahuldava tulemuse.

Töö autoril oli ligipääs Leica ECDS3 mõõtesüsteemile mis kasutab teodoliite ja mõõtmine toimub triangulatsioonimeetodil. Samuti oli autorilt tellitud töö, mille jaoks oli paadi mõõtmine sobiv võimalus ECDS3 operaatori koolituseks. Teodoliitidega mõõtmisel on pikk eeltöö. Kuna mõõdetavaid punkte on vähe, tuleb hoolikalt planeerida nende paigutus, et markerid defineeriks mõõdetava keha võimalikult täpselt. Mõõtmine ise on töömahukas; iga punkt mõõdetakse operaatorite poolt. Mõõtmise täpsus 10m kauguse korral on 0.1mm.[14]

Tabel2 Mõõtemetoodikate võrdlus

Meetod	Ajakulu		Mõõtmise täpsus
	Ettevalmistusel	Mõõtmisel	
Fotogrammeetria	Keskmine	Väike	Täpne
Laserskaneerimine	Väike	Keskmine	Keskmine
Triangualtsioon	Suur	Suur	Täpne



Joonis 9: Mõõdetav objekt ja koordinaatsüsteemi mõõtlatt (vasakul)

## 2.2. Mõõtmise käik

Lodja kuju määravatesse punktidesse kleebiti markerid. Oluline oli leida markeritele asukohad, mis määratlevad objekti võimalikult hästi. Antud paadi puhul sai punktideks valitud võortäävi serv, ahtripeedli serv, kiilujoon ja plankude servad. Plangutuse markerid valiti nii, et need defineeriks võimalikult täpselt plankude kumerust. Samuti oli otstarbekas paigutada markerid samale vertikaaljoonele, et saada kaarte kuju miidlis ja veerand laevapikkuse kohal. Töös kasutatav paat oli nii väike, et markerite paigaldamine igale kaarele või sektsioonile polnud otstarbekas.

Mõõtesüsteemi paigaldamisel kasutati kuut ruumi defineerivat punkti ja mõõtlatti. Esmalt määrati mõõtsüsteemi X-telg ja sisestati ligikaudne teodoliitidevaheline kaugus  $b=6100$  mm. Seejärel mõõdeti mõõtlati otspunktid ja ruumi defineerivad punktid. Süsteemi aluseks oleva mõõtlati pikkus oli

900.3842 mm. Järgmise etapina lähtestas mõõtesüsteem koordinaatsüsteemi. Teodoliit 1 koordinaat (0,0,0) ja teodoliit 2 koordinaadid (5721.660,-479.229,130.809). Lähtestamise käigus leidis ECDS3 süsteemi algse mõõtevea standardhälve  $\sigma = 0.065\text{mm}$ .

Kuna kõik paadile kleebitud markerid pole sellise objekti paigutuse puhul korruga läbi mõlema teodoliidi nähtavad, teostati mõõtmine kahes osas ülekattega, mis võimaldas punktihulki hiljem siduda. Esmalt mõõdeti punktid  $P_1..P_{36}$ . Siis pöörati paati ja mõõdeti punktid  $P_{37}..P_{46}$ . Kokkulangevad punktid olid  $P_{28} \equiv P_{37}$ ,  $P_2 \equiv P_{45}$  ja  $P_5 \equiv P_{46}$ . Nende abil oli hiljem võimalik punktipilved omavahel siduda. Mõõtmise eesmärk oli saavutada operaatorist tingitud vea standardhälve  $\sigma < 0.2\text{mm}$ . Punktid, mille mõõtevea oli sellest suurem, mõõdeti uuesti.



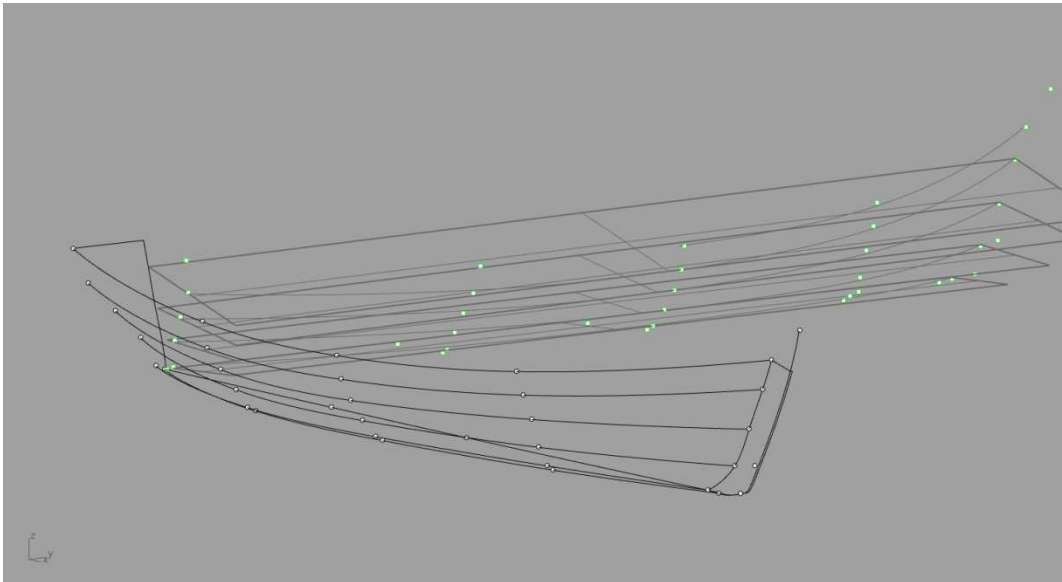
Joonis 10: Ahtripeegel markeritega

ECDS3 väljundiks oli tekstifail mõõdetud punktide koordinaatidega.

### 3. DIGITALISEERIMINE

#### Koordinaatide teisendus

Paadikere mudeli koostamiseks kasutati programmi Rhinoceros 5.0. Skaneerimisel saadud punktid vajasisid töötlust. Arvutati punktide  $P_{28}$  ja  $P_{37}$  omavaheline nihe. Selleks saadi  $P_{37}(5640.307, 4030.259, 98.07) - P_{28}(5637.589, 4618.549, 207.076) = (2.718, -588.29, -109.006)$ . Saadud nihe lahutati punktipilv 2 ( $P_{37}..P_{46}$ ) punktide koordinaatidest. Programmi imporditi mõlemad punktipilved. Et neid omavahel kokku viia, pöörati punktipilve 2 nii, et kiir  $P_{37}P_{45} \equiv P_{28}P_2$ . Seejärel pöörati punktipilv 2 ümber telje  $P_{37}P_{45}$  nii, et  $P_{46} \equiv P_5$ .



Joonis 11: Punktipilv ja plangutuse konstrueerimine programmis Rhinoceros

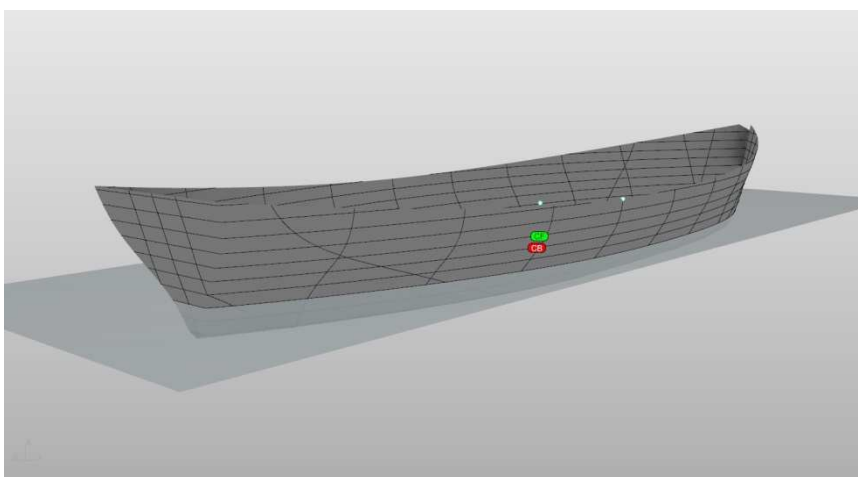
#### Pindade ja mudeli moodustamine

Läbi plangutuse servadel mõõdetud punktide moodustati tasandid, millele konstrueeriti planguservi kujutavad kõverad. Mudel nihutati koordinaatide alguspunkti ja pöörati telgede suhtes õigeks. Saadud kõveratest moodustati pinnad. Seejärel konstrueeriti ahtri peegel, põhi ja võörtäav. Viimase etapina peegaldati pinnad XZ tasandi suhtes ja liideti need ühendpinnaks (*polysurface*).

## Mudeli koostamine Orca3D-s

Orca3D on Rhinoceros moodul, mis on mõeldud laevakere disainiks ja hüdrostaatikaarvutusteks. Lisaks võimaldab Orca3D laeva kaalu- ja kuluarvutusi.

Orcas määratakse paadi pinnad, milleks on mudeli *polysurface*. Mudelile lisatakse pikilõiked, veeliinid ja põiklõiked. Paadi kere paksuseks võeti 8mm ja arvutati paadi kaal  $m_{LCC}=75\text{kg}$ .



Joonis 12

Arvutati paadikere raskuskese, kuhu lisati meeskonna ja lasti kaal.  $CL=2$  inimest, last 50 kg. Lodja  $m_{LDC}=275$  kg. Teostati hüdrostaatikaarvutus ja mudel nihutati tegelikku ujuvusasendisse.

Tabel 2 lodja mõõdud

Kerepikkus	$L_H$	4220mm
Kere laius	$B_H$	1250mm
Kere sügavus	$D_{MAX}$	570mm
Veeliini pikkus	$L_{WL}$	3880mm
Veeliini laius	$B_{WL}$	1020mm
Süvis	$T_C$	122mm
Vabaparras miidlis	$F_M$	247mm

## **4. STABIILSUSARVUTUSED JA VASTAVUS STANDARDILE**

Stabiilsusarvutustes kasutatakse tarkvara Orca 3D. Arvestatakse vabaparda kõrgus normaalasendis ja nihutatud raskuste korral. Antud väikelaeva vastavust võib hinnata vastavalt standardi EVS-EN ISO 12217-3:2015 valikutele 1 ja 3.

Arvatakse tingimustel:

- Lubatud inimeste arv  $CL=2$
- Lasti kaal 50kg

### **Standardi valik 1**

#### **Staatiline test:**

Vabaparda arvutatud kõrgus kõrgus täislastis  $F_M=0.247m$

Nõutud vabaparda kõrgus (1.3.1):  $h_{D(R)}=0.2m$

Ujuvuse lisanõue vööris:  $F_F > 0.23m$

Orca 3D stabiilsusraporti [Lisa 2] järgi  $h_{D(R)}=0.28m$ . Seega vastab lodi staatilise testi nõuetele.

### **4.1. Nihutatud koormuse test**

Nihutatud koormuse testi puhul arvutatakse kreenivad moment vastavalt valemile (1.3.2) või (1.3.3) ja püstivad momendid leitakse tarkvaraliselt. Minimaalne nõutud vabaparras leitakse järgmiselt:

Lubatud last (50kg) paigaldatakse laevakere raskuskeskmesse. Meeskonna kaal lisatakse vastavalt koormusolukorra tingimustele 100mm kõrgusele istumetest.

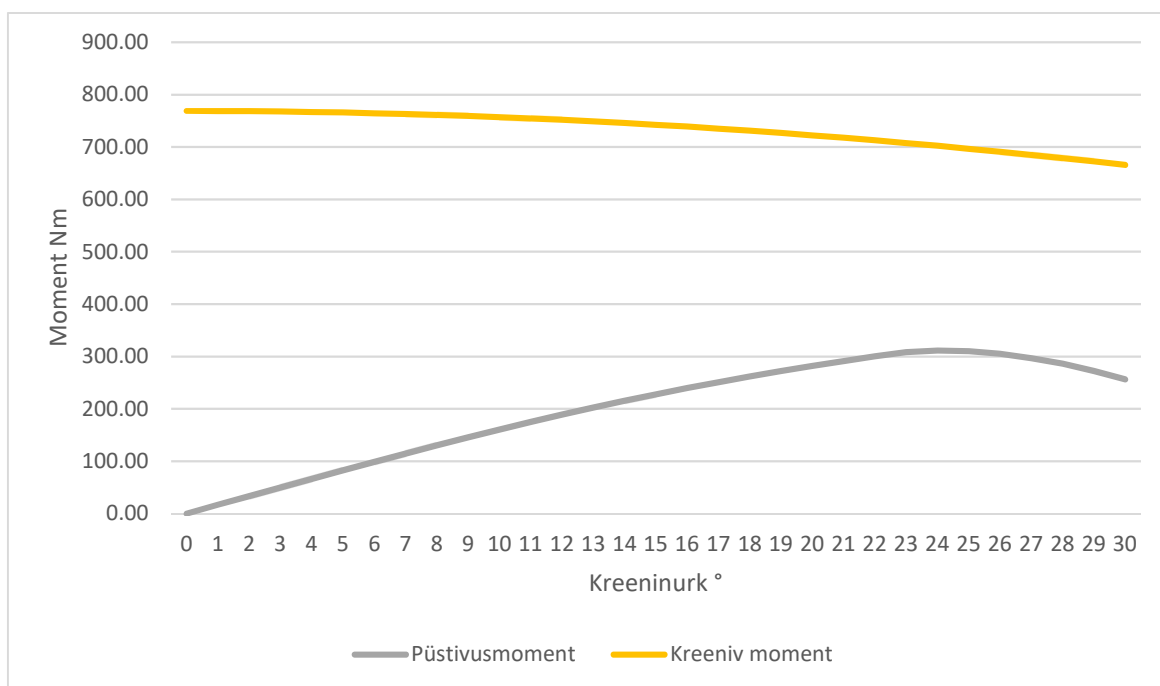
Orca3D-s arvutatakse veeliinidele vastavad tasandid laeva eri kreeninurkade puhul. Leitakse tasand, mille puhul vabaparras muutub negatiivseks. Sellele tasandil konstrueeritakse üleujutatud pardaosa lõik. Lõik poolitatakse ja saadud punktist tõmmatakse normaal mudeli pardani. Saadud punktist

mõõdetakse edaspidi minimaalne pardakõrgus  $h_{D(R)}$ , mis peab D-kategooria väikelaeval olema vähemalt 10mm. Punkt lisatakse Orca POI-ks (*Point Of Interest*) ja raport väljastab  $h_{D(R)}$  kõrguse iga arvutatud kreeninurga korra.

