Vizualizacija i izračun hidrostatičkih karakteristika triangularizirane forme broda primjenom programa otvorenog koda linaetal-fsb/d3v

Erhardt, Luka Josip

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Luka Josip Erhardt

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Izv. prof. dr. sc. Pero Prebeg

Student:

Luka Josip Erhardt

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentorima dr.sc. Peri Prebegu i mag.ing. Ivanu Muniću na pomoći i strpljenju.

Također se želim zahvaliti svojoj djevojci Nini, roditeljima i prijateljima na motivaciji i podršci.

Luka Josip Erhardt

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija brodogradnje

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Luka Josip Erhardt** Mat. br.: 0035201915

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Vizualizacija i izračun hidrostatičkih karakteristika triangularizirane forme broda primjenom programa otvorenog koda linaetal-fsb/d3v**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Use of open source program linaetal-fsb/d3v for ship hull form visualization and hydrostatic characteristics calculation**

Opis zadatka:

Analitičko zadavanje forme broda ima široku primjenu u ranim fazama projektiranja broda jer omogućuje jednostavno modificiranje forme broda putem promjene manjeg broja parametara. Program otvorenog koda linaetal-fsb/d3v temeljen je na *Qt for Python* tehnologiji, koja omogućuje trodimenzijsku (3D) vizualizaciju geometrijskih entiteta primjenom *OpenGL* tehnologije te jednostavno definiranje grafičkog sučelja za pojedine specifične namjene. U radu je potrebno, proširenjem funkcionalnosti programa otvorenog koda linaetal-fsb/d3v u programskom jeziku Python, omogućiti grafičku kontrolu parametara analitički zadane forme broda, vizualizaciju trenutne forme primjenom adekvatne triangularizacije te izračun hidrostatičkih karakteristika triangularizirane forme broda.

Zadatak obuhvaća sljedeće:

- upoznavanje s programom otvorenog koda linaetal-fsb/d3v
- odabir hidrostatičkih karakteristika forme bez privjesaka za koje će se izraditi matematički model, a koje minimalno moraju uključiti karakteristike vidljive na uobičajenom dijagramnom listu
- upoznavanje s parametarskim modeliranjem forme trupa i nadgrađa fregate putem analitički zadanih brodskih linija
- izradu Python modula za analitičko definiranje forme trupa broda i njenu transformaciju putem manjeg broja parametara prema zadanoj literaturi i postojećem, dostupnom programskom kodu slične namjene
- izradu Python modula koji omogućuje triangularizaciju forme broda temeljem analitički zadane forme trupa i nadgrađa
- izradu Python modula za izračun odabranih hidrostatičkih karakteristika triangularizirane forme
- izradu Python modula koji omogućuje 3D vizualizaciju triangularizirane forme broda u programu otvorenog koda linaetal-fsb/d3v
- izradu Python modula koji omogućuje grafičku kontrolu parametara analitički zadane forme broda u programu otvorenog koda linaetal-fsb/d3v te 3D vizualizaciju trenutne forme broda.

U radu treba navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:
1. rok: 21. veljače 2020.
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.
3. rok: 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:
Doc. dr. sc. Pero Prebeg

Predsjednica Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Nastia Degiuli

SADRŽAJ

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
LOA	[m]	duljina preko svega (length overall)
BOA	[m]	širina preko svega (breadth overall)
T	[m]	gaz
KM_L	[m]	visina uzdužnog metacentra iznad osnovice
KM_0	[m]	visina poprečnog metacentra iznad osnovice
X_{CG}	[m]	uzdužni položaj težišta istisnine
A_{WL}	[m^2]	površina vodne linije
X_{WL}	[m]	uzdužni položaj težišta vodne linije
Z_{WL}	[m]	vertikalni položaj težišta vodne linije
I_L	[m^4]	uzdužni moment inercije vodne linije
I_B	[m^4]	poprečni moment inercije vodne linije
V	[m^3]	volumen istisnine
Δ	[t]	masa istisnine
KB	[m]	vertikalni položaj težišta istinine
M_0B	[m]	poprečni metacentarski radijus
M_LB	[m]	uzdužni metacentarski radijus
L	[m]	duljijna broda
L_{WL}	[m]	duljina vodne linije
B	[m]	širina broda
B_{WL}	[m]	Širina vodne linije
T	[m]	gaz broda
M_1	[tm/m]	jedinični moment trima
C_B	[-]	koeficijent punoće
C_{WL}	[-]	koeficijent vodne linije
C_P	[-]	prizmatički koeficijent
C_X	[-]	koeficijent glavnog rebra

SAŽETAK

U ovom radu izrađen je python modul za triangularizaciju forme broda. Zatim je takva triangularizirana forma u programu otvorenog koda linaetal-fsb/d3v 3D vizualizirana. Na osnovi triangualizirane forme, izrađene su metode za izračun su hidrostatičkih karakteristike koje su onda prikazane u dijagramnom listu. Na kraju je python modulom omogućena grafička kontrola parametara analitički zadane forme broda. Izrađeni moduli primijenjeni su na parametarskom modelu fregate KNM Narvik F304, iako se modul može primjeniti na bilo koji brod koji čija se forma može opisati istim analitičkim modelom.

Ključne riječi: python modul, triangularizacija forme broda, hidrostatičke karakteristike, dijagramni list

SUMMARY

In this paper, a python module for the triangulation of a ship hull was made. The triangulated hullform was then visualized in 3D in the open source program linaetal-fsb/d3v. From the parametrically modeled shape of the frigate hull and analytically given ship lines, the hydrostatic characteristics were calculated and then shown in a diagram sheet. To conclude, a python module was used to enable graphic control of the parameters of the analytically given hull form. This thesis was done using the analytically given form of the frigate KNM Narvik F304, although the module can be applied to any ship given a similar analytical form.

Key words: python module, triangulation, hydrostatic characteristics, diagram sheet

1. UVOD

Hidrostatičke karakteristike uvelike ovise o formi broda. Zbog toga je u ranoj fazi projektiranja broda vrlo bitno odrediti osnovne karakteristike kao što su volumen, površina i težište vodne linije te uzdužni i poprečni moment inercije. Uobičajeno je da se hidrostatičke karakteristike unose u dijagramni list kako bi sve hidrostatičke karakteristike broda bile vidljive na jednom mjestu. Analitičko zadavanje forme broda ima široku primjenu u ranim fazama projektiranja broda jer omogućuje jednostavno modificiranje forme broda putem promjene manjeg broja parametara. U ovom radu iz analitički zadane forme generirati će se jednostavna triangulizirana forma koja će služiti za vizualizaciju, ali i za izračun hidrostatičkih karakteristika.

1.1. **Parametarski model forme**

Parametarsko modeliranje koristi računalo za konstruiranje objekata ili sustava koji komponentama modela pripisuje realno ponašanje. Parametarski modeli koriste alate za modeliranje površina i 3D tijela temeljene na značajkama koje im omogućuju jednostavnije manipuliranje karakteristikama modela.

Model trupa izgrađen je uzimajući u obzir skup parametara koji povezuju glavne dimenzije s drugim dimenzijama geometrije trupa i neke ovisnosti između različitih parametara. Korištenjem ovog pristupa, lakše je unijeti promjene u oblik trupa. Naime, kada se promijeni jedan parametar geometrije, svi ostali parametri koji ovise o prvom automatski se prilagode [2].

U ovom radu korišten je parametarski model forme fregate (Slika 1, ***Tablica 1***.). Parametarski model forme kao i iznosi parametara koji određuju formu ove fregate, preuzeti su s mrežne aplikacije 'DBB(*design building blocks*) method' [3]. Trup je parametarski zadan i može se jednostavno mijenjati promjenom nekoliko parametara koji ga definiraju. Iz mrežne aplikacije DBB uzete su osnovne dimenzije broda i dobivena je analitička forma trupa, što je omogućilo njenu vizualizaciju i diskretizaciju.

Slika 1. Fregata Narvik F304

Tablica 1. Osnovne karakteristike broda

LOA	BOA	T
100 m	15 m	9.4 m

2. TRIANGULARIZACIJA FORME BRODA

2.1. **Openmesh**

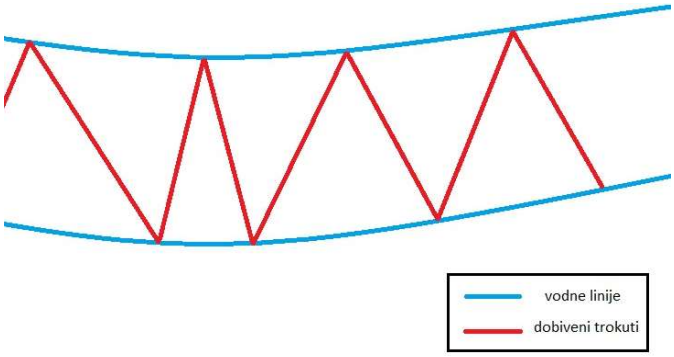
OpenMesh je generička i učinkovita struktura podataka za predstavljanje i manipuliranje poligonalnim mrežama razvijen u programskom jeziku C ++, a dostupan je i u Pythonu. Razvijen je u Computer Graphics Group, RWTH Aachen. [4].

U ovom radu Openmesh je korišten za zapisivanje triangulizirane forme broda odnosno manipuliranje vrhovima (*eng. vertex*) i poligonskim plohama (*eng. facets)* na način da je svaki trokut u triangulariziranoj formi bio sačinjen od tri vrha i jedne poligonske plohe. Te poligonske plohe i vrhovi su pohranjeni u Openmesh jezgri odkud ih zatim možemo po potrebi koristiti.

2.2. **Princip triangularizacije**

Triangularizacija površine podrazumijeva generiranje mreže trokuta koja ju potpuno ili djelomično prekriva. Trokuti se razlikuju oblikom ovisno o njihovom položaju na zakrivljenoj površini kako bi se ona što bolje opisala.

Triangularizacija zadane forme fregate dobije se poprečnim spajanjem točaka između susjednih vodnih linija čime se dobivaju trokuti (Slika 2). Na svakoj vodnoj liniji je jednak broj točaka. Spajanjem točaka dobivaju se trokuti koji naizmjenično imaju po dvije točke na gornjoj vodnoj liniji ili dvije točke na donjoj vodnoj liniji.



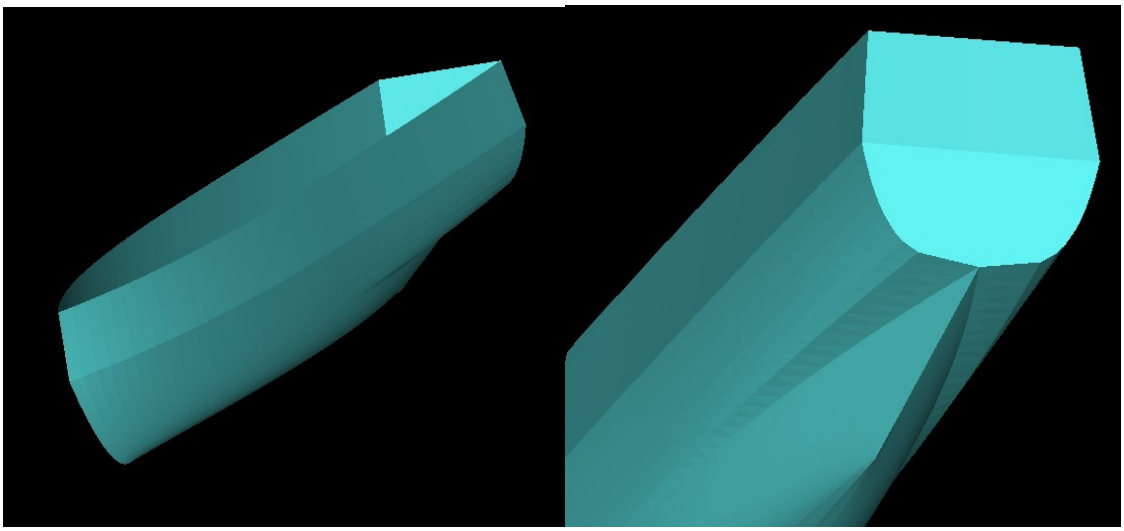
Slika 2. Prikaz triangularizacije forme

U Python programskom sučelju triangularizacija se napravila korištenjem modula 'OpenMesh Python'. U tom modulu se zadavanjem vrhova funkciji jednostavno iscrta ploha koja ih povezuje koja je u ovom slučaju bio trokut.

2.3. **Vizualizacija triangularizirane forme primjenom Linaetal-fsb/d3v programa**

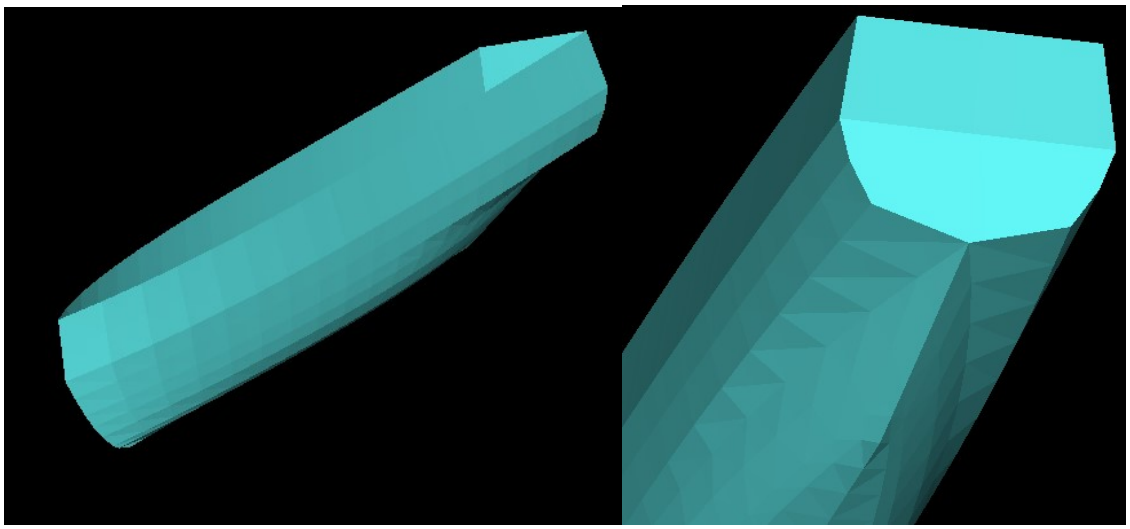
Linaetal-fsb d3v (*design visualizer*) je modularna Python aplikacija otvorenog programskog koda, prvenstveno namijenjena za 3D vizualizaciju inženjerskih modela u fazi projektiranja. Inicijalno je nastala kao rezultat dugogodišnje suradnje Fakulteta strojarstva i brodogradnja s USCS.d.o.o te obrtom Linaetal. Struktura programa temeljena je na dvanaestogodišnjem iskustvu razvoja programa ShipExplorer. Program je u ranoj fazi razvoja no već je moguća vizualizacija s ograničenim brojem funkcionalnosti. Implementacije je bazirana na bibliotekama QtForPython (PySide2) i OpenMesh[5].

