

Strukturalna analiza i optimizacija teretnog prostora broda za rasuti teret

Stipić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:507053>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-29**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Stipić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Tomislav Stipić

Zagreb, 2015.

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

Posebno se zahvaljujem mentoru Doc. dr. sc. Jerolimu Andriću, dipl. ing. na savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Doc. dr. sc. Peri Prebegu, dipl. ing. na pomoći tijekom optimizacije.

Zahvaljujem se i Dr. sc. Karlu Piriću, dipl. ing. na pomoći pri opterećivanju i balansiranju modela.

Zahvaljujem roditeljima i obitelji na strpljenju, razumijevanju i podršci.

Tomislav Stipić



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:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Stipić** Mat. br.: 0035138724

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **STRUKTURNA ANALIZA I OPTIMIZACIJA TERETNOG PROSTORA BRODA ZA RASUTI TERET**

Naslov rada na engleskom jeziku: **STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CARGO HOLD AREA OF BULK CARRIER**

Opis zadatka:

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret provode se prema usuglašenim zajedničkim Pravilima IACS CSR (BC). Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provesti i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija.

U okviru diplomskog zadatka potrebno je:

1. Upoznati se s Pravilima IACS CSR (BC). Posebnu pažnju posvetiti metodologiji provođenja proračuna strukturne analize globalnog modela teretnog prostora (*Ch.7. Direct strength analysis*).
2. Provesti modifikaciju prethodno izgrađenog prototipnog MKE modela konstrukcije broda za rasuti teret (nosivosti oko 39 000 DWT) na način da se zadrži ista geometrija, a promjene se neki od slijedećih parametara (razmaka rebara, razmak okvira u dnu i palubi, itd.).
3. Za novo definiranu konstrukciju implementirati slučajeve opterećenja sukladno Pravilima IACS CSR (BC), provesti proračun odziva, te izvršiti analizu podobnosti konstrukcije prema strukturnim kriterijima (popuštanje, izvijanje) definiranim u Pravilima IACS CSR (BC), koristeći računalni program MAESTRO-View3D dostupan na FSB-u.
4. Provesti strukturnu optimizaciju s ciljem minimizacije mase konstrukcije korištenjem programa MAESTRO-Demak. Kao min-max ograničenja koristiti minimalne zahtjeve za lokalnu čvrstoću oplate lima i uzdužnjaka prema zahtjevima Pravila te ih izračunati programom MARS.
5. Analizirati podobnost predložene konstrukcije te usporediti strukturne dimenzije prototipne i predložene konstrukcije.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datumi obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Nastia Degiuli

Sadržaj

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA PRAVILA	5
2.1. Slučajevi opterećenja	6
2.2. Analiza podobnosti	11
2.3. Izrada modela.....	13
2.4. Rubni uvjeti.....	14
2.5. Korozija.....	15
3. ANALIZA PROTOTIPA I ODABIR VARIJANTE.....	16
3.1. Glavne karakteristike prototipa.....	16
3.2. Analiza prototipa.....	18
3.3. Odabir varijante.....	21
4. ANALIZA ODABRANOG PROJEKTA.....	24
5. OPTIMIZACIJA.....	38
5.1. Optimizacijska metoda.....	38
5.2. Definicija optimizacijskog problema	39
5.3. Analiza rezultata optimizacije.....	41
5.4. Standardizacija	46
6. USPOREDBA PROTOTIPA I PROJEKTA 735a-Fin.....	56
ZAKLJUČAK	60
LITERATURA.....	61

POPIS SLIKA

Slika 1.	Brod za prijevoz rasutog tereta	1
Slika 2.	Opći plan broda za rasute terete	3
Slika 3.	Dijagram toka [1]	5
Slika 4.	Uzdužni opseg modela [1]	13
Slika 5.	Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi na krajevima modela	14
Slika 6.	Debljine limova prototipa P800	17
Slika 7.	Dimenzije uzdužnjaka prototipa P800	17
Slika 8.	Kriterij globalne čvrstoće za prototip P800	18
Slika 9.	Kriterij granične čvrstoće za prototip P800	18
Slika 10.	Globalni kriteriji podobnosti za prototip P800	19
Slika 11.	Lokalna podobnost vojeva i uzdužnjaka za prototip P800	20
Slika 12.	Model glavnog rebra	25
Slika 13.	Polovinski model tri skladišta	25
Slika 14.	Cijeli model tri skladišta	26
Slika 15.	Polovinski model skladišta 3.....	26
Slika 16.	Cijeli model skladišta 3.....	27
Slika 17.	Roštilj dvodna	27
Slika 18.	Poprečna struktura.....	28
Slika 19.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a.....	33
Slika 20.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a.....	33
Slika 21.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a	34
Slika 22.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a	34
Slika 23.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a.....	35
Slika 24.	Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a	35
Slika 25.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a	36
Slika 26.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a	36
Slika 27.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a	37

Slika 28.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a	37
Slika 29.	Dijagram toka optimizacije	38
Slika 30.	Rezultati optimizacije	41
Slika 31.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate dna za Projekt P735a-Fin	51
Slika 32.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate boka za Projekt P735a-Fin	51
Slika 33.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate pokrova dvodna za Projekt P735a-Fin	52
Slika 34.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate uzvojnog tanka za Projekt P735a-Fin	52
Slika 35.	Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate palube za Projekt P735a-Fin	53
Slika 36.	Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a-Fin	53
Slika 37.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a-Fin	54
Slika 38.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a-Fin	54
Slika 39.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a-Fin	55
Slika 40.	Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a-Fin	55
Slika 41.	Usporedba masa projekata	56

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Faktor slaganja tipičnog tereta [2].....	2
Tablica 2.	Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]	7
Tablica 3.	Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]	8
Tablica 4.	Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]	9
Tablica 5.	Slučajevi opterećenja.....	10
Tablica 6.	Faktor materijala [1].....	12
Tablica 7.	Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi [1].....	14
Tablica 8.	Rubni uvjeti - Pomaci [1]	14
Tablica 9.	Dodatak zbog korozije [1].....	15
Tablica 10.	Razmaci okvira.....	21
Tablica 11.	Kriterij globalne i granične čvrstoće	21
Tablica 12.	Proračun mase limova jednog okvira	22
Tablica 13.	Proračun mase ukrepa jednog okvira	22
Tablica 14.	Proračun ukupne poprečne strukture.....	23
Tablica 15.	Ukupna masa	23
Tablica 16.	Proračun masa za Projekt P735a	29
Tablica 17.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a.....	30
Tablica 18.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a.....	31
Tablica 19.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a.....	32
Tablica 20.	Minimalne i maksimalne debljine limova.....	40
Tablica 21.	Proračun masa za Projekt P735a-Opt.....	42
Tablica 22.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt	43
Tablica 23.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt	44
Tablica 24.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt	45
Tablica 25.	Proračun masa za Projekt P735a-Fin	47
Tablica 26.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin	48
Tablica 27.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin	49
Tablica 28.	Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin	50
Tablica 29.	Usporedba strukturnih dimenzija	57
Tablica 30.	Usporedba strukturnih dimenzija	58
Tablica 31.	Usporedba strukturnih dimenzija	59

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
g	/	faktor podobnosti
C	/	izdržljivost (<i>Capability</i>)
D	/	naprezanje (<i>Demand</i>)
γ	/	faktor sigurnosti
σ_{eq}	N/mm^2	Von Misesovo naprezanje
σ_x	N/mm^2	Naprezanje u smjeru osi x
σ_y	N/mm^2	Naprezanje u smjeru osi y
τ_{xy}	N/mm^2	Smično naprezanje
k	/	faktor materijala
L	m	duljina broda
B	m	širina broda
V	m	visina broda
T	m	gaz broda
C_B	/	koeficijent punoće
s	mm	razmak okvira

SAŽETAK

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC) [1]. Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provesti i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze. Kroz fazu 1 evaluirane su strukturne dimenzije prototipa P800, te je generirano nekoliko varijanti konstrukcije promjenom razmaka rebara i broja uzdužnih nosača u dvodnu. Reprojektiranjem strukturnih dimenzija predloženih varijanti i njihovom evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase.

U drugoj fazi je proveden je, za odabranu varijantu, direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

Ključne riječi: brod za rasuti teret, strukturnu analizu, metodom konačnih elemenata, strukturna optimizacija

SUMMARY

Today the design and construction of bulk carriers is carried out according to the Common Structural Rules for Bulk Carriers. To determine the structural dimension, in addition to prescriptive rules, it is necessary to conduct the structural analysis of cargo hold area (three cargo holds) using finite element method (FEM). Rational design of the structural dimensions of the hull using FEM and optimization methods is characteristic of the modern way of designing ship structures. The aim of this paper is to demonstrate this approach to the design of ship structures in the case of bulk carrier of about 40,000 DWT.

This analysis is conducted in two phases. Through Phase 1 the structural dimensions of the prototype P800 are evaluated, and several variants of ship structures are generated by varying the spacing of the frames and the number of longitudinal girders in the double bottom. By changing the structural dimension of the proposed variants and their evaluation the best variant is selected by the criterion of minimum weight.

In the second phase, for the selected variant, a Direct Strength Analysis using the finite element method, along with structural optimization, is carried out.

Key words: Bulk Carrier, structural analysis, finite element method (FEM), structural optimization

1. UVOD

S razvojem tržišta rastu i zahtjevi brodovlasnika, a s njima i glavne izmjere brodova. Sve složeniji brodovi traže primjenu novih tehnologija u gradnji, opremanju i u procesu projektiranja. Danas je gotovo nemoguće tako sofisticirane plovne objekte uspješno projektirati bez primjene računalne tehnologije i suvremenih projektnih metoda (CAD sustavi, numerički proračuni-MKE, optimizacijske metode).

Brod za prijevoz rasutog tereta je brod koji obično ima jednu, glavnu palubu, bočne tankove i uzvojne tankove te naborane poprečne pregrade. Primarna mu je namjena prijevoz suhih rasutih tereta, što uključuje rudaču i kombinirane terete [2].



Slika 1. Brod za prijevoz rasutog tereta

Ovisno o nosivosti brod za prijevoz rasutog tereta dijelimo u šest skupina:

- Mali - ispod 10 000 DWT
- Handysize - 10 000 - 35 000 DWT
- Handymax - 35 000 - 59 000 DWT
- Panamax - 60 000 - 80 000 DWT
- Capesize - 80 000 - 150 000 DWT
- Vrlo veliki - iznad 150 000 DWT

Na projekt broda za prijevoz rasutog tereta velik utjecaj ima teret koji će brod prevoziti. Teret je podijeljen u četiri kategorije:

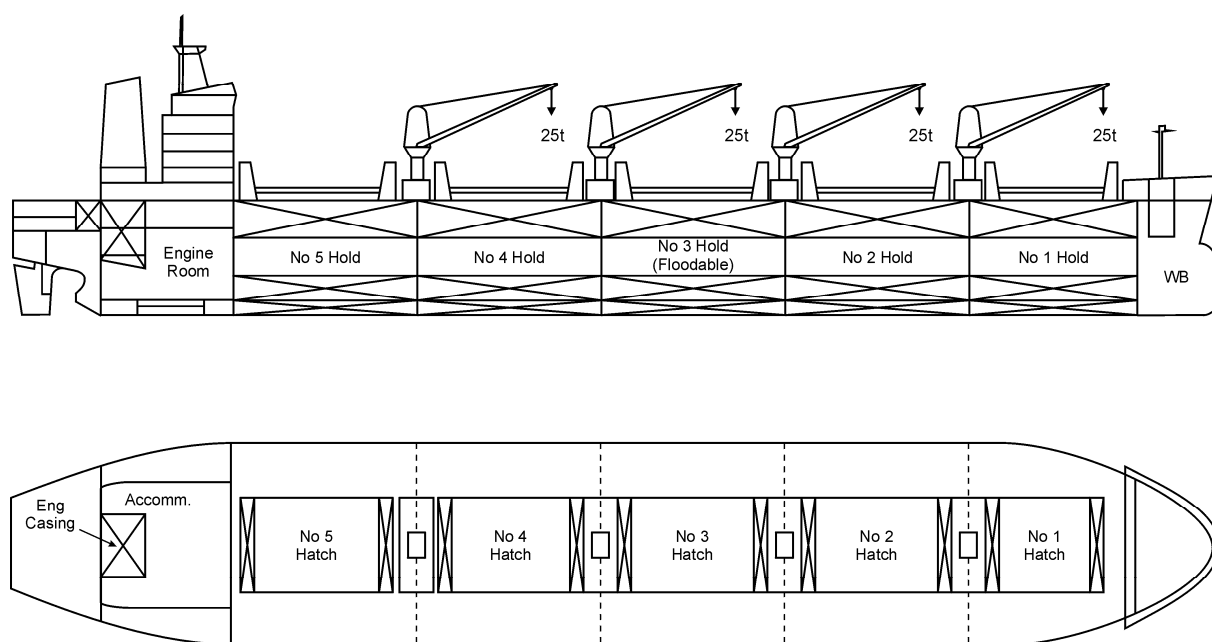
- Metalna rudača (željezna rudača, sirovo željezo, staro željezo)
- Energenti (ugljen, boksit, drvo)
- Poljoprivredni tereti (žito, soja, umjetno gnojivo)
- „Drugo“

Teret je definiran faktorom slaganja tj. volumenom koji zauzima jedna tona tereta. Gustoća tereta se kreće od 0.6 t/m^3 za žitarice do 3 t/m^3 za željeznu rudaču. Prema tome kod brodova koji prevoze rudaču težina će biti glavni faktor dok će kod prijevoza žitarica ili ugljena brod biti potpuno nakrcan prije nego dosegne maksimalni gaz. Svaki tip tereta ima i posebne zahtjeve koje brod mora ispunjavati. Tako na primjer ugljen može ispuštati zapaljivi plin-metan. Smjesa metana i zraka koja sadrži 5-15% metana je eksplozivna i može se upaliti iskrum ili otvorenim plamenom. Metan je lakši od zraka i može se stoga skupljati u gornjim dijelovima prostora za teret. Neke vrste ugljena sposobne su apsorbirati kisik u prostoru za teret. Dok su druge sklone samozagrijavanju, što može dovesti do spontanog izbijanja vatre u prostoru za teret. Neke vrste ugljena mogu u dodiru s vodom stvoriti kiseline što dovodi do korozije. Pri prijevozu žitarica brod mora ispunjavati i određene zahtjeve u pogledu stabilnosti, kako ne bi došlo do pomicanja tereta.

Tablica 1. Faktor slaganja tipičnog tereta [2]

<i>Commodity</i>	<i>Stowage factor, ft³/long ton</i>	<i>Stowage factor, m³/long ton</i>	<i>Specific gravity, ton/m³</i>
Iron Ore	12–15	0.34–0.42	3–2.42
Coal	42–48	1.2–1.36	0.85–0.75
Grain heavy	42–56	1.2–1.42	0.85–0.72
Grain light	55–60	1.56–1.7	0.65–0.6
Bauxite	28–35	0.79–0.99	1.29–1.03
Phosphate/rock	33–34	0.91–0.96	1.12–1.06
General	24–29	0.69–0.82	1.47–1.24

Osnovne dimenzije brodova najčešće su ograničene lukama u kojima će brod pristajati, ali i studijom o ekonomskoj isplativosti. Većina brodova za rasuti teret se projektira sa omjerom duljine i širine 5 do 7, omjerom duljine i visine 11 do 12, brzine 13.5 do 15 čvorova i sa jednostrukom ili dvostrukom oplatom. Brodovi za prijevoz rasutog tereta imaju velike grotlene otvore radi lakšeg rukovanja teretom tijekom utovara i istovara. Dimenzije grotla su obično između 45% i 60% širine i 57% i 67% duljine skladišta. Grotla predstavljaju diskontinuitet strukture i dovode do koncentracije naprezanja na uglovima pražnica. Prilikom utovara i istovara oštećenja nastaju i na pokrovu dvodna zbog teških buldožera i grabilica dizalica. Posebna pozornost usmjerena je na čvrstoću naboranih pregrada i strukturu dvodna najudaljenijih skladišta. Ispituje se i stabilitet oštećenog broda za slučaj naplavljenog najudaljenijeg skladišta.



Slika 2. Opći plan broda za rasute terete

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC) [1]. Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provest i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina

projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze:

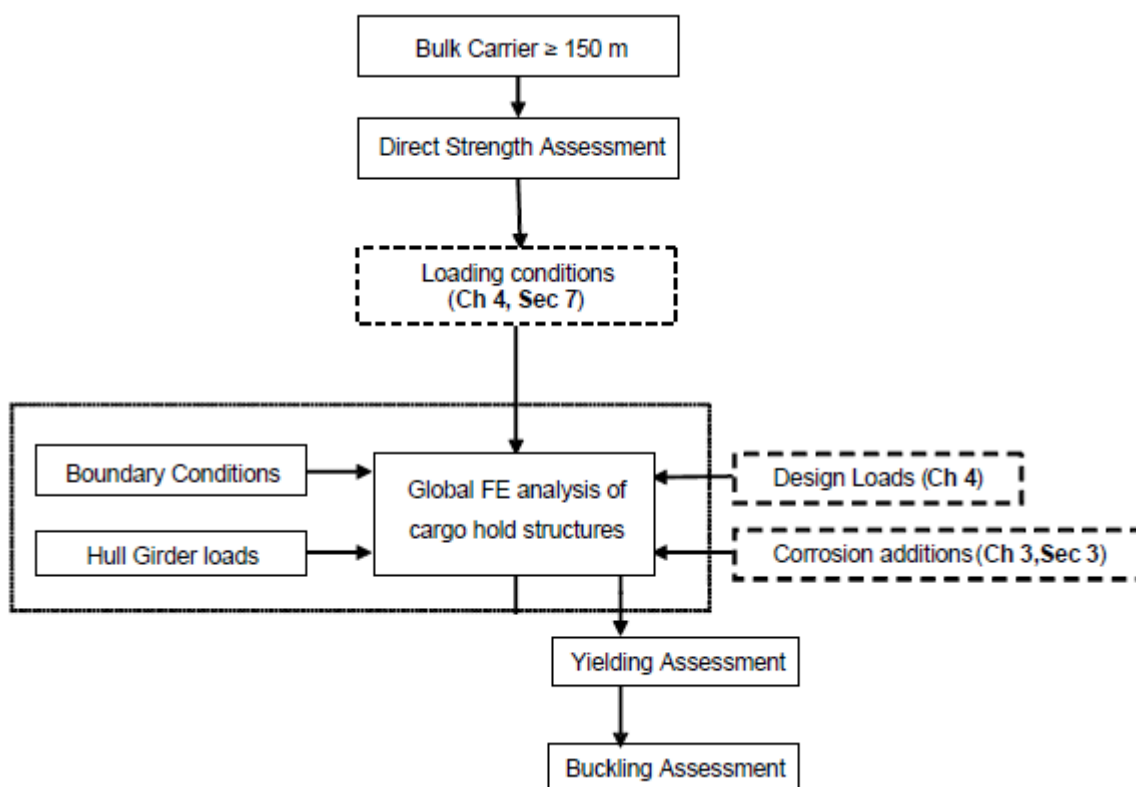
Faza 1 - evaluacija strukturnih dimenzija prototipa P800, generiranje varijanti konstrukcije promjenom razmaka rebara i broja uzdužnih nosača u dvodnu. Reprojektiranjem strukturnih dimenzija predloženih varijanti i njihovom evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase.

Faza 2 - za odabranu varijantu, proveden je direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

2. ANALIZA PRAVILA

U ovom poglavlju dan je pregled pravila i zahtjeva za modeliranje strukture na razini globalnog MKE modela prema IACS *Common Structural Rules for Bulk Carriers* [1]. Donošenje Pravila i njihova primjena odvijala se u više koraka. Prikupljani su komentari i prijedlozi brodogradilišta s jedne i brodovlasnika s druge strane u nekoliko navrata. Na kraju su Pravila objavljena 15. siječnja 2006., a 1. travnja 2006. se počelo s primjenom.

U ovom radu posebna pažnja usmjerena je poglavljima 4, 6 i 7 navedenih IACS CSR pravila. U poglavlju 4 dane su smjernice za primjenu Pravila vezana za opterećenja koja će biti narinuta modelu. Poglavljem 6 opisana je analiza podobnosti konstrukcije. U poglavlju 7 opisana je procedura za modeliranje strukture na razini globalnog MKE modela. Procedura propisana Pravilima prikazana je na Slici 3.



Slika 3. Dijagram toka [1]





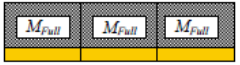



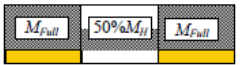



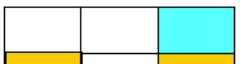













2.1. Slučajevi opterećenja

Ovo poglavlje se bavi procedurama kojima smo dobili opterećenja za *3-hold* model. Proračun je izrađen prema IACS pravilima [1].