## Meeskonna suurus 2 inimest

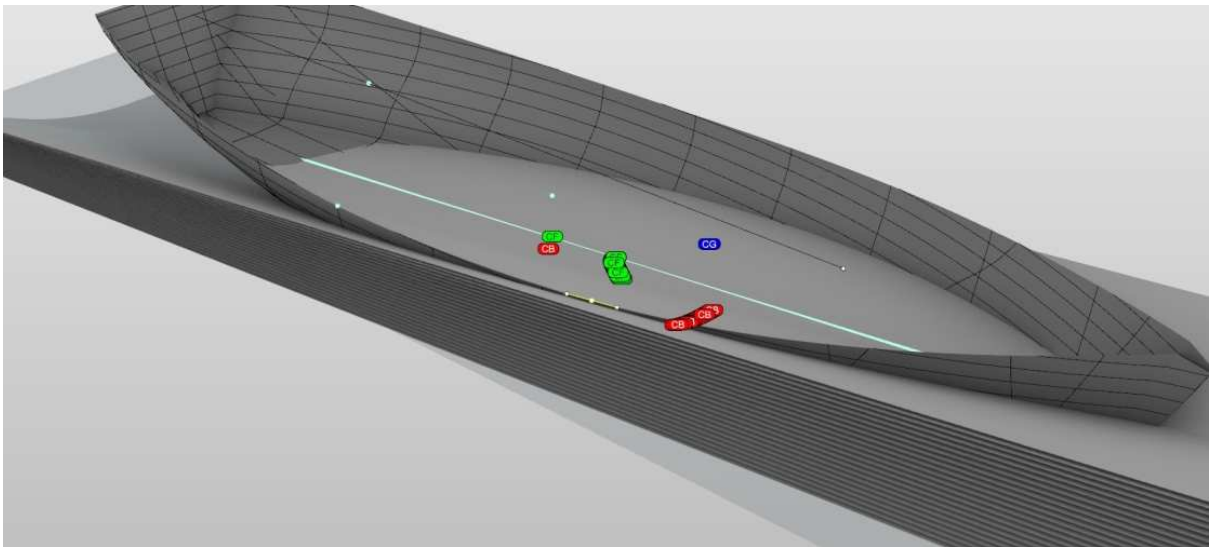
### Koormusolukord LC1 - 2 inimest vööris

Testi läbiviimiseks paigaldati raskus  $CL \cdot 85 = 170\text{kg}$  vertikaalse raskuskeskmega  $VCG = 0.1\text{m}$  istmest. Raskuskese pikiteljel asub 75% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist.  $G_{CL}(X,Y,Z) = (3000, 0, 300)$  mm. Orca mudelile lisati madalaima vabaparda leidmiseks vajalik punkt. Selleks koostati stabiilsusraport kreeninurga  $\varphi = 0..30$  korral [Lisa 2]



Graafik 1 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC1, CL=2 inimest [Lisa 3]

Arvutati kreenivad momendid vastavalt valemile (1.3.2). Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi = 21^\circ$ . Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud ei lõikunud. Seega ületas kreeniv jõud alati püstiva jõu, mistõttu oleks lodi sellisel koormamisel ümber läinud. Seega ei vastanud väikelaev stabiilsusnõudele.



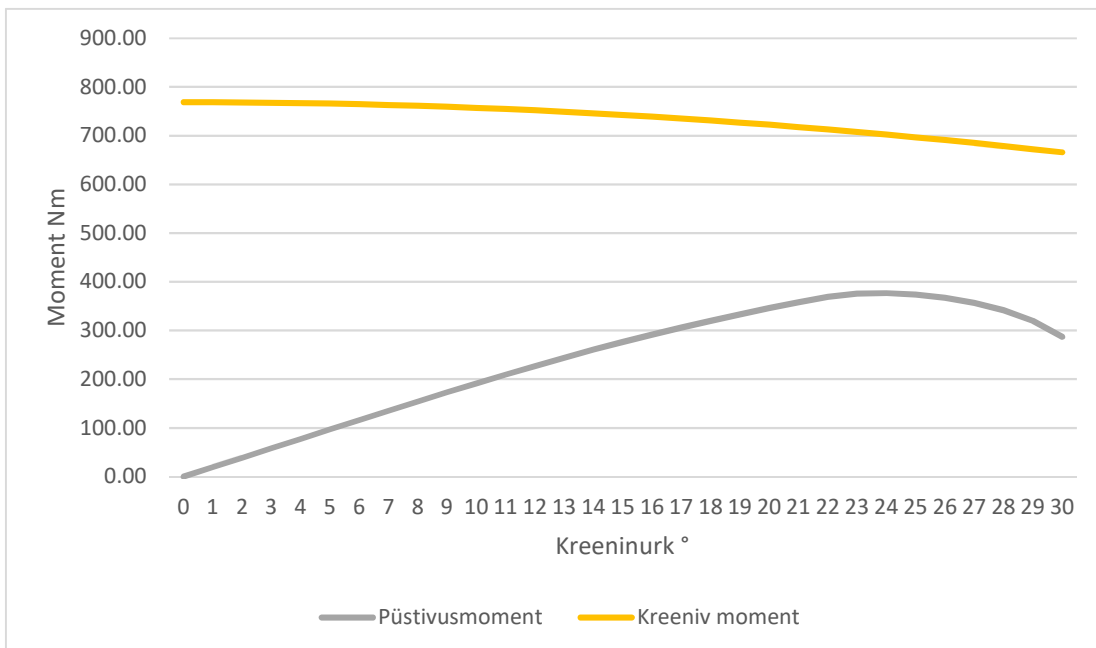
Joonis 13: Vabaparda punkti konstrueerimine koormustingimuse LC1 korral

### Koormusolukord LC2 - 2 inimest ahtris

Raskus CL·85=170kg vertikaalse raskuskeskmega VCG=0.1m istmest.

Raskuskese pikiteljel asub 25% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist.

$G_{CL}(X,Y,Z)=(1000,0,300)$  mm. Koostati stabiilsusraport kreeninurga  $\varphi=0..30$  korral [Lisa 4]



Graafik 2 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC2, CL=2 inimest [Lisa 5]

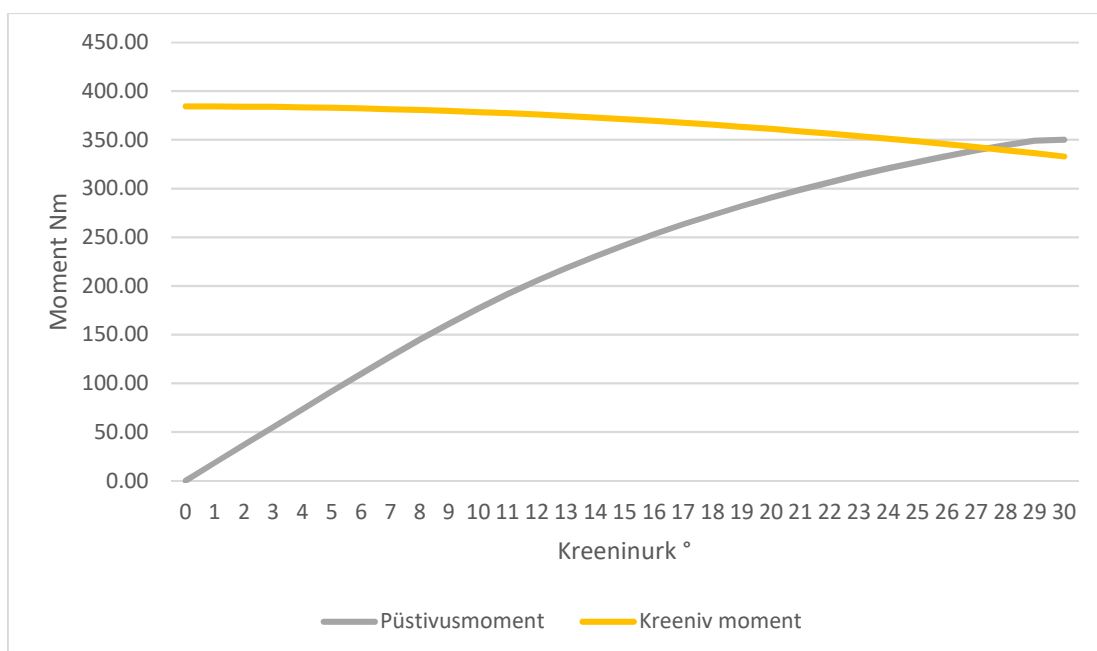


Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi = 21^\circ$ . Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud ei lõikunud. Laev ei vasta stabiilsusnõuetele.

## Meeskonna suurus 1 inimene

### Koormusolukord LC1 - 1 inimene vööris

Raskus  $CL \cdot 85 = 85\text{kg}$  vertikaalse raskuskeskmega  $VCG = 0.1\text{m}$  istmest. Raskuskese pikiteljel asub 75% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist. Koostati stabiilsusrraport kreeninurga  $\varphi = 0..30$  korral [Lisa 6]



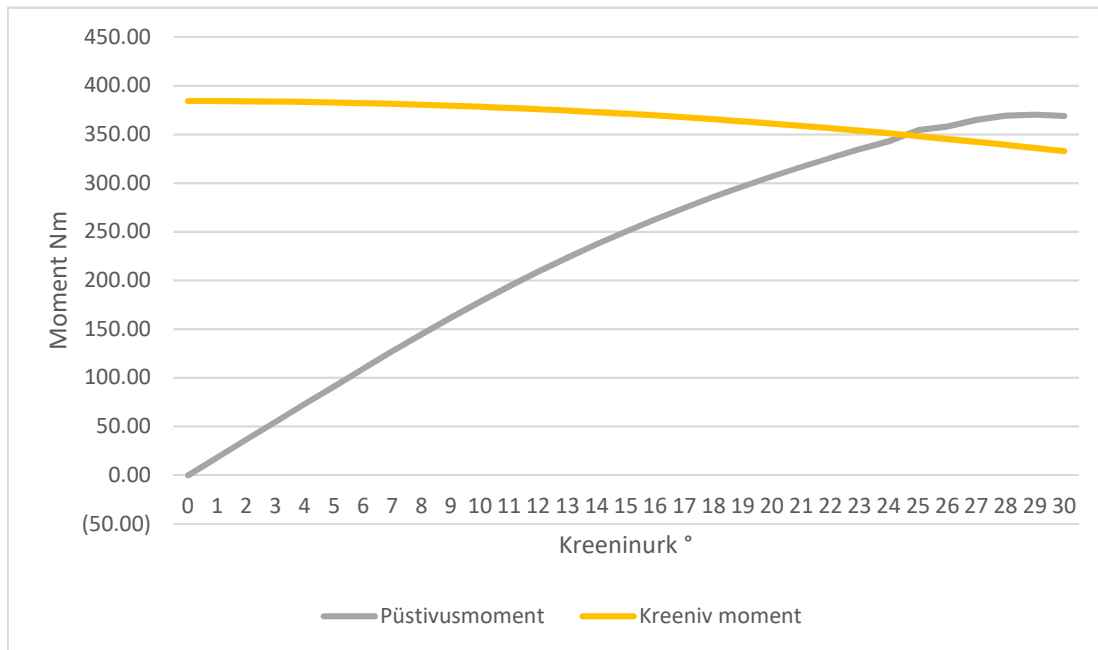
Graafik 3 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC1, CL=1 inimest [Lisa 7]

Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi = 27^\circ$ . Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud lõikusid punktis  $\varphi_0 = 27^\circ$ . Laev vastab stabiilsusnõuetele.

### Koormusolukord LC2 - 1 inimene ahtris

Raskus  $CL \cdot 85 = 85\text{kg}$  vertikaalse raskuskeskmega  $VCG = 0.1\text{m}$  istmest. Raskuskese pikiteljel asub 25% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist. Koostati

## stabiilsusrraport kreeninurga $\varphi=0..30$ korral [Lisa 8]



Graafik 4 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC2, CL=1 inimest [Lisa 9]

Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi=25^\circ$ .

Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud lõikusid punktis  $\varphi_0=25^\circ$  Laev vastab stabiilsusnõuetele.

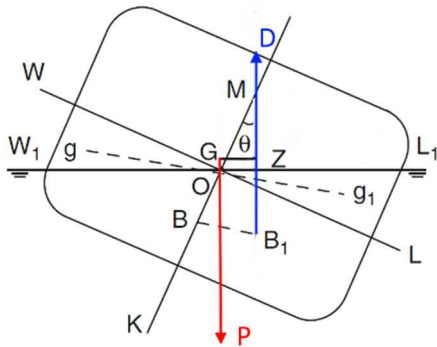
### Testi tulemus

Lodi vastab standardi [12] püstivusnõuetele, kui meeskonna suurus on 1 inimene.

## 5. KEREKUJU MUUDATUSED

### Püstivust mõjutavad tegurid

Püstiv moment sõltub laeva kaalust ja metatsentri kõrgusest laeva raskuskeskmest [p 1.2]. Et suurendada püstivat momenti, on vaja suurendada lõiku GM.



Üks võimalus on vähendada raskuskeskme kõrgust kiilust (lõik KG). Selleks võib laevakerele lisada ballasti võimalikult madalale. Selliseks abinõuks on raskuskiil purjekal. Antud olukorras ei täida see disaini eesmärki - saavutada võimalikult kerge laevakere.

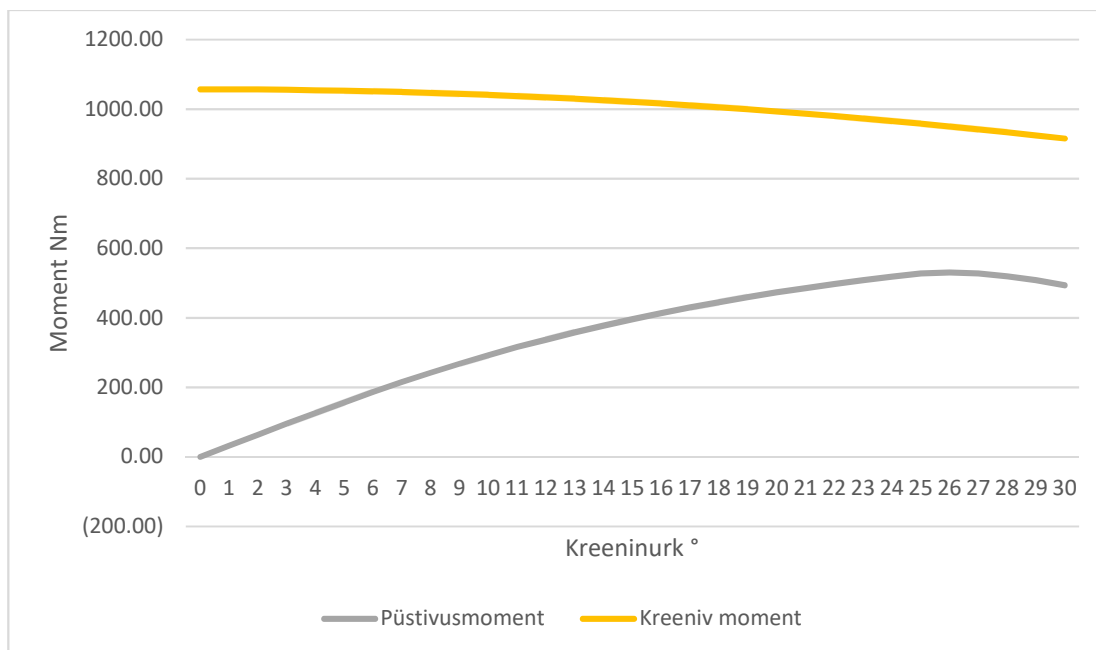
Et lõik BM sõltub laevakere laiuse kuubist (1.2.1), on võimalik metatsentrit tõsta ja püstivust parandada, suurendades laevakere laiust.

### 5.1. Lodja kerekuju muudatused

Lodja mudelit suurendati y telje suunas 10%. Sellega saadi mudel, mis ei erinenud oluliselt esialgsest. Kere laius saadi  $B_M=1.5\text{m}$ . Saadud mudeliga sooritati uuesti püstivuskatsed kahe inimese kaaluga LC1 ja LC2 koormussituatsioonis.