Spomenute plohe (trokuti) koje su crtane između zadanih točaka zajedno čine formu broda (slika 3.).



Slika 3. Vizualizacija brodske forme dobivene triangularizacijom
(30vl i 30 točaka po vl)

Broj vodnih linija i točaka na vodnim linijama je moguće mijenjati, čime dobivamo glađu ili grublju formu, odnosno kontroliramo točnost prikaza forme. Slika 3. prikazuje formu generiranu pomoću 30 vodnih linija i 30 točaka po vodnoj liniji, a slika 4. prikazuje formu s 5 vodnih linija i 10 točaka po vodnoj liniji.



Slika 4. Vizualizacija brodske forme dobivene triangularizacijom
(5vl i 10 točaka po vl)

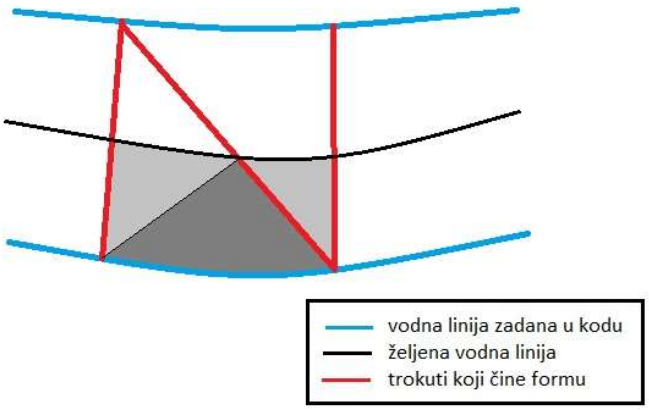
3. HIDROSTATIČKE KARAKTERISTIKE TRIANGULARIZIRANE FORME

Na temelju izrađene triangularizirane forme broda se mogu izračunati hidrostatički podaci. Navedene karakteristike se u ovom slučaju mogu izračunati i iz analitički zadane forme, no računanje na osnovu triangualizirane forme omogućuje da se hidrostatičke karakteristike odrede i za brodske forme koje su npr. izrađene u nekom programskom paketu, pa eksportirane u neki standardni zapis poput .STL datoteka (*STereo Lithography CAD*).

3.1. Površina vodne linije

Vodna linija je presjek teoretske forme vodoravnom linijom na zadanoj visini iznad osnovice, tako da njena površina ima oblik tlocrta broda. Radi oblika fregate u ovom radu smanjenjem visine na kojoj se nalazi vodna linija se smanjuje i njena površina.

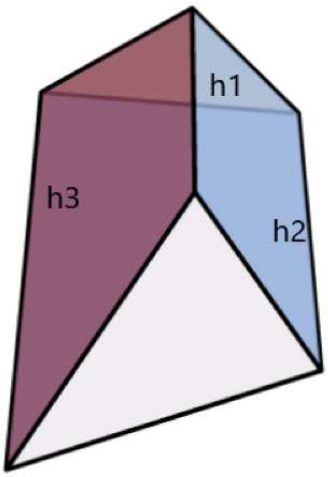
Površina vodne linije u ovom radu je dobivena tako da su se projicirali trokuti koji sačinjavaju formu do određene visine na vodnu liniju koja se nalazi na toj visini. To zapravo znači da se efektivno gleda tlocrt broda sa različitim visinama vodne linije i zbrajaju se površine trokuta koje pritom vidimo. S obzirom da vodna linija čiju površinu želimo se ne poklapa uvijek sa već postojećim vodnim linijama dobivenim u kodu, potrebno je pribrojit i površine dijelova trokuta koji nastaju presjecanjem trokuta i vodne linije. U kodu je to postignuto uvjetom da ako se sva tri vrha trokuta nalaze ispod vodne linije, program računa površinu trokuta, ako su dva vrha trokuta iznad vodne linije program računa površinu preostalog presječenog trokuta, a ako je jedan vrh trokuta iznad vodne linije ostaje nam trapez kojeg dijelimo na dva trokuta čije površine doprinose površini vodne linije.



Slika 5. Prikaz presjecanja trokuta i vodne linije. Sivom bojom su označene površine dijelova trokuta čije projekcije na vodnu liniju pridodajemo površini.

3.2. **Volumen istisnine**

Volumen istisnine je volumen uronjenog dijela trupa. Mijenjanjem visine vodne linije mijenja se i volumen istisnine. S obzirom da je forma broda izgrađena od trokuta, volumen se dobije zbrojem volumena krnjih trostranih prizmi čija je baza trokut projiciran na vodnu liniju, a suprotna ploha je trokut koji čini formu broda[6].



$$V = \frac{1}{3}A(h_1 + h_2 + h_3) \quad (1)$$

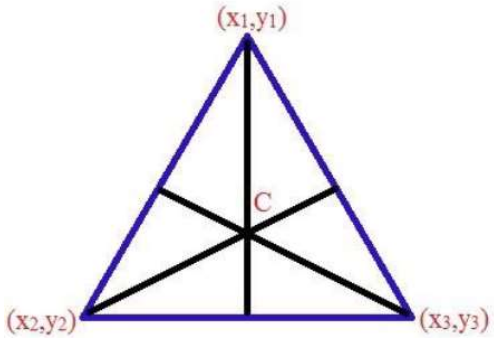
Slika 6. Primjer prizme na koje je podijeljen volumen istisnine

Volumen jedne takve krnje prizme se računa prema formuli (1) gdje A označava površinu baze a h1,h2 i h3 su visine bridova. Površina baze računa se jednako kao što se računala kod površine vodne linije a visine bridova se dobivaju oduzimanjem visine vodne linije od vrhova trokuta koji čine formu. Ovdje isto treba pripaziti kada vodna linija sječe dani trokut da se točno dodaju volumeni tijela koji se dobiju tim presjecanjem.

3.3. **Težiste vodne linije**

Težistu vodne linije su već poznate dvije koordinate. Naime, njegova z koordinata će odgovarati visini vodne linije, a s obzirom da x os prolazi po simetrali broda težište će se nalaziti na y=0. Položaj težišta na x osi može se naći nalaženjem težišta projekcija trokuta koji čine vodnu liniju. Težište jednog trokuta dobije se kao srednja vrijednost koordinata vrhova. Dobivena težišta trokuta je zatim potrebno pomnožiti sa površinama trokuta i onda podijeliti sa ukupnom površinom vodne linije. Računanjem težišta svakog pojedinog trokuta i njihovim zbrajanjem

efektivno se računa položaj težišta skupa točaka raspoređenih po vodnoj liniji. Taj položaj se predviđa da će biti otprilike na sredini broda jer je zadana fregata relativno simetrična oko poprečne osi. Položaj težišta se mijenja na svakoj zadanoj visini vodne linije[7].



Slika 7. Prikaz težišta trokuta C

3.4. Težište volumena istisnine

Težište volumena istisnine se računa na sličan način kao kod računanja težišta vodne linije samo što su trostrane krnje prizme zamijenile ulogu trokuta. Naime, računanja težišta svake krnje prizme i njihovo množenje sa pripadnim volumenom u zbroju vode na položaj težišta istisnine. Potrebno je naći težište po x osi (Xcg) i po z osi (KB). Težište svake krnje prizme dobiveno je njenom podjelom na prizmu i na trostranu piramidu. Težište prizme je jednostavno naći jer je to zapravo težište trokuta baze translatirano po z osi na pola visine prizme. Pomak tog težišta radi doprinosa trostrane piramide je zanemariv jer je ona puno manjeg volumena od same prizme.

3.5. Uzdužni i poprečni moment inercije vodne linije

Moment inercije je fizikalna veličina koja opisuje inerciju čestice ili krutoga tijela pri promjeni brzine ili smjera vrtnje. On je jednak zbroju umnožaka mase i kvadrata udaljenosti od osi rotacije svake čestice koja čini tijelo ili sustav:

$$I = \sum_{i=1}^{N} m_i r_i^2. \quad (2)$$

Uzdužni moment inercije vodne linije je moment inercije oko osi koja prolazi kroz njeno težište i koja je okomita na simetralu trupa, a poprečni moment inercije mjeri inerciju oko osi uzduž simetrale broda. S obzirom da se vodna linija ovdje promatra kao skup projekcija trokuta s trupa broda koji nemaju masu, težinski faktor mase iz izraza (2) potrebno je zamjeniti pripadnom površinom danog trokuta, dok je udaljenost r_i^2 ovdje udaljenost težišta trokuta od osi. Uzdužni

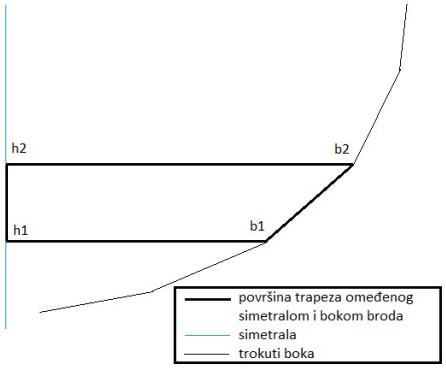
moment inercije je izračunat primjenom Steinerovog teorema. Prvo je izračunat moment inrecije oko osi na krmi broda, gdje se nalazi ishodište koordinatnog sustava pa je zatim dodan Steinerov dodatak, čime je moment inercije pomaknut u paralelnu os koja prolazi kroz težiste vodne linije.

3.6. **Ostali hidrostatički podaci**

Dosad navedeni hidrostatički podaci služe pri definiranju novih koji su prikladniji pri opisu brodske forme i omogućuju lakšu međusobnu usporedbu brodova različitih veličina. Kako bi se definirali, potrebno je još nekoliko parametara broda.

Duljina vodne linije je udaljenost između uzdužno najdaljih točaka na određenoj vodnoj liniji, a širina je udaljenost izmedu poprečno najudaljenijih točaka na istoj visini. Za numerički izračun obje veličine se generiralo polje svih točaka presjecišta vodne linije i trokuta koje su se zatim sortirale od najmanje prema najvećoj. Za dobiti duljinu, točke se sortiraju po rastućoj x koordinati te je od najveće vrijednosti oduzeta najmanja, a za širinu se sortiralo po rastućoj y koordinati.

Površina glavnog rebra je površina omeđena rebrom i određenom vodnom linijom na sredini duljine broda. Na sličan način kao kod računanja duljine i širine vodne linije, su se generirale točke, u ovom slučaju, presjecišta rebra i trokuta, a sortiranje se izvodilo po rastućoj z koordinati. Susjedne točke počevši od točke najmanje z koordinate, su se preslikale na simetralu te se površina između njih računala formulom za površinu trapeza (slika 8.).



$$A = \frac{1}{2}(b_2 + b_1)(h_2 - h_1) \quad (3)$$

Slika 8. Prikaz podjele glavnog rebra na trapeze

Sada su definirani svi parametri potrebni za uvođenje novih hidrostatičkih podataka. Osim bezdimenzijskih veličina koriste se poprečni metacentarski radijus (M_0B), visina poprečnog

metacentra iznad osnovice (KM_0), uzdužni metacentarski radijus (M_LB), visina uzdužnog metacentra iznad osnovice (KM_L), jedinični zagažaj (JZ) i jedinični moment trima (M_1).

Bezdimenzijske veličine korisne su kod usporedbi brodova različitih dimenzija, zbog čega se uvode parametri volumena, odnosno, koeficijent punoće (C_B), prizmatički koeficijent (C_P), koeficijent vodne linije (C_{WL}) i koeficijent glavnog rebra (C_X). Navedene veličine računaju se prema izrazima [1]:

$$M_0B = \frac{I_B}{V} \tag{4}$$

$$KM_0 = M_0B + KB \tag{5}$$

$$M_LB = \frac{I_L}{V} \tag{6}$$

$$KM_L = M_LB + KB \tag{7}$$

$$JZ = 0.01 \cdot A_{WL} \cdot \rho \tag{8}$$

$$M_1 = \frac{I_L}{L_{WL}} \tag{9}$$

$$C_{WL} = \frac{A_{WL}}{L_{WL} \cdot B_{WL}} \tag{10}$$

$$C_B = \frac{V}{L_{WL} \cdot B_{WL} \cdot T} \tag{11}$$

$$C_P = \frac{V}{A_X \cdot L_{WL}} \tag{12}$$

$$C_X = \frac{A_X}{B_{WL} \cdot T} \tag{13}$$

4. ODREĐIVANJE HIDROSTATIČKIH KARAKTERISTIKA NA PRIMJERU FREGATE

Svi spomenuti hidrostatički podaci, numerički su izračunati na opisani način. Njihove vrijednosti nalaze se u Tablici 2., a dobivene su numeričkim proračunom koji koristi podjelu trupa na 50 vodnih linija te na svakoj vodnoj liniji koristi 50 točaka za iscrtavanje trokuta. U tablici 2. su ispisane vrijednosti spomenutih karakteristika na nekoliko različitih visina vodnih linija, kako bi se uočio trend porasta ili opadanja dobivenog rezultata s promjenom visine. Dok, na primjer, volumen istisnine i površina vodne linije rastu s povećanjem visine, težište vodne linije ne mijenja se značajno, već je uvijek pri sredini trupa. Za x koordinatu težišta istisnine vrijedi isto. Promjenom visine, vrijednosti bezdimenzionalnih koeficijenata se minimalno mijenjaju.