U ovom slučaju opterećenja su kombinacija valne komponente i stanja krcanja. Vanjski hidrostatički tlak i unutarnji statički tlak koji su nastali zbog tereta i balasta smatraju se kao poprečna opterećenja na mirnoj vodi. Vanjski hidrodinamički tlak i unutarnji inercijski tlak tereta i balasta čine poprečna opterećenja na valovima. Smična sila i moment savijanja na mirnoj vodi, odnosno smična sila i moment savijanja na valovima uzimaju se kao opterećenja konstrukcije trupa. Naprezanje nastalo zbog poprečnog opterećenja na valovima i opterećenje trupa međusobno se kombiniraju pomoću kombinacijskih faktora.

Na temelju pravila IACS-a identificirana su stanja krcanja. Sva stanja krcanja sa detaljnim opisom distribucije tereta i statičkim globalnim opterećenjima prikazana su u tablicama 2, 3 i 4. Od odabranih stanja krcanja generirana su 32 slučaja opterećenja. Slučajevi opterećenja razlikuju se po načinu krcanja, zbog različite gustoće tereta, broju popunjenih skladišta i postotku njihove popunjenosti. Navedeni slučajevi opterećenja implementirani su u MAESTRO-View3D [3], te su prikazani u tablici 5.









Tablica 2. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

No.	Description ^{a)}	Draught	Loading Pattern	Aft	Mid	Fore	Load Case (Design Wave)				Odabrani slučajevi opterećenja
							Still water vertical bending moment ^{b)}				
1	Full Load ([2.1.3])	T_s					P1				LC 1
							$0.5M_{sw,s}$				
2	Full Load ([3.2.1])	T_s					P1				LC 2
							$0.5M_{sw,s}$				
3	Slack Load ([3.2.2])	T_s					P1				LC 3
							0				
4	Deepest Ballast ([3.2.3])	T_{HB}					R1	R1	P1		LC 4, LC 5, LC 6 LC 7, LC 8, LC 9
							$M_{sw,H}$	$M_{sw,s}$	$M_{sw,s}$		
5	Multi Port -2 ([3.3.2])	$0.83T_s$					F2	P1			LC 10 LC 11
							$M_{sw,H}$	$M_{sw,s}$			
6	Multi Port -3 ([3.3.3])	$0.67T_s$					P1				LC 12
							$M_{sw,s}$				
7	Multi Port -3 ([3.3.3])	$0.67T_s$					P1				LC 13
							$M_{sw,s}$				

Tablica 3. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

No.	Description ^{a)}	Draught	Loading Pattern	Aft	Mid	Fore	Load Case (Design Wave)				Odabrani slučajevi opterećenja
							Still water vertical bending moment ^{b)}				
8	Multi Port -4 ([3.3.4])	$0.75T_s$					F2	R1	R1	P1	LC 14, LC 15
							$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	LC 16, LC 17
9	Multi Port -4 ([3.3.4])	$0.75T_s$					F2	R1	R1	P1	LC 18, LC 19
							$M_{SW,H}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$	$M_{SW,S}$	LC 20, LC 21
10	Alternate Load ([3.4.2])	T_s					F2	P1			LC 22
							$M_{SW,H}$	0			LC 23
11	Alt-Block Load ([3.4.3])	T_s					H1	F2	P1		
							$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
12	Alt-Block Load ([3.4.3])	T_s					H1	F2	P1		
							$M_{SW,S}$	$M_{SW,H}$	$M_{SW,S}$		
13	Heavy Ballast ([3.5.1])	$T_{HB(min)}$					H1	R1	R1		LC 24, LC 25
							$M_{SW,S}$	0	$M_{SW,S}$		LC 26
14	Heavy Ballast	$T_{HB(min)}$					R1	R1			LC 27
							0	$M_{SW,S}$			LC 28
15	Harbour Condition -1 ([3.6.1])	$0.67T_s$					---	---			
							$M_{SW,P,H}$	$M_{SW,P,S}$			

Tablica 4. Opis odabranih slučajeva opterećenja [1]

No.	Description ^{a)}	Draught	Loading Pattern	Aft	Mid	Fore	Load Case (Design Wave)			Odabrani slučajevi opterećenja
							Still water vertical bending moment ^{b)}			
							Still water shear force			
10SF	Alternate Load ([3.4.2])	T_s					F2			LC 29
							$0.8M_{sw,H}$			LC 30
							Q_{sw}			
13SF	Heavy Ballast ([3.5.1])	$T_{HB(min)}$					H1			LC 31
							$0.8M_{sw,S}$			LC 32
							Q_{sw}			

Tablica 5. Slučajevi opterećenja

MAESTRO LC	Name	TLC [m]	Location [m]	MSW [kNm]	CWV [/]	MWV [kNm]	MVT [kNm]	CWH [/]	MWH [kNm]	MHT [kNm]	QSW [kN]	QWV [kN]	QVT [kN]
1	LC1_FullLoad (Tab3No1P1 Sagg)	11.3	99.03	-534645	-0.6	1398536	-1373767	0	991863	0	0	0	0
2	LC2_FullLoad (Tab3No2P1 Sagg)	11.3	99.03	-534645	-0.6	1398536	-1373767	0	991863	0	0	0	0
3	LC3_SlackLoad (Tab3No3P1 Sagg MSW=0)	11.3	99.03	0	-0.6	1398536	-839122	0	991863	0	0	0	0
4	LC4_DeeppestBallast (Tab3No4aR1 Hogg)	8.35	99.03	1285110	0	1293436	1285110	0.46	733189	337851	0	0	0
5	LC5_DeeppestBallast (Tab3No4aR1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.46	733189	337851	0	0	0
6	LC6_DeeppestBallast (Tab3No4aP1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	-0.34	1398536	-1543678	0	733189	0	0	0	0
7	LC7_DeeppestBallast (Tab3No4bR1 Hogg)	8.35	99.03	1285110	0	1293436	1285110	0.46	733189	337851	0	0	0
8	LC8_DeeppestBallast (Tab3No4bR1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.46	733189	337851	0	0	0
9	LC9_DeeppestBallast (Tab3No4bP1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	-0.34	1398536	-1543678	0	733189	0	0	0	0
10	LC10_MultiPort2 (Tab3No5F2 Hogg)	9.38	99.03	1285110	1	1293436	2578546	0	823246	0	0	0	0
11	LC11_MultiPort2 (Tab3No5P1 Sagg)	9.38	99.03	-1069290	-0.43	1398536	-1670661	0	823246	0	0	0	0
12	LC12_MultiPort3 (Tab3No6P1 Sagg)	7.57	99.03	-1069290	-0.27	1398536	-1446895	0	664548	0	0	0	0
13	LC13_MultiPort3 (Tab3No7P1 Sagg)	7.57	99.03	-1069290	-0.27	1398536	-1446895	0	664548	0	0	0	0
14	LC14_MultiPort4 (Tab3No8F2 Hogg)	8.48	99.03	1285110	1	1293436	2578546	0	743897	0	0	0	0
15	LC15_MultiPort4 (Tab3No8R1 Hogg)	8.48	99.03	1285110	0	1293436	1285110	0.45	743897	334754	0	0	0
16	LC16_MultiPort4 (Tab3No8R1 Sagg)	8.48	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.45	743897	334754	0	0	0
17	LC17_MultiPort4 (Tab3No8P1 Sagg)	8.48	99.03	-1069290	-0.35	1398536	-1558778	0	743897	0	0	0	0
18	LC18_MultiPort4 (Tab3No9F2 Hogg)	8.48	99.03	1285110	1	1293436	2578546	0	743897	0	0	0	0
19	LC19_MultiPort4 (Tab3No9R1 Hogg)	8.48	99.03	1285110	0	1293436	1285110	0.45	743897	334754	0	0	0
20	LC20_MultiPort4 (Tab3No9R1 Sagg)	8.48	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.45	743897	334754	0	0	0
21	LC21_MultiPort4 (Tab3No9P1 Sagg)	8.48	99.03	-1069290	-0.35	1398536	-1558778	0	743897	0	0	0	0
22	LC22_AlternateLoad (Tab3No10F2 Hogg)	11.3	99.03	1285110	1	1293436	2578546	0	991863	0	0	0	0
23	LC23_AlternateLoad (Tab3No10P1 Sagg MSW=0)	11.3	99.03	0	-0.6	1398536	-839122	0	991863	0	0	0	0
24	LC24_HeavyBallast (Tab3No13H1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	-1	1398536	-2467826	0	732487	0	0	0	0
25	LC25_HeavyBallast (Tab3No13R1 Sagg MSW=0)	8.35	99.03	0	0	1398536	0	0.46	732487	338046	0	0	0
26	LC26_HeavyBallast (Tab3No13R1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.46	732487	338046	0	0	0
27	LC27_HeavyBallast (Tab3No14R1 Sagg MSW=0)	8.35	99.03	0	0	1398536	0	0.46	732487	338046	0	0	0
28	LC28_HeavyBallast (Tab3No14R1 Sagg)	8.35	99.03	-1069290	0	1398536	-1069290	0.46	732487	338046	0	0	0
29	LC29_AlternateLoad (Tab4No10SFF2 Hogg Aft)	11.3	84.63	1028088	1	1293436	1868821	0	0	0	-50522	-15377	-65899
30	LC30_AlternateLoad (Tab4No10SFF2 Hogg Fore)	11.3	113.43	1028088	1	1282575	1861761	0	0	0	42674	18889	61562
31	LC31_HeavyBallast (Tab4No13SFH1 Sagg Aft)	8.35	84.63	-855432	-1	1398536	-1764480	0	0	0	-50522	-15377	-65899
32	LC32_HeavyBallast (Tab4No13SFH1 Sagg Fore)	8.35	113.43	-855432	-1	1386792	-1756847	0	0	0	42674	18889	61562

2.2. Analiza podobnosti

Model podobnosti nam daje informaciju o prekoračenju odziva konstrukcije i o nedovoljnoj sigurnosti elemenata strukture. Predstavljen je bibliotekom analitički zadanih projektnih kriterija – BIBLIOTEKA OGRANIČENJA koja ograničava izbor projektnih varijabli samo na one za koje će projekt konstrukcije biti dobar, odnosno koje će zadovoljiti sve projektne kriterije ograničenja. Biblioteku ograničenja čini matematička formulacija projektnih kriterija u formi projektnih ograničenja kao funkcije projektnih varijabli. Izlazne rezultate BIBLIOTEKE OGRANIČENJA predstavljaju, za pojedine kriterije ograničenja, vrijednosti za IZDRŽLJIVOST – C (*Capability*), ZAHTJEV – D (*Demand*) i PARAMETAR PODOBNOSTI – g (*adequacy parameter*). Odnos gore navedenih vrijednosti prikazan je u normaliziranom obliku, izrazom:

$$g = \frac{C - \gamma D}{C + \gamma D}$$

Gdje je:

g – faktor podobnosti $-1 \leq g \leq 1$

C – izdržljivost (*Capability*)

D – naprezanje (*Demand*)

γ – faktori sigurnosti

Parametar podobnosti g je rangiran između vrijednosti $+1$ ÷ -1 . Granični slučajevi su:

$$g \rightarrow 1 \quad \text{ako } D \rightarrow 0 \quad ; \quad g \rightarrow -1 \quad \text{ako } C \rightarrow 0$$

Sigurnost elemenata je zadovoljena ako se g nalazi između 0 i 1, odnosno nije zadovoljena za g manji od 0.

Pri provjeri čvrstoće na popuštanje koristi se ESCA (*Equivalent Stress Criteria for All*). Preporuka za procjenu čvrstoće na popuštanje je ekvivalentno Von Misesovo naprezanje koje se određuje prema formuli [1] :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad [\text{N/mm}^2]$$

gdje je:

σ_x, σ_y - naprezanje u smjeru x i y u $[\text{N/mm}^2]$

τ_{xy} - smično naprezanje u $[\text{N/mm}^2]$

Dozvoljeno naprezanje u FE modelu, ako se ne koriste ortotropni elementi ne smije prelaziti $235/k \text{ N/mm}^2$, gdje je k faktor materijala (Tablica 6.) i ovisi o ugrađenom materijalu.

Tablica 6. Faktor materijala [1]

Minimum yield stress R_{eH} , in N/mm^2	k
235	1.0
315	0.78
355	0.72
390	0.68

Kriterij izvijanja koji se provjerava tijekom analiza podobnosti je BEPP (*Buckling of elementary plate panels*). Provjerava se prema IACS *Common Structural Rules for Bulk Carriers Ch6, Sec3, 3.2* [1] formulama:

$$\left(\frac{|\sigma_x|S}{\kappa_x R_{eH}} \right)^{e1} + \left(\frac{|\sigma_y|S}{\kappa_y R_{eH}} \right)^{e2} - B \left(\frac{\sigma_x \sigma_y S^2}{R_{eH}^2} \right)^{e1} + \left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}} \right)^{e3} \leq 1.0$$

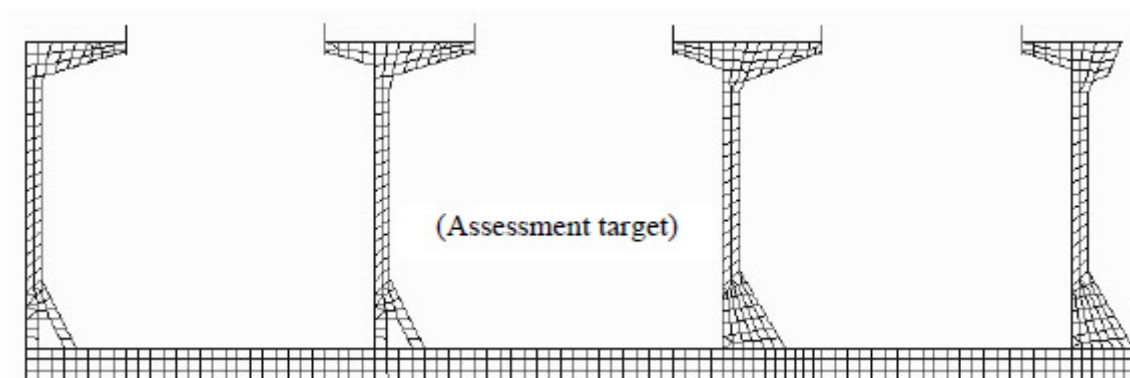
$$\left(\frac{\sigma_x S}{\kappa_x R_{eH}} \right)^{e1} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{\sigma_y S}{\kappa_y R_{eH}} \right)^{e2} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{|\tau|S\sqrt{3}}{\kappa_\tau R_{eH}} \right)^{e3} \leq 1.0$$

2.3. Izrada modela

Prema *Common Structural Rules for Bulk Carriers Chapter 7, Section 2* [1] model mora obuhvaćati tri skladišta i četiri poprečne pregrade sa pripadajućim osloncima (Slika 4.). Potrebno je modelirati obje strane brodske strukture. MKE model mora sadržavati sve uzdužne i poprečne strukturne elemente (pregrade, okvirna rebra, uzdužnjake, jake uzdužne nosače, upore, ukrepe, itd.). Orebreni paneli, pregrade i rebrenice modeliraju se četverokutnim ili trokutastim makroelementima (trokutaste elemente izbjegavati gdje god je moguće), a uzdužnjaci, podveze i sponje kao gredni elementi. Svi otvori "značajnih" dimenzija moraju biti modelirani.



Slika 4. Uzdužni opseg modela [1]

Ako se pri izradi modela ne koriste ortotropni elementi:

- dimenzije mreže moraju biti jednake ili manje od razmaka uzdušnjaka
- uzdužnjaci i ukrepe modeliraju se grednim elementima
- primarne elemente potrebno je podijeliti na barem tri dijela po visini
- rebra i njihova koljena modelirati korištenjem pločastog elementa za struk i grednog za flanžu
- omjer stranica elementa ne smije prelaziti 1:4

2.4. Rubni uvjeti

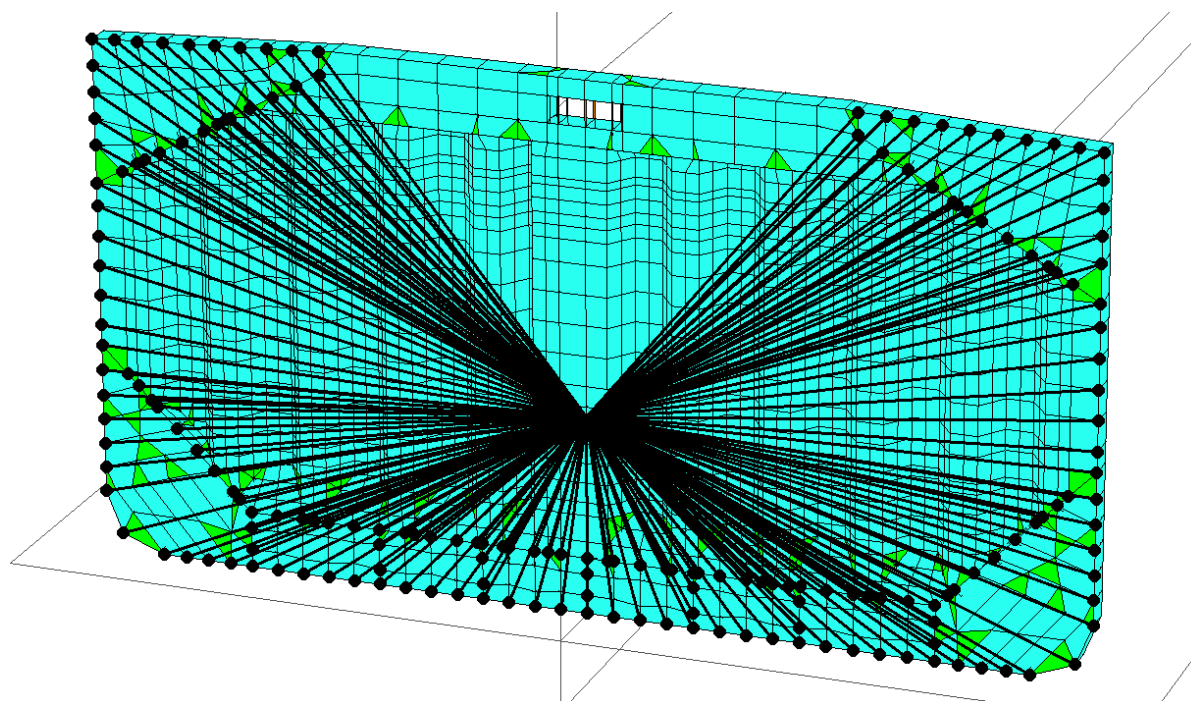
Rubni uvjeti trebaju biti modelirani na oba kraja modela. Čvorovi na uzdužnim elementima moraju biti kruto vezani za neovisni čvor koji se nalazi u neutralnoj osi na CL (Tablica 6.). Neovisni čvor treba biti fiksiran prema Tablici 7.

Tablica 7. Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi [1]

Nodes on longitudinal members at both ends of the model	Translational			Rotational		
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
All longitudinal members	RL	RL	RL	-	-	-
RL means rigidly linked to the relevant degrees of freedom of the independent point						

Tablica 8. Rubni uvjeti - Pomaci [1]

Location of the independent point	Translational			Rotational		
	Dx	Dy	Dz	Rx	Ry	Rz
Independent point on aft end of model	-	Fix	Fix	Fix	-	-
Independent point on fore end of model	Fix	Fix	Fix	Fix	-	-



Slika 5. Rubni uvjeti - Kruto vezani elementi na krajevima modela

2.5. Korozija

U skladu s IACS [1] pravilima dodatak zbog korozije računa se prema:

$$t_c = \text{Roundup}_{0.5}(t_{c1} + t_{c2}) + 0.5$$

Korozijski dodaci t_{c1} i t_{c2} prikazani su u tablici 6.

Tablica 9. Dodatak zbog korozije [1]

Compartment Type	Structural member		Corrosion addition, t_{c1} or t_{c2} in mm	
			BC-A or BC-B ships with $L \geq 150$ m	Other
Ballast water tank ⁽²⁾	Face plate of primary members	Within 3m below the top of tank ⁽³⁾	2.0	
		Elsewhere	1.5	
	Other members	Within 3 m below the top of tank ⁽³⁾	1.7	
		Elsewhere	1.2	
Dry bulk cargo hold ⁽¹⁾	Transverse bulkhead	Upper part ⁽⁴⁾	2.4	1.0
		Lower stool: sloping plate, vertical plate and top plate	5.2	2.6
		Other parts	3.0	1.5
	Other members	Upper part ⁽⁴⁾	1.8	1.0
		Webs and flanges of the upper end brackets of side frames of single side bulk carriers		
		Webs and flanges of lower brackets of side frames of single side bulk carriers	2.2	1.2
		Other parts	2.0	1.2
	Sloped plating of hopper tank, inner bottom plating	Continuous wooden ceiling	2.0	1.2
No continuous wooden ceiling		3.7	2.4	
Exposed to atmosphere	Horizontal member and weather deck ⁽⁵⁾		1.7	
	Non horizontal member		1.0	
Exposed to sea water ⁽⁷⁾		1.0		
Fuel oil tanks and lubricating oil tanks ⁽²⁾		0.7		
Fresh water tanks		0.7		
Void spaces ⁽⁶⁾	Spaces not normally accessed, e.g. access only through bolted manholes openings, pipe tunnels, etc.		0.7	
Dry spaces	Internal of deck houses, machinery spaces, stores spaces, pump rooms, steering spaces, etc.		0.5	
Other compartments than above		0.5		
Notes				
(1) Dry bulk cargo hold includes holds, intended for the carriage of dry bulk cargoes, which may carry water ballast.				
(2) The corrosion addition of a plating between water ballast and heated fuel oil tanks is to be increased by 0.7 mm.				
(3) This is only applicable to ballast tanks with weather deck as the tank top.				
(4) Upper part of the cargo holds corresponds to an area above the connection between the top side and the inner hull or side shell. If there is no top side, the upper part corresponds to the upper one third of the cargo hold height.				
(5) Horizontal member means a member making an angle up to 20° as regard as a horizontal line.				
(6) The corrosion addition on the outer shell plating in way of pipe tunnel is to be considered as water ballast tank.				
(7) Outer side shell between normal ballast draught and scantling draught is to be increased by 0.5 mm.				