#### Muudetud laevakere koormusolukord LC1 - 2 inimest vööris

Raskus  $CL \cdot 85 = 170\text{kg}$  vertikaalse raskuskeskmega  $VCG=0.1\text{m}$  istmest. Raskuskese pikiteljel asub 75% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist. Koostati stabiilsusraport kreeninurga  $\varphi=0..30$  korral [Lisa 10]

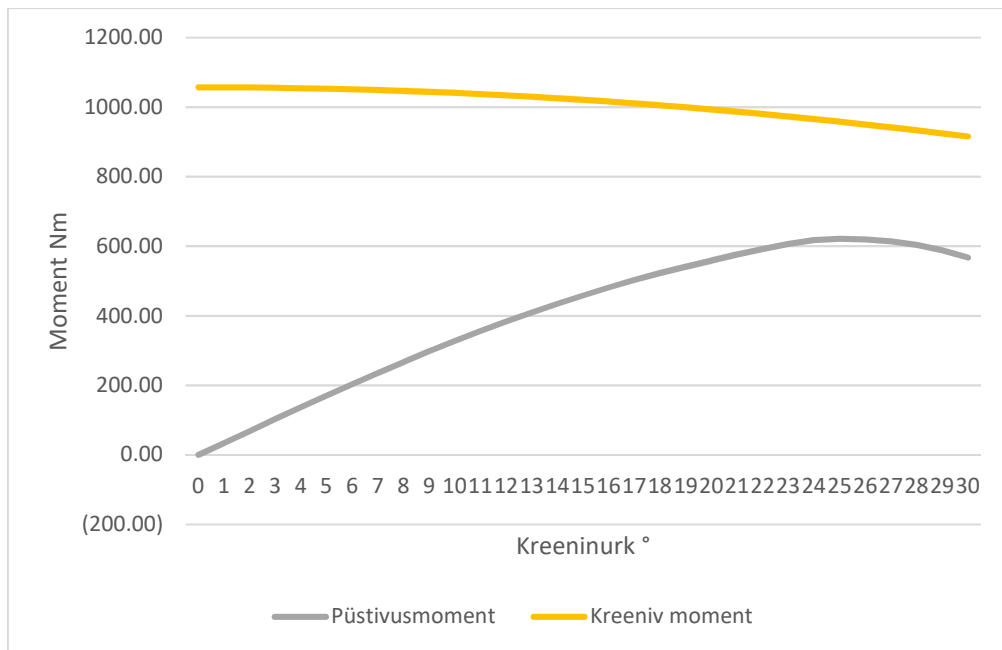


Graafik 5 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC1, CL=2 inimest [Lisa 11]

Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi = 23^\circ$ . Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud ei lõikunud. Laev ei vasta stabiilsusnõuetele.

### **Muudetud laevakere koormusolukord LC2 - 2 inimest ahtris**

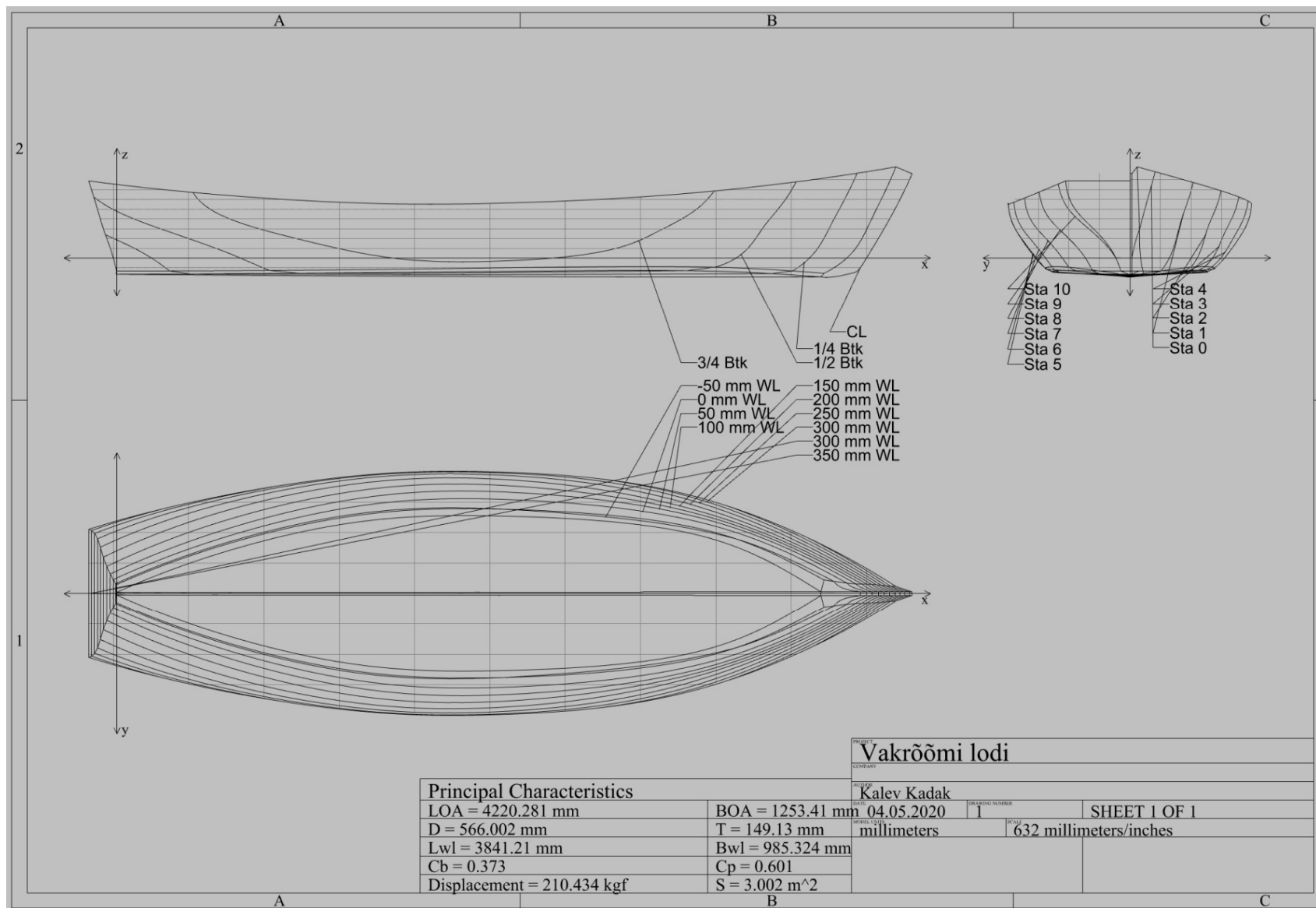
Raskus  $CL \cdot 85 = 170\text{kg}$  vertikaalse raskuskeskmega  $VCG = 0.1\text{m}$  istmest. Raskuse pikiteljel asub 25% kokpiti pikkuse kaugusel ahtrist. Koostati stabiilsusrraport kreeninurga  $\varphi = 0..30$  korral [Lisa 12]



Graafik 6 Püstiva ja kreeniva momendi võrdlus LC2, CL=2 inimest [Lisa 13]

Nõutud vabaparda tingimus  $h_{D(R)} > 10\text{mm}$  säilis kuni kreeninurgani  $\varphi = 22^\circ$ . Püstiva momendi ja kreeniva momendi graafikud ei lõikunud. Laev ei vasta stabiilsusnõuetele.

# VAKRÕÕMI LODJA TEOREETILINE JOONIS



## KOKKUVÕTE

Väikelaev mõõdeti kasutades triangulatsioonimeetodit. Digitaliseerimise käigus ei hakatud detaile välja joonestama vaid koostati stabiilsusarvutusteks piisav mudel. Täpne mudel koos plangutuse joonistega on võimalik koostada, teades plankude paksust ja ülekatet. See info on tuvastatav laevakere fotodelt.

Koostati stabiilsusarvutused kasutades Rhinoceros tarkvara koos Orca3D lisamooduliga. Stabiilsusmudeli puhul arvestati lodja kerepaksuseks 8mm ja klaasplasti tiheduseks  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Lodi vastas Euroopa Liidu väikelaevadirektiivi püstuvusnõuetele, kui meeskonna suurus on maksimaalselt üks inimene.

Saadud tulemuse põhjal muudeti laevakere 10% laiemaks, et suurendada laevakere stabiilsust. Stabiilsusarvutus sooritati uuesti ja lodi ei vastanud ka seekord stabiilsusnõuetele. Leiti, et mudelit radikaalselt muutmata ei ole võimalik saavutada kahele inimesele mõeldud lotja. Sellega muutuks lodja kerekuju nii palju, et seos ajaloolise Vakröömi lodjaga kaoks ära.

Väikelaevadirektiivis on igameheõigus ehitada iseendale väikelaev, sõltumata kehtivatest standarditest. Samuti on lubatud toota ajaloolist veesõidukit, kasutades esialgset materjali ja märkides ära, et tegu on ajaloolise laeva koopiaga.

Töö täitis oma eesmärgid:

- Pöördprojekteeriti lodja kere
- Teostati stabiilsusarvutused ja hinnati nende vastavust tänapäeva standarditele
- Muudeti lodja kerekuju, et suurendada stabiilsust

## **SUMMARY**

Subject of this thesis is measurement and assessment of historical boat. Boat was built by renown boatbuilder Leopold Vagrööm (1907 - 1995). The boat was scanned using Leica ECDS3 measurement system. Using gathered data, the boat was modelled in Rhinoceros 3D.

The boat stability was assessed according to ISO 12217-3: Small craft - Stability and buoyancy assessment and categorization - Part 3: Boats of hull length less than 6 m.

Stability calculations were made using Orca3D stability module. Boat fulfilled stability criteria using Crew Limit of 1 person.

In order to improve stability, width of the boat was enlarged by 10% and assessment was done using Crew Limit of 2 people. Boat did still not met the stability criteria.

According to Small Craft Directive, this boat could still be produced as historical boat using traditional materials.

Thesis fulfilled its purpose

- Reverse engineering of historical boat
- Assessment of boat against stability and buoyancy
- Alteration of boat model in order to increase stability



## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Internet: <http://polar-odyssey.org/shipbuilding/catalog/559-strug-kazatskij-bespalubnyj> 18.04.2020
- [2] T Varady, RR Martin, J Cox, Reverse engineering of geometric models—an introduction, Computer-Aided Design 29 (4) , 1997, 255-268
- [3] Grzelka, M. Budzik, G. Marciniak, L. Gapiński, B. , Accuracy of the photogrammetric measuring system for large size elements, ARCHIVES OF FOUNDRY ENGINEERING Volume11, Special Issue 2/2011, 75–80
- [4] Gabriel Gmurczyk, Piotr Reymer, Marcin Kurdelski, GLOBAL FEM MODEL OF COMBAT HELICOPTER, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 18, No. 2 2011
- [5] S. J. Jodoin, The Calibration Of A Parabolic Antenna With The Aid Of Close-Range Photogrammetry And Surveying, 1987
- [6] Eric C. Tupper, Introduction to Naval Architecture, 5th ed, 2013
- [7] Barrass, Derrett, Ship Stability for Masters and Mates, 6th ed, 2006
- [8] Larsson, Eliasson, Orych, Principles of Yacht Design, 4th ed, 2014
- [9] E.A.Stokoe, Reeds Naval Architecture for Marine Engineers, 1991
- [10] A. Irak, U. Mereste, U. Poola, A. Tetsman, K. Toomara, Purjetaja käsiraamat, 1975
- [11] Euroopa Liidu Teataja, L 153, 22. mai 2014 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=OJ:L:2014:153:TOC>
- [12] EVS-EN ISO 12217-3:2015 Väikelaevad. Stabiilsuse ja ujuvuse hindamine ja klassifitseerimine. Osa 3: Laevad, mille kere pikkus on väiksem kui 6 m
- [13] EVS-EN ISO 12217-1:2015 Väikelaevad. Stabiilsuse ja ujuvuse hindamine ja klassifitseerimine. Osa 1: Mitte purjelaevad, mille kere pikkus on 6 meetrit või rohkem
- [14] ECDS 3 Users Guide, 1993

# LISAD

## Lisa 1 Skaneeritud punktide koordinaadid

Punkt	X mm	Ymm	Zmm	$\sigma$
PP1	-818.573	5781.81	-133.193	0.122
PP2	3711.854	7901.304	264.038	0.069
PP3	7539.114	5239.804	-119.085	0.044
PP4	6180.83	2680.123	-1270.453	0.026
PP5	3000.91	3428.34	-1614.731	0.047
PP6	450.437	3411.072	-1265.263	0.05
SB11	-271.078	3857.207	-220.194	0.084
SB12	429.661	4422.524	-211.607	0.001
P1	1350.73	4392.09	94.041	0.002
P2	1395.056	4332.739	-29.687	0.069
P3	1435.098	4332.948	-180.097	0.077
P4	1478.549	4328.402	-317.666	0.022
P5	1512.451	4291.471	-432.292	0.025
P6	1513.094	4310.608	-472.063	0.067
P7	2528.95	4091.414	234.083	0.019
P8	2520.781	4043.011	135.138	0.044
P9	2524.133	4032.27	25.749	0.126
P10	2536.058	4026.203	-79.607	0.103
P11	2538.709	4016.844	-169.922	0.02
P12	2547.048	4031.272	-203.013	0.035
P13	2593.048	4270.627	-435.456	0.001
P14	3452.356	4025.042	291.916	0.046
P15	3454.303	3978.105	209.392	0.115
P16	3456.835	3955.308	114.834	0.152
P17	3455.464	3943.301	13.291	0.135
P18	3454.471	3945.754	-81.255	0.117
P19	3453.361	3960.071	-118.633	0.168
P20	3477.567	4232.581	-397.717	0.07
P21	4451.517	4120.224	290.001	0.2
P22	4456.742	4080.566	200.524	0.06
P23	4456.974	4046.507	100.062	0.119
P24	4455.034	4000.321	-7.757	0.13
P25	4447.181	3984.444	-97.259	0.122
P26	4440.74	3995.481	-134.354	0.077
P27	4728.744	4178.219	-333.253	0.08
P28	5637.589	4618.549	207.076	0.082
P29	5497.149	4515.036	126.378	0.006
P30	5445.293	4434.259	37.995	0.074
P31	5367.31	4323.893	-81.959	0.187
P32	5376.563	4244.504	-202.209	0.178

Punkt	X mm	Ymm	Zmm	$\sigma$
P33	5279.859	4222.671	-197.374	0.227
P34	5131.51	4140.355	-273.489	0.137
P35	5119.567	4173.917	-329.034	0.087
P36	5275.55	4172.417	-300.105	0.156
P37	5640.307	4030.259	98.07	0.229
P38	5435.842	3989.596	-3.087	0.184
P39	5182.33	3865.461	-52.309	0.101
P40	4559.288	3696.596	-144.939	0.119
P41	3738.496	3632.552	-207.417	0.098
P42	2786.664	3712.651	-217.527	0.072
P43	1990.868	3901.536	-157.645	0.085
P44	1393.012	4099.076	-92.625	0.027
P45	1397.511	4160.242	-250.143	0.048
P46	1522.934	4419.902	-557.097	0.002



Report Time: Monday, April 27, 2020, 4:25:48 PM  
 Model Name: C:\Users\kalev\Google Drive\Kool\Lõputöö\VAKROOM\Vakroom\_LC1\_2\_CL2.3dm

Condition Name=Condition 1,Weight=295.43,LCG=2,520.07,TCG=0.00

**General Info**

Analysis Type FreeFloatEquilibrium Up Direction = Positive\_Z  
 Fwd Direction = Positive\_X

**Surface Meshing Parameters**

Density	1	Minimum edge length	0.0001 mm
Maximum angle	0	Maximum edge length	0 mm
Maximum aspect ratio	0	Max distance, edge to surf.	0 mm
Minimum initial grid quads	0	Jagged seams	FALSE
Refine mesh	TRUE	Simple planes	TRUE

**Load Condition Parameters**

Weight	295.434 kgf
LCG	2520.069 mm
TCG	0.000 mm
VCG	206 mm
Fluid Type	Freshwater
Fluid Density	999.000 kg/m <sup>3</sup>
Mirror Geometry	FALSE

**Resultant Model Attitude**

Heel Angle	0.000 deg	Sinkage	-173.898 mm
Trim Angle	5.279 deg		

**Overall Dimensions**

Length Overall, LOA	4220.148 mm	Loa / Boa	3.367
Beam Overall, Boa	1253.410 mm	Boa / D	2.204
Depth Overall, D	568.814 mm		

**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3385.512 mm	Lwl / Bwl	3.306
Waterline Beam, Bwl	1024.186 mm	Bwl / T	3.626
Navigational Draft, T	282.474 mm	D / T	2.014