Tablica 2. Hidrostatički podatci (Nvl=50, broj točaka po VL=50)

T	**m**	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Volumen	**m^3**	302.51	1459.44	3175.08	5334.57	7731.17
Awl	**m^2**	434.47	701.44	1005.88	1144.28	1248.89
Xwl	**m**	53.04	50.21	44.01	43.87	44.30
KB	**m**	0.592	1.769	3.011	4.230	5.40
Xcg	**m**	53.50	51.95	49.04	46.94	46.05
Ib	**m^4**	1705	5299	11098	15561	19394
Il	**m^4**	134004	292803	593999	720463	824893
Lwl	**m**	78.39	91.03	96.73	98.32	99.73
Bwl	**m**	8.29	11.48	13.03	14.07	14.86
Ax	**m^2**	6.01	26.31	50.95	78.14	107.11
MoB	**m**	5.63	3.63	3.49	2.91	2.50
Kmo	**m**	6.22	5.40	6.50	7.14	7.91
MlB	**m**	442.97	200.62	187.08	135.05	106.69
KMl	**m**	443.56	202.39	190.09	139.28	112.10
JZ	**t**	4.45	7.19	10.31	11.72	12.80
Cwl	**/**	0.668	0.671	0.798	0.827	0.843
CB	**/**	0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
CP	**/**	0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
CX	**/**	0.724	0.764	0.782	0.793	0.801

4.1. **Usporedba s modelom smanjene točnosti**

Točnost modela može se smanjiti smanjenjem broja trokuta korištenih za triangularizaciju forme trupa, čime ona poprima 'grublji' oblik kao što se vidi na slikama 3. i 4. To se postiže smanjenjem broja vodnih linija i točaka na njima koje određuju vrhove trokuta. Tablica 3. prikazuje usporedbu hidrostatičkih podatkaka dobivenih za 50 vodnih linija i 50 točaka po vodnoj liniji s hidrostatičkim podacima dobivenim za formu izrađenu s 30 vodnih linija i 30 točaka po vodnoj liniji.

Tablica 3. Usporedba hidrostatičkih podataka ovisno o broju trokuta

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	50vl,50točaka	m^3	302.51	1459.44	3175.08	5334.57	7731.17
	30vl,30točaka		301.12	1457.22	3165.35	5323.51	7719.31
Awl	50vl,50točaka	m^2	434.47	701.44	1005.88	1144.28	1248.89
	30vl,30točaka		434.39	701.19	1004.91	1144.09	1248.43
Xwl	50vl,50točaka	m	53.04	50.21	44.01	43.87	44.30
	30vl,30točaka		53.04	50.21	44.03	43.87	44.30
KB	50vl,50točaka	m	0.592	1.76	3.01	4.23	5.40
	30vl,30točaka		0.595	1.77	3.01	4.232	5.40
Xcg	50vl,50točaka	m	53.50	51.95	49.04	46.94	46.05
	30vl,30točaka		53.50	51.95	49.11	46.98	46.08
Ib	50vl,50točaka	m^4	1704	5299	11097	15560	19394
	30vl,30točaka		1696	528	11044	15528	19351
Il	50vl,50točaka	m^4	134004	292803	593999	720463	824893
	30vl,30točaka		133929	292587	592962	720133	824219
Kmo	50vl,50točaka	m	6.22	5.4	6.50	7.14	7.91
	30vl,30točaka		6.23	5.39	6.5	7.14	7.91
KMl	50vl,50točaka	m	443.56	202.39	190.09	139.28	112.1
	30vl,30točaka		445.36	202.55	190.34	139.50	112.18
CB	50vl,50točaka	/	0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
	30vl,30točaka		0.463	0.465	0.502	0.549	0.579
CP	50vl,50točaka	/	0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
	30vl,30točaka		0.642	0.609	0.643	0.693	0.723
CX	50vl,50točaka	/	0.724	0.764	0.782	0.793	0.801
	30vl,30točaka		0.721	0.763	0.781	0.792	0.801

Kao što se vidi iz tablice 4. unatoč smanjenju broja trokuta koji tvore formu broda, vrijednosti su vrlo bliske vrijednostima forme izrađene s 50 vodnih linija i 50 točaka po vodnoj liniji, dok neke vrijednosti čak ostaju nepromijenjene. Relativno odstupanje navedenih veličina ne doseže vrijednosti iznad 0.5%, zbog čega se može zaključiti da se model može pojednostaviti manjim brojem trokuta, čime se smanjuje vrijeme izvođenja programa uz zanemarivi gubitak na točnosti.

Tablica 4. Relativno odstupanje ovisno o broju trokuta

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	50wl,50točaka	m^3	302.51	1459.44	3175.08	5334.57	7731.17
	30wl,30točaka		-0.46%	0.15%	0.31%	0.21%	0.15%
Awl	50wl,50točaka	m^2	434.47	701.44	1005.88	1144.28	1248.89
	30wl,30točaka		-0.02%	0.04%	0.10%	0.02%	0.04%
Xwl	50wl,50točaka	m	53.04	50.21	44.01	43.87	44.30
	30wl,30točaka		0.000%	0.002%	0.036%	0.007%	0.005%
KB	50wl,50točaka	m	0.59	1.76	3.01	4.23	5.40
	30wl,30točaka		0.50%	0.06%	0.00%	0.05%	0.05%
Xcg	50wl,50točaka	m	53.50	51.95	49.04	46.94	46.05
	30wl,30točaka		-0.01%	0.006%	0.15%	0.09%	0.07%
Ib	50wl,50točaka	m^4	1704	5299	11097	15560	19394
	30wl,30točaka		-0.46%	0.23%	0.48%	0.21%	0.22%
Il	50wl,50točaka	m^4	134003	292802	593998	720463	824892
	30wl,30točaka		-0.05%	0.07%	0.17%	0.05%	0.08%
Kmo	50wl,50točaka	m	6.22	5.4	6.50	7.14	7.91
	30wl,30točaka		0.05%	0.02%	0.11%	0.03%	0.01%
KMl	50wl,50točaka	m	443.56	202.39	190.09	139.28	112.1
	30wl,30točaka		0.40%	0.08%	0.13%	0.16%	0.07%
CB	50wl,50točaka	/	0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
	30wl,30točaka		-0.43%	0.00%	0.20%	0.36%	0.00%
CP	50wl,50točaka	/	0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
	30wl,30točaka		0.00%	0.00%	0.15%	0.14%	0.14%
CX	50wl,50točaka	/	0.724	0.764	0.782	0.793	0.801
	30wl,30točaka		-0.42%	0.13%	0.13%	0.13%	0.00%

Zbog povoljnih karakteristika triangularizacije i precizne izrade koda za presjek forme na vodne linije, smanjenjem broja vodnih linija na 10 i broja točaka po svakoj vodnoj liniji na 10, vrijednosti se minimalno mijenjaju.

Tablica 5. Usporedba hidrostatičkih podataka ovisno o broju trokuta

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	50vl,50točaka	m^3	302.51	1459.4	3175.1	5334.6	7731.2
	10vl,10točaka		290.21	1436.7	3127.2	5272.2	7659.9
Awl	50vl,50točaka	m^2	434.47	701.4	1005.88	1144.28	1248.89
	10vl,10točaka		433.17	698.01	1001.46	1138.98	1244.73
Xwl	50vl,50točaka	m	53.04	50.21	44.02	43.88	44.31
	10vl,10točaka		53.04	50.21	44.03	43.87	44.25
KB	50vl,50točaka	m	0.592	1.769	3.011	4.23	5.403
	10vl,10točaka		0.612	1.786	3.021	4.244	5.421
Xcg	50vl,50točaka	m	53.50	51.95	49.04	46.94	46.05
	10vl,10točaka		53.42	51.90	49.21	47.07	46.12
Ib	50vl,50točaka	m^4	1704	5299	11097	15560	19394
	10vl,10točaka		1639	5175	10859	15260	19134
Il	50vl,50točaka	m^4	134003	292802	593998	720463	824892
	10vl,10točaka		132983	289792	588289	713301	817779
Kmo	50vl,50točaka	m	6.227	5.4	6.507	7.147	7.912
	10vl,10točaka		6.262	5.38	6.494	7.138	7.919
KMl	50vl,50točaka	m	443.56	202.39	190.09	139.28	112.1
	10vl,10točaka		458.82	203.49	191.14	139.53	112.18
CB	50vl,50točaka	/	0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
	10vl,10točaka		0.446	0.459	0.496	0.545	0.575
CP	50vl,50točaka	/	0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
	10vl,10točaka		0.678	0.614	0.643	0.692	0.721
CX	50vl,50točaka	/	0.724	0.764	0.782	0.793	0.801
	10vl,10točaka		0.658	0.747	0.772	0.788	0.797

Relativno odstupanje od modela s 50 vodnih linija i 50 točaka po vodnoj liniji ne prelazi 10% na najnižoj vodnoj liniji gdje je greška najveća.

Mjesta gdje su najveća relativna odstupanja su na dnu broda pri nižim visinama, iz toga se zaključuje da bi idealan slučaj triangularizacije uz što veću točnost i što manje elemenata bio da pri nižim visinama izradimo gušću mrežu trokuta nego na većim visinama. Na visini od 1 m je maksimalno odstupanje 10% dok je pri visini od 9 m maksimalno odstupanje 1.4%.

Tablica 6. Relativno odstupanje ovisno o broju trokuta

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	50vl,50točaka	m^3	302.51	1459.44	3175.08	5334.57	7731.17
	10vl,10točaka		-4.23%	1.58%	1.53%	1.18%	0.93%
Awl	50vl,50točaka	m^2	434.47	701.44	1005.88	1144.28	1248.89
	10vl,10točaka		-0.30%	0.49%	0.44%	0.46%	0.33%
Xwl	50vl,50točaka	m	53.04	50.21	44.0	43.87	44.308
	10vl,10točaka		-0.01%	0.02%	0.04%	0.03%	0.12%
KB	50vl,50točaka	m	0.592	1.769	3.011	4.23	5.40
	10vl,10točaka		3.27%	0.95%	0.33%	0.33%	0.33%
Xcg	50vl,50točaka	m	53.50	51.95	49.04	46.94	46.05
	10vl,10točaka		-0.16%	0.09%	0.35%	0.2762%	0.15%
Ib	50vl,50točaka	m^4	1704	5299	11097	15560	19394
	10vl,10točaka		-3.95%	2.4%	2.19%	1.96%	1.36%
Il	50vl,50točaka	m^4	134003	292802	593998	720463	824892
	10vl,10točaka		-0.77%	1.04%	0.97%	1.00%	0.87%
Kmo	50vl,50točaka	m	6.22	5.4	6.50	7.14	7.91
	10vl,10točaka		0.56%	0.22%	0.20%	0.13%	0.09%
KMl	50vl,50točaka	m	443.56	202.395	190.0	139.28	112.1
	10vl,10točaka		3.33%	0.54%	0.55%	0.18%	0.07%
CB	50vl,50točaka	/	0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
	10vl,10točaka		-4.26%	1.31%	1.41%	1.10%	0.69%
CP	50vl,50točaka	/	0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
	10vl,10točaka		5.31%	0.81%	0.15%	0.29%	0.42%
CX	50vl,50točaka	/	0.724	0.764	0.782	0.793	0.801
	10vl,10točaka		-10.03%	2.27%	1.29%	0.63%	0.50%

4.2. **Usporedba hidrostatičkih karakteristika modela računatih različitim softverima**

Tablica 7. prikazuje usporedbu hidrostatičkih podataka dobivenim triangularizacijom s 50 vodnih linija i 50 točaka po vodnoj liniji, s numeričkim proračunom rađenim u Python programskom sučelju uz korištenje podataka dobivenih u programu Rhinoceros[1] i s podacima dobivenim iz Orca3D programskog dodatka aplikaciji Rhinoceros[1]. Potrebno je imati na umu da je forma u aplikaciji Rhinoceros generirana na osnovu desetak vodnih linija.

Tablica 8. prikazuje odstupanje svake vrijednosti od vrijednosti dobivenih iz programa Orca3D. Vrijednosti volumena najviše odstupaju, to odstupanje se može smanjiti povečanjem broja točaka i vodnih linija. Na najnižoj visini vodne linije kod volumena nalazimo odstupanje od 5%, slična greška se zato i očitava kod vrijednosti izvedenih iz volumena. To odstupanje bi se smanjilo kada bi smanjili broj vodnih linija i točaka na tim visinama, kako bi se točnost zapisa forme približili onoj koja je korištena za generiranje forme u aplikaciji Rhinoceros.