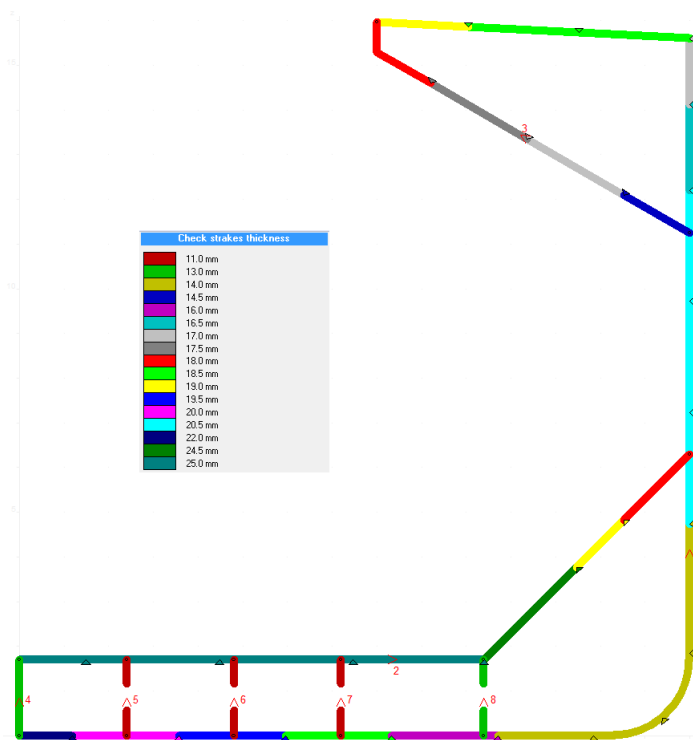
3. ANALIZA PROTOTIPA I ODABIR VARIJANTE

3.1. Glavne karakteristike prototipa

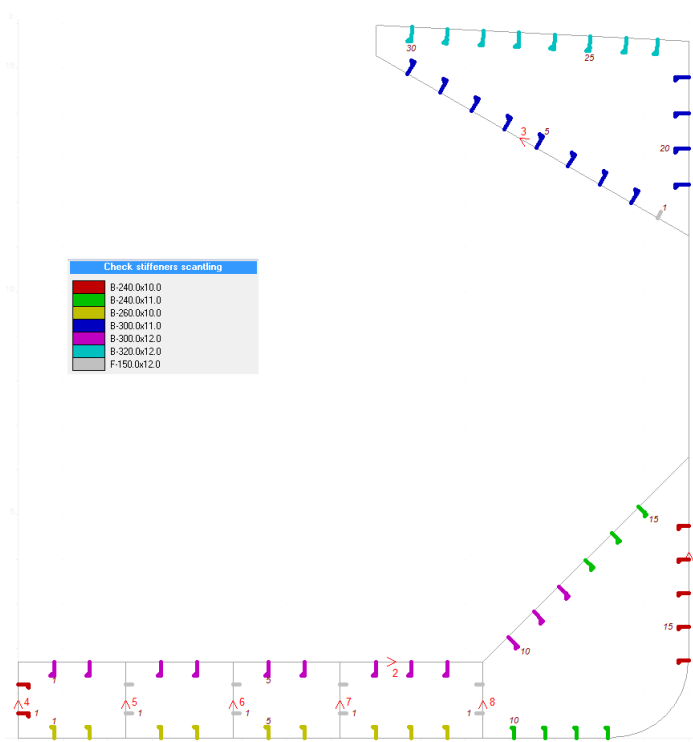
Model prototipa je napravljen na osnovi dostupne tehničke dokumentacije brodogradilišta Uljanik za novogradnju 724. U nastavku su dane osnovne karakteristike novogradnje.

Osnovni podaci

Novogradnja	724
Proračunska duljina	173.630 m
Duljina preko svega	183.000 m
Duljina između okomica	175.000 m
Širina	30.000 m
Visina	15.600 m
Gaz	11.300 m
Blok Koeficijent	0.8068
Brzina	15.8 čv



Slika 6. Debljine limova prototipa P800



Slika 7. Dimenzije uzdužnjaka prototipa P800

3.2. Analiza prototipa

Provjera podobnosti konstrukcije prototipa bit će napravljena programom klasifikacijskog društva *Bureau Veritas MARS* [4]. Podobnost se u ovom slučaju izražava kao omjer zahtijeva strukture (Demand) i mogućnosti strukture (Capability). Zbog međusobnih utjecaja elemenata, oplata, rebara boka i uzdužnih ukrepa, lokalna podobnost za te elemente će se razlikovati od globalno ostvarene podobnosti. Globalni kriterij čvrstoće je zadovoljen ako je aktualni moment otpora veći od zahtijevanog momenta otpora presjeka. Program MARS izračunava oba momenta (Slika 8). Graničnom izdržljivošću smatra se najmanja čvrstoća trupa, čije premašivanje dovodi do loma.

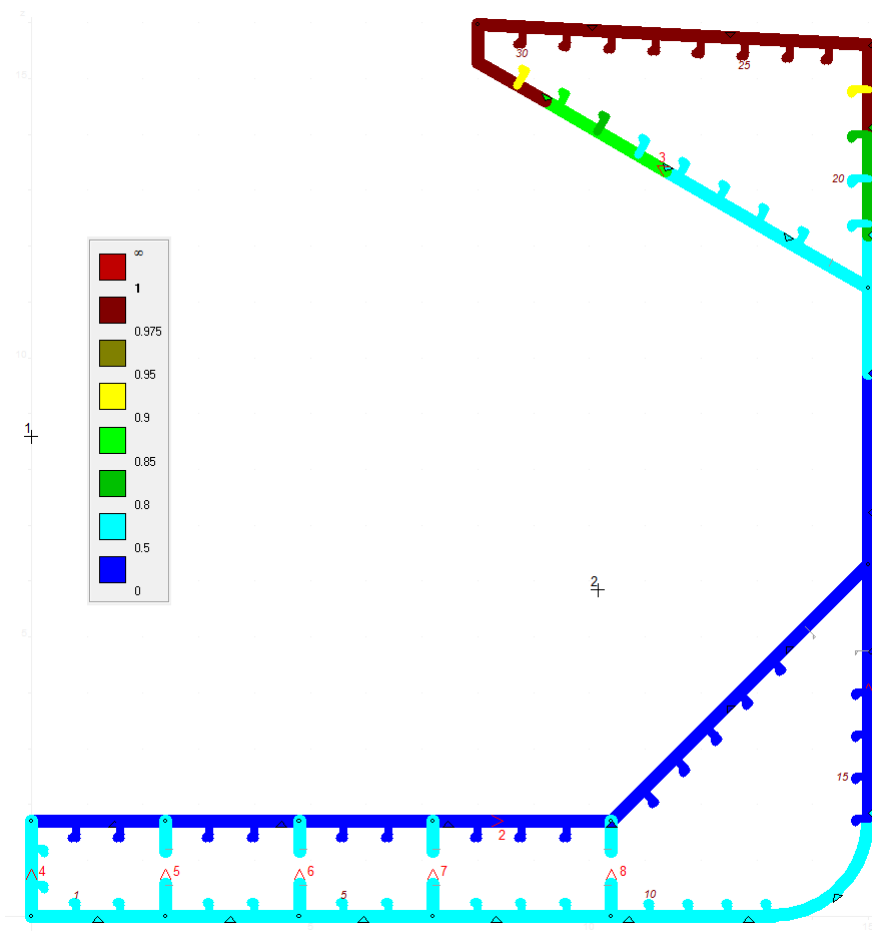
	Rule	Actual	at z / BL	k
Modulus at deck	9.92807	10.03158 (m3)	15.600 (m)	0.72
Modulus at bottom	9.92807	16.20000 (m3)	0.000 (m)	0.72
Inertia	59.61111	96.64618 (m4) (for information only)		

Slika 8. Kriterij globalne čvrstoće za prototip P800

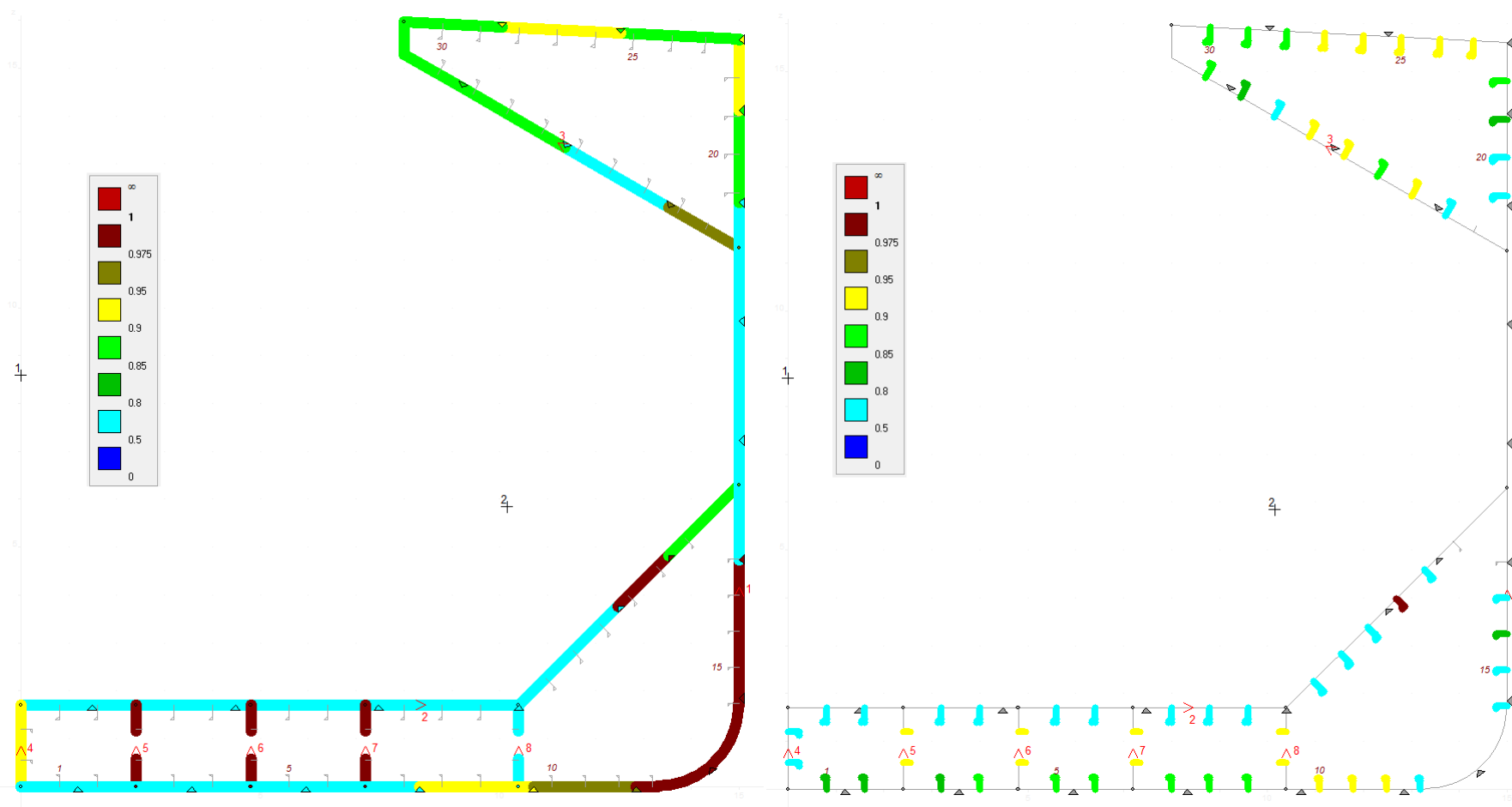
Mu		Ultimate	Mb	%	
Hogging	4 543 482.	4 130 438.	2 837 618.	68.70	Hogging
Sagging	- 3 157 242.	- 2 870 220.	- 2 747 756.	95.73	Sagging
		4 130 438.	2 682 367.	64.94	Hogging
		- 2 870 220.	- 2 579 910.	89.89	Sagging
		4 130 438.	2 787 081.	67.48	Hogging
		- 2 870 220.	- 2 843 703.	99.08	Sagging

The hull girder ultimate bending moment capacity is calculated with a code developed by the Technical University of Szczecin

Slika 9. Kriterij granične čvrstoće za prototip P800



Slika 10. Globalni kriteriji podobnosti za prototip P800



Slika 11. Lokalna podobnost vojeva i uzdužnjaka za prototip P800

3.3. Odabir varijante

Prototipna konstrukcija modificirana je na način da je zadržana geometrija, a promijenjen je razmak rebara, razmak okvira u dnu i palubi, te je izbačen jedan uzdužni nosač u dvodnu. Razmatrana su tri projekta, jedan sa razmakom rebara 885 mm (Projekt P885) i dva sa razmakom 735 mm (Projekt P735a i Projekt P735b). I projekt P735a i P735b imaju jednak razmak okvira u dnu , ali im se razlikuje razmak okvira u palubi. Razmaci okvira za prototip i sva tri projekta prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Razmaci okvira

Projekti	Razmak rebara	Razmak okvira u dnu	Razmak okvira u palubi
Prototip P800	800	2400	4000
Projekt P885	885	2655	5310
Projekt P735a	735	2205	4410
Projekt P735b	735	2205	3675

Za sva tri projekta provedena je provjera podobnosti konstrukcije te su za sve varijante predložene nove dimenzije koje zadovoljavaju sve kriterije. Reprogramiranje je provedeno programom klasifikacijskog društva *Bureau Veritas* MARS. Bitno je napomenuti da MARS provjerava samo podobnost uzdužne strukture i poprečnih rebara (nema provjere rebrenica, okvira uzvojnih tankova) . Također nema pravila za led i pravila za opterećenja nastala uslijed težine tereta (Steel Coils). Iz tog razloga dimenzije poprečnih struktura nisu mijenjane, dok su dimenzije uzdužnjaka pokrova dvodna, debljine oplata pokrova dvodna i boka izračunate prema CSR pravilima [1], posebno za svaki projekt. U tablici 11. prikazani su kriteriji globalne i granične čvrstoće za prototip i sva tri projekta.

Tablica 11. Kriterij globalne i granične čvrstoće

Projekti	Modulus at Deck		Ultimate Strength		
	Rule	Actual	Ultimate	M_b	%
Prototip P800	9.92807	10.03158	-2870220	-2843703	99.08
Projekt P885	9.92807	10.13229	-2873393	-2843703	98.97
Projekt P735a	9.92807	10.05054	-2866579	-2843703	99.20
Projekt P735b	9.92807	10.02157	-2861138	-2843703	99.39

Ciljevi projektnog postupka su minimizacija mase i maksimizacija mjera sigurnosti. U tu svrhu proveden je proračun masa konstrukcije. Masu uzdužnih elemenata konstrukcije dobijemo iz MARSa. Odnosno MARS nam daje površinu svih uzdužnih elemenata presjeka. Ako tu površinu pomnožimo sa duljinom skladišta te s gustoćom čelika, dobijemo ukupnu masu uzdužne strukture.

Masu poprečne strukture dobijemo tako da izmjerimo (iz dostupne tehničke dokumentacije) površine pojedinih elemenata (rebrenica, okvir u uzvojnem tanku, okvir u palubi), te pomnožimo sa debljinama i gustoćom. Time smo dobili masu jednog okvira. Ukupnu masu poprečnih struktura dobijemo množenjem broja poprečnih elemenata sa masom jednog okvira. Zbrajanjem mase uzdužne i poprečne strukture dobijemo ukupnu masu za svaki projekt.

Tablica 12. Proračun mase limova jednog okvira

	Limovi			
	Površina	Debljina	Volumen	Masa
	m ²	m	m ³	t
Rebrenica 1	10.0745	0.012	0.121	0.95
Rebrenica 2	5.9945	0.013	0.078	0.61
Uzvojni tank	12.4974	0.015	0.187	1.47
Wing tank	13.2679	0.015	0.199	1.56
Σ	/	/	0.585	4.59

Tablica 13. Proračun mase ukrepa jednog okvira

	Ukrepe				
	Duljina	Visina	Debljina	Volumen	Masa
	m	m	m	m ³	t
Rebrenica 1	10.040	0.180	0.012	0.0217	0.1702
Rebrenica 2	7.760	0.180	0.012	0.0168	0.1316
Uzvojni tank	19.865	0.180	0.012	0.0429	0.3368
Wing tank	18.034	0.150	0.012	0.0325	0.2548
Σ	55.699	/	/	0.1138	0.8935

Tablica 14. Proračun ukupne poprečne strukture

	Rebrenice			Uzvojni tank		
	masa	komada	ukupno	masa	komada	ukupno
Prototip P800	3.73	11	40.98	3.62	11	39.78
Projekt P885	3.73	10	37.25	3.62	10	36.17
Projekt P735a	3.73	12	44.70	3.62	12	43.40
Projekt P735b	3.73	12	44.70	3.62	12	43.40
	Wing tank			Rebra		
	masa	komada	ukupno	masa	komada	ukupno
Prototip P800	3.63	6	21.81	0.82	31	25.31
Projekt P885	3.63	5	18.17	0.87	28	24.49
Projekt P735a	3.63	6	21.81	0.74	34	25.29
Projekt P735b	3.63	6	21.81	0.74	34	25.29

Tablica 15. Ukupna masa

	Ukupno pop. Struktura	Uzd. struktura	Ukupno
Prototip P800	127.88	686.34	814.21
Projekt P885	116.08	702.59	818.67
Projekt P735a	135.20	673.13	808.33
Projekt P735b	135.20	672.21	807.41

Iz tablice 15. vidimo da projekt P885 ima veće masu od prototipa, dok projekti P735a i P735b imaju manju masu. Premda projekt P735b ima najmanju mase on nije odabran za daljnju analizu. Za očekivat je da će zbog većeg razmaka okvira u palubi dimenzije poprečne strukture biti veće nego kod projekta P735a.

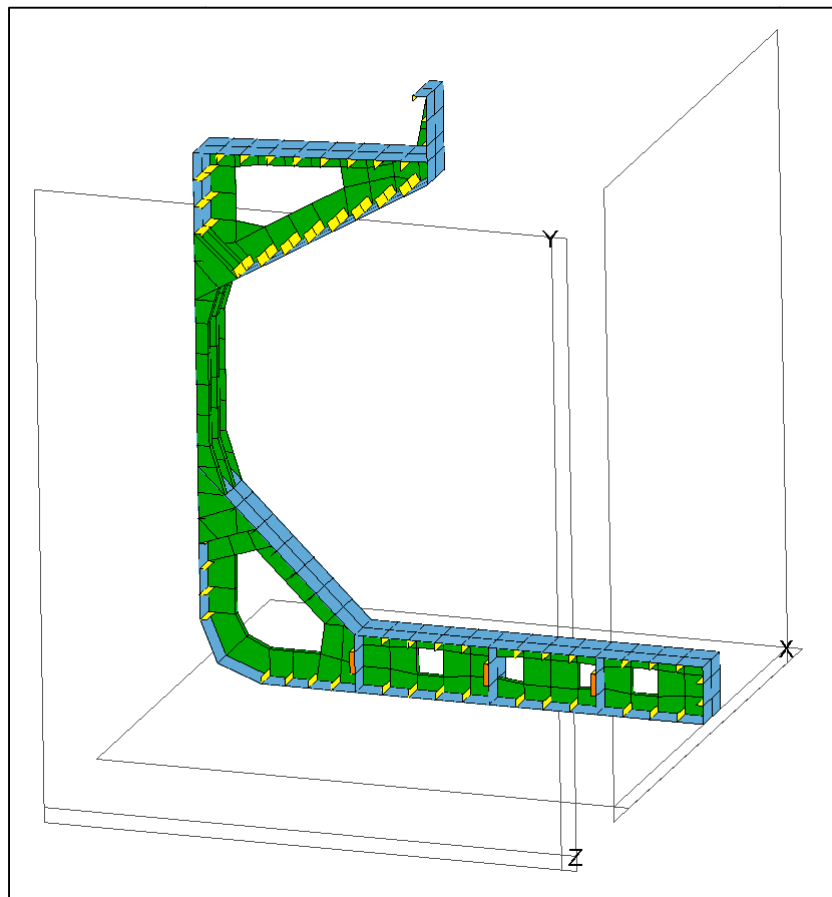
Za daljnju analizu u fazi 2 i strukturnu optimizaciju odabran je projekt P735a kao projekt s minimalnom masom iz faze 1.