### Volumetric Values

Displacement Weight	295.434 kgf	Displ-Length Ratio	212.187
Volume	0.296 m <sup>3</sup>		
LCB	2540.809 mm	FB/Lwl 0.422	AB/Lwl 0.578
TCB	0.000 mm	TCB / Bwl	0.000
VCB	-18.504 mm		
Wetted Surface Area	3.089 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	46.525 N-m/cm		

### Waterplane Values

Waterplane Area, Awp	2.563 m <sup>2</sup>		
LCF	2146.345 mm	FF/Lwl 0.539	AF/Lwl 0.461
TCF	0.000 mm	TCF / Lwl	0.000
Weight To Immerse	25.603 kgf/cm		

### Sectional Parameters

Ax	0.153 m <sup>2</sup>		
Ax Location	2827.646 mm	Ax Location / Lwl	0.338

### Hull Form Coefficients

Cb	0.302	Cx	0.530
Cp	0.570	Cwp	0.739
Cvp	0.409	Cws	3.087

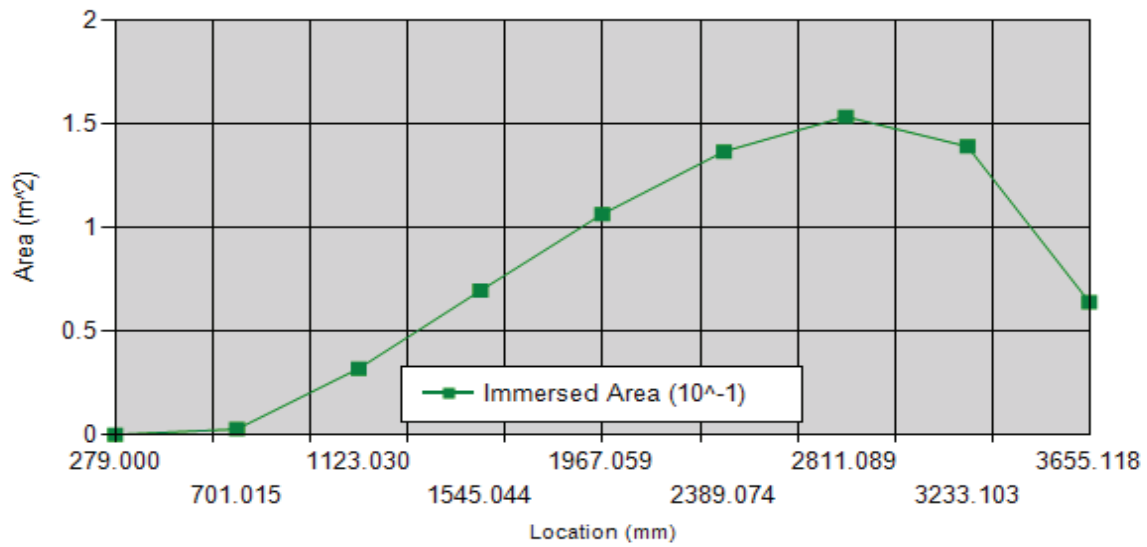
### Static Stability Parameters

I(transverse)	0.165 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	1.674 m <sup>4</sup>
BMt	556.526 mm	BMI	5662.066 mm
GMt	331.105 mm	GMI	5436.644 mm
Mt	478.230 mm	MI	5583.769 mm

### Points Of Interest

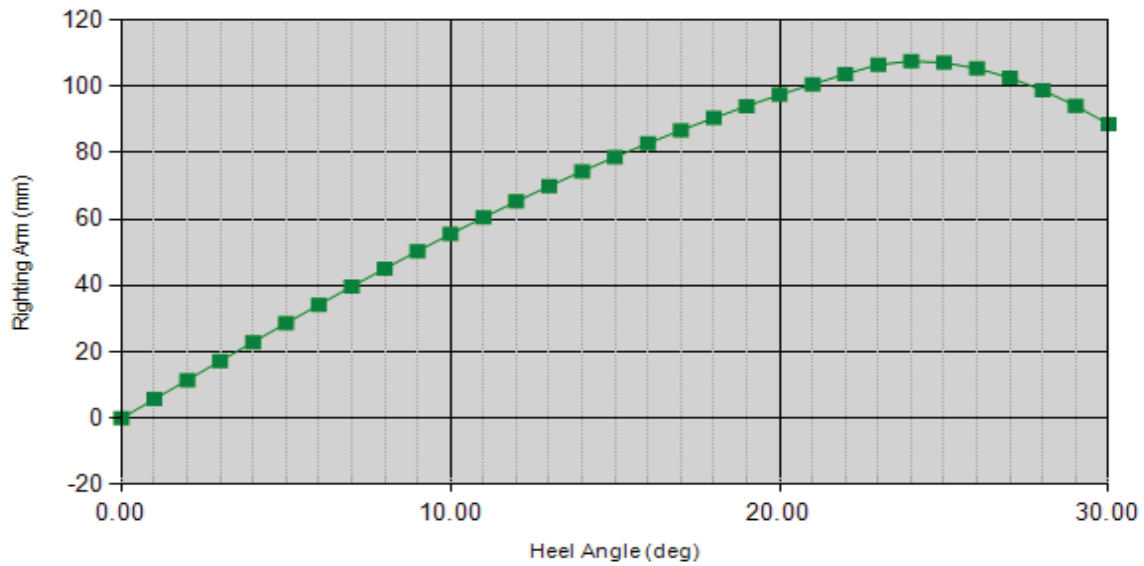
Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
hDR LC1	2558.538	-577.850	279.785	217.097

### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
279.220	0.000	0.000
701.235	0.003	513.941
1123.249	0.032	824.802
1545.264	0.069	1009.785
1967.279	0.106	1105.827
2389.294	0.137	1137.238
2811.309	0.153	1102.532
3233.323	0.139	968.003
3655.338	0.064	690.969

### Stability Curve



Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	5.279	0.000	0.00	hDR LC1 217.097
1.000	5.280	5.758	16.68	hDR LC1 207.056
2.000	5.283	11.507	33.34	hDR LC1 197.021
3.000	5.288	17.238	49.94	hDR LC1 186.994
4.000	5.298	22.936	66.45	hDR LC1 176.979
5.000	5.311	28.587	82.82	hDR LC1 166.985
6.000	5.327	34.172	99.01	hDR LC1 157.019
7.000	5.348	39.675	114.95	hDR LC1 147.090
8.000	5.374	45.072	130.58	hDR LC1 137.206
9.000	5.406	50.341	145.85	hDR LC1 127.376
10.000	5.442	55.472	160.71	hDR LC1 117.613
11.000	5.483	60.450	175.14	hDR LC1 107.923
12.000	5.528	65.264	189.09	hDR LC1 98.315
13.000	5.576	69.912	202.55	hDR LC1 88.796
14.000	5.629	74.381	215.50	hDR LC1 79.371
15.000	5.686	78.671	227.93	hDR LC1 70.046
16.000	5.746	82.778	239.83	hDR LC1 60.824
17.000	5.809	86.702	251.19	hDR LC1 51.711
18.000	5.876	90.443	262.03	hDR LC1 42.708
19.000	5.945	94.001	272.34	hDR LC1 33.819
20.000	6.017	97.380	282.13	hDR LC1 25.045

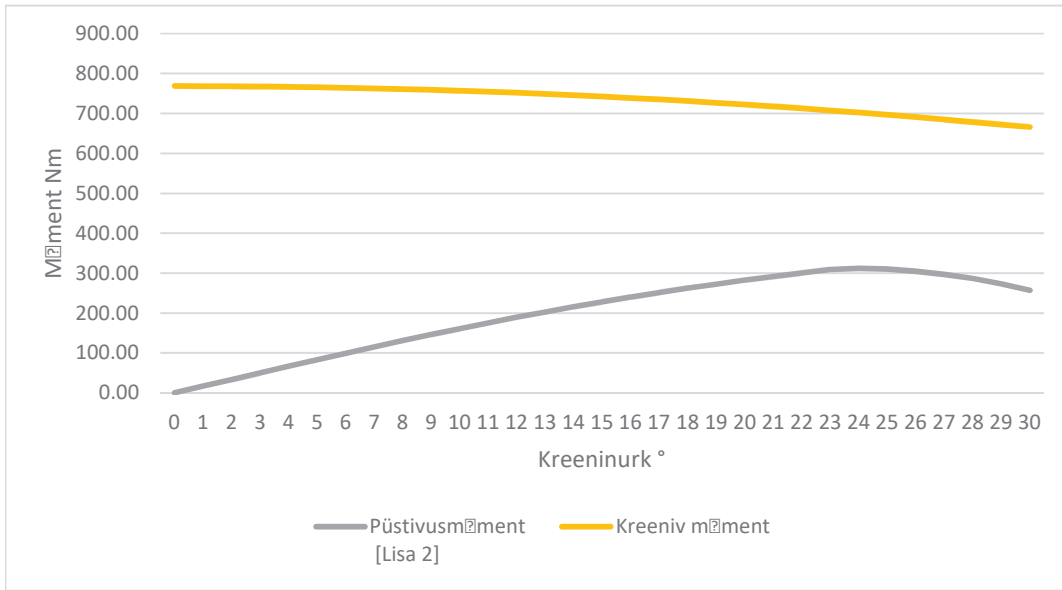
21.000	6.090	100.583	291.41	hDR LC1	16.389
22.000	6.166	103.615	300.20	hDR LC1	7.852
23.000	6.244	106.461	308.44	hDR LC1	-0.583
24.000	6.355	107.538	311.56	hDR LC1	-10.418
25.000	6.492	107.042	310.12	hDR LC1	-21.658
26.000	6.645	105.327	305.15	hDR LC1	-34.115
27.000	6.810	102.535	297.07	hDR LC1	-47.775
28.000	6.986	98.765	286.14	hDR LC1	-62.644
29.000	7.171	94.078	272.56	hDR LC1	-78.739
30.000	7.369	88.509	256.43	hDR LC1	-96.094



**Lisa 3 - LC1, 2inimest võõris**

BC	1.2
CL	2
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692
$\phi(0)$	
Nõutud vabaparras	10

Kreen	Püstivusmõment [Lisa 2]	Kreeniv mõment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 2]
0	0.00	768.8	-768.8	217.097
1	16.68	768.682908	-752.0013609	207.056
2	33.34	768.3316678	-734.99231	197.021
3	49.94	767.7463863	-717.8040222	186.994
4	66.45	766.9272418	-700.4769468	176.979
5	82.82	765.8744839	-683.0527023	166.985
6	99.01	764.5884332	-665.5833614	157.019
7	114.95	763.0694814	-648.1232182	147.090
8	130.58	761.3180912	-630.7358811	137.206
9	145.85	759.3347962	-613.4869171	127.376
10	160.71	757.1202005	-596.4053363	117.613
11	175.14	754.6749786	-579.5394648	107.923
12	189.09	751.9998754	-562.9146717	98.315
13	202.55	749.0957058	-546.545687	88.796
14	215.50	745.9633544	-530.4646878	79.371
15	227.93	742.6037753	-514.6779058	70.046
16	239.83	739.0179918	-499.1918182	60.824
17	251.19	735.2070964	-484.0136913	51.711
18	262.03	731.1722497	-469.139744	42.708
19	272.34	726.9146809	-454.5728866	33.819
20	282.13	722.4356869	-440.3045757	25.045
21	291.41	717.7366319	-426.3255448	16.389
22	300.20	712.8189474	-412.6237004	7.852
23	308.44	707.6841313	-399.242755	-0.583
24	311.56	702.3337478	-390.7715575	-10.418
25	310.12	696.7694267	-386.6454614	-21.658
26	305.15	690.9928628	-385.8387021	-34.115
27	297.07	685.0058158	-387.940081	-47.775
28	286.14	678.8101094	-392.666036	-62.644
29	272.56	672.4076308	-399.8426946	-78.739
30	256.43	665.8003304	-409.3693453	-96.094





**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3804.408 mm	Lwl / Bwl	3.661
Waterline Beam, Bwl	1039.062 mm	Bwl / T	4.529
Navigational Draft, T	229.400 mm	D / T	2.480

**Volumetric Values**

Displacement Weight	295.434 kgf	Displ-Length Ratio	149.531
Volume	0.296 m <sup>3</sup>		
LCB	1354.931 mm	FB/Lwl	0.624
TCB	0.000 mm	AB/Lwl	0.376
VCB	-34.095 mm	TCB / Bwl	0.000
Wetted Surface Area	3.308 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	61.490 N-m/cm		

**Waterplane Values**

Waterplane Area, Awp	2.907 m <sup>2</sup>		
LCF	1703.136 mm	FF/Lwl	0.533
TCF	0.000 mm	AF/Lwl	0.467
Weight To Immerse	29.040 kgf/cm	TCF / Lwl	0.000

**Sectional Parameters**

Ax	0.136 m <sup>2</sup>		
Ax Location	1083.852 mm	Ax Location / Lwl	0.696

**Hull Form Coefficients**

Cb	0.326	Cx	0.571
Cp	0.571	Cwp	0.735
Cvp	0.443	Cws	3.119

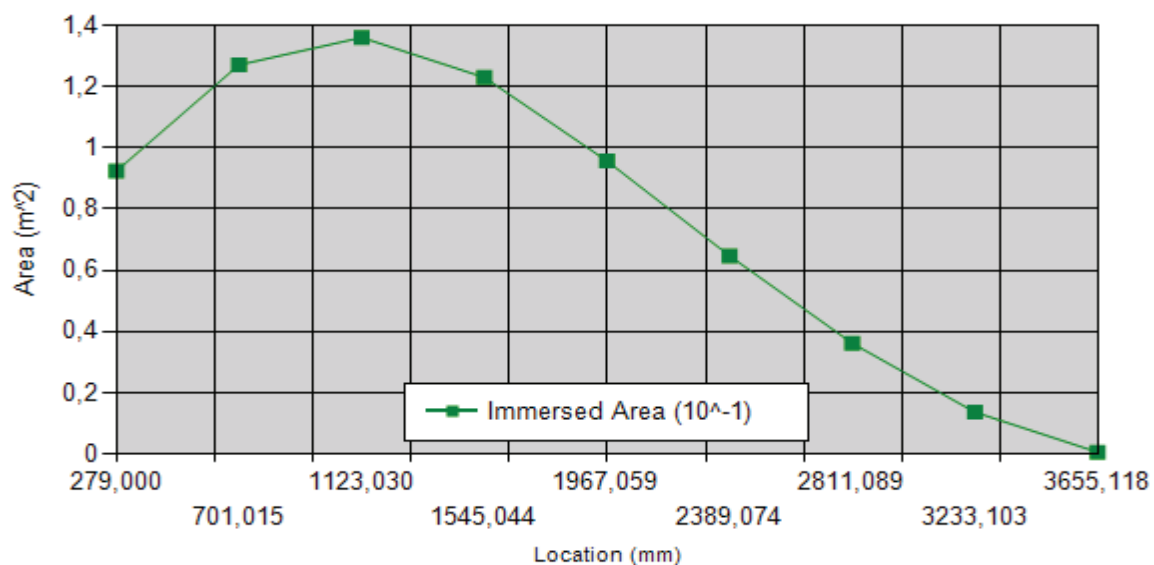
**Static Stability Parameters**

I(transverse)	0.185 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	2.459 m <sup>4</sup>
BMt	625.292 mm	BMI	8314.939 mm
G Mt	384.811 mm	GMI	8074.458 mm
Mt	558.315 mm	MI	8247.962 mm