Tablica 7. Usporedba hidrostatičkih podataka

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	**Orca 3D**	**m^3**	288.10	1444.51	3161.99	5320.92	7716.79
	Iz rada		302.51	1459.44	3175.08	5334.58	7731.18
	iz [1]		289.74	1447.49	3166.49	5326.65	7723.54
Awl	**Orca 3D**	**m^2**	434.32	700.95	1005.91	1144.17	1248.58
	Iz rada		434.47	701.44	1005.88	1144.28	1248.89
	iz [1]		434.54	701.62	1006.36	1144.59	1249.00
Xwl	**Orca 3D**	**m**	53.045	50.214	43.999	43.865	44.299
	Iz rada		53.041	50.215	44.018	43.877	44.308
	iz [1]		53.041	50.215	44.007	43.873	44.307
KB	**Orca 3D**	**m**	0.605	1.782	3.023	4.24	5.412
	Iz rada		0.592	1.769	3.011	4.23	5.403
	iz [1]		0.603	1.781	3.022	4.238	5.41
Xcg	**Orca 3D**	**m**	53.993	52.027	49.019	46.918	46.033
	Iz rada		53.509	51.953	49.041	46.94	46.052
	iz [1]		54.041	52.043	49.025	46.924	46.04
Ib	**Orca 3D**	**m^4**	1709.8	5296.2	11128.6	15593.6	19426.8
	Iz rada		1704.7	5299.4	11097.6	15560.8	19394.3
	iz [1]		1712.2	5310.4	11142.4	15608.2	19442.0
Il	**Orca 3D**	**m^4**	134003	292646	594217	720483	824686
	Iz rada		134004	292803	593999	720463	824893
	iz [1]		134099	292990	594542	720848	825119
Kmo	**Orca 3D**	**m**	6.539	5.449	6.543	7.17	7.929
	Iz rada		6.227	5.4	6.507	7.147	7.912
	iz [1]		6.512	5.449	6.541	7.168	7.927
KMl	**Orca 3D**	**m**	465.72	204.37	190.95	139.64	112.28
	Iz rada		443.56	202.39	190.09	139.28	112.10
	iz [1]		463.42	204.19	190.78	139.57	112.24
JZ	**Orca 3D**	**t**	4.452	7.185	10.311	11.728	12.798
	Iz rada		4.453	7.190	10.310	11.729	12.801
	iz [1]		4.454	7.192	10.315	11.732	12.802
CB	**Orca 3D**	**/**	0.453	0.472	0.51	0.558	0.578
	Iz rada		0.465	0.465	0.503	0.551	0.579
	iz [1]		0.445	0.462	0.502	0.55	0.579
CP	**Orca 3D**	**/**	0.635	0.626	0.66	0.712	0.728
	Iz rada		0.642	0.609	0.644	0.694	0.724
	iz [1]		0.613	0.604	0.642	0.693	0.723
CX	**Orca 3D**	**/**	0.712	0.754	0.772	0.784	0.794
	Iz rada		0.724	0.764	0.782	0.793	0.801
	iz [1]		0.726	0.764	0.782	0.793	0.801

Tablica 8. Relativno odstupanje hidrostatskih podataka

T		m	1	3	5	7	9
Volumen	**Orca 3D**	**m^3**	288.10	1444.51	3161.99	5320.92	7716.79
	Iz rada		4.76%	1.02%	0.41%	0.25%	0.18%
	iz [1]		0.57%	0.21%	0.14%	0.11%	0.09%
Awl	**Orca 3D**	**m^2**	434.32	700.95	1005.90	1144.16	1248.58
	Iz rada		0.04%	0.07%	-0.003%	0.01%	0.02%
	iz [1]		0.05%	0.09%	0.045%	0.04%	0.03%
Xwl	**Orca 3D**	**m**	53.04	50.21	43.99	43.86	44.29
	Iz rada		-0.008%	0.002%	0.043%	0.027%	0.020%
	iz [1]		-0.008%	0.002%	0.018%	0.018%	0.018%
KB	**Orca 3D**	**m**	0.605	1.782	3.023	4.240	5.412
	Iz rada		-2.19%	-0.73%	-0.39%	-0.23%	-0.17%
	iz [1]		-0.33%	-0.05%	-0.03%	-0.05%	-0.04%
Xcg	**Orca 3D**	**m**	53.99	52.03	49.02	46.92	46.03
	Iz rada		-0.90%	-0.14%	0.04%	0.05%	0.04%
	iz [1]		0.09%	0.03%	0.01%	0.01%	0.02%
Ib	**Orca 3D**	**m^4**	1709.76	5296.20	11128.63	15593.60	19426.77
	Iz rada		-0.30%	0.06%	-0.28%	-0.21%	-0.17%
	iz [1]		0.14%	0.27%	0.12%	0.09%	0.08%
Il	**Orca 3D**	**m^4**	134003	292646	594217	720483	824686
	Iz rada		0.0005%	0.053%	-0.037%	-0.003%	0.025%
	iz [1]		0.072%	0.117%	0.055%	0.051%	0.053%
KMo	**Orca 3D**	**m**	6.539	5.449	6.543	7.170	7.929
	Iz rada		-5.01%	-0.91%	-0.55%	-0.32%	-0.21%
	iz [1]		-0.41%	0.00%	-0.03%	-0.03%	-0.02%
KMl	**Orca 3D**	**m**	465.72	204.37	190.95	139.64	112.28
	Iz rada		-4.99%	-0.98%	-0.45%	-0.26%	-0.16%
	iz [1]		-0.50%	-0.09%	-0.09%	-0.06%	-0.04%
JZ	**Orca 3D**	**t**	4.452	7.185	10.311	11.728	12.798
	Iz rada		0.022%	0.070%	-0.010%	0.009%	0.023%
	iz [1]		0.045%	0.097%	0.039%	0.034%	0.031%
CB	**Orca 3D**	**/**	0.453	0.472	0.510	0.558	0.578
	Iz rada		2.58%	-1.50%	-1.39%	-1.27%	0.17%
	iz [1]		-1.79%	-2.16%	-1.59%	-1.45%	0.17%
CP	**Orca 3D**	**/**	0.635	0.626	0.660	0.712	0.728
	Iz rada		1.09%	-2.79%	-2.48%	-2.59%	-0.55%
	iz [1]		-3.58%	-3.64%	-2.80%	-2.74%	-0.69%
CX	**Orca 3D**	**/**	0.712	0.754	0.772	0.784	0.794
	Iz rada		1.65%	1.31%	1.28%	1.13%	0.87%
	iz [1]		1.93%	1.31%	1.28%	1.13%	0.87%

5. DIJAGRAMNI LIST

5.1. Upotreba i značenje dijagramnog lista

Rezultati proračuna plovnosti broda ucrtavaju se u formi krivulja u jedan dijagram koji se naziva „Dijagramni list“. Kako brod za vrijeme svoje eksploatacije mijenja gaz, već prema količini ukrcanog tereta i potrošku zaliha, potrebno je sve veličine, koje su karakteristične za plovnost broda, dakle istisnina i koordinate njegovog težišta, te položaje poprečnih i uzdužnih metacentara, unijeti u ovisnosti o gazu broda. Osim toga u dijagramni list se obično unose i površine, položaji težišta i momenti tromosti površina vodnih linija, te površine i statički momenti površina rebara, budući da se pomoću njih računaju gore navedene veličine karakteristične za plovnost broda[1].

Dijagramni list služi projektantu kao osnova za daljnje proračune, na primjer, za određivanje volumena skladišta, za proračun plovnosti kod prodora vode, za određivanje razmaka nepropusnih pregrada, za proračun porinuća itd.

Dijagramni list služi i pomorcima za određivanje gazova, odnosno trima broda kod ukrcaja ili iskrcaja tereta, pa se u tu svrhu u njega ucrtavaju i krivulje koje daju ovisnost jediničnog momenta trima, ukupnog trima za moment trima od 100 tm, te tona po centimetru zagažaja, u ovisnosti od gaza broda.

Osim spomenutih krivulja dijagramni list obično sadrži i koeficijente punoće brodske forme, nanesene u ovisnosti od gaza i razne skale iz kojih se može očitati gaz i nosivost broda.

Dijagramni list ne sadrži položaje težišta sustava budući, da oni ovise o razmještaju težina na brodu i ne mogu se u pojedinostima predvidjeti. Dijagramni list sadrži samo veličine koje karakteriziraju brodsku formu, a ne daje nikakve podatke o položajima pojedinih težina, ni o položaju težišta sustava. Za svaki određeni slučaj opterećenja broda, položaj težišta sustava treba posebno proračunati te ucrtati taj položaj u dijagramni list. Tek onda se može iz dijagramnog lista, pomoću krivulja poprečnih odnosno uzdužnih metacentara, odrediti poprečna, odnosno uzdužna početna metacentarska visina za određeni gaz.

5.2. **Crtanje dijagramnog lista**

Osnovni problem prilikom crtanja dijagramog lista je taj da nisu sve karakteristike istog reda veličine, nego variraju od reda deset na prvu do deset na petu. Zato je za svaku krivulju potrebno odrediti odgovarajuće mjerilo. Postupak određivanja mjerila[1]:

1) odrediti u kojem rasponu se kreće pojedina karakteristika
2) odrediti maksimalnu vrijednost svake karakteristike, iznimka su KM_L i KM_0
3) odrediti na kojem formatu papira se crta dijagram
4) odrediti položaj maksimalne vrijednosti pojedine karakteristike na papiru, za KM_L i KM_0 se određuje minimalna vrijednost
5) mjerilo je jednako kvocijentu maksimalne (minimalne kod KM_L i KM_0) vrijednosti svake karakteristike i položaju na papiru
6) koordinate uzdužnih težišta volumena i vodnih linija te jedinični moment trima crtaju se od glavnog rebra
7) koordinate koeficijenata brodske forme crtaju se od krmene okomice
8) ostale hidrostatske karakteristike ucrtavaju se od kremene okomice

Lijeva koordinatna os predstavlja krmenu okomicu, desna pramčanu okomicu, a srednja os predstavlja položaj glavnog rebra. Vrijednosti se očitavaju mjerenjem horizontalne udaljenosti od sjecišta gaza s krivuljom željene karakteristike do odgovarajuće osi, te množenjem tog očitanja sa pripadajućim mjerilom.

Sve skale u dijagramnom listu crtaju se obično u metričkim i engleskim mjernim jedinicama, te za specifičnu težinu mora i slatke vode (budući da mnoge važne luke leže na ušćima velikih rijeka).

Osnovna skala u dijagramnom listu je skala za gaz broda. Da se za kose vodne linije može očitati gaz na pramcu i na krmi, skale za gaz postavljaju se i na pramcu i na krmi broda. Uz skalu za gaz redovno se još ucrtava i skala za nadvođe broda. Nadvođe broda dobiva se ako se na visinu broda doda debljina opločenja i pokrova palube, pa se od tako dobivene vrijednosti oduzima konstrukcijski gaz broda na dotičnoj plovnoj liniji.

Radi upotrebe dijagramnog lista u eksploataciji broda u njega se unose stvarni, a ne konstrukcijski gazovi. Zbog toga se linija nultog gaza nalazi za visinu kobilice ispod osnovke VL_0 (koja prolazi kroz gornji brid kobilice).

Radi lakše upotrebe dijagramnog lista u eksploataciji broda, u njega se još ucrtavaju i skale paralelnog zagažaja u t/cm, te skale jediničnog momenta trima. One se konstruiraju iz odgovarajućih krivulja zagažaja i jediničnog momenta trima u dijagramnom listu.

5.3. **Očitavanje vrijednosti u dijagramnom listu**

Od krmene okomice očitava se:

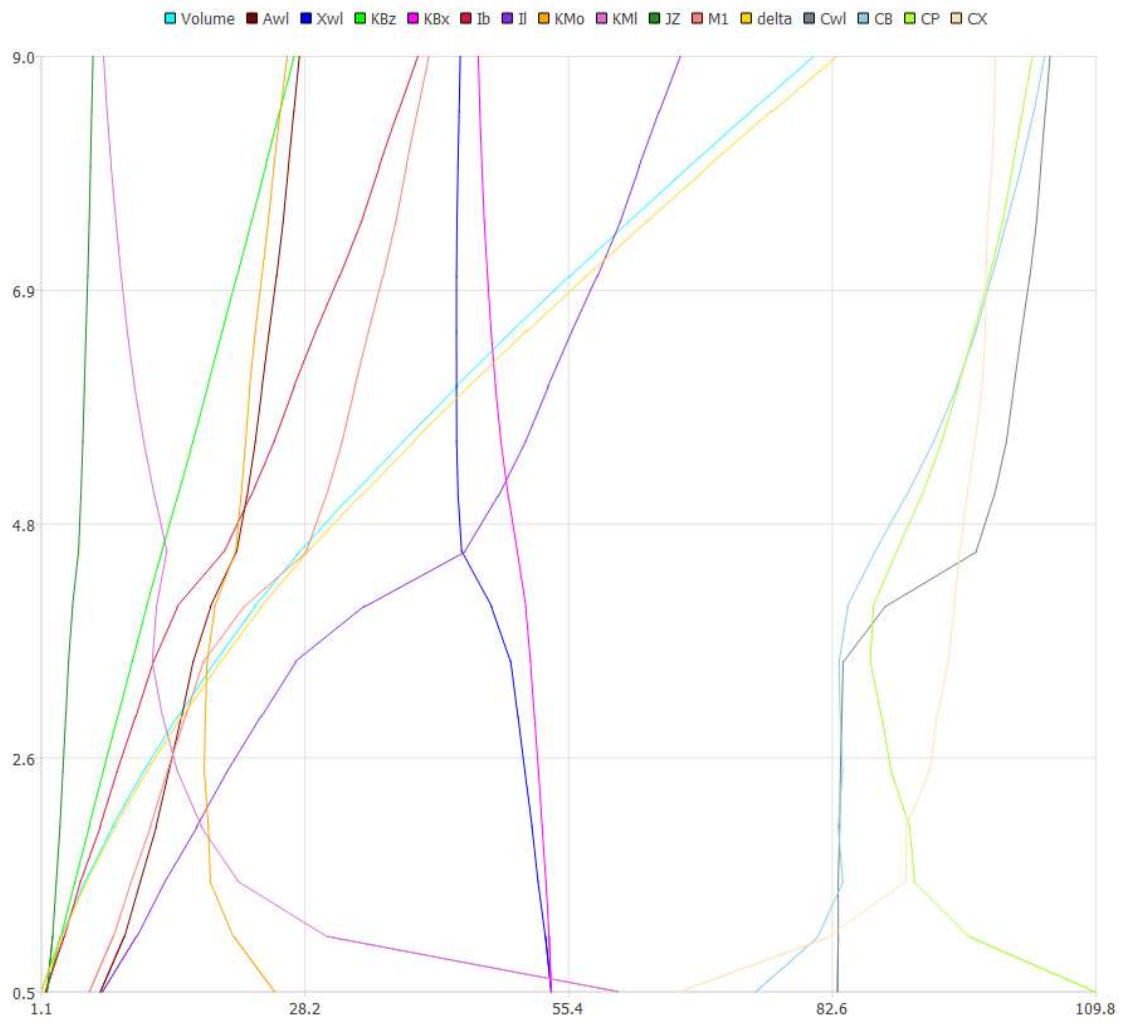
- volumen na rebrima
- volumen s privjescima
- istisnina s privjescima u morskoj vodi
- istisnina broda
- visina uzdužnog metacentra iznad osnovice
- visina poprečnog metacentra iznad osnovice
- poprečni moment inercije vodne linije
- uzdužni moment inercije vodne linije
- površina vodne linije
- jedinični zagažaj
- oplakana površina (rijetko).

Od glavnog rebra očitava se:

- položaj težišta istisnine po duljini
- položaj težišta vodne linije po duljini
- jedinični moment trima.