4. ANALIZA ODABRANOG PROJEKTA

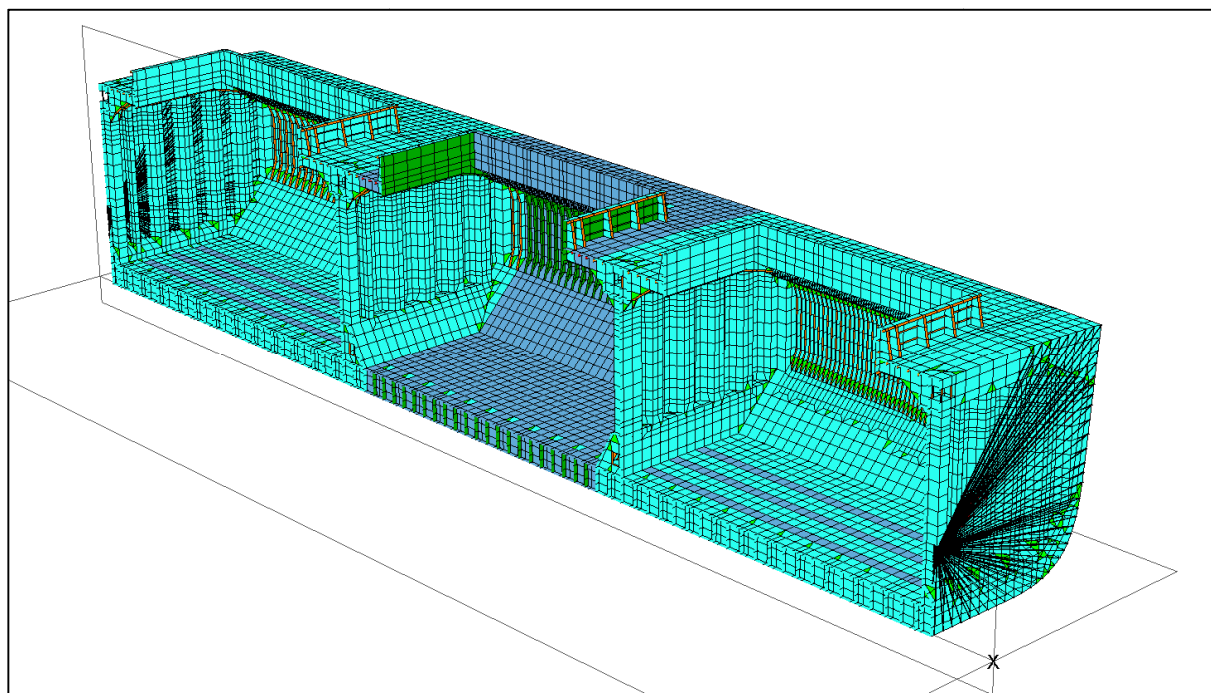
Modifikacija prethodno izrađenog prototipnog MKE modela provedena je pomoću programa MAESTRO [3]. Prvo je izrađen polovični model svih skladišta, u kojem se nalaze svi elementi konstrukcije kao npr: uzdužnjaci dna, oplata pokrova dna korugirane pregrade, uzdužnjaci uzvojnog tanka, rebrenice, itd. Nakon toga je cijeli model preslikan kako bi se dobio cjeloviti model. Pri izradi modela korištene su dvije vrste konačnih elemenata. Od četverokutnog pločastog elementa izrađena je cjelokupna struktura osim dijelova uzdužnjaka. Uzdužnjaci su u projektu navedeni kao HP profili (bulb profili), a modelirani su kao T profili pomoću tablice ekvivalentnih profila. Na slikama 12 ÷ 18 prikazan je model.

Za novo definiranu strukturu implementirani su slučajevi opterećenja sukladno Pravilima IACS CSR (BC) [1]. Detaljan opis slučajeva opterećenja dan je u poglavlju 2.1. Analiza podobnosti izvršena je pomoću programa MAESTRO-View3D [3]. Opis kriterija podobnosti dan je u poglavlju 2.2. U tablici 16. prikazane su mase i položaji težišta po podstrukturama za skladište 3 Projekta P735a, dobivene pomoću programa MAESTRO [3]. U tablicama i slikama koje slijede prikazani su postignuti kriteriji podobnosti.

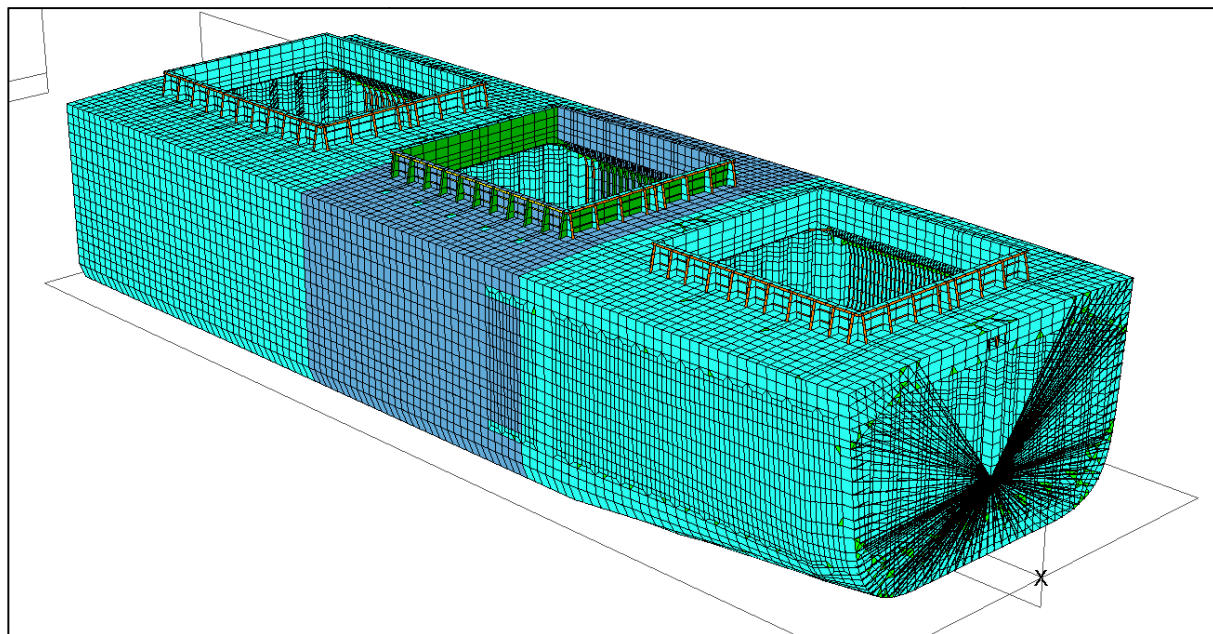
Iz tablica 17 ÷ 19 i slika 19 ÷ 28 vidimo da određeni strukturni elementi ne zadovoljavaju. Očekivano, zbog manje broja a istih strukturnih dimenzija, jaki uzdužni nosači ne zadovoljavaju. S druge strane strukturni elementi kojima je smanjen razmak (npr. rebrenice i okviri u uzvojnim tankovima) su predimenzionirani.



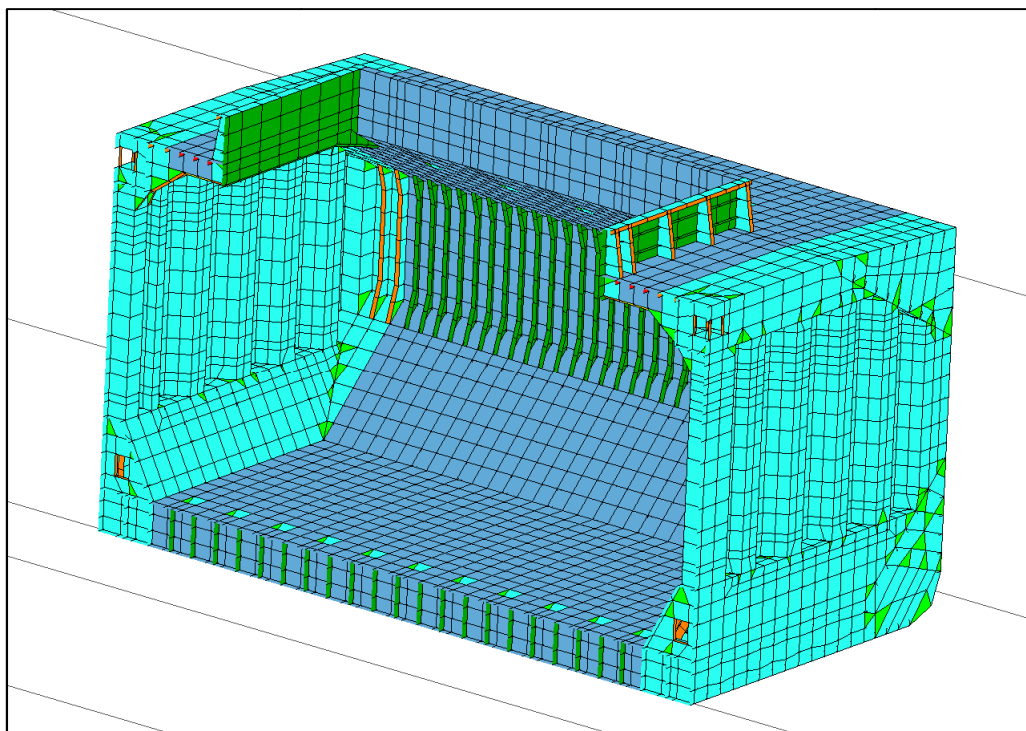
Slika 12. Model glavnog rebra



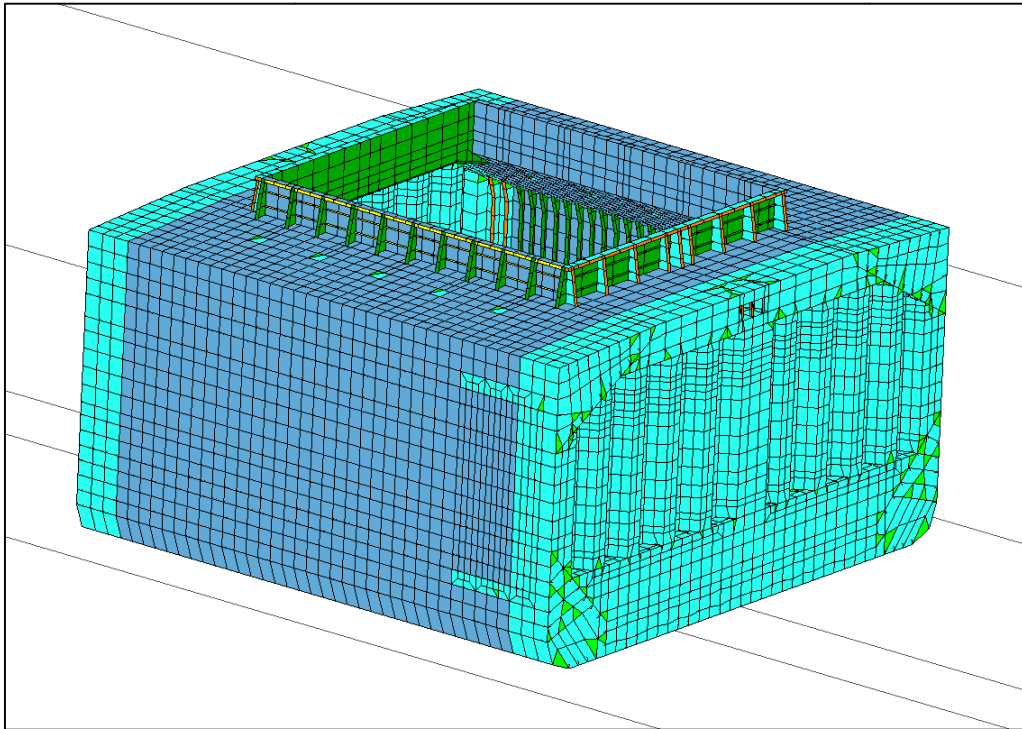
Slika 13. Polovinski model tri skladišta



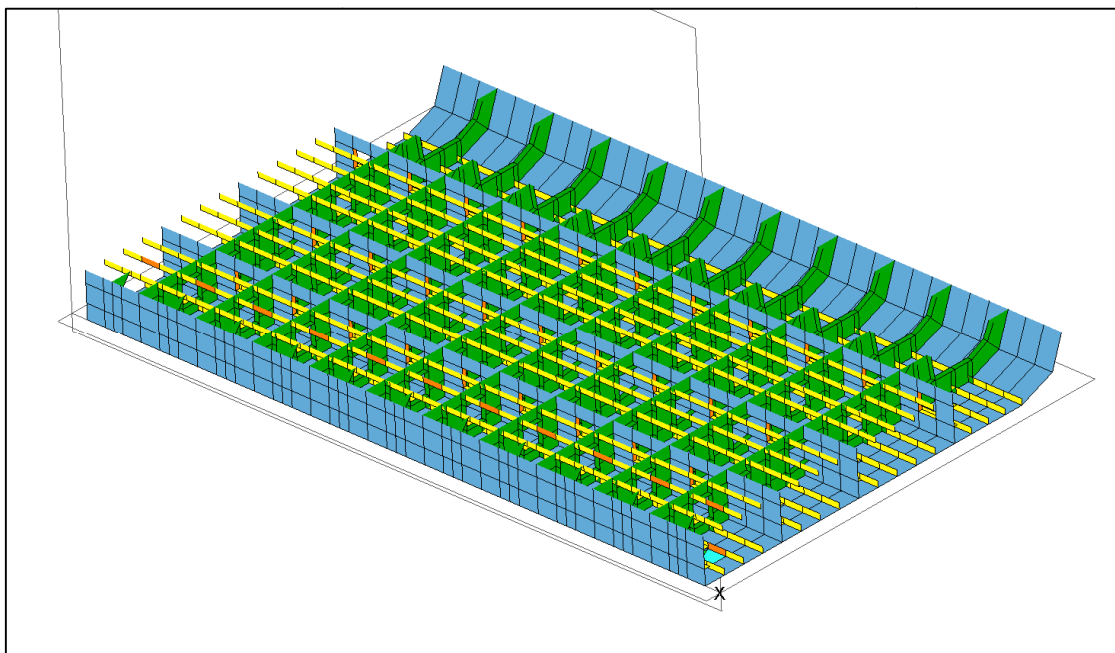
Slika 14. Cijeli model tri skladišta



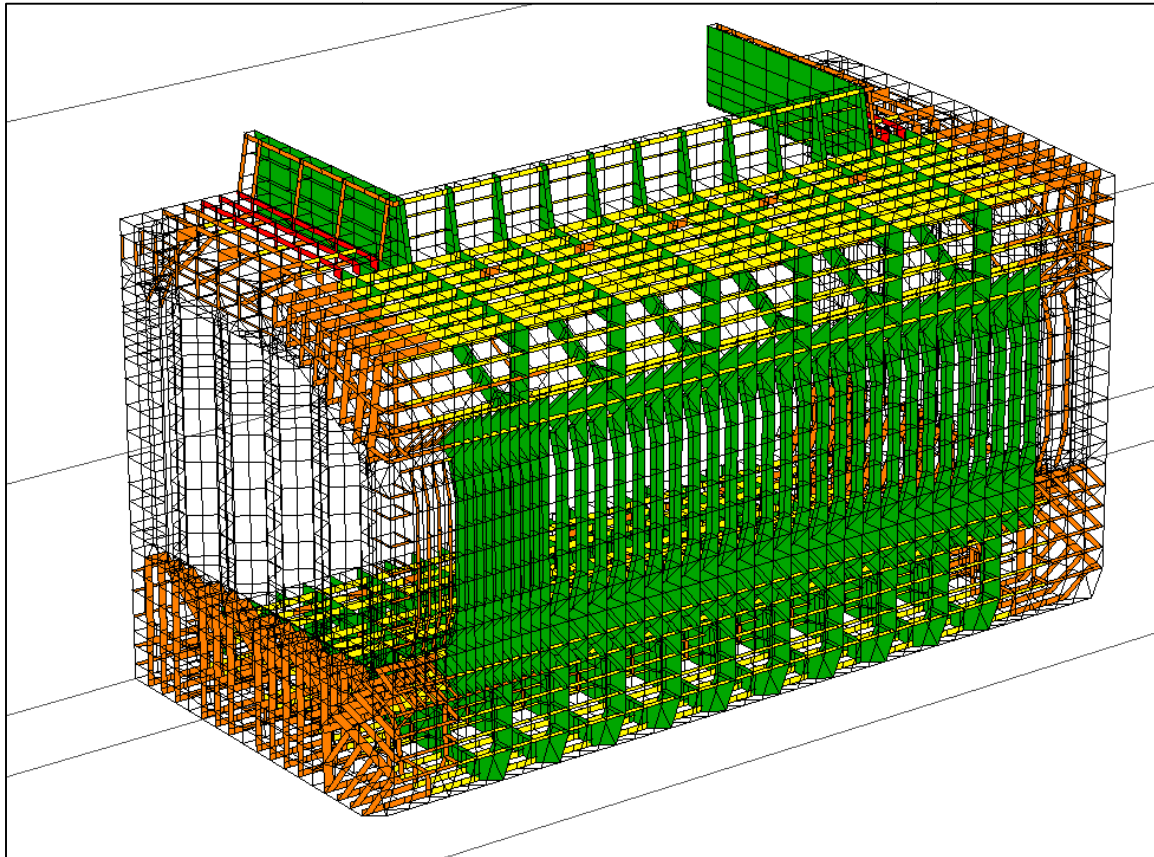
Slika 15. Polovinski model skladišta 3



Slika 16. Cijeli model skladišta 3



Slika 17. Roštilj dvodna



Slika 18. Poprečna struktura

Tablica 16. Proračun masa za Projekt P735a

MASS(kg)	XCG(mm)	YCG(mm)	ZCG(mm)	Module Name
1732	99030.7	15645.4	9112.69	/top/hold3_stb/wb_fr.130.5
1740	102707.0	15651.6	9107.34	/top/hold3_stb/wb_fr.135.5
1749	106381.0	15657.8	9102.03	/top/hold3_stb/wb_fr.140.5
1740	95354.9	15651.6	9107.34	/top/hold3_stb/wb_fr.125.5
1749	91680.7	15657.8	9102.03	/top/hold3_stb/wb_fr.120.5
15237	109281.0	8406.3	14614.8	/top/hold3_stb/si_fr.142-147
69076	108391.0	7100.7	8703.91	/top/hold3_stb/oth_fr.140-147
211643	99067.7	6288.1	10362.2	/top/hold3_stb/oth_fr.121-140
83503	89559.0	7324.0	9715.91	/top/hold3_stb/oth_fr.114-121
552	109994.0	924.4	766.156	/top/hold3_stb/cgb_fr.145.5
581	107853.0	925.1	770.176	/top/hold3_stb/cgb_fr.142.5
586	105648.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.139.5
586	103443.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.136.5
586	101238.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.133.5
586	99032.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.130.5
586	96827.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.127.5
586	94622.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.124.5
586	92417.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.121.5
581	90212.6	925.1	770.176	/top/hold3_stb/cgb_fr.118.5
552	88071.2	924.4	766.156	/top/hold3_stb/cgb_fr.115.5
1749	106381.0	15657.8	-9102.03	/top/hold3_ps/wb_fr.140.5
1740	102707.0	15651.6	-9107.34	/top/hold3_ps/wb_fr.135.5
1732	99030.7	15645.4	-9112.69	/top/hold3_ps/wb_fr.130.5
1740	95354.9	15651.6	-9107.34	/top/hold3_ps/wb_fr.125.5
1749	91680.7	15657.8	-9102.03	/top/hold3_ps/wb_fr.120.5
15237	109281.0	8406.3	-14614.8	/top/hold3_ps/si_fr.142-147
70443	108397.0	7079.0	-8535	/top/hold3_ps/oth_fr.140-147
213618	99067.4	6237.9	-10266.3	/top/hold3_ps/oth_fr.121-140
84870	89555.4	7302.4	-9559.41	/top/hold3_ps/oth_fr.114-121
703	109993.0	908.9	-595.109	/top/hold3_ps/cgb_fr.145.5
743	107852.0	909.2	-596.435	/top/hold3_ps/cgb_fr.142.5
728	105647.0	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.139.5
728	103442.0	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.136.5
728	101237.0	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.133.5
728	99032.2	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.130.5
728	96827.2	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.127.5
728	94622.2	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.124.5
728	92417.2	905.0	-616.123	/top/hold3_ps/cgb_fr.121.5
743	90212.1	909.2	-596.435	/top/hold3_ps/cgb_fr.118.5
703	88070.7	908.9	-595.109	/top/hold3_ps/cgb_fr.115.5
208872	112611.0	7497.9	-13.5917	/top/hold3/fr.147-150
207476	85448.3	7491.8	-13.6832	/top/hold3/fr.111-114
1211.75 [t]	==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight)			