**Points Of Interest**

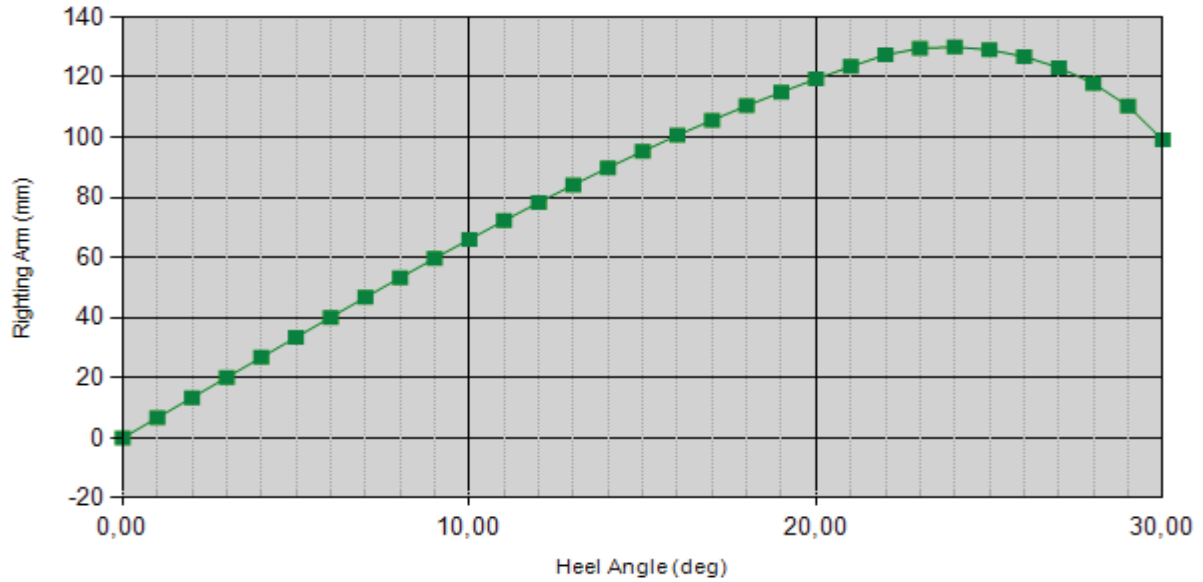
Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
hDR LC2	1240.624	-604.765	252.593	212.413

### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
279.220	0.092	823.310
701.235	0.127	1010.594
1123.249	0.136	1121.972
1545.264	0.123	1146.136
1967.279	0.096	1079.168
2389.294	0.065	960.068
2811.309	0.036	788.658
3233.323	0.014	517.959
3655.338	0.001	69.663

### Stability Curve



Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	-3.406	0.000	0.00	hDR LC2 212.413
1.000	-3.405	6.702	19.42	hDR LC2 201.916
2.000	-3.404	13.402	38.83	hDR LC2 191.461
3.000	-3.401	20.097	58.23	hDR LC2 181.065
4.000	-3.397	26.789	77.61	hDR LC2 170.735
5.000	-3.392	33.475	96.99	hDR LC2 160.469
6.000	-3.387	40.130	116.27	hDR LC2 150.271
7.000	-3.383	46.734	135.40	hDR LC2 140.140
8.000	-3.381	53.268	154.33	hDR LC2 130.084
9.000	-3.380	59.712	173.00	hDR LC2 120.114
10.000	-3.380	66.046	191.35	hDR LC2 110.233
11.000	-3.382	72.248	209.32	hDR LC2 100.447
12.000	-3.386	78.299	226.85	hDR LC2 90.759
13.000	-3.392	84.179	243.88	hDR LC2 81.175
14.000	-3.399	89.871	260.38	hDR LC2 71.698
15.000	-3.408	95.357	276.27	hDR LC2 62.335
16.000	-3.419	100.624	291.53	hDR LC2 53.087
17.000	-3.432	105.663	306.13	hDR LC2 43.958
18.000	-3.446	110.470	320.06	hDR LC2 34.950
19.000	-3.461	115.043	333.30	hDR LC2 26.066

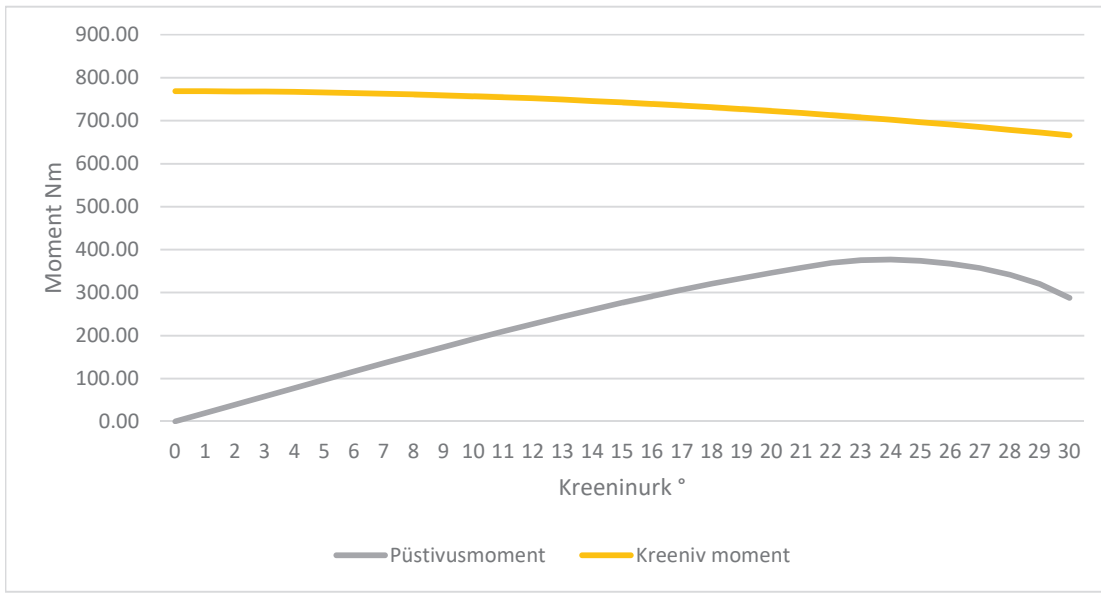
20.000	-3.478	119.384	345.88	hDR LC2	17.306
21.000	-3.496	123.496	357.79	hDR LC2	8.673
22.000	-3.515	127.383	369.06	hDR LC2	0.167
23.000	-3.560	129.571	375.39	hDR LC2	-9.479
24.000	-3.634	130.005	376.65	hDR LC2	-20.511
25.000	-3.736	129.068	373.94	hDR LC2	-32.777
26.000	-3.870	126.822	367.43	hDR LC2	-46.383
27.000	-4.045	123.183	356.89	hDR LC2	-61.575
28.000	-4.282	117.902	341.59	hDR LC2	-78.794
29.000	-4.628	110.343	319.69	hDR LC2	-98.977
30.000	-5.182	99.159	287.29	hDR LC2	-123.878

**Lisa 5 - LC2, CL=2**

BC	1.2
CL	2
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692
$\phi(0)$	
Nõutud vabap:	10

Kreen	Püstivusmoment [Lisa 4]	Kreeniv moment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 4]
0	0.00	768.8	-768.8	212.413
1	19.42	768.682908	-749.2645079	201.916
2	38.83	768.3316678	-729.5038567	191.461
3	58.23	767.7463863	-709.5212725	181.065
4	77.61	766.9272418	-689.3132266	170.735
5	96.99	765.8744839	-668.8892084	160.469
6	116.27	764.5884332	-648.3231231	150.271
7	135.40	763.0694814	-627.6713749	140.140
8	154.33	761.3180912	-606.9886652	130.084
9	173.00	759.3347962	-586.3360286	120.114
10	191.35	757.1202005	-565.7715954	110.233
11	209.32	754.6749786	-545.3572874	100.447
12	226.85	751.9998754	-525.151855	90.759
13	243.88	749.0957058	-505.2108379	81.175
14	260.38	745.9633544	-485.5874658	71.698
15	276.27	742.6037753	-466.3326599	62.335
16	291.53	739.0179918	-447.4875389	53.087
17	306.13	735.2070964	-429.0776751	43.958
18	320.06	731.1722497	-411.1169266	34.950
19	333.30	726.9146809	-393.6107076	26.066
20	345.88	722.4356869	-376.5556393	17.306
21	357.79	717.7366319	-359.9420999	8.673
22	369.06	712.8189474	-343.7621213	0.167
23	375.39	707.6841313	-332.2895336	-9.479
24	376.65	702.3337478	-325.682311	-20.511
25	373.94	696.7694267	-322.8315797	-32.777
26	367.43	690.9928628	-323.5632419	-46.383
27	356.89	685.0058158	-328.1181017	-61.575
28	341.59	678.8101094	-337.221266	-78.794
29	319.69	672.4076308	-352.7204086	-98.977
30	287.29	665.8003304	-378.5152408	-123.878





Lisa 6 LC1, CL=1  
 LC1-CL1  
 Default Company



Report Time: Tuesday, April 28, 2020, 2:06:21 PM  
 Model Name: Recovered model - Vakroom\_LC1\_2\_CL1 (394358) RhinoAutosave.3dm

*Condition Name=Condition 1,Weight=210.43,LCG=2,325.03,TCG=0.00*

**General Info**

Analysis Type	FreeFloatEquilibrium	Up Direction = Positive_Z Fwd Direction = Positive_X
---------------	----------------------	---

**Surface Meshing Parameters**

Density	1	Minimum edge length	0.0001 mm
Maximum angle	0	Maximum edge length	0 mm
Maximum aspect ratio	0	Max distance, edge to surf.	0 mm
Minimum initial grid quads	0	Jagged seams	FALSE
Refine mesh	TRUE	Simple planes	TRUE

**Load Condition Parameters**

Weight	210.434 kgf
LCG	2325.033 mm
TCG	0.000 mm
VCG	177.8 mm
Fluid Type	Freshwater
Fluid Density	999.000 kg/m <sup>3</sup>
Mirror Geometry	FALSE

**Resultant Model Attitude**

Heel Angle	-0.001 deg	Sinkage	-82.081 mm
Trim Angle	2.559 deg		

**Overall Dimensions**

Length Overall, LOA	4220.289 mm	Loa / Boa	3.367
Beam Overall, Boa	1253.410 mm	Boa / D	2.215
Depth Overall, D	565.930 mm		

**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3905.256 mm	Lwl / Bwl	4.001
Waterline Beam, Bwl	975.967 mm	Bwl / T	5.423
Navigational Draft, T	179.967 mm	D / T	3.145

**Volumetric Values**

Displacement Weight	210.434 kgf	Displ-Length Ratio	98.469
Volume	0.211 m <sup>3</sup>		
LCB	2334.223 mm	FB/Lwl	0.400
TCB	0.003 mm	AB/Lwl	0.600
VCB	-27.904 mm	TCB / Bwl	0.000
Wetted Surface Area	2.983 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	52.361 N-m/cm		

**Waterplane Values**

Waterplane Area, Awp	2.664 m <sup>2</sup>		
LCF	1968.189 mm	FF/Lwl	0.494
TCF	0.001 mm	AF/Lwl	0.506
Weight To Immerse	26.613 kgf/cm	TCF / Lwl	0.000

**Sectional Parameters**

Ax	0.096 m <sup>2</sup>		
Ax Location	2719.782 mm	Ax Location / Lwl	0.302

**Hull Form Coefficients**

Cb	0.307	Cx	0.545
Cp	0.563	Cwp	0.699
Cvp	0.439	Cws	3.288

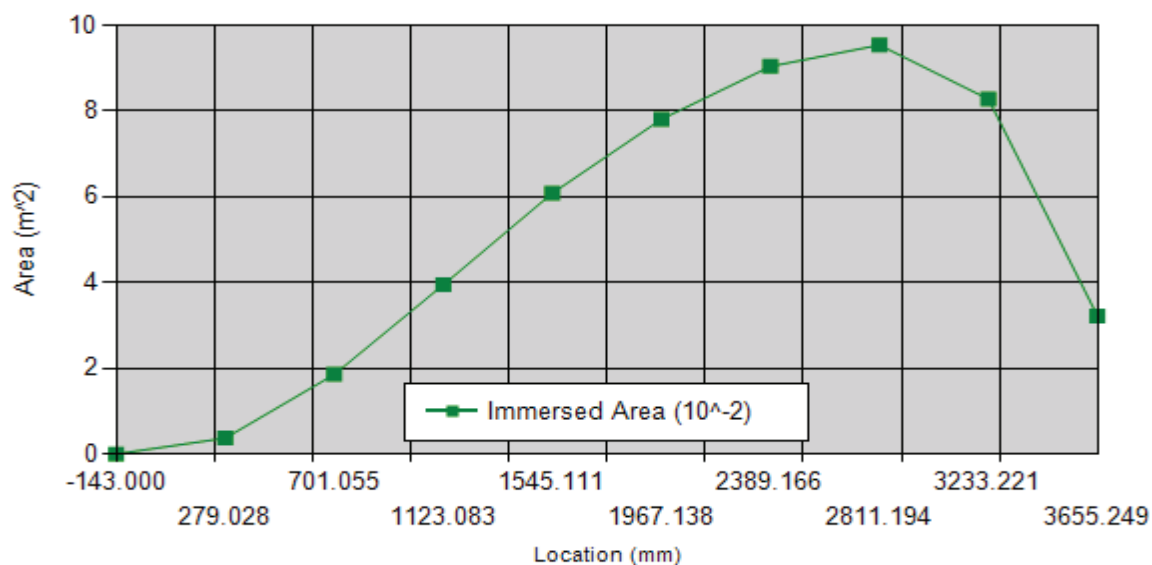
**Static Stability Parameters**

I(transverse)	0.151 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	2.131 m <sup>4</sup>
BMt	717.073 mm	BMI	10114.707 mm
Gmt	511.213 mm	GMI	9908.848 mm
Mt	667.068 mm	MI	10064.702 mm

**Points Of Interest**

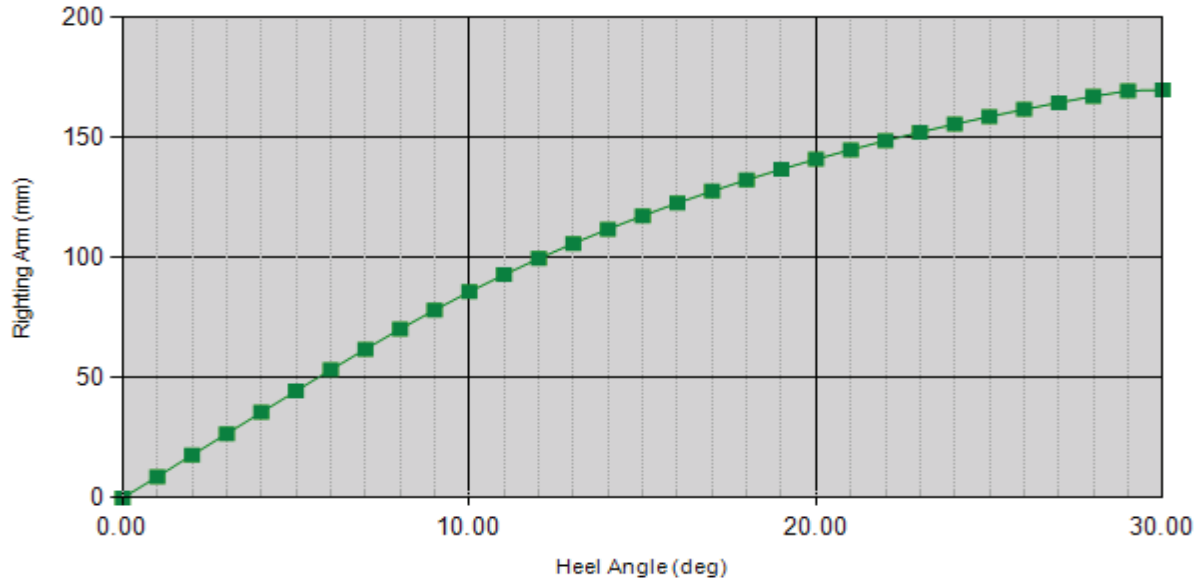
Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
hDR LC1_CL1	2219.014	-610.753	288.791	271.527

### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
-142.877	0.000	0.000
279.150	0.004	305.690
701.178	0.019	622.187
1123.206	0.039	848.751
1545.233	0.061	985.434
1967.261	0.078	1034.109
2389.289	0.090	1027.036
2811.316	0.095	960.113
3233.344	0.083	790.251
3655.372	0.032	472.865

### Stability Curve



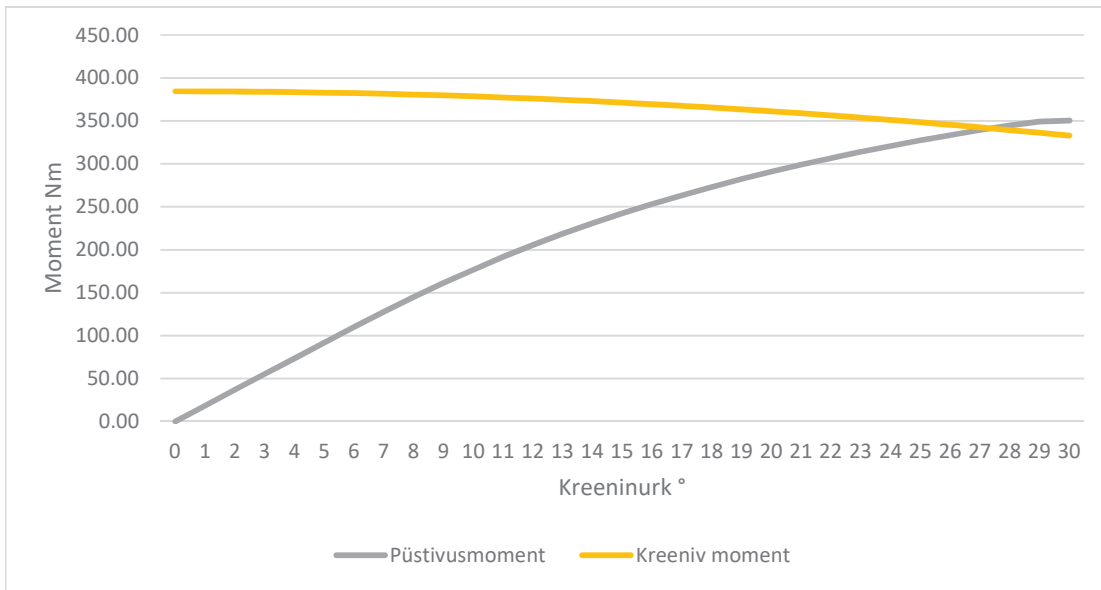
Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	2.559	0.007	0.01	hDR LC1_CL1 271.519
1.000	2.559	8.925	18.42	hDR LC1_CL1 260.868
2.000	2.559	17.843	36.82	hDR LC1_CL1 250.215
3.000	2.559	26.757	55.22	hDR LC1_CL1 239.565
4.000	2.559	35.656	73.58	hDR LC1_CL1 228.924
5.000	2.560	44.519	91.87	hDR LC1_CL1 218.302
6.000	2.565	53.297	109.99	hDR LC1_CL1 207.713
7.000	2.573	61.910	127.76	hDR LC1_CL1 197.174
8.000	2.586	70.238	144.95	hDR LC1_CL1 186.710
9.000	2.605	78.190	161.36	hDR LC1_CL1 176.343
10.000	2.630	85.732	176.92	hDR LC1_CL1 166.086
11.000	2.659	92.854	191.62	hDR LC1_CL1 155.950
12.000	2.694	99.555	205.45	hDR LC1_CL1 145.947
13.000	2.733	105.857	218.45	hDR LC1_CL1 136.083
14.000	2.776	111.787	230.69	hDR LC1_CL1 126.361
15.000	2.823	117.368	242.21	hDR LC1_CL1 116.784
16.000	2.872	122.635	253.08	hDR LC1_CL1 107.350
17.000	2.925	127.593	263.31	hDR LC1_CL1 98.063
18.000	2.981	132.273	272.97	hDR LC1_CL1 88.920
19.000	3.040	136.691	282.08	hDR LC1_CL1 79.920

20.000	3.100	140.865	290.70	hDR LC1_CL1	71.061
21.000	3.163	144.814	298.85	hDR LC1_CL1	62.343
22.000	3.228	148.565	306.59	hDR LC1_CL1	53.760
23.000	3.295	152.097	313.88	hDR LC1_CL1	45.317
24.000	3.364	155.435	320.76	hDR LC1_CL1	37.010
25.000	3.435	158.586	327.27	hDR LC1_CL1	28.837
26.000	3.507	161.559	333.40	hDR LC1_CL1	20.797
27.000	3.581	164.372	339.21	hDR LC1_CL1	12.887
28.000	3.657	167.014	344.66	hDR LC1_CL1	5.111
29.000	3.734	169.259	349.29	hDR LC1_CL1	-2.791
30.000	3.811	169.694	350.19	hDR LC1_CL1	-12.512

**Lisa 7 LC1, CL=1**

BC	1.2
CL	1
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692
$\phi(0)$	<b>25</b>
Nõutud vabap:	10

Kreen	Püstivusmoment [Lisa 6]	Kreeniv moment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 6]
0	0.01	384.4	-384.3855102	271.519
1	18.42	384.341454	-365.9241786	260.868
2	36.82	384.1658339	-347.3450774	250.215
3	55.22	383.8731932	-328.65678	239.565
4	73.58	383.4636209	-309.8812418	228.924
5	91.87	382.9372419	-291.0659877	218.302
6	109.99	382.2942166	-272.3080396	207.713
7	127.76	381.5347407	-253.7741432	197.174
8	144.95	380.6590456	-235.7118326	186.710
9	161.36	379.6673981	-218.3097053	176.343
10	176.92	378.5601003	-201.6388491	166.086
11	191.62	377.3374893	-185.7197989	155.950
12	205.45	375.9999377	-170.5535348	145.947
13	218.45	374.5478529	-156.0948981	136.083
14	230.69	372.9816772	-142.2928052	126.361
15	242.21	371.3018876	-129.0959874	116.784
16	253.08	369.5089959	-116.4328847	107.350
17	263.31	367.6035482	-104.2950277	98.063
18	272.97	365.5861249	-92.62087319	88.920
19	282.08	363.4573405	-81.37533283	79.920
20	290.70	361.2178434	-70.52137265	71.061
21	298.85	358.8683159	-60.0224214	62.343
22	306.59	356.4094737	-49.82332086	53.760
23	313.88	353.8420657	-39.96684426	45.317
24	320.76	351.1668739	-30.40355269	37.010
25	327.27	348.3847133	-21.11776438	28.837
26	333.40	345.4964314	-12.09490449	20.797
27	339.21	342.5029079	-3.296227031	12.887
28	344.66	339.4050547	5.254824982	5.111
29	349.29	336.2038154	13.08796937	-2.791
30	350.19	332.9001652	17.28852537	-12.512





**Lisa 8 LC2, CL=1**

LC2-CL1

Default Company



Report Time: Tuesday, April 28, 2020, 1:49:16 PM

Model Name: Recovered model - Vakroom\_LC1\_2\_CL1 (394358) RhinoAutosave.3dm

*Condition Name=Condition 1,Weight=210.43,LCG=1,517.97,TCG=0.00*

**General Info**

Analysis Type	FreeFloatEquilibrium	Up Direction = Positive_Z
		Fwd Direction = Positive_X

**Surface Meshing Parameters**

Density	1	Minimum edge length	0.0001 mm
Maximum angle	0	Maximum edge length	0 mm
Maximum aspect ratio	0	Max distance, edge to surf.	0 mm
Minimum initial grid quads	0	Jagged seams	FALSE
Refine mesh	TRUE	Simple planes	TRUE

**Load Condition Parameters**

Weight	210.434 kgf
LCG	1517.971 mm
TCG	0.000 mm
VCG	177.7 mm
Fluid Type	Freshwater
Fluid Density	999.000 kg/m <sup>3</sup>
Mirror Geometry	FALSE

**Resultant Model Attitude**

Heel Angle	0.001 deg	Sinkage	-1.204 mm
Trim Angle	0.038 deg		

**Overall Dimensions**

Length Overall, LOA	4216.579 mm	Loa / Boa	3.364
Beam Overall, Boa	1253.410 mm	Boa / D	1.827
Depth Overall, D	685.869 mm		

**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3841.709 mm	Lwl / Bwl	3.899
Waterline Beam, Bwl	985.247 mm	Bwl / T	6.643
Navigational Draft, T	148.323 mm	D / T	4.624

**Volumetric Values**

Displacement Weight	210.434 kgf	Displ-Length Ratio	103.436
Volume	0.211 m <sup>3</sup>		
LCB	1518.122 mm	FB/Lwl	0.594
TCB	-0.004 mm	TCB / Bwl	0.000
VCB	-46.754 mm		
Wetted Surface Area	3.003 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	55.802 N-m/cm		

**Waterplane Values**

Waterplane Area, Awp	2.712 m <sup>2</sup>		
LCF	1793.776 mm	FF/Lwl	0.523
TCF	-0.005 mm	TCF / Lwl	0.000
Weight To Immerse	27.094 kgf/cm	AF/Lwl	0.477

**Sectional Parameters**

Ax	0.091 m <sup>2</sup>		
Ax Location	1218.702 mm	Ax Location / Lwl	0.672

**Hull Form Coefficients**

Cb	0.375	Cx	0.623
Cp	0.602	Cwp	0.717
Cvp	0.524	Cws	3.338

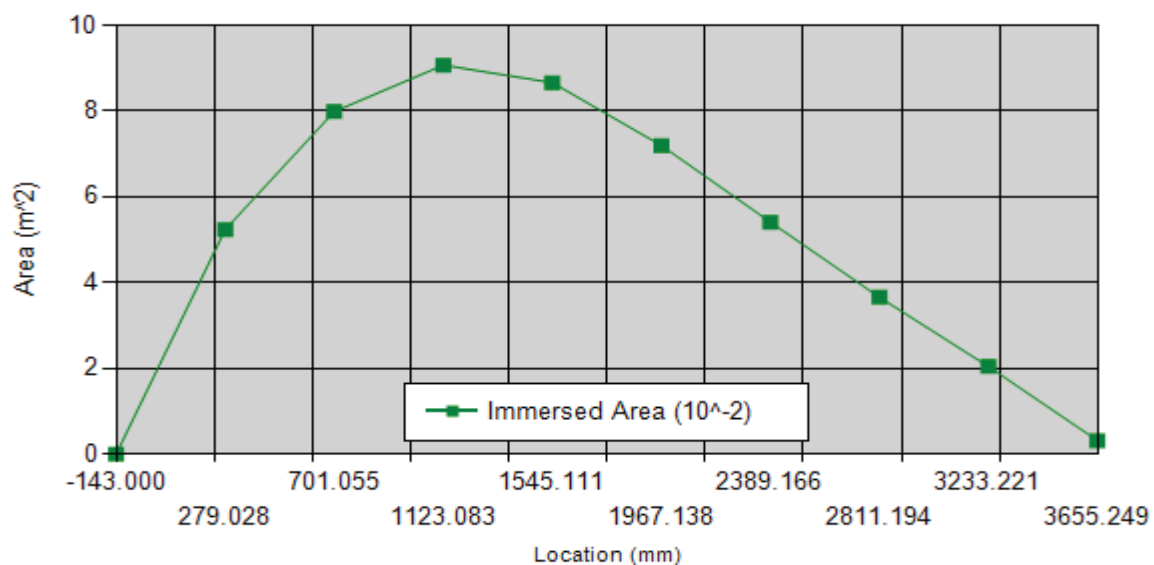
**Static Stability Parameters**

I(transverse)	0.154 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	2.236 m <sup>4</sup>
BMt	731.828 mm	BMI	10612.674 mm
GMt	507.325 mm	GMI	10388.170 mm
Mt	685.257 mm	MI	10566.103 mm

**Points Of Interest**

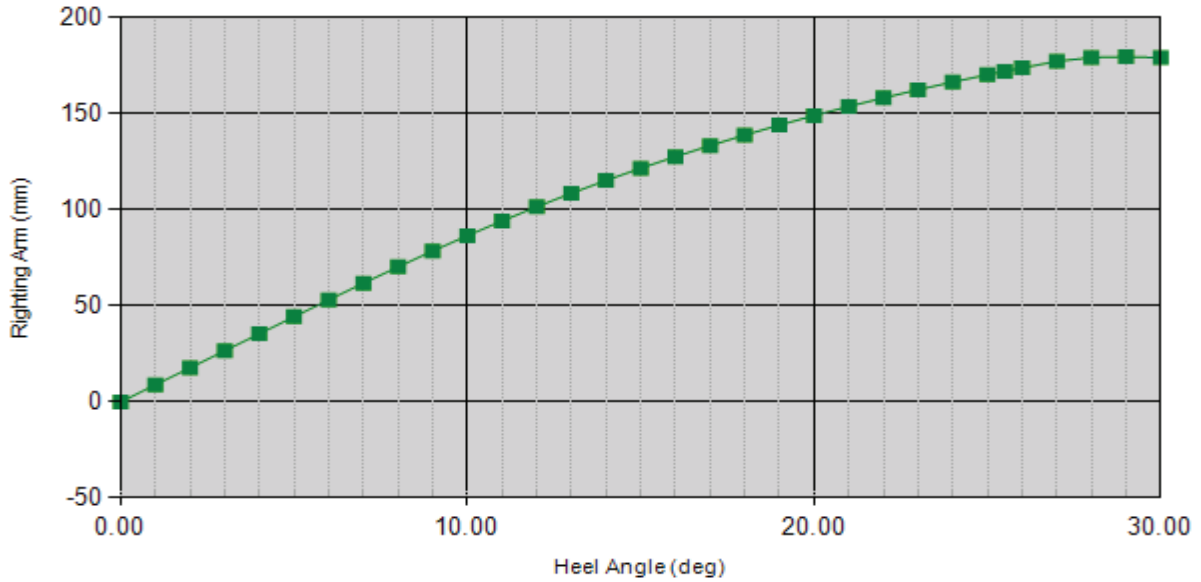
Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
hDR LC2_CL1	1431.006	-619.527	259.452	259.683

### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
-142.877	0.000	0.000
279.150	0.052	617.003
701.178	0.080	847.488
1123.206	0.091	997.141
1545.233	0.087	1053.413
1967.261	0.072	1017.902
2389.289	0.054	928.916
2811.316	0.037	789.511
3233.344	0.020	556.103
3655.372	0.003	167.401