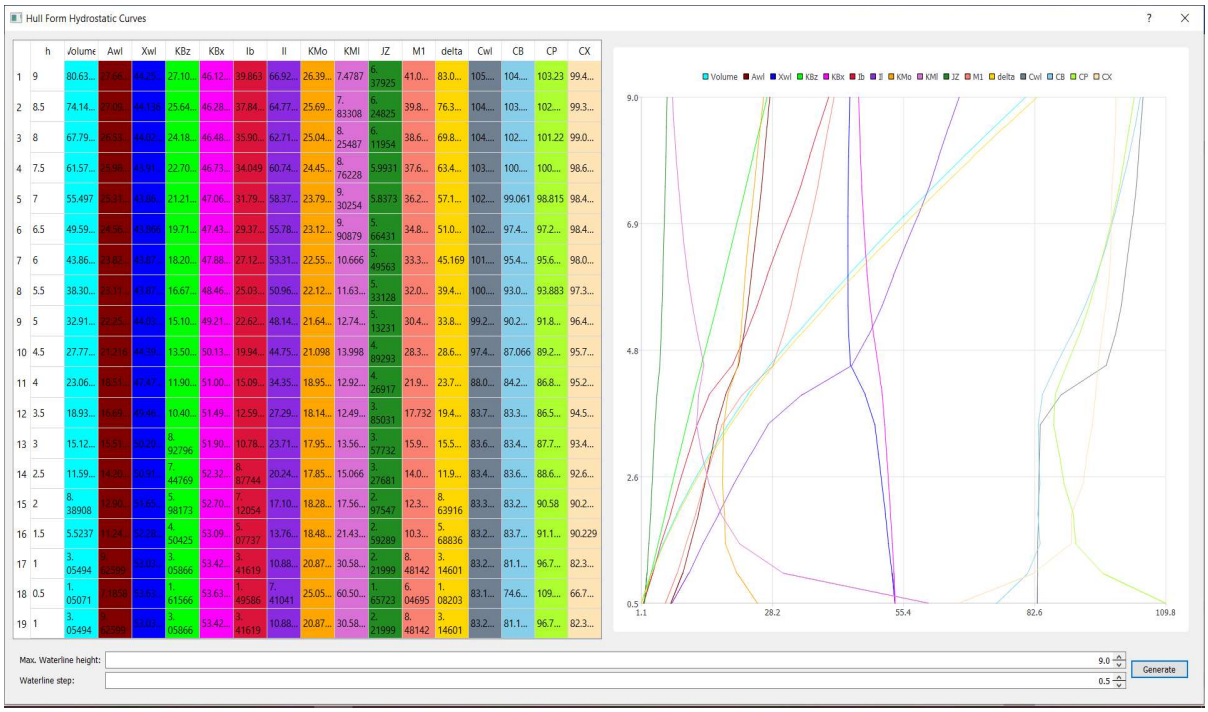
Od pramčane okomice očitava se:

- koeficijent punoće
- uzdužni prizmatički koeficijent
- koeficijent najvećeg rebra
- koeficijent vodne linije.



Slika 9. Dijagramni list

Slika 9. prikazuje dobiveni dijagramni list. Karakteristike su skalirane odgovarajućim mjerilom, kako se ne bi preklapale i kako bi se njihove vrijednosti mogle lakše očitati. Graf je izrađen u istoj aplikaciji u kojoj se vizualizira i forma, primjenom Python modula PySide2.



Slika 10. Prikaz sučelja koji generira dijagramni list

Tablica na slici 10. prikazuje hidrostatke vrijednosti podijeljene s mjerilom. S različitim bojama povezujemo stupac određene karakteristike sa svojom krivuljom na dijagramnom listu. Na dnu sučelja može se varirati maksimalna visina do koje se računaju hidrostatske karakteristike i korak s kojim se dijeli maksimalna visina.

Tablica 9. Mjerilo

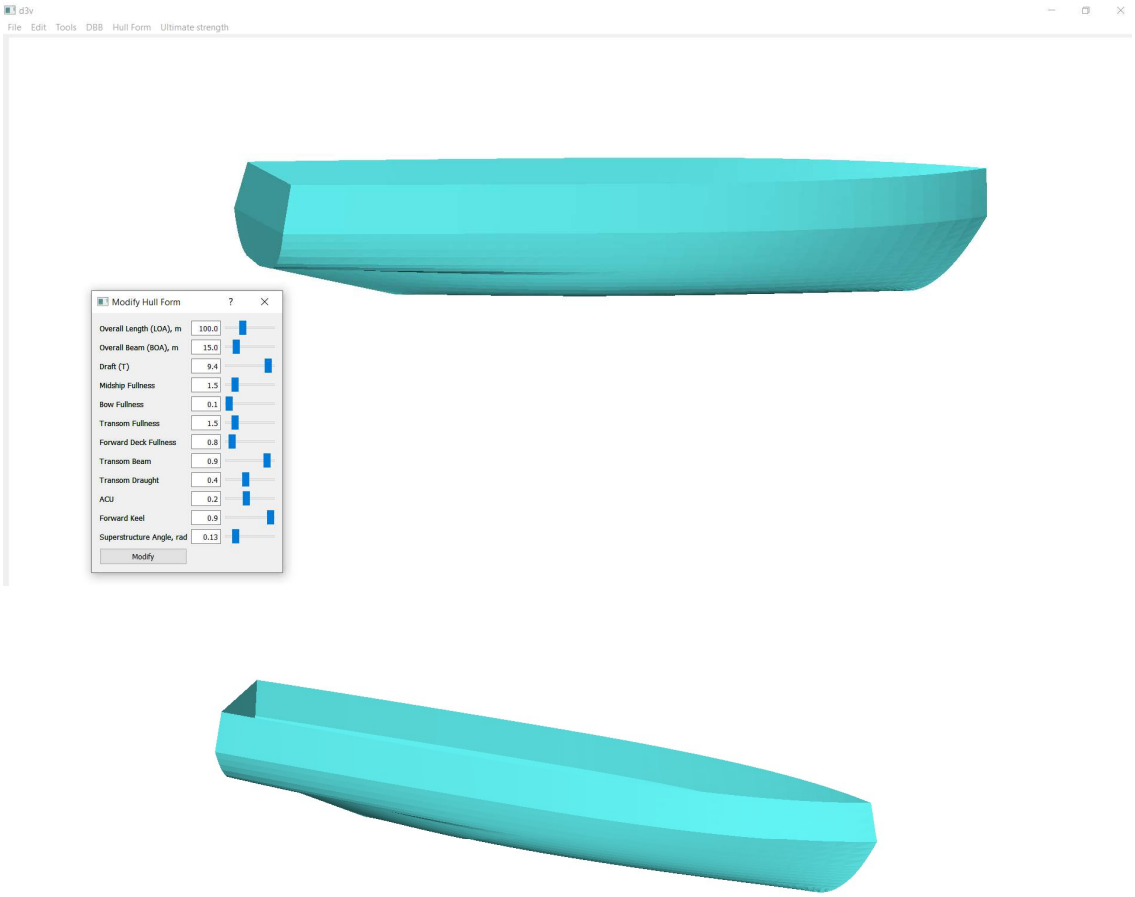
V	A_{wl}	X_{wl}	KB_z	KB_x	Ib	II	KM_0	KM_L	JZ	M1	delta	Cwl	CB	CP	CX
95	45	1	0.2	1	480	12220	0.3	15	2	200	90	0.008	0.0055	0.007	0.008

Da bi očitali vrijednosti sa dijagramnog liste potrebno je na željenoj visini očitati vrijednost karakteristike na x osi i zatim taj broj pomnožiti sa mjerilom. X os nema mjernu jedinicu nego svaka karakteristika nosi svoju.

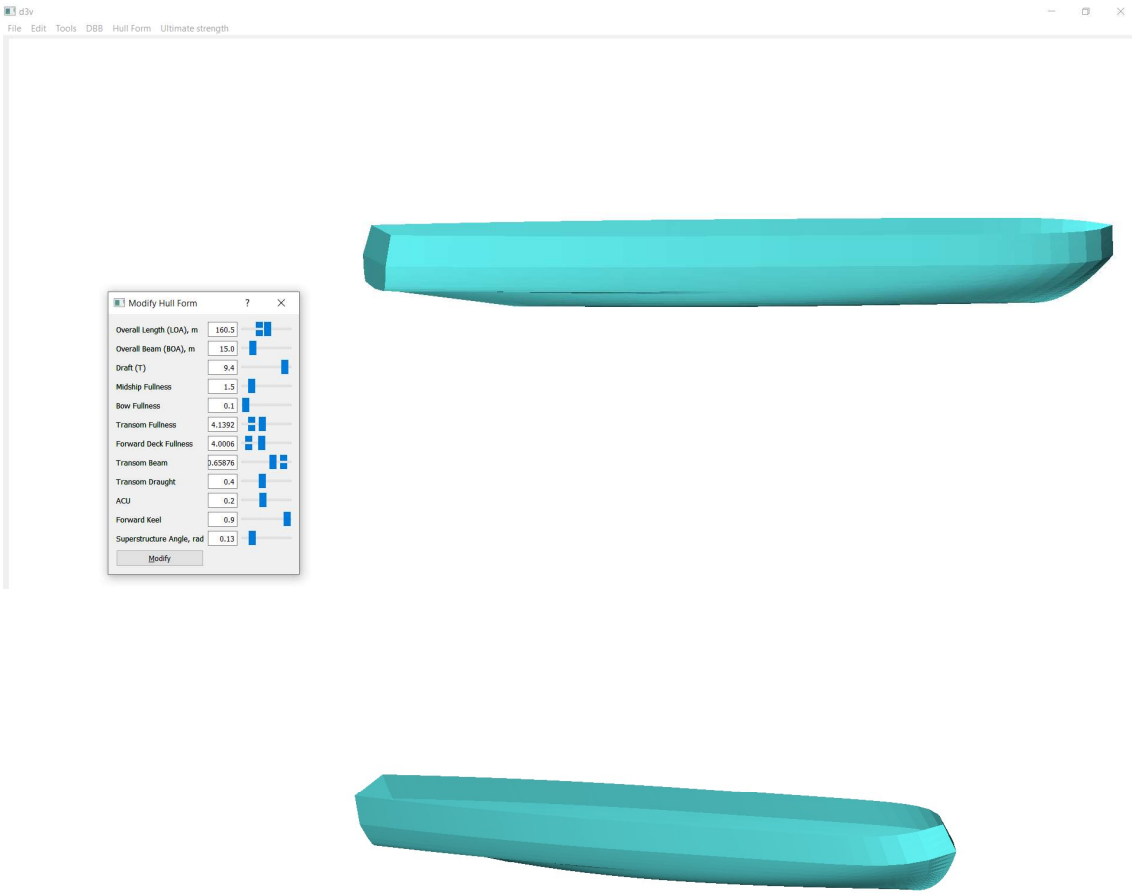
5.4. Grafička kontrola parametara analitički zadane forme broda

Slika 11. prikazuje sučelje za promjenu parametara brodske forme s minimalnim i maksimalnim ograničenjima. Pomicanjem klizača lijevo ili desno, odabrana vrijednost se smanjuje ili povećava, pritiskom na tipku 'modify' nove vrijednosti se unose u kod i promijenjena forma je vizualizirana.

Slika 12. prikazuje formu sa nekoliko izmijenjenih parametara. Brodu je promijenjena duljina, punoća prednje palube, punoća zrcala i širina zrcala.



Slika 11. Prikaz prozora za modifikaciju brodske forme



Slika 12. Prikaz modificirane forme

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je pomoću analitički zadanih parametara napravljena triangularizacija brodske forme, a zatim su provedeni numerički proračuni. Triangularizirana forma se vizualizirala u programu otvorenog koda linaetal-fsb/d3v. U Python programskom sučelju su dobiveni hidrostatički podaci kao što su volumen istisnine, težište vodne linije, površina vodne linije te ostali podaci potrebni za izradu dijagramnog lista. Dijagramni list pokazuje ovisnost svih hidrostatičkih karakteristika o visini koja se unutar sučelja jednostavno mijenja.

Analizirana je promjena hidrostatičkih vrijednosti promjenom broja vodnih linija i broja točaka na njima te su uspoređeni svi dobiveni rezultati.

Vidi se da je triangularizacija brodske forme koristan i relativno jednostavan način za izradu modela brodske forme i njenu vizualizaciju. Također je izračun hidrostatičkih karakteristika lako provediv i vidi se iz tih podataka da je rezultat stabilan i točan već za mali broj vodnih linija i točaka na njima.

LITERATURA

[1] Lovro Ante Rebić: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.

[2] Filipa Marques Sanches: Parametric Modelling of Hull Form for Ship Optimization, Thesis to obtain the Master of Science Degree in Naval Architecture and Marine Engineering, 2016.

[3] http://dbb.ucl.im/

[4] https://www.graphics.rwth-aachen.de/software/openmesh/intro/

[5] Marko Buconić: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.