Tablica 17. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

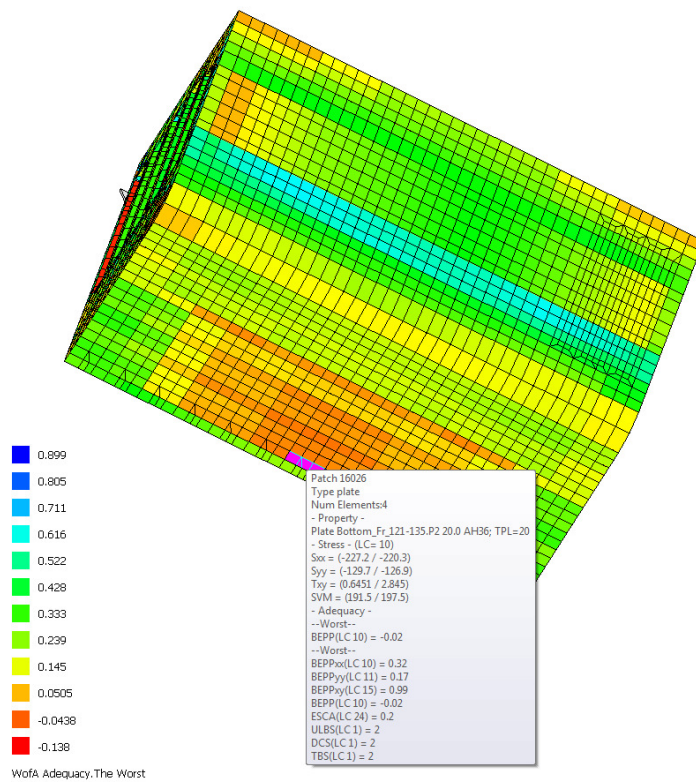
Structure - Projekt P735a	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
Bilge_Fr_71-176	Plate Bilge_Fr_71-176.P1 14.0 AH36	TPL=14	0.068	22	27.403	10.129	29.42	22.068	24.289	4.35E+04
Bottom_Fr_107-121	Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.278	21	10.463	20.793	23.91	10.415	21.278	2934
	Plate Bottom_Fr_107-121.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.03	10	10.303	20.212	19.888	10.03	31.276	7601
	Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36	TPL=18.5	0.008	10	10.281	20.204	10.83	10.008	31.253	7401
	Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.5 AH36	TPL=17.5	0.036	18	10.248	20.204	30.739	18.036	31.283	7001
	Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36	TPL=15	0.004	18	10.167	20.185	30.647	18.004	31.301	6001
	Plate Bottom_Fr_107-121.P6 14.0 AH36	TPL=14	0.127	22	22.186	20.451	30.578	22.127	22.276	6534
Bottom_Fr_121-135	Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.225	24	10.388	11.707	23.957	10.321	24.225	3859
	Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36	TPL=20	-0.02	10	10.319	16.153	19.966	-10.02	24.199	1.05E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P3 19.5 AH36	TPL=19.5	-0.02	10	10.3	16.152	18.929	-10.02	24.227	1.03E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P4 18.5 AH36	TPL=18.5	-0.005	10	10.269	16.163	18.907	-10.005	24.261	9735
	Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36	TPL=16	0.014	10	10.174	16.219	10.896	10.014	32.275	8419
	Plate Bottom_Fr_121-135.P6 14.0 AH36	TPL=14	0.16	10	10.163	20.495	30.666	10.16	24.261	8595
Bottom_Fr_135-149	Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.284	17	10.459	16.788	23.909	10.412	17.284	2492
	Plate Bottom_Fr_135-149.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.027	14	10.303	16.208	15.89	14.027	32.272	6456
	Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36	TPL=18.5	0.008	10	10.28	16.198	29.82	10.008	32.247	6286
	Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.5 AH36	TPL=17.5	0.032	14	10.25	16.197	29.721	14.032	32.276	5946
	Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36	TPL=15	0.003	14	22.152	16.181	29.621	14.003	22.294	5097
	Plate Bottom_Fr_135-149.P6 14.0 AH36	TPL=14	0.139	22	22.177	16.481	29.576	22.139	22.284	5550
BottomGirder_Fr_107-121	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 15.0 AH32	TPL=15	-0.106	6	22.424	5.866	-23.073	-23.089	-6.106	2125
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 13.0 AH32	TPL=13	-0.124	6	10.305	20.606	-6.085	-23.109	-6.124	3586
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 12.0 AH32	TPL=12	-0.092	23	10.241	21.384	-23.075	-23.092	-6.087	3253
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.5 AH32	TPL=12.5	0.042	23	22.295	11.148	23.111	11.053	23.042	3060
BottomGirder_Fr_121-135	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 13.0 AH32	TPL=13	0.06	24	22.262	23.883	23.232	10.126	24.06	2423
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 11.0 AH32	TPL=11	-0.008	23	10.174	23.473	23.119	23.048	-23.008	3522
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32	TPL=11	0.094	23	10.18	23.35	23.285	10.108	23.094	3522
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32	TPL=13	0.014	11	10.334	11.095	23.641	11.014	24.227	4163
BottomGirder_Fr_135-149	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 15.0 AH32	TPL=15	-0.11	6	22.419	31.855	-23.086	-23.104	-6.11	1805
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 13.0 AH32	TPL=13	-0.128	23	10.307	16.602	-23.088	-23.114	-23.128	3031
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 11.5 AH32	TPL=11.5	-0.163	23	10.215	17.363	-23.146	-23.163	-9.098	2594
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.5 AH32	TPL=12.5	0.037	23	22.281	11.141	23.103	11.046	23.037	2731
Deck_Fr_106-152	Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24	TPL=20	-0.068	4	11.422	11.415	4.033	-4.068	-4.034	8638
	Plate Deck_Fr_106-152.P6 17.5 ST24	TPL=17.5	0.257	1	1.32	5.613	25.533	1.257	23.258	1.22E+04
	Plate Deck_Fr_106-152.P7 16.5 ST24	TPL=16.5	0.211	1	1.232	1.432	26.639	1.211	1.232	1.15E+04
	Plate Deck_Fr_106-152.P8 15.0 ST24	TPL=15	0.114	1	1.165	1.165	25.825	1.114	1.253	3471
Deck_Fr_107-149	Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36	TPL=18.5	0.014	22	11.248	23.562	29.775	22.111	22.014	2.15E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36	TPL=18.5	0.025	22	11.209	23.224	28.725	22.025	22.035	2.35E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36	TPL=19	-0.102	22	11.066	-11.047	4.402	-22.102	-22.068	2.36E+04
DeckGirderWeb	Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32	TPL=12.5	0.176	18	18.357	18.304	18.631	18.176	4.272	1.87E+04

Tablica 18. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

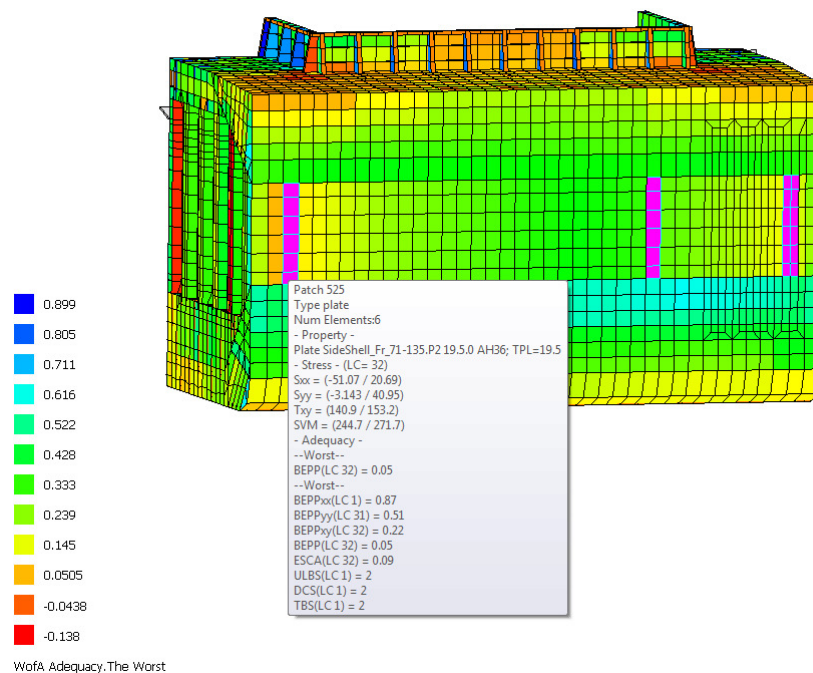
Structure - Projekt P735a	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
Floor_Fr_111-147	Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.5 AH36	TPL=13.5	0.03	17	5.479	17.102	31.285	17.03	31.219	7495
	Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36	TPL=12	0.019	17	17.51	17.087	31.451	17.019	31.231	4175
	Plate Floor_Fr_111-147.P22 12.0 AH36	TPL=12	0.075	17	17.693	17.161	9.501	17.075	9.361	1809
	Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.0 ST24	TPL=12	-0.03	21	23.523	21.005	23.137	-21.03	23.075	6843
	Plate Floor_Fr_111-147.P32 13.0 AH32	TPL=13	0.052	21	23.63	17.191	23.512	21.052	23.423	2515
	Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32	TPL=13.5	0.032	21	23.662	17.253	32.271	21.032	32.128	2611
	Plate Floor_Fr_111-147.P41 12.0 ST24	TPL=12	0.068	17	11.484	17.079	23.648	17.068	23.244	5426
	Plate Floor_Fr_111-147.P42 15.0 ST24	TPL=15	0.011	23	21.679	11.211	23.044	23.014	23.011	4032
	Plate Floor_Fr_111-147.P43 16.0 ST24	TPL=16	0.015	23	11.686	11.296	23.05	23.024	23.015	2150
	Plate Floor_Fr_111-147.P44 15.0 AH32	TPL=15	0.038	32	23.779	17.338	32.119	32.115	32.038	2901
	Plate Floor_Fr_111-147.P45 18.0 AH32	TPL=18	0.039	32	11.859	17.54	32.128	32.122	32.039	3482
Plate Floor_Fr_111-147.P46 18.0 AH32	TPL=18	0.028	32	11.857	21.547	32.108	32.101	32.028	3482	
HatchH3	Plate HatchH3.P1 13.0 AH36	TPL=13	0.281	1	1.287	1.725	1.725	1.281	22.373	6208
	Plate HatchH3.P2 15.0 AH36	TPL=15	0.141	22	11.449	4.997	4.861	22.358	22.141	3313
	Plate HatchH3.P3 17.0 AH36	TPL=17	-0.058	22	11.903	11.346	11.607	11.125	-22.058	589.1
	Plate HatchH3.P4 15.5 AH36	TPL=15.5	-0.015	22	11.208	22.807	22.58	22.096	-22.015	5195
	Plate HatchH3.P5 14.0 AH36	TPL=14	0.022	11	11.024	29.807	22.844	11.022	22.06	3128
HatchWeb	Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36	TPL=10	0.53	7	24.883	27.717	4.763	7.53	4.666	7732
Hopper_Fr_107-121	Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36	TPL=20	0.017	23	22.654	21.362	23.174	23.023	23.017	5598
	Plate Hopper_Fr_107-121.P3 19.0 AH32	TPL=19	0.038	23	23.569	23.574	23.154	23.038	23.04	7125
Hopper_Fr_121-135	Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.107	11	22.59	11.147	23.48	11.107	23.237	6995
	Plate Hopper_Fr_121-135.P3 18.0 AH32	TPL=18	0.102	29	11.798	23.332	29.319	29.102	29.206	9572
Hopper_Fr_135-149	Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.0 AH36	TPL=19	-0.013	23	22.596	17.236	23.159	-23.013	23.012	4517
	Plate Hopper_Fr_135-149.P3 18.0 AH32	TPL=18	0.03	23	23.616	23.505	23.116	23.06	23.03	5521
HopperTransverse_Fr_111-147	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 12.5 AH3	TPL=12.5	0.134	2	9.627	2.17	9.583	2.134	28.559	6105
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST2	TPL=20	0.325	32	4.932	23.905	32.843	32.822	32.325	1231
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 12.0 AH3	TPL=12	0.074	23	28.291	23.374	23.418	23.074	23.289	2323
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST2	TPL=11	0.046	23	12.379	1.461	23.411	23.046	23.332	2412
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST	TPL=20	0.548	1	23.95	1.8	1.96	1.795	1.548	3317
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 17.0 ST	TPL=17	0.544	23	23.864	9.863	1.942	1.764	23.544	939.8
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST2	TPL=12	0.1	1	11.235	28.561	23.383	1.1	27.223	1596
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3	TPL=13.5	0.044	23	28.454	23.267	23.228	23.044	23.137	5227
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST2	TPL=11	0.047	23	28.392	23.216	23.382	23.047	23.276	4824
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST2	TPL=20	0.473	23	23.949	11.804	23.966	11.802	23.473	8845
Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.5 ST2	TPL=12.5	0.089	1	11.174	28.602	23.251	1.089	23.184	3324	
LowerStoolWeb	Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32	TPL=12	0.036	18	18.471	18.11	32.681	18.036	18.275	5352
SideShell_Fr_107-149	Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36	TPL=14	0.255	29	18.378	3.389	29.55	29.255	31.433	2.22E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.5 AH36	TPL=16.5	0.195	22	11.324	11.407	32.592	24.308	22.195	1.39E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P4 17.0 AH36	TPL=17	0.037	22	11.197	27.889	32.732	22.157	22.037	1.44E+04

Tablica 19. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a

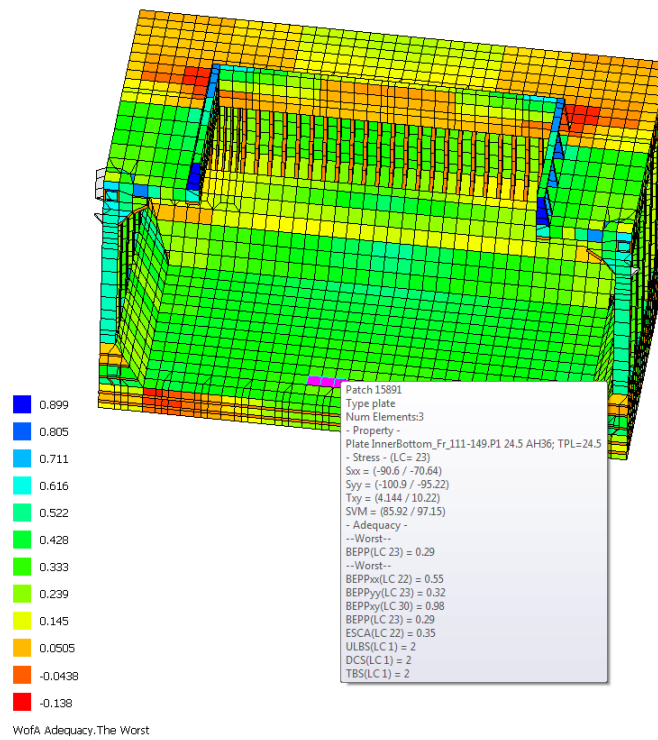
Structure - Projekt P735a	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
UpperStoolH3	Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36	TPL=12.5	0.043	18	1.261	18.142	7.528	18.043	12.376	9731
	Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36	TPL=13	0.028	24	1.255	1.126	31.244	24.028	7.105	3874
	Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36	TPL=13	0.125	1	1.254	32.253	4.449	1.125	27.15	3004
UpperStoolWeb	Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24	TPL=10	-0.032	28	21.34	18.518	28.137	-28.032	7.095	2225
	Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32	TPL=12.5	0.187	28	18.485	21.602	27.461	32.284	28.187	2675
	Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32	TPL=12.5	0.043	4	17.535	18.85	27.211	27.201	4.043	748
WebBelowHatch	Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36	TPL=13	0.071	23	23.098	22.186	1.902	23.071	23.4	2776
	Plate WebBelowHatch.P2 24.0 AH36	TPL=24	0.167	1	3	3	3	3	1.167	2744
	Plate WebBelowHatch.P3 19.0 AH36	TPL=19	0.162	23	23.19	20.997	1.887	23.162	23.212	4564
Wing_Fr_107-121	Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36	TPL=17	-0.046	1	21.278	23.02	32.519	-1.046	32.194	6971
	Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36	TPL=17.5	-0.08	1	21.165	23.038	32.592	-1.08	22.15	7235
Wing_Fr_107-149	Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.5 AH32	TPL=14.5	0.095	32	21.39	21.428	31.238	31.174	32.095	1.06E+04
Wing_Fr_121-149	Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36	TPL=17	-0.052	23	17.296	-23.001	31.47	-23.052	31.155	1.51E+04
	Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.5 AH36	TPL=17.5	-0.074	1	11.174	23.019	31.599	-1.074	22.123	1.57E+04
Wing_Fr_72-149	Plate Wing_Fr_72-149.P5 18.0 AH36	TPL=18	0.077	22	11.175	11.24	18.627	11.125	22.077	8047
Wing_Fr_79-149	Plate Wing_Fr_79-149.P4 18.0 AH36	TPL=18	0.031	22	11.122	21.129	7.431	21.089	22.031	2.89E+04
WingTransverse_Fr_111-147	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24	TPL=20	0.454	1	1.954	22.821	12.879	22.753	1.454	1656
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 14.0 AH32	TPL=14	0.081	22	22.567	22.097	12.361	22.081	12.324	6573
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24	TPL=20	0.345	32	30.855	32.776	7.904	32.525	32.345	1185
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 13.0 AH32	TPL=13	0.083	31	30.474	30.472	31.432	31.083	31.206	770
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32	TPL=13	0.03	22	1.276	22.037	7.488	22.03	5.225	3865
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24	TPL=20	0.299	27	22.799	27.878	27.601	27.551	27.299	1185
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 14.0 AH32	TPL=14	0.209	27	22.579	27.574	27.47	27.215	27.209	829.2
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 14.0 AH32	TPL=14	0.066	22	22.288	22.09	27.448	22.066	27.259	4162
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24	TPL=20	0.247	27	22.746	27.85	27.517	27.469	27.247	4738
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 14.0 AH32	TPL=14	0.072	27	22.163	22.27	28.341	27.072	28.193	8325



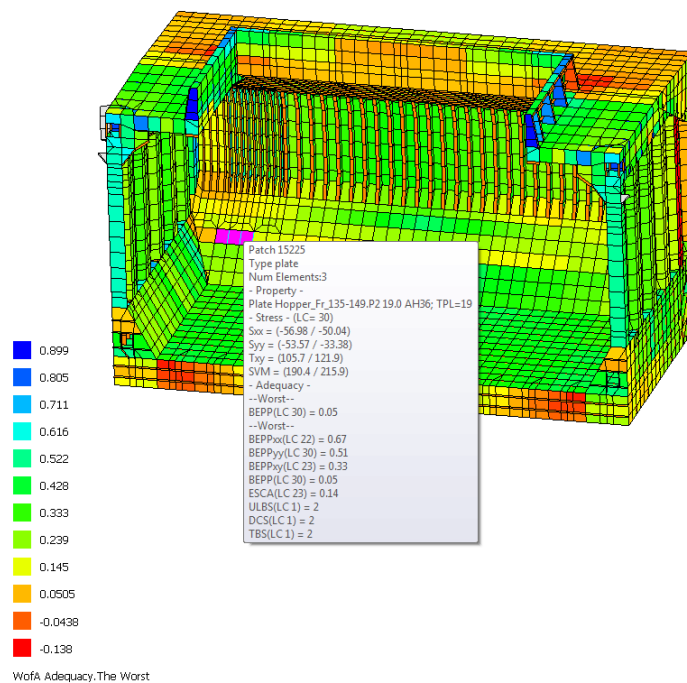
Slika 19. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a



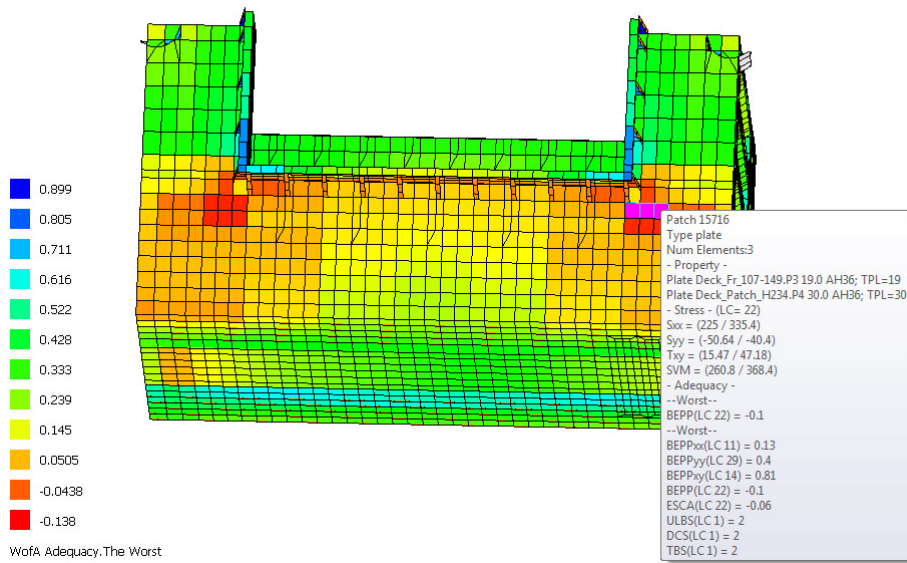
Slika 20. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a