### Stability Curve



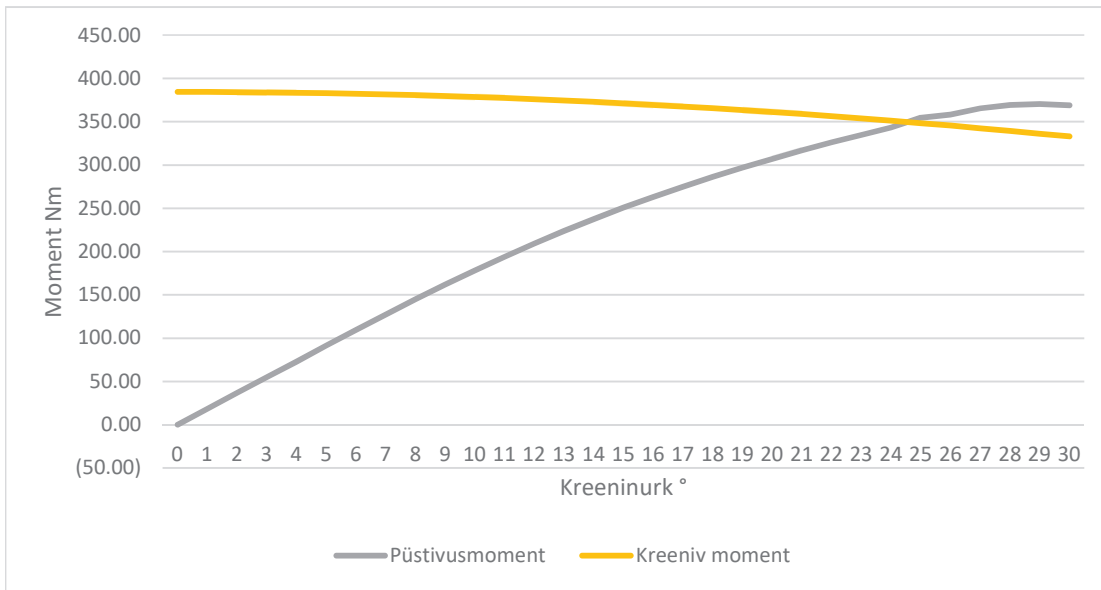
Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	0.038	-0.009	(0.02)	hDR LC2_CL1 259.694
1.000	0.038	8.847	18.26	hDR LC2_CL1 248.888
2.000	0.038	17.705	36.54	hDR LC2_CL1 238.111
3.000	0.038	26.555	54.80	hDR LC2_CL1 227.374
4.000	0.038	35.387	73.03	hDR LC2_CL1 216.677
5.000	0.038	44.198	91.21	hDR LC2_CL1 206.020
6.000	0.036	52.983	109.34	hDR LC2_CL1 195.405
7.000	0.032	61.660	127.25	hDR LC2_CL1 184.849
8.000	0.026	70.148	144.76	hDR LC2_CL1 174.373
9.000	0.016	78.396	161.78	hDR LC2_CL1 163.991
10.000	0.003	86.366	178.23	hDR LC2_CL1 153.718
11.000	-0.013	94.027	194.04	hDR LC2_CL1 143.566
12.000	-0.031	101.362	209.18	hDR LC2_CL1 133.546
13.000	-0.051	108.362	223.62	hDR LC2_CL1 123.666
14.000	-0.073	115.033	237.39	hDR LC2_CL1 113.930
15.000	-0.096	121.383	250.49	hDR LC2_CL1 104.341
16.000	-0.120	127.423	262.96	hDR LC2_CL1 94.900
17.000	-0.145	133.167	274.81	hDR LC2_CL1 85.606
18.000	-0.172	138.631	286.09	hDR LC2_CL1 76.458
19.000	-0.198	143.833	296.82	hDR LC2_CL1 67.454

20.000	-0.226	148.779	307.03	hDR LC2_CL1	58.594
21.000	-0.254	153.480	316.73	hDR LC2_CL1	49.873
22.000	-0.284	157.942	325.94	hDR LC2_CL1	41.293
23.000	-0.314	162.173	334.67	hDR LC2_CL1	32.851
24.000	-0.345	166.181	342.94	hDR LC2_CL1	24.544
25.000	-0.377	169.970	350.76	hDR LC2_CL1	16.374
25.500	-0.394	171.784	354.50	hDR LC2_CL1	12.340
26.000	-0.411	173.546	358.14	hDR LC2_CL1	8.340
27.000	-0.446	176.915	365.09	hDR LC2_CL1	0.442
28.000	-0.494	178.910	369.21	hDR LC2_CL1	-8.396
29.000	-0.557	179.417	370.25	hDR LC2_CL1	-18.491
30.000	-0.631	178.811	369.00	hDR LC2_CL1	-29.680

**Lisa 9 LC2, CL=1**

BC	1.2
CL	1
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692
$\phi(0)$	<b>25</b>
Nõutud vabap:	10

Kreen	Püstivusmoment [Lisa 8]	Kreeniv moment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 8]
0	(0.02)	384.4	-384.4188784	259.694
1	18.26	384.341454	-366.0840301	248.888
2	36.54	384.1658339	-347.6284218	238.111
3	54.80	383.8731932	-329.0719425	227.374
4	73.03	383.4636209	-310.4367726	216.677
5	91.21	382.9372419	-291.7280456	206.020
6	109.34	382.2942166	-272.9563685	195.405
7	127.25	381.5347407	-254.2891089	184.849
8	144.76	380.6590456	-235.8976026	174.373
9	161.78	379.6673981	-217.8855064	163.991
10	178.23	378.5601003	-200.3314762	153.718
11	194.04	377.3374893	-183.2975019	143.566
12	209.18	375.9999377	-166.8241494	133.546
13	223.62	374.5478529	-150.9255126	123.666
14	237.39	372.9816772	-135.5936482	113.930
15	250.49	371.3018876	-120.8104075	104.341
16	262.96	369.5089959	-106.5531094	94.900
17	274.81	367.6035482	-92.79341958	85.606
18	286.09	365.5861249	-79.49946391	76.458
19	296.82	363.4573405	-66.63663215	67.454
20	307.03	361.2178434	-54.19059586	58.594
21	316.73	358.8683159	-42.1378908	49.873
22	325.94	356.4094737	-30.47235841	41.293
23	334.67	353.8420657	-19.1735207	32.851
24	342.94	351.1668739	-8.227879574	24.544
25	354.50	348.3847133	6.117908506	12.340
26	358.14	345.4964314	12.64158414	<b>8.340</b>
27	365.09	342.5029079	22.58744539	<b>0.442</b>
28	369.21	339.4050547	29.80402432	<b>-8.396</b>
29	370.25	336.2038154	34.05061497	<b>-18.491</b>
30	369.00	332.9001652	36.1044692	<b>-29.680</b>



Lisa 10 LC1, CL=2, BC=1.5

1.1y LC2

Default Company



Report Time: Wednesday, April 29, 2020, 10:50:42 AM

Model Name: C:\Users\kalev\Google Drive\Kool\Löputöö\VAKROOM\Vakroom\_x11\_LC1\_2\_CL2.3dm

Condition Name=Condition 1,Weight=308.45,LCG=2,490.10,TCG=0.00

### General Info

Analysis Type	FreeFloatEquilibrium	Up Direction = Positive_Z
		Fwd Direction = Positive_X

### Surface Meshing Parameters

Density	1	Minimum edge length	0.0001 mm
Maximum angle	0	Maximum edge length	0 mm
Maximum aspect ratio	0	Max distance, edge to surf.	0 mm
Minimum initial grid quads	0	Jagged seams	FALSE
Refine mesh	TRUE	Simple planes	TRUE

### Load Condition Parameters

Weight	308.446 kgf
LCG	2490.095 mm
TCG	0.000 mm
VCG	176.5 mm
Fluid Type	Freshwater
Fluid Density	999.000 kg/m <sup>3</sup>
Mirror Geometry	FALSE

### Resultant Model Attitude

Heel Angle	0.000 deg	Sinkage	-214.508 mm
Trim Angle	4.580 deg		

### Overall Dimensions

Length Overall, LOA	4220.148 mm	Loa / Boa	2.783
Beam Overall, Boa	1516.626 mm	Boa / D	2.424
Depth Overall, D	625.695 mm		



**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3406.566 mm	Lwl / Bwl	2.848
Waterline Beam, Bwl	1195.976 mm	Bwl / T	4.775
Navigational Draft, T	250.484 mm	D / T	2.498

**Volumetric Values**

Displacement Weight	308.446 kgf	Displ-Length Ratio	217.450
Volume	0.309 m <sup>3</sup>		
LCB	2510.883 mm	FB/Lwl	0.416
TCB	0.000 mm	AB/Lwl	0.584
VCB	-82.990 mm	TCB / Bwl	0.000
Wetted Surface Area	3.454 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	55.532 N-m/cm		

**Waterplane Values**

Waterplane Area, Awp	3.032 m <sup>2</sup>		
LCF	2116.461 mm	FF/Lwl	0.532
TCF	0.000 mm	AF/Lwl	0.468
Weight To Immerse	30.290 kgf/cm	TCF / Lwl	0.000

**Sectional Parameters**

Ax	0.158 m <sup>2</sup>		
Ax Location	2860.792 mm	Ax Location / Lwl	0.314

**Hull Form Coefficients**

Cb	0.303	Cx	0.526
Cp	0.575	Cwp	0.744
Cvp	0.407	Cws	3.368

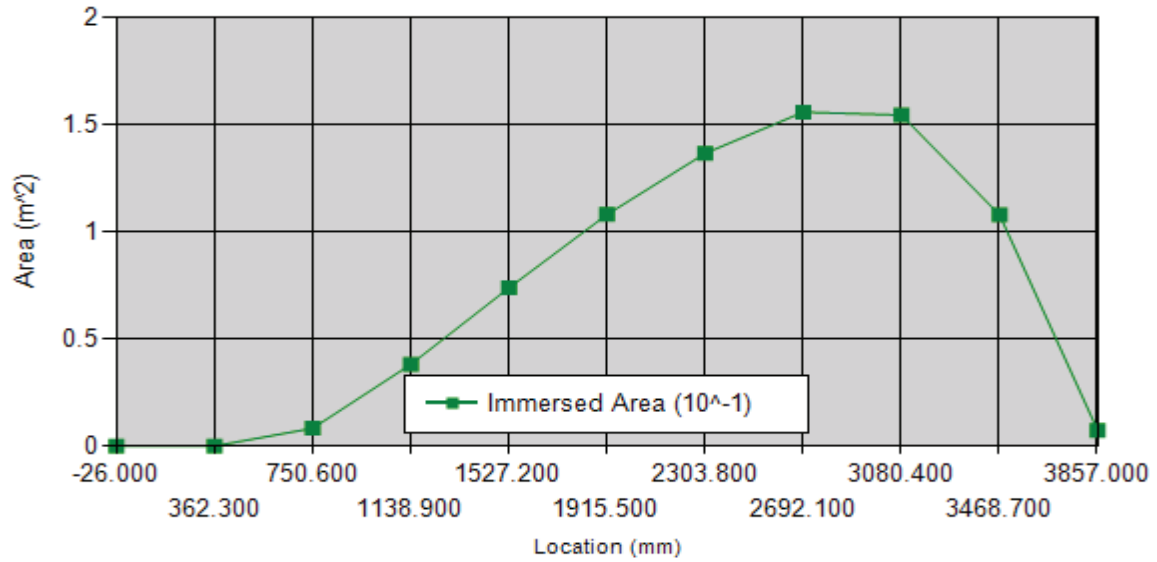
**Static Stability Parameters**

I(transverse)	0.268 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	2.011 m <sup>4</sup>
BMt	867.456 mm	BMI	6514.401 mm
Gmt	607.141 mm	GMI	6254.086 mm
Mt	798.732 mm	MI	6445.678 mm

**Points Of Interest**

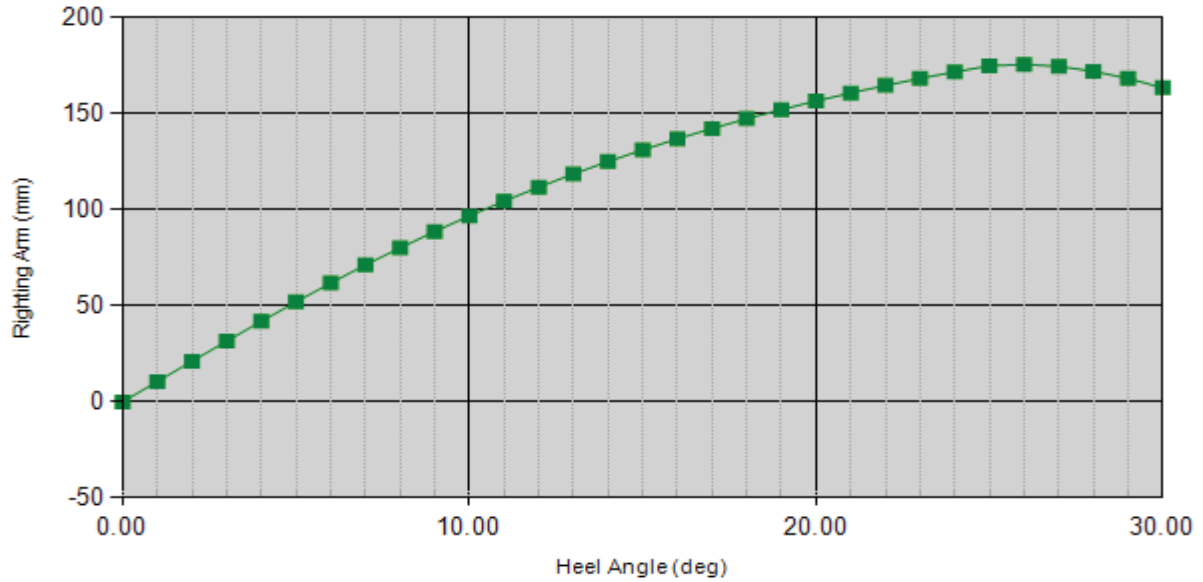
Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
New POI	2558.538	-699.198	266.656	276.000

### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
-25.000	0.000	0.000
363.300	0.000	0.000
751.600	0.008	689.553
1139.900	0.038	986.946
1528.200	0.074	1165.079
1916.500	0.108	1252.548
2304.800	0.136	1276.921
2693.100	0.156	1237.916
3081.400	0.154	1108.716
3469.700	0.108	836.220
3858.000	0.007	301.184

### Stability Curve



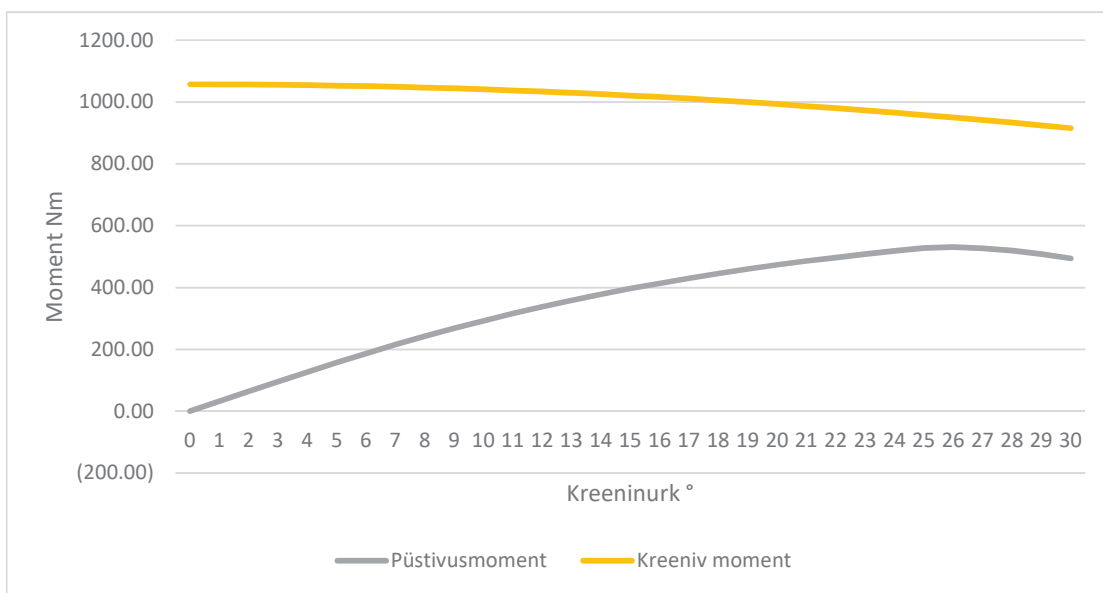
Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	4.580	0.000	(0.00)	New POI 276.000
1.000	4.578	10.572	31.98	New POI 263.851
2.000	4.578	21.112	63.86	New POI 251.720
3.000	4.586	31.564	95.47	New POI 239.596
4.000	4.601	41.861	126.62	New POI 227.491
5.000	4.624	51.937	157.10	New POI 215.424
6.000	4.654	61.719	186.69	New POI 203.408
7.000	4.694	71.125	215.14	New POI 191.454
8.000	4.755	80.018	242.04	New POI 179.560
9.000	4.812	88.557	267.87	New POI 167.790
10.000	4.877	96.657	292.37	New POI 156.137
11.000	4.949	104.324	315.56	New POI 144.612
12.000	5.027	111.571	337.48	New POI 133.225
13.000	5.109	118.423	358.21	New POI 121.985
14.000	5.198	124.875	377.73	New POI 110.896
15.000	5.291	130.954	396.11	New POI 99.962
16.000	5.389	136.674	413.41	New POI 89.185
17.000	5.491	142.054	429.69	New POI 78.567
18.000	5.596	147.112	444.99	New POI 68.110
19.000	5.703	151.882	459.42	New POI 57.813