[6] https://math.stackexchange.com/questions/2371139/volume-of-truncated-prism

[7] https://byjus.com/centroid-formula/

[8] https://www.fsb.unizg.hr/geometrija.broda/

PRILOZI

I. CD-R disc

II. Python programski kod za računanje hidrostatičkih karakteristika broda

```python
from iohandlers import IOHandler
from signals import Signals
from geometry import Geometry
import openmesh as om
import os
import numpy as np
import csv
import math as Math
import time

# import matplotlib.pyplot as plt

class HullFormMeshQuality:
    def __init__(self):
        self._numWL = 10
        self._numPnWLhalf = 10
        self._distPolyOrder=3

    @property
    def numPointsWLhalf(self):
        return self._numPnWLhalf

    def _getDistribution(self, maxv, minv, n, pot):
        x = [0.0] * n
        for i in range(n):
            fi = float(i)
            fn1 = float(n - 1)
            x[i] = fi ** pot / fn1 ** pot * (maxv - minv) + minv
        x.reverse()
        return x

    def genWLPositions(self,hWL_top,  hWL_bottom ):
        wlPos = self._getDistribution(hWL_top, hWL_bottom, self._numWL, self._distPolyOrder)
        return wlPos
    def genWLPositionsUsingObligatory(self,obligatoryLines:list ):
        testLines = self._getDistribution(obligatoryLines[0], obligatoryLines[-1], self._numWL,
self._distPolyOrder)

        nol=len(obligatoryLines)
        wlPos=[]
        i1TL=0
        for iol in range(1,nol):
            hmax=obligatoryLines[iol-1]
            hmin = obligatoryLines[iol]
            numWL=0
            for iTL in range(i1TL,self._numWL):
                if testLines[iTL] < hmax:
                    if testLines[iTL] > hmin:
                        numWL =numWL + 1
                    else:
                        i1TL=iTL
                        break
            wlPosi = self._getDistribution(hmax, hmin, numWL+2, 1)
            for wl in wlPosi:
                if len(wlPos)==0:
                    wlPos.append(wl)
                elif wl < wlPos[-1]:
                    wlPos.append(wl)
        return wlPos


class HullForm(Geometry):
    def __init__(self, fileName):
        super().__init__()
        self.filename = fileName
        self.shipdata = {}
        self.pdecks =[]
        self.pbulkheads = []
        self.hfmq = HullFormMeshQuality()
        results = self.readShipData()
        self.shipdata = results[0]
        self.pdecks = results[1]
        self.pbulkheads = results[2]
        self.h = []  # positive y waterlines
        self.wlinesNeg = []  # negative y waerlines
```

```
        self.wlKeel = []  # keel waterline (one waterline)
        self.generateMesh()

    def generateMesh(self):

        hmax=self.pdecks[0]
        #hmax=9.4
        #wlPos=self.hfmq.genWLPositions(hmax, 0)
        transomTip = self.shipdata["draft_val"] * self.shipdata["td_val"]
        obligatoryWL= []
        for dh in self.pdecks:
            obligatoryWL.append(dh)
        obligatoryWL.append(transomTip)
        obligatoryWL.sort(reverse=True)

        wlPos = self.hfmq.genWLPositionsUsingObligatory(obligatoryWL)
        #results = self.hullGen(self.shipdata, wlPos, self.hfmq.numPointsWLhalf)
        lines = self.hullGen(self.shipdata, wlPos, self.hfmq.numPointsWLhalf)
        self.wlinesPos = lines[0]  # positive y waterlines
        self.wlinesNeg = lines[1]  # negative y waerlines
        self.wlKeel = lines[2]  # keel waterline (one waterline)
        self.mesh = self.genHullFormMeshPP(lines)
        pass


    def getResultsOld(self,h,seaDensity):
        tsStart = time.perf_counter()
        results = []
        fvs = self.mesh.fv_indices().tolist()
        points = self.mesh.points().tolist()
        xmf = 50
        # h=9
        bcwl = self.getBasicDataUsingTrianglesProjectedToWaterline(h,xmf,fvs,points)
        h = bcwl[0]
        volume = bcwl[1]
        area = bcwl[2]
        Xwl = bcwl[3]
        KBz = bcwl[4]
        KBx = bcwl[5]
        Ib = bcwl[6]
        Il = bcwl[7]
        Lwl = bcwl[8]
        Bwl = bcwl[9]
        mfarea = bcwl[10]


        hsdata = self.getHydrostaticData(seaDensity,h,volume,area,Ib, Il,KBz,Lwl,Bwl,mfarea)
        dtAll = time.perf_counter() - tsStart
        print("Hydrostatic results calc time:", dtAll)
        results = bcwl+hsdata
        print(results)
        return results

    def getResults(self,h,seaDensity):
        tsStart = time.perf_counter()
        results = []
        fvs = self.mesh.fv_indices().tolist()
        points = self.mesh.points().tolist()
        xmf = 50
        # h=9
        bcwl = self.getBasicDataUsingTrianglesProjectedToWaterline(h,xmf,fvs,points)
        h = bcwl[0]
        volume = bcwl[1]
        area = bcwl[2]
        Xwl = bcwl[3]
        KBz = bcwl[4]
        KBx = bcwl[5]
        Ib = bcwl[6]
        Il = bcwl[7]
        Lwl,Bwl = self.getLwlBwl(h,fvs,points)
        mfarea = self.getMainFrameArea(xmf, h, fvs, points)
        hsdata = self.getHydrostaticData(seaDensity,h,volume,area,Ib,Il,KBz,Lwl,2*Bwl,mfarea)
        dtAll = time.perf_counter() - tsStart
        print("Hydrostatic results calc time:", dtAll)
        results = bcwl+hsdata
```

```
150         print(results)
151         return results
152 
153     def getMainFrameArea(self,x,h,fvs,points):
154         mfpoints = self.getSortedPointsOnAxisAlignedPlane(x, fvs, points, 0)
155         area=0
156         a = len(mfpoints)
157         for i in range(0,a-2,1):
158                 h1 = mfpoints[i][2]
159                 h2 = mfpoints[i+2][2]
160                 b1 = mfpoints[i][1]
161                 b2 = mfpoints[i+2][1]
162                 if h1<=h and h2<=h:
163                     area = area + 1/2*abs(h2-h1)*(abs(b1)+abs(b2))
164                 if h2>h and h1<h:
165                     point = self.getIntersectionPoint(mfpoints[i+2],mfpoints[i],h,2)
166                     H2 = point[2]
167                     area = area + 1/2*abs(H2-h1)*(abs(b1)+abs(b2))
168 
169         return area
170 
171     def getSortedPointsOnAxisAlignedPlane(self, x, fvs, points, os):
172         mfpoints=[]
173         lpr = []
174         lpl = []
175         for fv in fvs:
176             lpr.clear()
177             lpl.clear()
178             for iv in fv:
179                 p = points[iv]
180                 if p[os] < x:
181                     lpl.append(iv)
182                 elif p[os] > x:
183                     lpr.append(iv)
184                 else:
185                     mfpoints.append(p)
186 
187             if len(lpl)>0 and len(lpr) > 0:
188                 if len(lpl) < len(lpr):
189                     mfpoints.append(self.getIntersectionPoint(points[lpl[0]],points[lpr[0]],x,os
    ))
190                     mfpoints.append(self.getIntersectionPoint(points[lpl[0]], points[lpr[1]], x
    , os))
191                 elif len(lpl) > len(lpr):
192                     mfpoints.append(self.getIntersectionPoint(points[lpl[0]],points[lpr[0]],x,os
    ))
193                     mfpoints.append(self.getIntersectionPoint(points[lpl[1]], points[lpr[0]], x
    , os))
194                 else:
195                     mfpoints.append(self.getIntersectionPoint(points[lpl[0]],points[lpr[0]],x,os
    ))
196                 pass
197 
198         #mfpoints=[[0,1,1],[0,2,21],[1,1,2],[10,0,0]]
199 
200 
201         import itertools
202         mfpoints.sort()
203         mftemp = list(mfpoints for mfpoints,_ in itertools.groupby(mfpoints))
204         mfpoints = mftemp
205 
206         mfpoints = sorted(mfpoints, key=lambda p: p[2])
207         return mfpoints
208 
209     def getHydrostaticData(self,seaDensity,h,volume,area,Ib, Il, KBz,Lwl,Bwl,mfarea):
210 
211         MoB = Ib / volume
212         KMo = MoB + KBz
213         MlB = Il / volume
214         KMl = MlB + KBz
215         JZ = 0.01 * area * seaDensity
216         M1 = Il / Lwl
217         delta = volume / seaDensity
218 
219         Cwl = area / (Lwl * Bwl)
```

```
220         CB = volume / (Lwl * Bwl * h)
221 
222         CP = volume / (mfarea * Lwl)
223         CX = mfarea / (Bwl * h)
224         # results = [MoB,KMo,MlB,KMl,JZ,Cwl,CB,CP,CX]
225         return KMo, KMl, JZ, M1, delta, Cwl, CB, CP, CX
226 
227     def getHydrostaticDataOld(self,seaDensity,h,volume,area,Ib, Il, KBz,Lwl,Bwl,mfarea):
228 
229         MoB = Ib / volume
230         KMo = MoB + KBz
231         MlB = Il / volume
232         KMl = MlB + KBz
233         JZ = 0.01 * area * seaDensity
234 
235         Cwl = area / (Lwl * Bwl)
236         CB = volume / (Lwl * Bwl * h)
237 
238         CP = volume / (mfarea * Lwl)
239         CX = mfarea / (Bwl * h)
240         # results = [MoB,KMo,MlB,KMl,JZ,Cwl,CB,CP,CX]
241 
242         return MoB,KMo,MlB,KMl,JZ,Cwl,CB,CP,CX
243 
244     def getLwlBwl(self, h, fvs, points):
245         wlpoints = self.getSortedPointsOnAxisAlignedPlane(h, fvs, points, 2)
246         wlpoints = sorted(wlpoints, key=lambda p: p[1])
247         Bwl = wlpoints[-1][1]-wlpoints[0][1]
248 
249         wlpoints = sorted(wlpoints, key=lambda p: p[0])
250 
251         Lwl = wlpoints[-1][0] - wlpoints[0][0]
252         return Lwl, Bwl
253 
254     def getBasicDataUsingTrianglesProjectedToWaterline(self, h, x, fvs, points):
255         mesh = self.mesh
256         lpowl = []
257         lpbwl = []
258         Ib = 0
259         KBz = 0
260         KBx = 0
261         vol = 0
262         Awl = 0
263         Xwl = 0
264         p = []
265         r = []
266         cgTriaMid = []
267         a = self.getXwl(h)
268         for fh in fvs:  # facet handle
269             p.clear()
270             r.clear()
271             cgTriaMid.clear()
272             lpowl.clear()
273             lpbwl.clear()
274             i = 0
275             for vh in fh:  # vertex handle
276                 p.append(points[vh])
277                 if p[i][2] > h:
278                     lpowl.append(i)
279 
280                 else:
281                     lpbwl.append(i)
282                 i = i + 1
283             if len(lpowl) < 1:
284                 # A
285                 # Ax = points[fvs[fh][0]][0]
286                 Ax = p[0][0]
287                 Ay = p[0][1]
288                 Az = p[0][2]
289                 # B
290                 Bx = p[1][0]
291                 By = p[1][1]
292                 Bz = p[1][2]
293                 # C
294                 Cx = p[2][0]
```

```
295                 Cy = p[2][1]
296                 Cz = p[2][2]
297                 areaXYPlane = self.calcArea2DTria(Ax, Ay, Bx, By, Cx, Cy)
298 
299                 # Volume
300                 hA = h - Az
301                 hB = h - Bz
302                 hC = h - Cz
303                 vol = vol + 1 / 3 * abs(areaXYPlane) * (hA + hB + hC)
304 
305                 # Ib Il
306                 r.append(self.TezisteTrokuta(Ax, Ay, h, Bx, By, h, Cx, Cy, h))
307                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * areaXYPlane
308 
309                 # Kbz, KBx
310                 hsr = (Az + Bz + Cz) / 3
311                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(Ax, Ay, (h - hsr), Bx, By, (h - hsr), Cx,
    Cy, (h - hsr)))
312                 KBz = KBz + abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By))) * (h
     - hsr) * (
313                         hsr + (h - hsr) / 2)
314                 KBx = KBx + abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By))) * (h
     - hsr) * (
315                     cgTriaMid[0][0])
316 
317                 # Awl
318                 area = self.calcArea2DTria(Ax, Ay, Bx, By, Cx, Cy)
319 
320                 # Xwl
321                 Xwl = Xwl + (r[0][0] * abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay
     - By))))
322 
323                 pass
324             elif len(lpowl) == 1:
325                 # 2 trokuta Ib, Il i Xwl
326                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpowl[0]], p[lpbwl[0]], p[lpbwl[1]], h, 2)
327                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p
    [lpbwl[1]][0],
328                                              p[lpbwl[1]][1], h))
329                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0],
    lip[1][1], p[lpbwl[1]][0],
330                                                              p[lpbwl[1]][1])
331 
332                 Xwl = Xwl + r[0][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1
    ][1], p[lpbwl[1]][0],
333                                                           p[lpbwl[1]][1])
334 
335                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], h, p[lpbwl[0]][0],
336                                              p[lpbwl[0]][1], h))
337                 Ib = Ib + r[1][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0
    ], p[lpbwl[1]][1],
338                                                              p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
339 
340                 Xwl = Xwl + r[1][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0],
    p[lpbwl[1]][1],
341                                                           p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
342 
343                 # Kbz, KBx
344                 hsr = (lip[0][2] + lip[1][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
345                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][
    1], h, p[lpbwl[1]][0],
346                                                      p[lpbwl[1]][1], h))
347                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[1]][0],
348                                                 p[lpbwl[1]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr
    ) / 2)
349                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[1]][0],
350                                                 p[lpbwl[1]][1]) * (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
351 
352                 hsr = (lip[0][2] + p[lpbwl[1]][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
353                 cgTriaMid.append(
354                     self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1
    ], h, p[lpbwl[0]][0],
```

```
355                                             p[lpbwl[0]][1], h))
356                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], p[lpbwl[0]][0],
357                                                 p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr
    ) / 2)
358                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], p[lpbwl[0]][0],
359                                                 p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
360
361                 # Volume
362                 area1 = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1
    ], p[lpbwl[1]][0],
363                                             p[lpbwl[1]][1])
364                 area2 = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[lpbwl[
    1]][0], p[lpbwl[1]][1])
365                 areaXYPlane = area1 + area2
366                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[0]][2] + h - p[lpbwl[1]][2]) * area1
367                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[1]][2]) * area2
368
369                 # Awl
370                 area = area1 + area2
371
372                 pass
373             elif len(lpowl) == 2:
374                 # 1 trokut Ib, Il
375                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpbwl[0]], p[lpowl[0]], p[lpowl[1]], h, 2)
376                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p
    [lpbwl[0]][0],
377                                              p[lpbwl[0]][1], h))
378                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0],
    lip[1][1], p[lpbwl[0]][0],
379                                                              p[lpbwl[0]][1])
380
381                 # KBz, KBx
382                 hsr = (lip[0][2] + lip[1][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
383                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][
    1], h, p[lpbwl[0]][0],
384                                                      p[lpbwl[0]][1], h))
385                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0],
386                                                 p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr
    ) / 2)
387                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0],
388                                                 p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
389
390                 # Volume
391                 areaXYPlane = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0],
392                                                   p[lpbwl[0]][1])
393                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[0]][2]) * areaXYPlane
394
395                 # Awl
396                 area = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[lpbwl[0
    ]][0], p[lpbwl[0]][1])
397
398                 # Xwl
399                 Xwl = Xwl + r[0][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1
    ][1], p[lpbwl[0]][0],
400                                                           p[lpbwl[0]][1])
401
402                 pass
403             else:
404                 area = 0
405             Awl = Awl + area
406
407         Xwl = Xwl / Awl
408         Il = float(self.getIl(h, Xwl))
409         KBz = KBz / vol
410         KBx = KBx / vol
411         Lwl, Bwl = self.getLwlBwl(h, fvs, points)
412         mfarea = self.getMainFrameArea(x, h, fvs, points)
413
414         return h, 2 * vol, 2 * Awl, Xwl, KBz, KBx, 2 * Ib, 2 * Il
415
```

```
416     def getBasicDataUsingTrianglesProjectedToWaterlineOld(self,h,x,fvs,points):
417         mesh = self.mesh
418         lpowl = []
419         lpbwl = []
420         Ib = 0
421         KBz = 0
422         KBx = 0
423         vol = 0
424         Awl = 0
425         Xwl = 0
426         p = []
427         r = []
428         cgTriaMid = []
429         a = self.getXwl(h)
430         for fh in fvs:  # facet handle
431             p.clear()
432             r.clear()
433             cgTriaMid.clear()
434             lpowl.clear()
435             lpbwl.clear()
436             i = 0
437             for vh in fh:  # vertex handle
438                 p.append(points[vh])
439                 if p[i][2] > h:
440                     lpowl.append(i)
441 
442                 else:
443                     lpbwl.append(i)
444                 i = i + 1
445             if len(lpowl) < 1:
446                 # A
447                 #Ax = points[fvs[fh][0]][0]
448                 Ax = p[0][0]
449                 Ay = p[0][1]
450                 Az = p[0][2]
451                 # B
452                 Bx = p[1][0]
453                 By = p[1][1]
454                 Bz = p[1][2]
455                 # C
456                 Cx = p[2][0]
457                 Cy = p[2][1]
458                 Cz = p[2][2]
459                 areaXYPlane = self.calcArea2DTria(Ax, Ay, Bx, By, Cx, Cy)
460 
461                 # Volume
462                 hA = h - Az
463                 hB = h - Bz
464                 hC = h - Cz
465                 vol = vol + 1 / 3 * abs(areaXYPlane) * (hA + hB + hC)
466 
467                 # Ib Il
468                 r.append(self.TezisteTrokuta(Ax, Ay, h, Bx, By, h, Cx, Cy, h))
469                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * areaXYPlane
470 
471                 #Kbz, KBx
472                 hsr = (Az + Bz + Cz) / 3
473                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(Ax, Ay, (h - hsr), Bx, By, (h - hsr), Cx,
    Cy, (h - hsr)))
474                 KBz = KBz + abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By))) * (h
     - hsr) * (
475                                 hsr + (h - hsr) / 2)
476                 KBx = KBx + abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By))) * (h
     - hsr) * (
477                 cgTriaMid[0][0])
478 
479                 #Awl
480                 area = self.calcArea2DTria(Ax,Ay,Bx,By,Cx,Cy)
481 
482                 #Xwl
483                 Xwl = Xwl + (r[0][0] * abs(1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay
     - By))))
484 
485                 pass
486             elif len(lpowl) == 1:
```

```
487                 # 2 trokuta Ib, Il i Xwl
488                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpowl[0]], p[lpbwl[0]], p[lpbwl[1]], h, 2)
489                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0],lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p[
    lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1], h))
490                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0],lip[0][1], lip[1][0], lip
    [1][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1])
491 