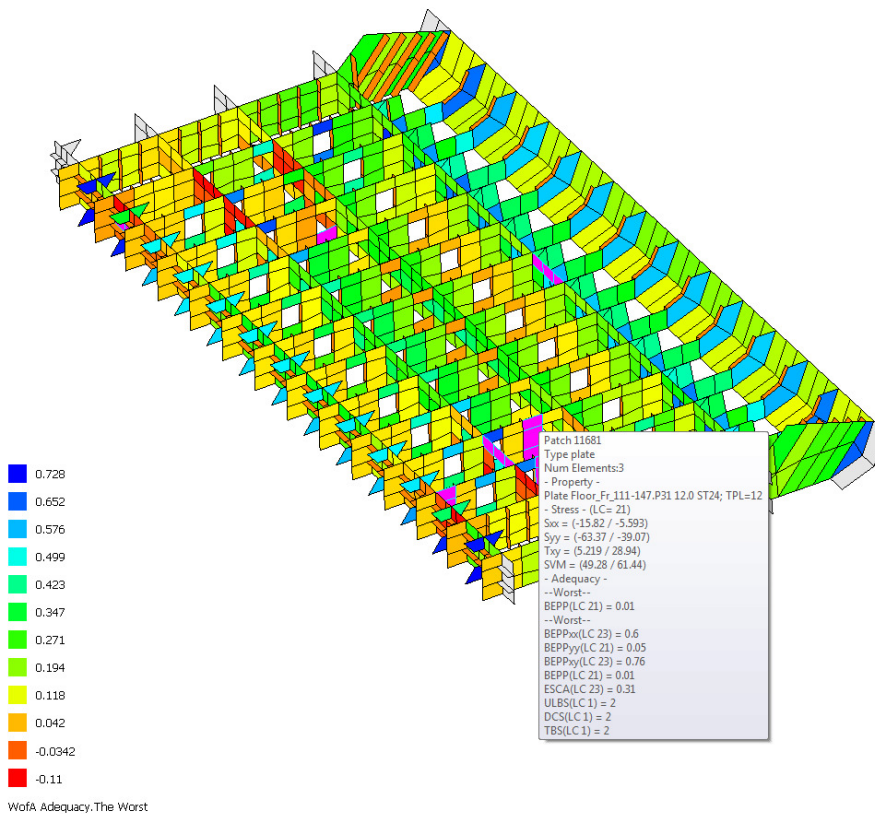
Slika 21. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata pokrova dvodna za Projekt P735a



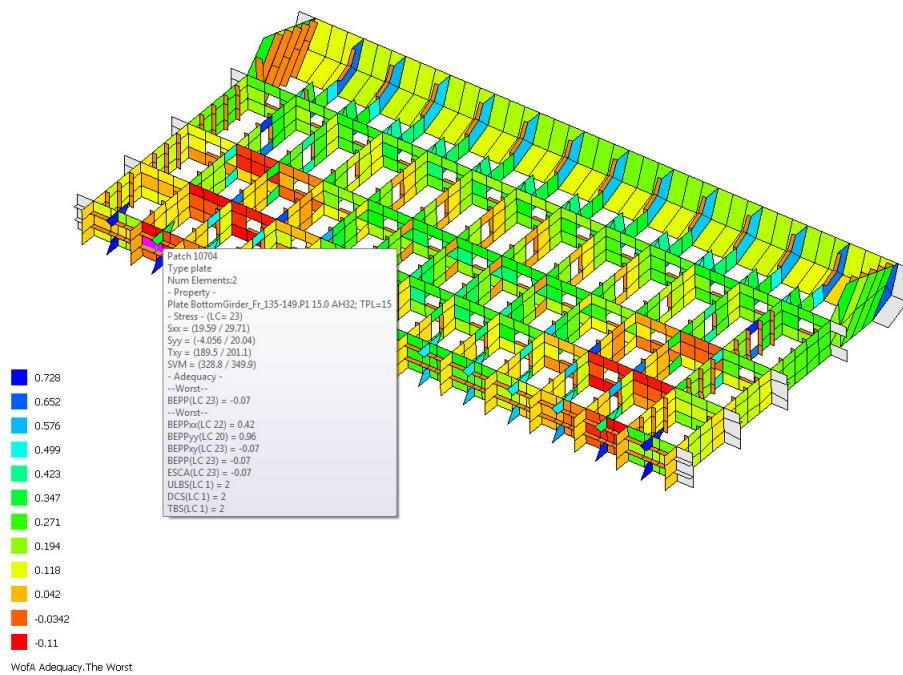
Slika 22. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata uzvojnog tanka za Projekt P735a



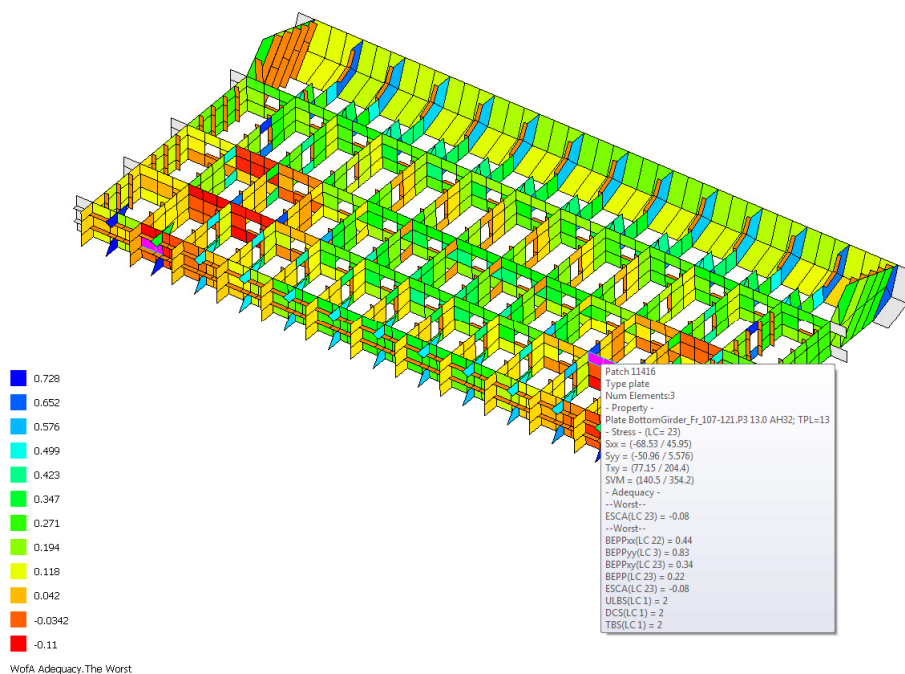
Slika 23. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a



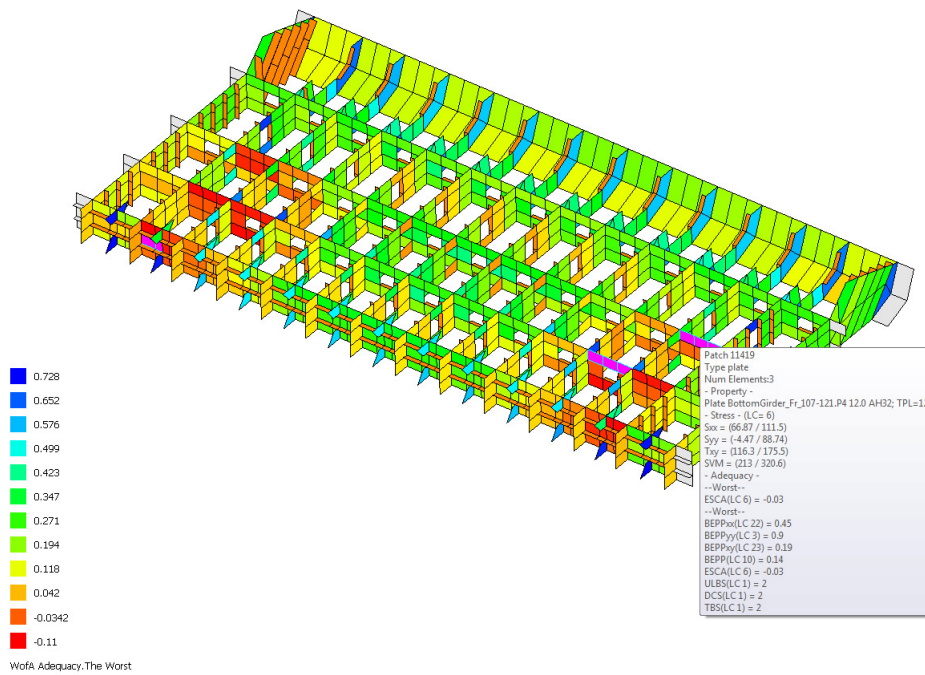
Slika 24. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a



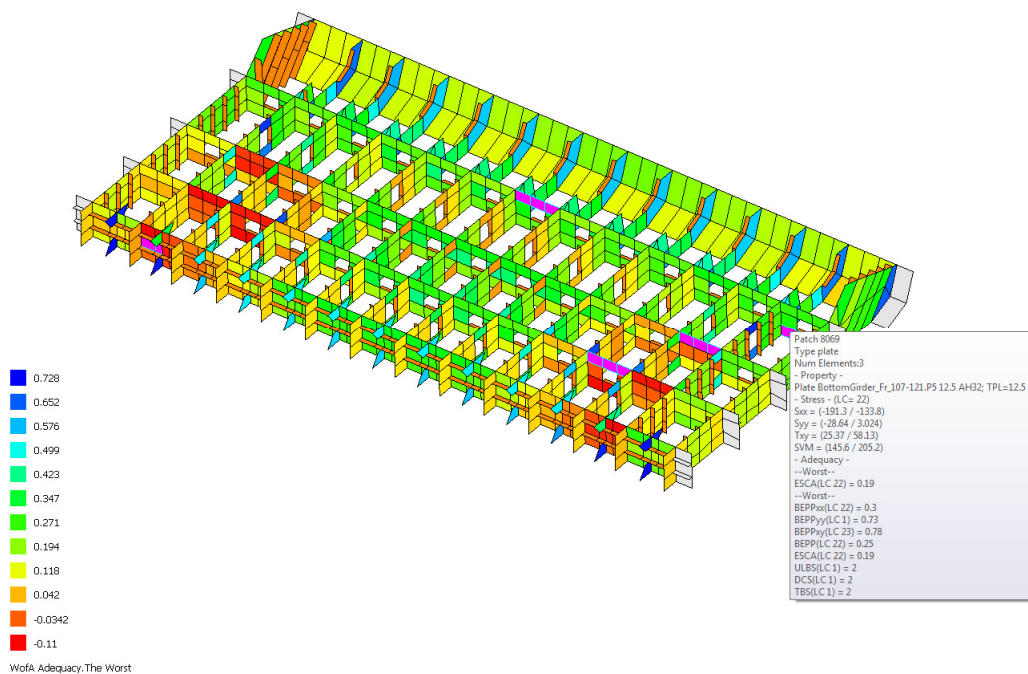
Slika 25. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a



Slika 26. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a



Slika 27. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a



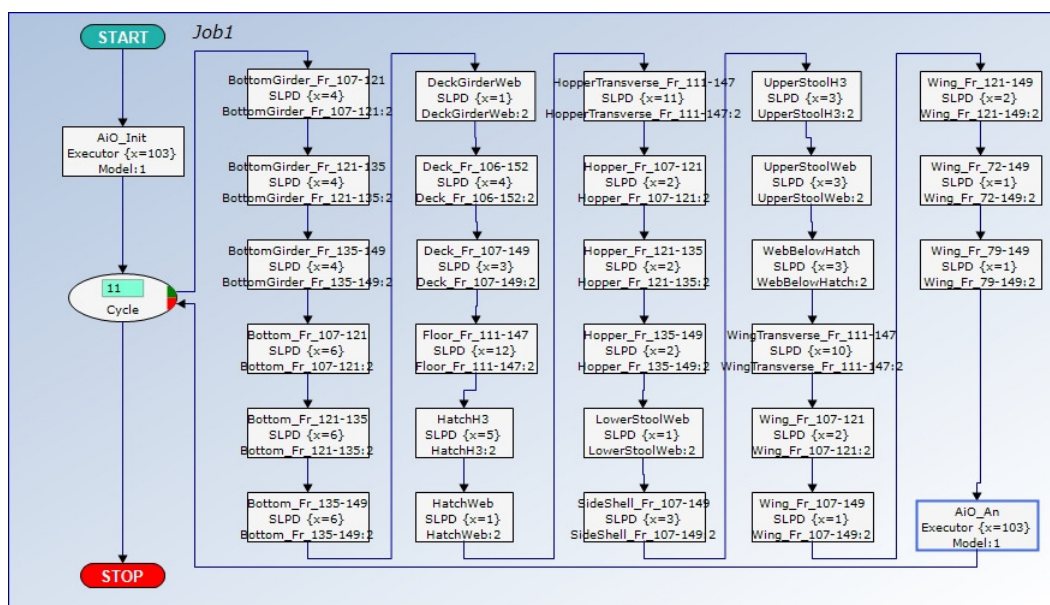
Slika 28. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a

5. OPTIMIZACIJA

5.1. Optimizacijska metoda

Većina optimizacijskih metoda je numeričko-iterativnog tipa te zahtjeva uporabu računala. Optimizacijski postupak uvodi sistematsku metodologiju određivanja vrijednosti projektnih varijabli koje minimiziraju ili maksimiziraju zadanu mjeru kvalitete i istovremeno zadovoljavaju projektna ograničenja. Projektni parametri uključuju projektne varijable koje su definirane unutar tzv. profila zadatka. Mjere kvalitete definirane su pomoću skupa funkcija preslikavanja, a neke tipične kriterijske funkcije su: minimalna cijena, minimalna masa, itd. Projektni prostor je prostor omeđen projektnim varijablama. Svaki projekt je predstavljen točkom unutar tog prostora. Ti projekti moraju zadovoljavati dani skup funkcija ograničenja (npr. dozvoljena naprezanja, kutovi izvijanja, dozvoljeni progibi, itd.). Funkcije cilja su atributi minimalne mase i minimalnog vertikalnog težišta.

Za optimizaciju korištena je programska aplikacija OCTOPUS DeMak [5]. Kao optimizacijska metoda primijenjeno je Sekvencijalno linearno programiranje (SLP) [6].



Slika 29. Dijagram toka optimizacije

5.2. Definicija optimizacijskog problema

U diplomskom radu će se provesti strukturalna optimizacija broda za rasuti teret s ciljem minimizacije mase. Korištena je programska aplikacija OCTOPUS DeMak [5]. Dok je kao optimizacijska metoda primijenjeno Sekvencijalno linearno programiranje (SLP).

Projektne varijable su debljina limova uzdužnih nosača, rebrenica, okvira u dnu i palubi. Radi pojednostavljenja i vremenskog ograničenja uzdužnjaci, rebra, ukrepe, koljena itd., nisu uključeni u optimizaciju. U tablici 20. dane su minimalne i maksimalne debljine limova. Minimalne debljine limova dobivene su programom MARS.

Projektna ograničenja su faktori podobnosti konstrukcije prikazani u poglavlju 2.2.

Prva od mjera sigurnosti je $g_{<0.05}$ a računa se kao suma svih faktora podobnosti, na svim evaluacijskim elementima (*patch*) podstrukture, koji imaju vrijednost manju od 0.05. Ova mjera daje indicaciju količine narušenosti podobnosti.

$$g_{<0.05} = \sum_{i=1}^{n_p} \sum_{j=1}^{n_c} g_{ij} \Big|_{<0.05}$$

Druga mjera sigurnosti, $g_{\min 5\%}$ računa srednju vrijednost najgorih 5% svih faktora podobnosti i na svim *patchevima* podstrukture s tim da se ne uzimaju u obzir faktori podobnosti koji imaju vrijednost > 0.15 . Mjera daje indicaciju sigurnosti podstrukture, s tim da ta mjera ne prelazi vrijednost 0.15

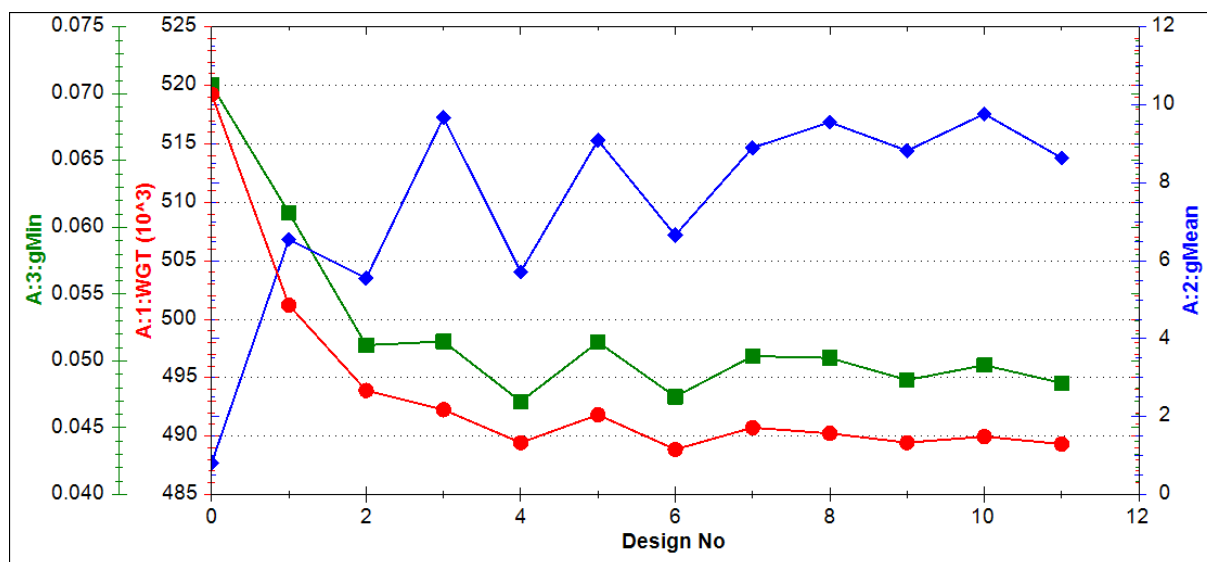
$$g_{\min 5\%} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{5\%}} g_{ij} \Big|_{5\%}}{n_{5\%}}; g_{ij} \Big|_{5\%} \text{ (worst 5\%)}$$

Tablica 20. Minimalne i maksimalne debljine limova

Property	Min	Max	Property	Min	Max
Bottom_Fr_107-121.P1	15.5	22	HatchH3.P1	11	20
Bottom_Fr_107-121.P2	15	22	HatchH3.P2	11	20
Bottom_Fr_107-121.P3	15	22	HatchH3.P3	13	20
Bottom_Fr_107-121.P4	15	22	HatchH3.P4	13	20
Bottom_Fr_107-121.P5	15	22	HatchH3.P5	16	30
Bottom_Fr_107-121.P6	13.5	22	HatchWeb.P1	10	20
Bottom_Fr_121-135.P1	15.5	22	Hopper_Fr_107-121.P2	19	25
Bottom_Fr_121-135.P2	15	22	Hopper_Fr_107-121.P3	16	25
Bottom_Fr_121-135.P3	15	22	Hopper_Fr_121-135.P2	19	25
Bottom_Fr_121-135.P4	15	22	Hopper_Fr_121-135.P3	16	25
Bottom_Fr_121-135.P5	15	22	Hopper_Fr_135-149.P2	19	25
Bottom_Fr_121-135.P6	13.5	22	Hopper_Fr_135-149.P3	16	25
Bottom_Fr_135-149.P1	15.5	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P11	11	20
Bottom_Fr_135-149.P2	15	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P12	11	20
Bottom_Fr_135-149.P3	15	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P21	11	20
Bottom_Fr_135-149.P4	15	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P22	11	20
Bottom_Fr_135-149.P5	15	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P231	11	20
Bottom_Fr_135-149.P6	13.5	22	HopperTransverse_Fr_111-147.P232	11	20
BottomGirder_Fr_107-121.P1	12.5	20	HopperTransverse_Fr_111-147.P24	11	20
BottomGirder_Fr_107-121.P3	11	20	HopperTransverse_Fr_111-147.P31	11	20
BottomGirder_Fr_107-121.P4	11	20	HopperTransverse_Fr_111-147.P32	11	20
BottomGirder_Fr_107-121.P5	11	20	HopperTransverse_Fr_111-147.P33	11	20
BottomGirder_Fr_121-135.P1	11	20	HopperTransverse_Fr_111-147.P34	11	20
BottomGirder_Fr_121-135.P3	11	20	LowerStoolWeb.P1	11	25
BottomGirder_Fr_121-135.P4	11	20	SideShell_Fr_107-149.P1	14	18
BottomGirder_Fr_121-135.P5	11	20	SideShell_Fr_107-149.P3	14.5	18
BottomGirder_Fr_135-149.P1	12.5	20	SideShell_Fr_107-149.P4	14.5	18
BottomGirder_Fr_135-149.P3	11	20	UpperStoolH3.P1	12	20
BottomGirder_Fr_135-149.P4	11	20	UpperStoolH3.P2	12	20
BottomGirder_Fr_135-149.P5	11	20	UpperStoolH3.P3	12	20
Bulkhead_111.P1	20	25	UpperStoolWeb.P1	13	20
Bulkhead_147.P1	20	25	UpperStoolWeb.P2	10	20
Deck_Fr_106-152.P5	12	20	UpperStoolWeb.P3	10	20
Deck_Fr_106-152.P6	12	20	WebBelowHatch.P1	13	20
Deck_Fr_106-152.P7	12	20	WebBelowHatch.P2	11	26
Deck_Fr_106-152.P8	12	20	WebBelowHatch.P3	13	20
Deck_Fr_107-149.P1	12	20	Wing_Fr_107-121.P2	14	18
Deck_Fr_107-149.P2	12	20	Wing_Fr_107-121.P3	13.5	18
Deck_Fr_107-149.P3	12	20	Wing_Fr_107-149.P1	14	18
DeckGirderWeb.P1	11	15	Wing_Fr_121-149.P2	14	18
Floor_Fr_111-147.P1	11	20	Wing_Fr_121-149.P3	13.5	18
Floor_Fr_111-147.P21	11	20	Wing_Fr_72-149.P5	13	18
Floor_Fr_111-147.P22	11	20	Wing_Fr_79-149.P4	13	25
Floor_Fr_111-147.P31	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P11	12	20
Floor_Fr_111-147.P32	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P12	12	20
Floor_Fr_111-147.P33	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P211	12	20
Floor_Fr_111-147.P41	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P212	12	20
Floor_Fr_111-147.P42	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P22	12	20
Floor_Fr_111-147.P43	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P311	12	20
Floor_Fr_111-147.P44	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P312	12	20
Floor_Fr_111-147.P45	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P32	12	20
Floor_Fr_111-147.P46	11	20	WingTransverse_Fr_111-147.P41	12	20
			WingTransverse_Fr_111-147.P42	12	20

5.3. Analiza rezultata optimizacije

Optimizacija je provedena u 12 ciklusa. Na slici 30. je prikazan dijagram u kojem su ucrtane vrijednosti mase, gMin i gMean, za svaki ciklus. Vidimo da je masa manja za otprilike 30 t u odnosu na Projekt 735a. Ova masa uključuje samo elemente koji su optimizirani. Detaljan proračun masa dobiven je pomoću programa MAESTRO [3] i prikazan je u tablici 21. U tablicama 22 ÷ 24 prikazani su postignuti kriteriji podobnosti.