20.000	5.814	156.340	472.90	New POI	47.674
21.000	5.928	160.517	485.54	New POI	37.693
22.000	6.044	164.425	497.36	New POI	27.869
23.000	6.161	168.089	508.44	New POI	18.200
24.000	6.282	171.497	518.75	New POI	8.687
25.000	6.405	174.568	528.04	New POI	-0.766
26.000	6.548	175.356	530.42	New POI	-11.996
27.000	6.704	174.304	527.24	New POI	-24.858
28.000	6.861	171.810	519.69	New POI	-39.194
29.000	7.013	168.078	508.41	New POI	-54.958
30.000	7.157	163.198	493.64	New POI	-72.115

**Lisa 11 LC1, CL=2, BC=1.5, muudetud**

BC	1.5
CL	2
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692 ei kehti D katmata tekiga
$\phi(0)$	
Nõutud vabap:	10

Kreen	Püstivusmoment [Lisa 10]	Kreeniv moment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 10]
0	(0.00)	1057.1	-1057.100001	276.000
1	31.98	1056.938999	-1024.962018	263.851
2	63.86	1056.456043	-992.5959112	251.720
3	95.47	1055.651281	-960.1766984	239.596
4	126.62	1054.524958	-927.9028552	227.491
5	157.10	1053.077415	-895.9759477	215.424
6	186.69	1051.309096	-864.6210477	203.408
7	215.14	1049.220537	-834.0787808	191.454
8	242.04	1046.812375	-804.7707456	179.560
9	267.87	1044.085345	-776.2174794	167.790
10	292.37	1041.040276	-748.6710862	156.137
11	315.56	1037.678096	-722.1166728	144.612
12	337.48	1033.999829	-696.5177951	133.225
13	358.21	1030.006595	-671.7978055	121.985
14	377.73	1025.699612	-647.9740194	110.896
15	396.11	1021.080191	-624.9672661	99.962
16	413.41	1016.149739	-602.7352744	89.185
17	429.69	1010.909758	-581.2231256	78.567
18	444.99	1005.361843	-560.3734439	68.110
19	459.42	999.5076863	-540.0919923	57.813
20	472.90	993.3490694	-520.4469748	47.674
21	485.54	986.8878689	-501.3526028	37.693
22	497.36	980.1260527	-482.7702491	27.869
23	508.44	973.0656806	-464.6273714	18.200
24	518.75	965.7089033	-446.961071	8.687
25	528.04	958.0579617	-430.0217233	-0.766
26	530.42	950.1151863	-419.6931613	-11.996
27	527.24	941.8829967	-414.6445003	-24.858
28	519.69	933.3639004	-413.6704979	-39.194
29	508.41	924.5604924	-416.1533662	-54.958
30	493.64	915.4754543	-421.8305044	-72.115



**Lisa 12 LC2, CL=2, BC=1.5**

1.1y LC2

Default Company



Report Time: Wednesday, April 29, 2020, 9:51:31 AM

Model Name: C:\Users\kalev\Google Drive\Kool\Löputöö\VAKROOM\Vakroom\_x11\_LC1\_2\_CL2.3dm

*Condition Name=Condition 1,Weight=308.45,LCG=1,387.80,TCG=0.00*

**General Info**

Analysis Type          FreeFloatEquilibrium          Up Direction = Positive\_Z  
Fwd Direction = Positive\_X

**Surface Meshing Parameters**

Density	1	Minimum edge length	0.0001 mm
Maximum angle	0	Maximum edge length	0 mm
Maximum aspect ratio	0	Max distance, edge to surf.	0 mm
Minimum initial grid quads	0	Jagged seams	FALSE
Refine mesh	TRUE	Simple planes	TRUE

**Load Condition Parameters**

Weight	308.446 kgf
LCG	1387.796 mm
TCG	0.000 mm
VCG	176.5 mm
Fluid Type	Freshwater
Fluid Density	999.000 kg/m <sup>3</sup>
Mirror Geometry	FALSE

**Resultant Model Attitude**

Heel Angle	0.000 deg	Sinkage	37.207 mm
Trim Angle	-3.019 deg		

**Overall Dimensions**

Length Overall, LOA	4220.148 mm	Loa / Boa	2.783
Beam Overall, Boa	1516.626 mm	Boa / D	2.424
Depth Overall, D	625.695 mm		

**Waterline Dimensions**

Waterline Length, Lwl	3789.933 mm	Lwl / Bwl	3.128
Waterline Beam, Bwl	1211.691 mm	Bwl / T	5.886
Navigational Draft, T	205.851 mm	D / T	3.040

**Volumetric Values**

Displacement Weight	308.446 kgf	Displ-Length Ratio	157.912
Volume	0.309 m <sup>3</sup>		
LCB	1373.430 mm	FB/Lwl	0.623
TCB	0.000 mm	AB/Lwl	0.377
VCB	-95.882 mm	TCB / Bwl	0.000
Wetted Surface Area	3.670 m <sup>2</sup>		
Moment To Trim	68.296 N-m/cm		

**Waterplane Values**

Waterplane Area, Awp	3.325 m <sup>2</sup>		
LCF	1734.129 mm	FF/Lwl	0.528
TCF	0.000 mm	AF/Lwl	0.472
Weight To Immerse	33.221 kgf/cm	TCF / Lwl	0.000

**Sectional Parameters**

Ax	0.144 m <sup>2</sup>		
Ax Location	1106.184 mm	Ax Location / Lwl	0.694

**Hull Form Coefficients**

Cb	0.327	Cx	0.576
Cp	0.567	Cwp	0.724
Cvp	0.451	Cws	3.393

**Static Stability Parameters**

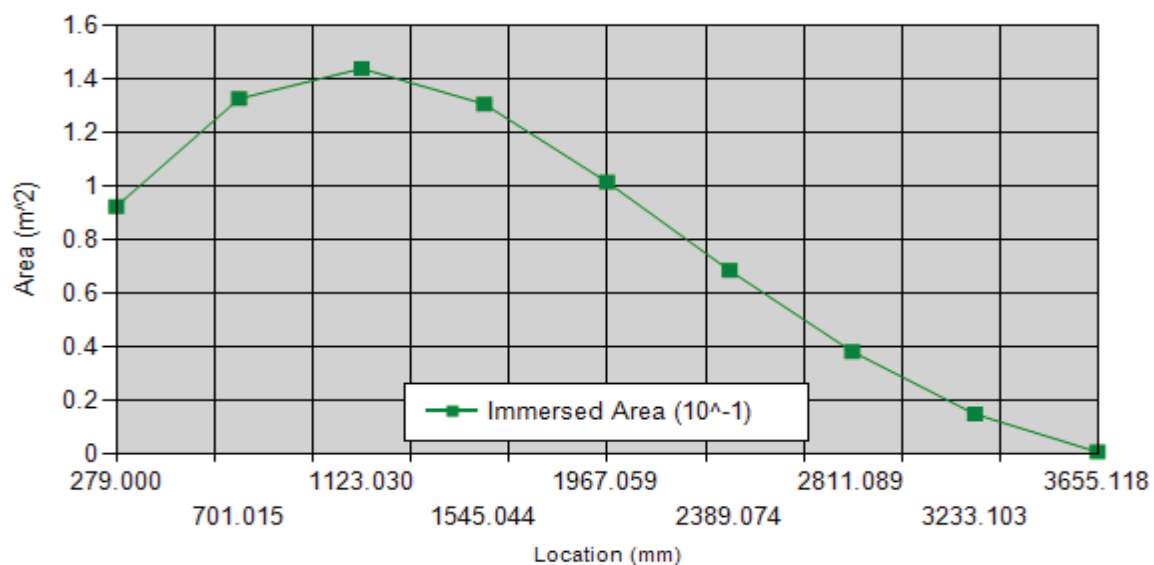
I(transverse)	0.286 m <sup>4</sup>	I(longitudinal)	2.726 m <sup>4</sup>
BMt	925.400 mm	BMI	8829.827 mm
GMt	652.645 mm	GMI	8557.072 mm
Mt	864.783 mm	MI	8769.210 mm

**Points Of Interest**

Name	Long'l (mm)	Transv (mm)	Vert (mm)	Dist Abv WL (mm)
hDR LC2	1311.692	-739.187	234.603	266.158

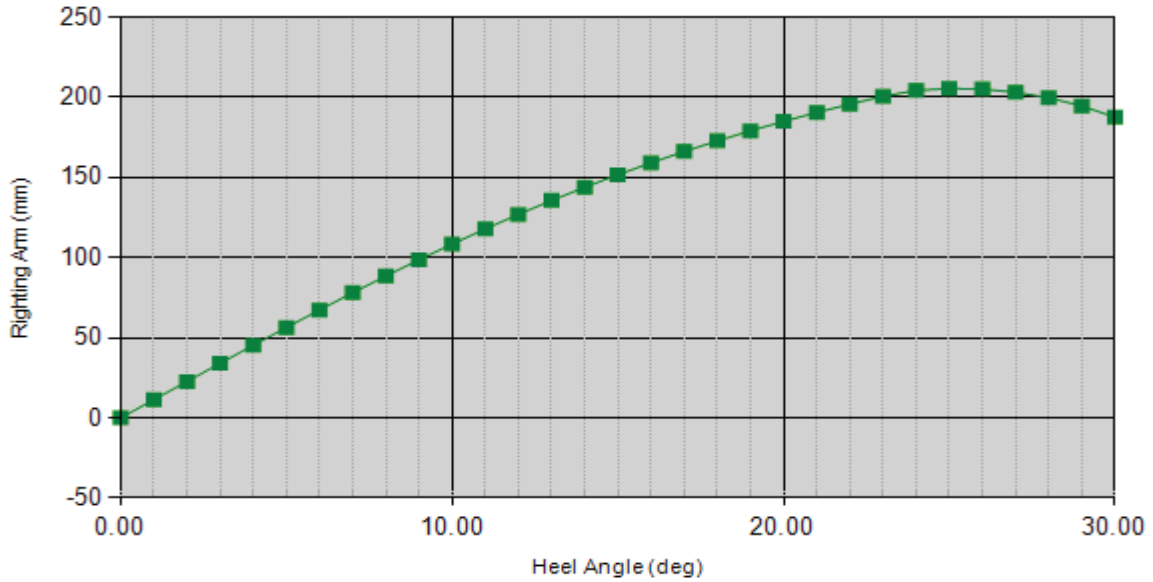


### Station Data



Location (mm)	Immersed Area (m <sup>2</sup> )	Immersed Girth (mm)
279.220	0.092	830.547
701.235	0.133	1085.517
1123.249	0.144	1245.702
1545.264	0.131	1296.231
1967.279	0.101	1235.236
2389.294	0.068	1108.023
2811.309	0.038	917.483
3233.323	0.015	596.840
3655.338	0.001	81.599

### Stability Curve



Heel(deg)	Trim(deg)	Righting Arm (mm)	Righting Moment (N-	Point Name and Distance
0.000	-3.019	0.000	(0.00)	hDR LC2 266.158
1.000	-3.012	11.366	34.38	hDR LC2 253.425
2.000	-3.010	22.715	68.71	hDR LC2 240.685
3.000	-3.008	34.036	102.95	hDR LC2 228.019
4.000	-3.007	45.277	136.96	hDR LC2 215.432
5.000	-3.008	56.375	170.52	hDR LC2 202.936
6.000	-3.016	67.294	203.55	hDR LC2 190.502
7.000	-3.030	78.003	235.94	hDR LC2 178.137
8.000	-3.043	88.441	267.52	hDR LC2 165.959
9.000	-3.060	98.585	298.20	hDR LC2 153.925
10.000	-3.079	108.398	327.88	hDR LC2 142.047
11.000	-3.102	117.851	356.48	hDR LC2 130.332
12.000	-3.127	126.917	383.90	hDR LC2 118.789
13.000	-3.154	135.576	410.09	hDR LC2 107.423
14.000	-3.184	143.821	435.03	hDR LC2 96.238
15.000	-3.216	151.656	458.73	hDR LC2 85.236
16.000	-3.249	159.085	481.20	hDR LC2 74.416
17.000	-3.285	166.115	502.47	hDR LC2 63.777
18.000	-3.322	172.756	522.56	hDR LC2 53.318
19.000	-3.360	179.017	541.50	hDR LC2 43.037

20.000	-3.400	184.910	559.32	hDR LC2	32.932
21.000	-3.441	190.447	576.07	hDR LC2	23.000
22.000	-3.484	195.639	591.77	hDR LC2	13.240
23.000	-3.528	200.498	606.47	hDR LC2	3.652
24.000	-3.583	204.195	617.65	hDR LC2	-6.438
25.000	-3.664	205.442	621.42	hDR LC2	-18.239
26.000	-3.765	204.996	620.08	hDR LC2	-31.396
27.000	-3.888	203.038	614.15	hDR LC2	-45.935
28.000	-4.036	199.569	603.66	hDR LC2	-62.007
29.000	-4.217	194.470	588.24	hDR LC2	-79.838
30.000	-4.448	187.478	567.09	hDR LC2	-99.767

**Lisa 13 LC2, CL=2, BC=1.5**

BC	1.5
CL	2
LH	4.2
$\phi(\max)$	26.42767692 ei kehti D katmata tekiga
$\phi(0)$	
Nõutud vabap:	10

Kreen	Püstivusmoment [Lisa 12]	Kreeniv moment	$\Delta M$	Vabaparda kõrgus [Lisa 12]
0	(0.00)	1057.1	-1057.100001	266.158
1	34.38	1056.938999	-1022.55984	253.425
2	68.71	1056.456043	-987.7466833	240.685
3	102.95	1055.651281	-952.699463	228.019
4	136.96	1054.524958	-917.5694489	215.432
5	170.52	1053.077415	-882.5544753	202.936
6	203.55	1051.309096	-847.7580287	190.502
7	235.94	1049.220537	-813.2755536	178.137
8	267.52	1046.812375	-779.29461	165.959
9	298.20	1044.085345	-745.8845725	153.925
10	327.88	1041.040276	-713.1553112	142.047
11	356.48	1037.678096	-681.1995829	130.332
12	383.90	1033.999829	-650.0986943	118.789
13	410.09	1030.006595	-619.9119769	107.423
14	435.03	1025.699612	-590.6656404	96.238
15	458.73	1021.080191	-562.3489311	85.236
16	481.20	1016.149739	-534.94705	74.416
17	502.47	1010.909758	-508.4406929	63.777
18	522.56	1005.361843	-482.8058677	53.318
19	541.50	999.5076863	-458.0121721	43.037
20	559.32	993.3490694	-434.0277803	32.932
21	576.07	986.8878689	-410.819183	23.000
22	591.77	980.1260527	-388.3531638	13.240
23	606.47	973.0656806	-366.5943384	3.652
24	617.65	965.7089033	-348.0564497	-6.438
25	621.42	958.0579617	-336.6331183	-18.239
26	620.08	950.1151863	-330.037831	-31.396
27	614.15	941.8829967	-327.728825	-45.935
28	603.66	933.3639004	-329.7044296	-62.007
29	588.24	924.5604924	-336.322097	-79.838
30	567.09	915.4754543	-348.3882885	-99.767