492                 Xwl = Xwl + r[0][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1
    ][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1])
493 
494                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], h, p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
495                 Ib = Ib + r[1][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1],p[lpbwl[1]][0
    ], p[lpbwl[1]][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
496 
497                 Xwl = Xwl + r[1][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0],
    p[lpbwl[1]][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
498 
499                 #Kbz, KBx
500                 hsr = (lip[0][2] + lip[1][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
501                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][
    1], h, p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1], h))
502                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0],lip[0][1] ,lip[1][0],lip[1][1], p[
    lpbwl[1]][0],p[lpbwl[1]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr) / 2)
503                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0],lip[0][1] ,lip[1][0],lip[1][1], p[
    lpbwl[1]][0],p[lpbwl[1]][1])* (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
504 
505                 hsr = (lip[0][2] + p[lpbwl[1]][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
506                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, p[lpbwl[1]][0], p[
    lpbwl[1]][1], h, p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
507                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr) / 2)
508                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
509 
510                 #Volume
511                 area1 = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1
    ], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1])
512                 area2 = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[lpbwl[
    1]][0], p[lpbwl[1]][1])
513                 areaXYPlane = area1 + area2
514                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[0]][2] + h - p[lpbwl[1]][2]) * area1
515                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[1]][2]) * area2
516 
517                 # Awl
518                 area = area1 + area2
519 
520                 pass
521             elif len(lpowl) == 2:
522                 # 1 trokut Ib, Il
523                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpbwl[0]], p[lpowl[0]], p[lpowl[1]], h, 2)
524                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p
    [lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
525                 Ib = Ib + r[0][1] ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0],
    lip[1][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
526 
527                 #KBz, KBx
528                 hsr = (lip[0][2] + lip[1][2] + p[lpbwl[0]][2]) / 3
529                 cgTriaMid.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][
    1], h, p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
530                 KBz = KBz + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (hsr + (h - hsr) / 2)
531                 KBx = KBx + self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1]) * (h - hsr) * (cgTriaMid[0][0])
532 
533                 #Volume
534                 areaXYPlane = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[
    lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
535                 vol = vol + 1 / 3 * (h - p[lpbwl[0]][2]) * areaXYPlane
536 
537                 #Awl
538                 area = self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1][1], p[lpbwl[0
    ]][0], p[lpbwl[0]][1])
539 
540                 #Xwl
```

```
541                 Xwl = Xwl + r[0][0] * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][0], lip[1
    ][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
542 
543                 pass
544             else:
545                 area = 0
546             Awl = Awl + area
547 
548         Xwl = Xwl / Awl
549         Il = self.getIl(h, Xwl)
550         KBz = KBz / vol
551         KBx = KBx / vol
552         Lwl,Bwl = self.getLwlBwl(h,fvs,points)
553         mfarea = self.getMainFrameArea(x,h,fvs,points)
554 
555         return h, vol, Awl, Xwl, KBz, KBx, Ib, Il, Lwl, Bwl, mfarea
556 
557     def getIl(self,h, Xwl):
558         mesh = self.mesh
559         lpowl = []
560         lpbwl = []
561         Il = 0
562         p = []
563         r = []
564         a = Xwl
565         for fh in mesh.faces():  # facet handle
566             p.clear()
567             r.clear()
568             lpowl.clear()
569             lpbwl.clear()
570             i = 0
571             for vh in mesh.fv(fh):  # vertex handle
572                 p.append(mesh.point(vh))
573                 if p[i][2] > h:
574                     lpowl.append(i)
575 
576                 else:
577                     lpbwl.append(i)
578                 i = i + 1
579             if len(lpowl) < 1:
580                 # A
581                 Ax = p[0][0]
582                 Ay = p[0][1]
583                 # B
584                 Bx = p[1][0]
585                 By = p[1][1]
586                 # C
587                 Cx = p[2][0]
588                 Cy = p[2][1]
589                 r.append(self.TezisteTrokuta(Ax, Ay, h, Bx, By, h, Cx, Cy, h))
590                 Il = Il + (r[0][0] - a) ** 2 * self.calcArea2DTria(Ax, Ay, Bx, By, Cx, Cy)
591                 pass
592             elif len(lpowl) == 1:
593                 # 2 trokuta
594                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpowl[0]], p[lpbwl[0]], p[lpbwl[1]], h, 2)
595                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0],lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p[
    lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1], h))
596                 Il = Il + (r[0][0] - a) ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0],lip[0][1], lip[1][0
    ], lip[1][1], p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1]][1])
597 
598                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, p[lpbwl[1]][0], p[lpbwl[1
    ]][1], h, p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
599                 Il = Il + (r[1][0] - a) ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1],p[lpbwl[
    1]][0], p[lpbwl[1]][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
600 
601                 pass
602             elif len(lpowl) == 2:
603                 # 1 trokut
604                 lip = self.getIntersectionPoints(p[lpbwl[0]], p[lpowl[0]], p[lpowl[1]], h, 2)
605                 r.append(self.TezisteTrokuta(lip[0][0], lip[0][1], h, lip[1][0], lip[1][1], h, p
    [lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1], h))
606                 Il = Il + (r[0][0] - a) ** 2 * self.calcArea2DTria(lip[0][0], lip[0][1], lip[1][
    0], lip[1][1], p[lpbwl[0]][0], p[lpbwl[0]][1])
607                 pass
608 
```

```
609         return Il
610 
611     def TezisteTrokuta(self, Ax, Ay, Az, Bx, By, Bz, Cx, Cy, Cz):
612 
613         Xcm = (Ax + Bx + Cx) / 3
614         Ycm = (Ay + By + Cy) / 3
615         Zcm = (Az + Bz + Cz) / 3
616 
617         return Xcm, Ycm, Zcm
618 
619     def getIntersectionPoints(self, p1,p2,p3,h, os):
620         ip1 = self.getIntersectionPoint(p1,p2,h, os)
621         ip2 = self.getIntersectionPoint(p1, p3, h, os)
622         ips = [ip1, ip2]
623         return ips
624 
625     def getIntersectionPoint(self, p1,p2,h, os):
626         ip1=0
627         if os == 2:
628             ip1 = [(h-p2[2])/(p1[2]-p2[2])*(p1[0]-p2[0])+p2[0], (h-p2[2])/(p1[2]-p2[2])*(p1[1]-
    p2[1])+p2[1] ,h]
629         if os == 0:
630             ip1 = [h, (h-p1[0])/(p2[0]-p1[0])*(p2[1]-p1[1])+p1[1], (h-p1[0])/(p2[0]-p1[0])*(p2[2
    ]-p1[2])+p1[2]]
631 
632         return ip1
633 
634     def calcArea2DTria(self,Ax,Ay,Bx,By,Cx,Cy):
635         area = 1 / 2 * (Ax * (By - Cy) + Bx * (Cy - Ay) + Cx * (Ay - By))
636         return abs(area)
637 
638     # kod za formu
639     def genHullFormMesh(self, lines: list):
640         mesh = om.TriMesh()
641         wlinesPos = lines[0]  # positive y waterlines
642         wlinesNeg = lines[1]  # negative y waerlines
643         wlKeel = lines[2]  # keel waterline (one waterline)
644         n1 = np.array([0,0,0])
645         m1 = np.array([0,0,0])
646         m2 = np.array([0,0,0])
647         pt1= np.array(3)
648         pt2= np.array(3)
649         n2 = np.array([0,0,0])
650         n3 = np.array([0,0,0])
651         n4 = np.array([0,0,0])
652 
653         for i in range(len(lines) - 2):  # lijevo desno kobilica
654             for j in range(len(lines[i])):  # broji vodne linije
655                 for k in range(len(lines[i][j]) - 2):  # broj tocaka na vodnoj liniji
656                     if j == len(lines[i]) - 1:          #kobilica
657                         mpt1 = lines[i][j-1][k]
658                         mpt2 = lines[i][j-1][k + 1]
659                         mpt3 = lines[i][len(lines[i])-1][k]
660                         mpt4 = lines[i][len(lines[i])-1][k + 1]
661 
662                         # volumenA = volumenA + Voltot(mpt1,mpt2,mpt3,mpt4)
663                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(mpt1), mesh.add_vertex(mpt2), mesh.
    add_vertex(mpt3))
664                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(mpt2), mesh.add_vertex(mpt4), mesh.
    add_vertex(mpt3))
665 
666                     if j != len(lines[i])-1:         #Sve ostale vodne linije
667                         mpt1 = lines[i][j][k]
668                         mpt2 = lines[i][j][k + 1]
669                         mpt3 = lines[i][j+1][k]
670                         mpt4 = lines[i][j+1][k + 1]
671                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(mpt1), mesh.add_vertex(mpt2), mesh.
    add_vertex(mpt3))
672                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(mpt2), mesh.add_vertex(mpt4), mesh.
    add_vertex(mpt3))
673 
674 
675         for i in range(len(lines) - 2):  # lijevo desno kobilica
676                 for k in range(len(lines[i][0]) - 2):  # broj tocaka na vodnoj liniji
677                         pt1 = lines[i][0][k]
```

```
678                         pt2 = lines[i][0][k + 1]
679                         m1[0] = pt1[0]
680                         m1[2] = pt1[2]
681                         m2[0] = pt2[0]
682 
683                         m2[2] = pt2[2]
684                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(pt1), mesh.add_vertex(m1), mesh.add_vertex
    (pt2))
685                         mesh.add_face(mesh.add_vertex(pt2), mesh.add_vertex(m1), mesh.add_vertex
    (m2))
686 
687         return mesh
688 
689     def _genFaces(self,mesh:om.TriMesh,whs:list, doReverse:bool):
690         nl=len(whs)
691         npt=len(whs[0])
692         for iL in range(1, nl):
693             npt_iL = len(whs[iL])
694             npt_iL_1 = len(whs[iL-1])
695             dip=0
696             if npt_iL > npt_iL_1:
697                 if doReverse:
698                     mesh.add_face(whs[iL][0], whs[iL][1], whs[iL - 1][0])
699                 else:
700                     mesh.add_face(whs[iL][1], whs[iL][0], whs[iL - 1][0])
701                 dip = 1
702             for ipL_1 in range(1,npt_iL_1):
703                 ip = ipL_1+dip
704                 if doReverse:
705                     mesh.add_face(whs[iL - 1][ipL_1 - 1], whs[iL][ip], whs[iL - 1][ipL_1])
706                     mesh.add_face(whs[iL - 1][ipL_1 - 1], whs[iL][ip - 1], whs[iL][ip])
707                 else:
708                     mesh.add_face(whs[iL - 1][ipL_1-1],   whs[iL - 1][ipL_1],whs[iL ][ip])
709                     mesh.add_face(whs[iL - 1][ipL_1 - 1], whs[iL][ip],    whs[iL][ip-1])
710 
711     def genHullFormMeshPP(self, lines: list):
712         mesh = om.TriMesh()
713         wlinesPos = lines[0]  # positive y waterlines
714         wlinesNeg = lines[1]  # negative y waerlines
715         wlKeel = lines[2]  # keel waterline (one waterline)
716         wlinesPos.reverse()
717         wlinesNeg.reverse()
718 
719         whsPos = []
720         whsNeg = []
721         whsi = []
722         whsPos.append(whsi)
723         whsNeg.append(whsi)
724         for p in wlKeel:
725             whsi.append(mesh.add_vertex(p))
726 
727 
728         for wl in wlinesPos:
729             whsi = []
730             whsPos.append(whsi)
731             for p in wl:
732                 whsi.append(mesh.add_vertex(p))
733         for wl in wlinesNeg:
734             whsi = []
735             whsNeg.append(whsi)
736             for p in wl:
737                 whsi.append(mesh.add_vertex(p))
738 
739         self._genFaces(mesh,whsPos,True)
740         #self._genFaces(mesh, whsNeg,False)
741 
742         return mesh
743 
744 
745 
746     def hullGen(self, shipdata: dict, pdecks: list, nump):
747         # gs is the grid size of a cell, in pixels
748         # Reminder to make gridsize scaled to the screen width
749         # Sets hullform data to slider values
750         shipdata["loa_val"] = shipdata["loa_val"]
```

```
751         shipdata["boa_val"] = shipdata["boa_val"]
752 
753         #
754         midshipsM = shipdata["ms_val"]  # Constant m in JC equation
755         bowRakeM = shipdata["bow_val"]  # Constant m in JC equation
756         transomM = shipdata["tr_val"]  # Constant m in JC equation
757         fwdDeckM = shipdata["deck_val"]  # Constant m in JC equation
758 
759         transomBeamMax = (shipdata["boa_val"] * shipdata["tb_val"]) / 2  # Transom half beam
760         transomTip = shipdata["draft_val"] * shipdata["td_val"]
761         ACU = shipdata["loa_val"] * shipdata["acu_val"]
762         keelFwd = shipdata["loa_val"] * shipdata["kf_val"]
763         slope = shipdata["sa_val"]
764 
765         midBeam = []  # Array with midships half beam per deck
766         bowRake = []  # Array with bow rake per deck
767         bowRakeS = []  # Array with bow rake per deck in superstructure
768         TB = 0  # Transom half beam of a deck
769         transomBeam = []  # Array with transom half beam per deck
770         fwdDeckMArray = []  # Array with constants m in JC equation for deck outlines
771         AE = 0  # Aft end of a deck
772         aftEnd = []  # Array with aft end of each deck
773         aftEndS = []  # Array with aft end of each deck in superstructure
774         noseConeBaseRadius = []  # See excel tool
775         ogiveRadius = []  # See excel tool
776         pdecks2 = []  # Array with deck positions of hull decks
777         pdecks3 = []  # Array with deck positions of superstructure decks
778 
779         for i in range(len(pdecks)):  # Assign values to variables above
780             if pdecks[i] <= shipdata["draft_val"]:  # For each deck that is in the hull
781                 midBeam.append((Math.acosh(
782                     (pdecks[i] / shipdata["draft_val"]) * (Math.cosh(midshipsM * Math.pi) - 1
    ) + 1) / (
783                                                midshipsM * Math.pi)) * (shipdata["boa_val"] / 2))
784                 bowRake.append((Math.acosh(
785                     (pdecks[i] / shipdata["draft_val"]) * (Math.cosh(bowRakeM * Math.pi) - 1) +
    1) / (
786                                                bowRakeM * Math.pi)) * (shipdata["loa_val"] -
    keelFwd))
787                 if pdecks[i] > transomTip:
788                     TB = ((Math.acosh(((pdecks[i] - transomTip) / (shipdata["draft_val"] -
    transomTip)) * (
789                                       Math.cosh(transomM * Math.pi) - 1) + 1) / (transomM * Math.pi
    )) * (transomBeamMax))
790 
791                 else:
792                     TB = 0
793 
794                 transomBeam.append(TB)
795                 fwdDeckMArray.append(fwdDeckM * (pdecks[i] / (shipdata[
796                     "draft_val"])) + 0.001)  # Changes constant m in JC equation to make deck
    outlines becomes slimmer with decreasing z position (see below)
797                 if (pdecks[i] >= transomTip):
798                     AE = (shipdata["draft_val"] - pdecks[i]) * Math.tan(slope)
799 
800                 else:
801                     AE = (shipdata["draft_val"] - transomTip) * Math.tan(slope) + (transomTip -
    pdecks[i]) * (
802                                       (ACU - (shipdata["draft_val"] - transomTip) * Math.tan(slope
    )) / transomTip)
803 
804                 aftEnd.append(AE)
805                 pdecks2.append(pdecks[i])
806 
807             else:  # For each deck that is in the superstructure
808                 aftEndS.append((pdecks[i] - shipdata["draft_val"]) * Math.tan(slope))
809                 bowRakeS.append(shipdata["loa_val"] - ((pdecks[i] - shipdata["draft_val"]) *
    Math.tan(slope)) - keelFwd)
810                 pdecks3.append(pdecks[i])
811 
812         for i in range(len(midBeam)):  # Assign values to variables above cont.
813             noseConeBaseRadius.append(midBeam[i] - transomBeam[i])
814             if noseConeBaseRadius[i] > 0:
815                 ogiveRadius.append(
816                     (Math.pow(noseConeBaseRadius[i], 2) + Math.pow((shipdata["loa_val"] / 2) -
```

```
aftEnd[i], 2)) / (
                                2 * noseConeBaseRadius[i]))

            else:
                ogiveRadius.append(0)

        deckOutlinesHull = []  # Array with hull deck outline x, y coordinates
        # Get y points for every x
        for idk in range(len(midBeam)):  # For each deck in hull
            deckOutlinesHull.append([])  # For each deck create array
            if pdecks2[idk] != 0:  # If not keel
                if transomBeam[idk] > 0:  # Add vertical hull line at transom
                    deckOutlinesHull[idk].append([aftEnd[idk], 0])
                kmin = aftEnd[idk]
                kmax = shipdata["loa_val"] / 2
                klist = np.linspace(kmin, kmax, nump)
                for xpt in klist:
                    deckOutlinesHull[idk].append([xpt, (
                                Math.sqrt(Math.pow(ogiveRadius[idk], 2) - Math.pow(xpt - shipdata["loa_val"] / 2, 2)) +
                                noseConeBaseRadius[idk] - ogiveRadius[idk] + transomBeam[idk])])

                kmin = shipdata["loa_val"] / 2
                kmax = keelFwd + bowRake[idk]
                klist = np.linspace(kmin, kmax, nump)
                for xpt in klist:
                    eqX = (xpt - shipdata["loa_val"] / 2) / (
                                keelFwd + bowRake[idk] - (shipdata["loa_val"] / 2))  # Value of x in JC equation
                    deckOutlinesHull[idk].append([xpt, (1 - ((Math.cosh(eqX * fwdDeckMArray[idk] * Math.pi) - 1) / (
                                Math.cosh(fwdDeckMArray[idk] * Math.pi) - 1))) * midBeam[idk]])


            else:  # If keel draw top
                kmin = aftEnd[idk]
                kmax = (keelFwd + bowRake[idk])
                klist = np.linspace(kmin, kmax, nump * 2)
                for xpt in klist:
                    deckOutlinesHull[idk].append([xpt, 0])  # Straight line

        deckOutlinesS = []  # Array with superstructure deck outline x, y coordinates
        tumblehome = []  # Superstructure tumblehome
        for n in range(len(aftEndS)):  # For each deck in superstructure
            deckOutlinesS.append([])  # For each deck create array
            tumblehome = (pdecks3[n] - shipdata["draft_val"]) * Math.tan(
                slope)  # Calculate tumblehome y offset to subtract below
            deckOutlinesS[n].append([aftEndS[n], 0])  # Add vertical hull line at transom

            kmin = aftEndS[n]
            kmax = shipdata["loa_val"] / 2
            klist = np.linspace(kmin, kmax, nump)
            for xpt in klist:
                deckOutlinesS[n].append([xpt, (
                            Math.sqrt(Math.pow(ogiveRadius[0], 2) - Math.pow(xpt - shipdata["loa_val"] / 2, 2)) +
                            noseConeBaseRadius[0] - ogiveRadius[0] + transomBeam[0] - tumblehome)])

            kmin = shipdata["loa_val"] / 2
            kmax = (keelFwd + bowRakeS[n])
            klist = np.linspace(kmin, kmax, nump)
            for xpt in klist:
                eqX = (xpt - shipdata["loa_val"] / 2) / (
                            keelFwd + bowRakeS[n] - (shipdata["loa_val"] / 2))  # Value of x in JC equation
                deckOutlinesS[n].append([xpt, (1 - ((Math.cosh(eqX * fwdDeckMArray[0] * Math.pi) - 1) / (
                            Math.cosh(fwdDeckMArray[0] * Math.pi) - 1))) * (midBeam[0] - tumblehome)])

        wlinesPos = []
        wlinesNeg = []
        wlKeel = []