Slika 30. Rezultati optimizacije

Tablica 21. Proračun masa za Projekt P735a-Opt

MASS(kg)	XCG(mm)	YCG(mm)	ZCG(mm)	Module Name
203161	85444.9	7427.1	-14.0	/top/hold3/fr.111-114
205123	112613.0	7439.2	-13.8	/top/hold3/fr.147-150
679	88070.7	946.5	-597.1	/top/hold3_ps/cgb_fr.115.5
717	90212.1	947.0	-598.5	/top/hold3_ps/cgb_fr.118.5
696	92417.3	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.121.5
696	94622.3	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.124.5
696	96827.3	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.127.5
720	107852.0	946.2	-595.8	/top/hold3_ps/cgb_fr.142.5
682	109993.0	945.7	-594.5	/top/hold3_ps/cgb_fr.145.5
82032	89554.9	7125.8	-9552.3	/top/hold3_ps/oth_fr.114-121
207320	99068.5	6187.7	-10214.0	/top/hold3_ps/oth_fr.121-140
67920	108395.0	6867.7	-8502.0	/top/hold3_ps/oth_fr.140-147
15069	109281.0	8390.7	-14613.6	/top/hold3_ps/si_fr.142-147
1718	91680.8	15636.2	-9128.4	/top/hold3_ps/wb_fr.120.5
1730	95357.0	15645.3	-9120.5	/top/hold3_ps/wb_fr.125.5
1742	99030.7	15654.2	-9112.7	/top/hold3_ps/wb_fr.130.5
1730	102704.0	15645.3	-9120.5	/top/hold3_ps/wb_fr.135.5
1718	106381.0	15636.2	-9128.4	/top/hold3_ps/wb_fr.140.5
696	99032.3	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.130.5
696	101237.0	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.133.5
696	103442.0	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.136.5
696	105647.0	931.8	-633.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.139.5
524	88071.3	974.5	782.2	/top/hold3_stb/cgb_fr.115.5
551	90212.8	975.6	786.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.118.5
566	92417.8	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.121.5
566	94622.8	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.124.5
566	96827.8	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.127.5
566	99032.8	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.130.5
566	101238.0	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.133.5
566	103443.0	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.136.5
566	105648.0	949.9	787.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.139.5
551	107853.0	975.1	786.7	/top/hold3_stb/cgb_fr.142.5
524	109994.0	974.0	782.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.145.5
80674	89558.2	7149.7	9713.1	/top/hold3_stb/oth_fr.114-121
205485	99068.9	6235.3	10305.2	/top/hold3_stb/oth_fr.121-140
66546	108389.0	6892.9	8677.5	/top/hold3_stb/oth_fr.140-147
15069	109281.0	8390.7	14613.6	/top/hold3_stb/si_fr.142-147
1718	91680.8	15636.2	9128.4	/top/hold3_stb/wb_fr.120.5
1730	95357.0	15645.3	9120.5	/top/hold3_stb/wb_fr.125.5
1742	99030.7	15654.2	9112.7	/top/hold3_stb/wb_fr.130.5
1730	102704.0	15645.3	9120.5	/top/hold3_stb/wb_fr.135.5
1718	106381.0	15636.2	9128.4	/top/hold3_stb/wb_fr.140.5
1179.46 [t]	==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight)			

Tablica 22. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

Structure - Projekt P735a-Opt	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx	BEPPyy	BEPPxy	BEPP	ESCA	Weight
Bottom_Fr_107-121	Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36	TPL=16.07	0	10	10.157	20.481	23.841	10	21.243	2144
	Plate Bottom_Fr_107-121.P2 19.0 AH36	TPL=18.41	0	10	10.255	20.189	19.877	-10	31.272	7364
	Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36	TPL=18.34	0	10	10.252	20.201	10.81	-10	31.247	7336
	Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.5 AH36	TPL=16.94	-0.001	18	10.21	20.172	30.715	-18.001	31.271	6778
	Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36	TPL=15.05	0	18	22.156	20.186	30.645	-18	22.291	6020
	Plate Bottom_Fr_107-121.P6 14.0 AH36	TPL=13.5	0.074	22	22.144	20.407	30.535	22.074	22.262	6302
Bottom_Fr_121-135	Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36	TPL=17.51	0	10	10.156	16.455	10.919	10	24.175	3072
	Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36	TPL=20.19	0	10	10.305	16.177	19.969	-10	24.196	1.06E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P3 19.5 AH36	TPL=19.71	-0.001	10	10.286	16.176	18.93	-10.001	24.221	1.04E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P4 18.5 AH36	TPL=18.57	0	10	10.251	16.171	18.906	-10	24.252	9772
	Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36	TPL=15.94	0	10	10.159	16.188	10.896	-10	32.272	8389
	Plate Bottom_Fr_121-135.P6 14.0 AH36	TPL=13.5	0.119	10	10.123	20.448	30.628	10.119	24.255	8288
Bottom_Fr_135-149	Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36	TPL=16.08	0	10	10.156	16.474	23.837	-10	32.236	1822
	Plate Bottom_Fr_135-149.P2 19.0 AH36	TPL=18.46	0	14	10.258	16.187	15.88	-14	32.269	6271
	Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36	TPL=18.33	0	10	10.252	16.197	10.811	-10	32.242	6227
	Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.5 AH36	TPL=16.97	0	14	10.211	16.169	29.697	-14	32.261	5767
	Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36	TPL=15.03	0	14	22.141	16.182	29.618	-14	22.284	5106
	Plate Bottom_Fr_135-149.P6 14.0 AH36	TPL=13.5	0.09	22	22.136	16.437	29.534	22.09	22.271	5352
BottomGirder_Fr_107-121	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 15.0 AH32	TPL=15.4	-0.083	6	22.434	5.886	-23.012	-23.029	-6.083	2183
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 13.0 AH32	TPL=15.18	-0.085	6	22.469	20.752	-23.007	-23.022	-6.085	4187
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 12.0 AH32	TPL=12.71	-0.069	6	10.286	21.439	23.023	-23.001	-6.069	3444
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.5 AH32	TPL=12.06	-0.001	11	22.247	11.09	23.097	-11.001	23.035	2952
BottomGirder_Fr_121-135	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 13.0 AH32	TPL=11.8	0.001	24	10.159	23.827	23.191	10.002	24.001	2200
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 11.0 AH32	TPL=11	-0.049	6	10.152	23.483	23.075	23.009	-6.049	3522
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32	TPL=11	0.064	23	10.167	23.345	23.243	10.093	23.064	3522
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32	TPL=12.98	0	11	10.32	11.079	23.639	-11	10.222	4158
BottomGirder_Fr_135-149	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 15.0 AH32	TPL=15.74	-0.081	6	22.451	31.893	-23.009	-23.028	-6.081	1895
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 13.0 AH32	TPL=15.16	-0.084	9	22.463	16.742	-23.008	-23.023	-9.084	3535
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 11.5 AH32	TPL=12.77	-0.069	9	22.303	17.463	23.016	23	-9.069	2879
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.5 AH32	TPL=12.11	-0.001	11	22.239	11.09	23.094	-11.001	23.033	2645
Deck_Fr_106-152	Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24	TPL=17.4	-0.159	4	11.219	11.216	-4.063	-4.159	-4.08	7513
	Plate Deck_Fr_106-152.P6 17.5 ST24	TPL=14.56	0	1	23.053	5.45	25.395	1	23.185	1.01E+04
	Plate Deck_Fr_106-152.P7 16.5 ST24	TPL=13.98	0	1	1.024	1.168	26.508	1	1.16	9707
	Plate Deck_Fr_106-152.P8 15.0 ST24	TPL=13.61	0	1	1.052	1.053	25.783	1	1.213	3150
Deck_Fr_107-149	Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36	TPL=14.17	-0.028	22	11.014	23.213	29.434	11	-22.028	1.65E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36	TPL=18.22	0	22	11.168	23.198	28.702	-22	22.009	2.31E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36	TPL=20	-0.095	22	11.078	-11.019	4.474	-22.095	-22.072	2.49E+04
DeckGirderWeb	Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32	TPL=11.07	0	18	18.222	18.185	4.428	18	4.234	1.66E+04

Tablica 23. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

Structure - Projekt P735a-Opt	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx	BEPPyy	BEPPxy	BEPP	ESCA	Weight
Floor_Fr_111-147	Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.5 AH36	TPL=13.13	0	17	5.447	17.078	31.248	17	31.213	7291
	Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36	TPL=12.04	-0.001	17	17.509	17.07	31.468	-17.001	31.208	4191
	Plate Floor_Fr_111-147.P22 12.0 AH36	TPL=11.18	0	17	21.617	17.091	6.427	-17	9.357	1685
	Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.0 ST24	TPL=12.33	-0.002	21	23.553	21.03	23.172	-21.002	23.094	7029
	Plate Floor_Fr_111-147.P32 13.0 AH32	TPL=12.42	0	21	23.588	17.145	23.453	-21	31.408	2403
	Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32	TPL=13.19	-0.001	21	23.642	17.228	32.245	-21.001	32.117	2551
	Plate Floor_Fr_111-147.P41 12.0 ST24	TPL=11.54	0	17	11.442	17.011	23.589	17	23.221	5219
	Plate Floor_Fr_111-147.P42 15.0 ST24	TPL=14.23	-0.011	23	17.699	11.151	23.013	-23.011	-23.002	3825
	Plate Floor_Fr_111-147.P43 16.0 ST24	TPL=15.34	-0.001	23	11.704	11.232	23.018	-23.001	23.002	2061
	Plate Floor_Fr_111-147.P44 15.0 AH32	TPL=13.73	-0.01	32	23.705	17.274	32.03	-11	-32.01	2656
	Plate Floor_Fr_111-147.P45 18.0 AH32	TPL=14.03	-0.086	32	23.753	11.298	-32.077	-32.086	-32.065	2714
Plate Floor_Fr_111-147.P46 18.0 AH32	TPL=14.16	-0.128	32	23.772	11.297	-32.124	-32.128	-32.086	2740	
HatchH3	Plate HatchH3.P1 13.0 AH36	TPL=11	0.039	1	1.076	1.604	1.525	1.039	23.248	5254
	Plate HatchH3.P2 15.0 AH36	TPL=11.01	0.147	11	11.147	28.948	4.683	11.147	22.149	2432
	Plate HatchH3.P3 17.0 AH36	TPL=15.3	-0.082	22	31.894	11.205	11.548	-11	-22.082	530
	Plate HatchH3.P4 15.5 AH36	TPL=13.84	-0.054	22	11.039	22.782	22.499	-11	-22.054	4640
	Plate HatchH3.P5 14.0 AH36	TPL=16	0.067	22	11.136	29.865	22.907	11.135	22.067	3575
HatchWeb	Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36	TPL=10	0.513	4	17.889	28.709	4.765	4.513	7.666	7732
Hopper_Fr_107-121	Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36	TPL=19.73	-0.001	23	22.642	21.324	23.163	-23.001	23.007	5522
	Plate Hopper_Fr_107-121.P3 19.0 AH32	TPL=18.52	-0.001	23	23.525	23.547	23.134	-23.001	23.024	6945
Hopper_Fr_121-135	Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.1	11	22.581	11.138	30.422	11.1	23.238	6995
	Plate Hopper_Fr_121-135.P3 18.0 AH32	TPL=16.39	-0.001	23	11.666	23.225	29.247	-23.001	29.168	8715
Hopper_Fr_135-149	Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.0 AH36	TPL=19.21	-0.001	23	22.62	17.28	23.169	-23.001	23.017	4565
	Plate Hopper_Fr_135-149.P3 18.0 AH32	TPL=16.87	-0.001	23	23.539	23.44	23.063	-23.001	23.002	5174
HopperTransverse_Fr_111-147	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 12.5 AH3	TPL=11.59	-0.006	21	6.49	21.04	12.609	-21.006	28.541	5663
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST2	TPL=11.02	0.116	17	9.514	23.408	32.379	17.116	32.129	678.3
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 12.0 AH3	TPL=11.48	0	23	28.239	23.315	23.375	23	23.269	2223
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST2	TPL=11	0.079	23	28.394	1.44	23.44	23.079	23.36	2412
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST	TPL=11.02	0.054	1	23.453	1.089	1.713	1.054	1.329	1827
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 17.0 ST	TPL=11.01	0.264	1	23.428	17.477	1.769	1.264	23.417	608.8
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST2	TPL=11	0.002	1	11.182	28.464	28.249	1.002	27.175	1463
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3	TPL=13.23	0	23	28.409	23.224	23.191	23	23.111	5124
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST2	TPL=11	0.022	23	28.404	23.194	23.397	23.022	23.256	4824
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST2	TPL=11.02	0.086	11	23.417	11.123	1.675	11.086	1.257	4873
Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.5 ST2	TPL=11.58	0	1	11.133	28.51	23.156	1	23.156	3079	
LowerStoolWeb	Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32	TPL=11.64	0.001	18	18.441	18.081	18.643	18.001	18.264	5192
SideShell_Fr_107-149	Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36	TPL=14	0.243	29	18.369	3.374	29.545	29.243	31.424	2.22E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.5 AH36	TPL=14.5	0.119	31	11.183	11.266	32.472	31.119	22.161	1.22E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P4 17.0 AH36	TPL=14.5	-0.005	22	11.038	27.837	32.521	11.023	-22.005	1.22E+04

Tablica 24. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Opt

Structure - Projekt P735a-Opt	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx	BEPPyy	BEPPxy	BEPP	ESCA	Weight
UpperStoolH3	Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36	TPL=12.16	0	18	1.174	18.102	7.497	18	12.35	9467
	Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36	TPL=12.84	0	1	1.188	1.051	31.231	-1	7.104	3828
	Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36	TPL=12.18	0	1	1.152	32.15	4.326	1	27.112	2814
UpperStoolWeb	Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24	TPL=13	0.149	7	21.534	18.738	28.346	28.227	7.149	2892
	Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32	TPL=10	0.018	32	18.275	17.436	27.275	32.018	28.088	2141
	Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32	TPL=10.28	-0.046	27	17.303	18.737	27.027	-32	-27.046	615.4
WebBelowHatch	Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36	TPL=13	0.09	23	23.109	22.2	1.914	23.09	23.416	2776
	Plate WebBelowHatch.P2 24.0 AH36	TPL=11.02	-0.085	1	3	3	3	3	-1.085	1260
	Plate WebBelowHatch.P3 19.0 AH36	TPL=15.19	0.001	23	23.039	20.993	1.798	23.001	23.223	3649
Wing_Fr_107-121	Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36	TPL=17.6	0	1	21.293	23.074	32.532	1	32.185	7215
	Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36	TPL=18	-0.04	1	11.175	23.094	32.641	-1.04	22.133	7441
Wing_Fr_107-149	Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.5 AH32	TPL=14	0.052	32	21.34	21.381	31.187	31.116	32.052	1.02E+04
Wing_Fr_121-149	Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36	TPL=17.59	0	1	17.314	23.053	31.487	-1	31.163	1.56E+04
	Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.5 AH36	TPL=18	-0.034	1	11.182	23.074	31.644	-1.034	22.106	1.61E+04
Wing_Fr_72-149	Plate Wing_Fr_72-149.P5 18.0 AH36	TPL=16.07	0	11	11.016	11.119	32.493	11	22.001	7186
Wing_Fr_79-149	Plate Wing_Fr_79-149.P4 18.0 AH36	TPL=16.46	0	21	11.048	11.04	26.39	21	22.02	2.64E+04
WingTransverse_Fr_111-147	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24	TPL=12.47	0.019	23	4.555	22.118	12.357	23.019	12.292	1032
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 14.0 AH32	TPL=12.94	0.005	22	22.491	22.028	12.243	22.005	12.293	6074
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24	TPL=12.95	0	32	30.436	32.244	22.777	-32	32.197	767.3
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 13.0 AH32	TPL=12.13	-0.014	31	31.411	30.405	31.334	-31.014	31.174	718.5
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32	TPL=12.63	0	22	22.238	22.009	4.456	-22	5.211	3754
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24	TPL=14.28	0	27	22.455	27.576	27.273	-27	27.148	846
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 14.0 AH32	TPL=12.36	0	27	22.461	27.443	27.272	-27	27.146	732
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 14.0 AH32	TPL=12.99	0.004	22	22.22	22.046	27.356	22.004	27.211	3861
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24	TPL=15.01	0	27	22.417	22.505	27.223	-27	27.113	3556
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 14.0 AH32	TPL=13.48	0.014	22	22.113	22.217	28.291	22.014	28.164	8014

5.4. Standardizacija

Optimizacijom su dobiveni elementi nestandardnih dimenzija, također određeni elementi ne zadovoljavaju kriterije podobnosti. Iz tih razloga je potrebno provesti standardizaciju, tj. ručno zaokružiti dimenzije. Za elemente koji ne zadovoljavaju kriterije ručno su podebljavane dimenzije. Ovaj postupak ima za posljedicu povećanje ukupne mase ali i ukupne sigurnosti.

Nakon standardizacije provedena je analiza projekta pomoću programa MAESTRO-View3D [3]. Iz tablice 25., u kojoj je prikazan proračun ukupne mase, vidimo da je masa narasla na 1203.87 t. U tablicama 26 ÷ 28 prikazani su postignuti kriteriji podobnosti. Vidimo da skoro svi elementi zadovoljavaju. Na slikama 31 ÷ 40 dan je grafički prikaz najlošijih postignutih faktora podobnosti.

Iz tablica 26 ÷ 28 možemo zaključiti koji su to slučajevi opterećenja kritični za određeni dio strukture. Za limove dna to su LC 10, LC 14 i LC 18. Vidimo da su svi kriteriji zadovoljeni jedino je biaksialni kriteriji BEPP na granici. U slučaju jakih uzdužnih nosača kritični slučajevi opterećenja su LC 6, LC 9 i LC 11 a kritični kriterij je ESCA. Kod rebrenica Kritični su LC 17, LC 21, LC32 i kriterij BEPP_{xy} (smična naprezanja) i BEPP (biaksialna napr.).