```

```
883         for ii in range(len(deckOutlinesS)):
884             wlineP = list()
885             wlineN = list()
886             for item in deckOutlinesS[ii]:
887                 p = np.array([item[0], item[1], pdecks3[ii]])
888                 wlineP.append(p)
889                 p = np.array([item[0], -item[1], pdecks3[ii]])
890                 wlineN.append(p)
891             wlinesPos.append(wlineP)
892             wlinesNeg.append(wlineN)
893 
894         for ii in range(len(deckOutlinesHull)):
895 
896             if pdecks2[ii] != 0:
897                 wlineP = list()
898                 wlineN = list()
899                 for item in deckOutlinesHull[ii]:
900                     p = np.array([item[0], item[1], pdecks2[ii]])
901                     wlineP.append(p)
902                     p = np.array([item[0], -item[1], pdecks2[ii]])
903                     wlineN.append(p)
904                 wlinesPos.append(wlineP)
905                 wlinesNeg.append(wlineN)
906             else:
907                 for item in deckOutlinesHull[ii]:
908                     p = np.array([item[0], item[1], pdecks2[ii]])
909                     wlKeel.append(p)
910 
911         return [wlinesPos, wlinesNeg, wlKeel]
912 
913     def readShipData(self):
914         shipdata = {}
915         pdecks = []
916         pbulkheads = []
917         with open(self.filename, newline='') as csvfile:
918             f = csv.DictReader(csvfile)
919             shipset = 0
920             for row in f:  # there is only one row after header row!!!!!
921                 shipset = row
922 
923             shipdata["loa_val"] = float(shipset['LOA'])  # treba li učitavanje vrijednosti biti
    u petlji?
924             shipdata["boa_val"] = float(shipset['BOA'])  # treba li učitavanje vrijednosti biti
    u petlji?
925             shipdata['draft_val'] = float(shipset['D'])
926             shipdata['shipname'] = shipset['Name']
927 
928             splitdata = str(shipset['HullData']).split(" ")
929             shipdata["ms_val"] = float(splitdata[0])
930             shipdata["bow_val"] = float(splitdata[1])
931             shipdata["tr_val"] = float(splitdata[2])
932             shipdata["deck_val"] = float(splitdata[3])
933             shipdata["tb_val"] = float(splitdata[4])
934             shipdata["td_val"] = float(splitdata[5])
935             shipdata["acu_val"] = float(splitdata[6])
936             shipdata["kf_val"] = float(splitdata[7])
937             shipdata["sa_val"] = float(splitdata[8])
938 
939             shipdata["sp_val"] = float(splitdata[9])
940             shipdata["cwl_val"] = float(splitdata[10])
941             shipdata["lcb_val"] = float(splitdata[11])
942             shipdata["cb_val"] = float(splitdata[12])
943             shipdata["mc_val"] = float(splitdata[13])
944             shipdata["bb_val"] = float(splitdata[14])
945             shipdata["tran_val"] = float(splitdata[15])
946             shipdata["ab_val"] = float(splitdata[16])
947 
948             shipdata["lwl_val"] = float(splitdata[17])
949             shipdata["bwl_val"] = float(splitdata[18])
950             shipdata["tf_val"] = float(splitdata[19])
951             shipdata["ta_val"] = float(splitdata[20])
952 
953             shipdata["app1"] = float(splitdata[21])
954             shipdata["area_app1"] = float(splitdata[22])
955             shipdata["app2"] = float(splitdata[23])
```

```
956             shipdata["area_app2"] = float(splitdata[24])
957             shipdata["area_app3"] = float(splitdata[25])
958             shipdata["area_app4"] = float(splitdata[26])
959             shipdata["app5"] = float(splitdata[27])
960             shipdata["area_app5"] = float(splitdata[28])
961             shipdata["area_app6"] = float(splitdata[29])
962             shipdata["area_app7"] = float(splitdata[30])
963             shipdata["app8"] = float(splitdata[31])
964             shipdata["area_app8"] = float(splitdata[32])
965             shipdata["area_app9"] = float(splitdata[33])
966             shipdata["area_app10"] = float(splitdata[34])
967             shipdata["area_app11"] = float(splitdata[35])
968 
969             shipdata["cg_val"] = float(splitdata[36])
970             shipdata["heading_val"] = float(splitdata[37])
971             shipdata["amplitude_val"] = float(splitdata[38])
972             shipdata["roll_val"] = float(splitdata[39])
973             shipdata["damping_val"] = float(splitdata[40])
974             shipdata["plr_val"] = float(splitdata[41])
975             shipdata["gmt_val"] = float(splitdata[42])
976 
977             draft = shipdata["draft_val"]
978             splitdata = str(shipset['DeckPos']).split(" ")
979             for dp in splitdata:
980                 pdecks.append(float(dp))
981             splitdata = str(shipset['BHPos']).split(" ")
982             for dp in splitdata:
983                 pbulkheads.append(float(dp))
984         results = [shipdata,pdecks,pbulkheads]
985         return  results
986 
```