Tablica 25. Proračun masa za Projekt P735a-Fin

MASS(kg)	XCG(mm)	YCG(mm)	ZCG(mm)	Module Name
1644	99030.8	15596.9	9149.2	/top/hold3_stb/wb_fr.130.5
1652	102707.0	15603.7	9143.3	/top/hold3_stb/wb_fr.135.5
1660	106381.0	15610.4	9137.6	/top/hold3_stb/wb_fr.140.5
1652	95354.8	15603.7	9143.3	/top/hold3_stb/wb_fr.125.5
1665	91680.8	15605.9	9140.5	/top/hold3_stb/wb_fr.120.5
14937	109282.0	8405.4	14608.9	/top/hold3_stb/si_fr.142-147
68760	108390.0	6970.3	8670.3	/top/hold3_stb/oth_fr.140-147
209886	99068.0	6259.6	10349.3	/top/hold3_stb/oth_fr.121-140
83202	89560.8	7222.5	9696.2	/top/hold3_stb/oth_fr.114-121
550	109994.0	928.1	764.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.145.5
579	107853.0	928.8	768.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.142.5
586	105648.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.139.5
586	103443.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.136.5
586	101238.0	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.133.5
586	99032.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.130.5
586	96827.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.127.5
586	94622.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.124.5
586	92417.7	917.8	773.3	/top/hold3_stb/cgb_fr.121.5
579	90212.6	928.8	768.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.118.5
550	88071.2	928.1	764.6	/top/hold3_stb/cgb_fr.115.5
1660	106381.0	15610.4	-9137.6	/top/hold3_ps/wb_fr.140.5
1652	102707.0	15603.7	-9143.3	/top/hold3_ps/wb_fr.135.5
1644	99030.8	15596.9	-9149.2	/top/hold3_ps/wb_fr.130.5
1652	95354.8	15603.7	-9143.3	/top/hold3_ps/wb_fr.125.5
1665	91680.8	15605.9	-9140.5	/top/hold3_ps/wb_fr.120.5
14937	109282.0	8405.4	-14608.9	/top/hold3_ps/si_fr.142-147
70367	108396.0	6930.2	-8472.3	/top/hold3_ps/oth_fr.140-147
211802	99067.7	6210.7	-10255.6	/top/hold3_ps/oth_fr.121-140
84808	89557.4	7184.5	-9512.5	/top/hold3_ps/oth_fr.114-121
747	109993.0	907.9	-556.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.145.5
790	107852.0	908.2	-557.7	/top/hold3_ps/cgb_fr.142.5
723	105647.0	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.139.5
723	103442.0	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.136.5
723	101237.0	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.133.5
723	99032.2	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.130.5
723	96827.2	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.127.5
723	94622.2	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.124.5
723	92417.2	905.4	-620.3	/top/hold3_ps/cgb_fr.121.5
790	90211.9	908.2	-557.7	/top/hold3_ps/cgb_fr.118.5
747	88070.6	907.9	-556.6	/top/hold3_ps/cgb_fr.115.5
207430	112612.0	7462.0	-13.7	/top/hold3/fr.147-150
206703	85450.0	7455.7	-13.7	/top/hold3/fr.111-114
1203.87 [t]	==>Total Module Weight(Full Ship, Exclude Tank Weight)			

Tablica 26. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

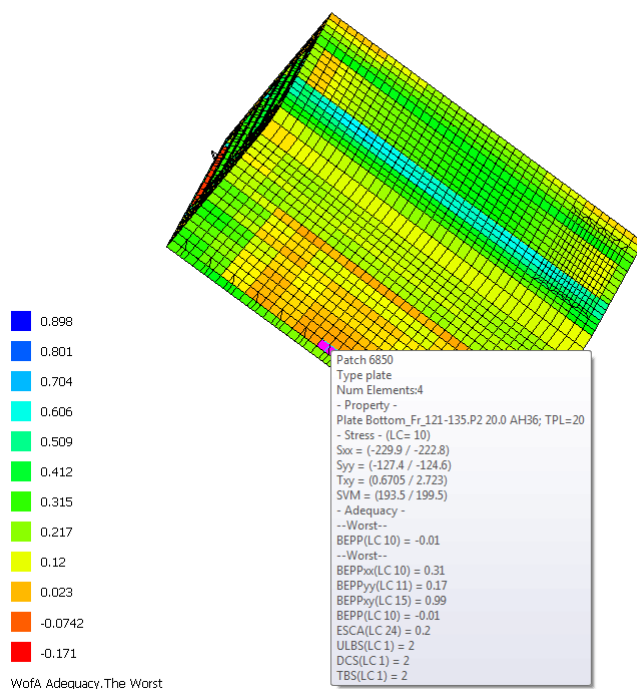
Structure - Projekt P735a-Fin	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
Bilge_Fr_71-176	Plate Bilge_Fr_71-176.P1 14.0 AH36	TPL=14	0.069	22	27.404	10.132	29.422	22.069	24.291	4.35E+04
Bottom_Fr_107-121	Plate Bottom_Fr_107-121.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.283	21	10.461	20.802	23.913	10.411	21.283	2934
	Plate Bottom_Fr_107-121.P2 18.5 AH36	TPL=18.5	0.005	10	10.268	20.195	19.87	10.005	31.272	7401
	Plate Bottom_Fr_107-121.P3 18.5 AH36	TPL=18.5	0.018	10	10.269	20.223	10.812	10.018	31.251	7401
	Plate Bottom_Fr_107-121.P4 17.0 AH36	TPL=17	0.021	18	10.219	20.194	30.712	18.021	31.277	6801
	Plate Bottom_Fr_107-121.P5 15.0 AH36	TPL=15	0.004	18	22.167	20.189	30.638	18.004	22.301	6001
	Plate Bottom_Fr_107-121.P6 13.5 AH36	TPL=13.5	0.087	22	22.157	20.413	30.539	22.087	22.272	6301
Bottom_Fr_121-135	Plate Bottom_Fr_121-135.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.22	24	10.376	11.712	23.957	10.315	24.22	3859
	Plate Bottom_Fr_121-135.P2 20.0 AH36	TPL=20	-0.014	10	10.306	16.162	19.967	-10.014	24.197	1.05E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P3 20.0 AH36	TPL=20	0.026	10	10.311	16.2	14.928	10.026	24.228	1.05E+04
	Plate Bottom_Fr_121-135.P4 19.0 AH36	TPL=19	0.034	10	10.287	16.199	18.908	10.034	24.261	9998
	Plate Bottom_Fr_121-135.P5 16.0 AH36	TPL=16	0.009	10	10.175	16.209	10.898	10.009	32.274	8419
	Plate Bottom_Fr_121-135.P6 13.5 AH36	TPL=13.5	0.133	10	10.137	20.439	30.631	10.133	24.262	8288
Bottom_Fr_135-149	Plate Bottom_Fr_135-149.P1 22.0 AH36	TPL=22	0.292	32	10.459	16.796	23.913	10.409	32.292	2492
	Plate Bottom_Fr_135-149.P2 18.5 AH36	TPL=18.5	0.003	14	10.269	16.189	15.872	14.003	32.27	6286
	Plate Bottom_Fr_135-149.P3 18.5 AH36	TPL=18.5	0.019	10	10.269	16.217	10.814	10.019	32.245	6286
	Plate Bottom_Fr_135-149.P4 17.0 AH36	TPL=17	0.018	14	10.218	16.186	29.693	14.018	32.268	5776
	Plate Bottom_Fr_135-149.P5 15.0 AH36	TPL=15	0.004	14	22.151	16.184	29.614	14.004	22.293	5097
	Plate Bottom_Fr_135-149.P6 13.5 AH36	TPL=13.5	0.102	22	22.148	16.43	29.539	22.102	22.28	5352
BottomGirder_Fr_107-121	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1 20.0 AH32	TPL=20	0.008	6	22.643	6.935	23.219	9.186	6.008	2834
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3 19.0 AH32	TPL=19	0.007	6	10.632	20.91	23.208	23.202	6.007	5242
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4 16.0 AH32	TPL=16	0.011	6	10.576	21.679	23.219	23.203	6.011	4337
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5 12.0 AH32	TPL=12	0.015	11	22.257	11.104	23.124	11.015	23.051	2938
BottomGirder_Fr_121-135	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1 12.5 AH32	TPL=12.5	0.012	24	22.188	23.854	23.243	10.068	24.012	2330
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3 12.0 AH32	TPL=12	-0.022	9	10.232	23.574	23.181	23.121	-9.022	3843
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4 11.0 AH32	TPL=11	0.059	23	10.176	23.36	23.265	10.134	23.059	3522
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5 13.0 AH32	TPL=13	0.017	11	10.337	11.098	23.672	11.017	24.23	4163
BottomGirder_Fr_135-149	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1 20.0 AH32	TPL=20	0.004	6	22.63	31.92	23.207	6.175	6.004	2407
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3 19.0 AH32	TPL=19	0.005	9	10.634	16.89	23.202	23.197	9.005	4430
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4 16.0 AH32	TPL=16	0.009	9	22.578	17.702	23.213	23.197	9.009	3608
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5 12.0 AH32	TPL=12	0.008	11	22.243	11.098	23.12	11.008	23.048	2621
Deck_Fr_106-152	Plate Deck_Fr_106-152.P5 20.0 ST24	TPL=20	-0.062	4	11.41	11.402	4.044	-4.062	-4.031	8638
	Plate Deck_Fr_106-152.P6 15.0 ST24	TPL=15	0.027	1	23.11	5.473	25.425	1.027	23.209	1.04E+04
	Plate Deck_Fr_106-152.P7 14.0 ST24	TPL=14	0.008	1	1.032	1.18	26.512	1.008	1.175	9720
	Plate Deck_Fr_106-152.P8 14.0 ST24	TPL=14	0.046	1	1.099	1.097	25.797	1.046	1.239	3240
Deck_Fr_107-149	Plate Deck_Fr_107-149.P1 18.5 AH36	TPL=18.5	0.007	22	11.243	23.56	29.774	22.098	22.007	2.15E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P2 18.5 AH36	TPL=18.5	0.01	22	11.203	23.218	28.722	22.01	22.029	2.35E+04
	Plate Deck_Fr_107-149.P3 19.0 AH36	TPL=19	-0.113	22	11.053	-11.063	4.415	-22.113	-22.073	2.36E+04
DeckGirderWeb	Plate DeckGirderWeb.P1 12.5 AH32	TPL=12.5	0.192	18	18.36	18.306	14.61	18.192	4.269	1.87E+04

Tablica 27. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

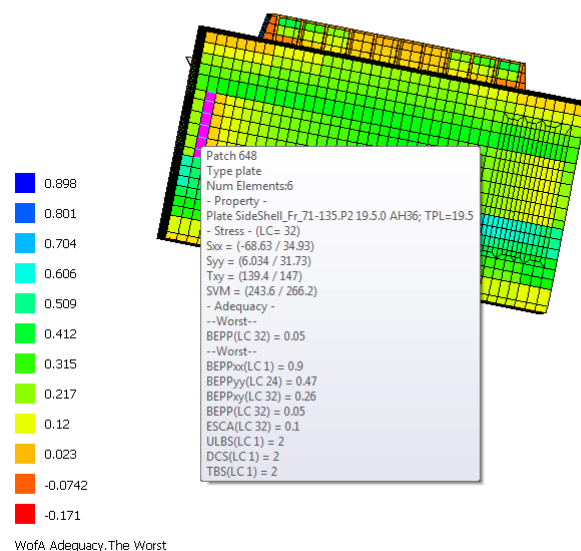
Structure - Projekt P735a-Fin	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
Floor_Fr_111-147	Plate Floor_Fr_111-147.P1 13.0 AH36	TPL=13	-0.008	21	5.447	17.073	31.245	-21.008	31.219	7217
	Plate Floor_Fr_111-147.P21 12.0 AH36	TPL=12	0.021	17	17.513	17.085	31.428	17.021	31.186	4175
	Plate Floor_Fr_111-147.P22 11.5 AH36	TPL=11.5	0.034	17	21.649	17.126	6.511	17.034	9.393	1733
	Plate Floor_Fr_111-147.P31 12.5 ST24	TPL=12.5	0.022	21	23.577	21.052	23.185	21.022	23.102	7128
	Plate Floor_Fr_111-147.P32 12.5 AH32	TPL=12.5	0.01	21	23.602	17.155	23.474	21.01	31.412	2418
	Plate Floor_Fr_111-147.P33 13.5 AH32	TPL=13.5	0.037	21	23.663	17.249	32.314	21.037	32.155	2611
	Plate Floor_Fr_111-147.P41 11.5 ST24	TPL=11.5	0.028	11	11.437	17.044	23.6	11.028	23.225	5200
	Plate Floor_Fr_111-147.P42 14.5 ST24	TPL=14.5	0.008	23	21.693	11.172	23.038	23.008	23.009	3897
	Plate Floor_Fr_111-147.P43 15.5 ST24	TPL=15.5	0.01	23	11.7	11.253	23.038	23.014	23.01	2083
	Plate Floor_Fr_111-147.P44 14.0 AH32	TPL=14	0.031	32	23.721	17.297	32.109	11.04	32.031	2708
	Plate Floor_Fr_111-147.P45 17.0 AH32	TPL=17	0.02	32	11.856	17.49	32.092	32.084	32.02	3288
Plate Floor_Fr_111-147.P46 17.0 AH32	TPL=17	0.005	32	11.854	21.497	32.066	32.055	32.005	3288	
HatchH3	Plate HatchH3.P1 13.0 AH36	TPL=13	0.253	1	1.262	11.743	1.708	1.253	23.335	6208
	Plate HatchH3.P2 15.0 AH36	TPL=15	0.136	22	11.45	25.997	4.861	22.349	22.136	3313
	Plate HatchH3.P3 17.0 AH36	TPL=17	-0.055	22	24.903	11.331	11.603	11.114	-22.055	589.1
	Plate HatchH3.P4 15.5 AH36	TPL=15.5	-0.026	22	11.204	22.735	22.549	22.052	-22.026	5195
	Plate HatchH3.P5 14.0 AH36	TPL=14	0.021	11	11.023	22.709	22.837	11.021	22.051	3128
HatchWeb	Plate HatchWeb.P1 10.0 AH36	TPL=10	-0.039	23	22.615	23.078	22.567	-23.039	22.315	9753
Hopper_Fr_107-121	Plate Hopper_Fr_107-121.P2 20.0 AH36	TPL=20	0.023	23	22.659	21.361	23.186	23.035	23.023	5598
	Plate Hopper_Fr_107-121.P3 18.5 AH32	TPL=18.5	0.012	23	23.537	23.55	23.14	23.012	23.034	6937
Hopper_Fr_121-135	Plate Hopper_Fr_121-135.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.112	11	22.587	11.15	30.429	11.112	23.243	6995
	Plate Hopper_Fr_121-135.P3 16.5 AH32	TPL=16.5	0.025	23	11.714	23.238	29.261	23.025	29.173	8774
Hopper_Fr_135-149	Plate Hopper_Fr_135-149.P2 19.5 AH36	TPL=19.5	0.03	23	22.639	17.316	23.196	23.03	23.032	4635
	Plate Hopper_Fr_135-149.P3 17.0 AH32	TPL=17	0.011	23	23.552	23.437	23.09	23.011	23.015	5215
HopperTransverse_Fr_111-147	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11 11.5 AH3	TPL=11.5	0.012	17	9.488	17.05	6.528	17.012	28.543	5617
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12 20.0 ST2	TPL=20	0.316	32	4.935	23.911	32.841	32.821	32.316	1231
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21 11.5 AH3	TPL=11.5	0.005	23	28.255	23.326	23.365	23.005	23.263	2226
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22 11.0 ST2	TPL=11	0.042	23	28.377	1.459	23.406	23.042	23.328	2412
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231 20.0 ST	TPL=20	0.546	23	23.95	1.801	1.961	1.796	23.546	3317
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232 11.0 ST	TPL=11	0.27	1	23.435	17.469	1.773	1.27	23.417	608.1
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24 12.0 ST2	TPL=12	0.096	1	11.235	28.565	23.377	1.096	27.224	1596
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31 13.5 AH3	TPL=13.5	0.025	23	28.459	23.255	23.207	23.025	23.118	5227
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32 11.0 ST2	TPL=11	0.026	23	28.388	23.21	23.361	23.026	23.255	4824
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33 20.0 ST2	TPL=20	0.47	23	23.948	11.82	23.963	11.817	23.47	8845
Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34 12.0 ST2	TPL=12	0.029	1	11.135	28.561	23.194	1.029	23.157	3191	
LowerStoolWeb	Plate LowerStoolWeb.P1 12.0 AH32	TPL=12	0.029	18	18.463	18.104	18.686	18.029	18.272	5352
SideShell_Fr_107-149	Plate SideShell_Fr_107-149.P1 14.0 AH36	TPL=14	0.249	29	18.377	3.392	29.545	29.249	31.43	2.22E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P3 16.0 AH36	TPL=16	0.187	22	11.291	11.373	32.572	24.267	22.187	1.35E+04
	Plate SideShell_Fr_107-149.P4 16.5 AH36	TPL=16.5	0.031	22	11.167	27.881	32.696	22.144	22.031	1.39E+04

Tablica 28. Postignuti kriteriji podobnosti za Projekt P735a-Fin

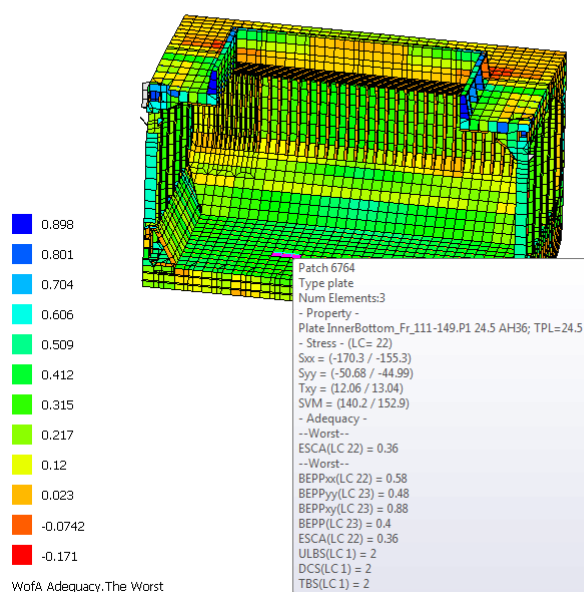
Structure - Projekt P735a-Fin	Property	Value (min/max)	g min	LC(gmin)	BEPPxx/BYCF	BEPPyy/BYTF	BEPPxy/BYCP	BEPP/BYTP	ESCA/BYSX	Weight
UpperStoolH3	Plate UpperStoolH3.P1 12.5 AH36	TPL=12.5	0.04	18	1.217	18.139	7.534	18.04	12.362	9731
	Plate UpperStoolH3.P2 13.0 AH36	TPL=13	0.03	32	1.225	1.11	31.247	32.03	7.104	3874
	Plate UpperStoolH3.P3 13.0 AH36	TPL=13	0.113	1	1.24	32.271	4.454	1.113	27.154	3004
UpperStoolWeb	Plate UpperStoolWeb.P1 10.0 ST24	TPL=10	-0.028	28	21.34	18.522	28.141	-28.028	7.097	2225
	Plate UpperStoolWeb.P2 12.5 AH32	TPL=12.5	0.192	28	18.487	21.603	27.469	32.291	28.192	2675
	Plate UpperStoolWeb.P3 12.5 AH32	TPL=12.5	0.043	4	17.515	18.847	27.213	27.202	4.043	748
WebBelowHatch	Plate WebBelowHatch.P1 13.0 AH36	TPL=13	0.074	23	23.096	22.174	1.902	23.074	23.401	2776
	Plate WebBelowHatch.P2 19.0 AH36	TPL=19	0.106	1	3	3	3	3	1.106	2172
	Plate WebBelowHatch.P3 16.0 AH36	TPL=16	-0.006	23	23.031	20.989	1.81	-23.006	23.186	3843
Wing_Fr_107-121	Plate Wing_Fr_107-121.P2 17.0 AH36	TPL=17	0.07	1	21.274	23.164	32.5	1.07	32.194	6971
	Plate Wing_Fr_107-121.P3 17.5 AH36	TPL=17.5	0.05	1	11.166	23.186	32.567	1.05	22.148	7235
Wing_Fr_107-149	Plate Wing_Fr_107-149.P1 14.0 AH32	TPL=14	0.081	32	21.349	21.394	31.218	31.147	32.081	1.02E+04
Wing_Fr_121-149	Plate Wing_Fr_121-149.P2 17.0 AH36	TPL=17	0.043	23	17.286	23.133	31.475	23.043	31.157	1.51E+04
	Plate Wing_Fr_121-149.P3 17.0 AH36	TPL=17	0.009	1	11.142	23.121	31.506	1.009	22.116	1.52E+04
Wing_Fr_72-149	Plate Wing_Fr_72-149.P5 16.5 AH36	TPL=16.5	0.007	22	11.038	11.143	32.543	11.013	22.007	7376
Wing_Fr_79-149	Plate Wing_Fr_79-149.P4 17.5 AH36	TPL=17.5	0.04	22	11.109	11.103	27.398	21.066	22.04	2.81E+04
WingTransverse_Fr_111-147	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11 20.0 ST24	TPL=20	0.453	1	1.958	22.803	12.879	22.758	1.453	1656
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12 13.0 AH32	TPL=13	0.002	22	22.489	22.027	12.256	22.002	12.299	6104
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211 20.0 ST24	TPL=20	0.344	32	30.853	32.776	7.9	32.524	32.344	1185
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212 12.5 AH32	TPL=12.5	0.018	31	31.427	29.53	31.374	31.018	31.187	740.4
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22 13.0 AH32	TPL=13	0.021	22	1.263	22.026	5.489	22.021	5.225	3865
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311 20.0 ST24	TPL=20	0.302	27	22.912	22.879	27.607	27.556	27.302	1185
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312 12.5 AH32	TPL=12.5	0.031	27	22.474	22.467	27.309	27.031	27.165	740.4
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32 13.0 AH32	TPL=13	0.008	22	22.223	22.044	27.377	22.008	27.227	3865
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41 20.0 ST24	TPL=20	0.245	27	22.746	22.849	27.514	27.466	27.245	4738
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42 13.5 AH32	TPL=13.5	0.028	22	22.124	22.235	28.299	22.028	28.171	8028



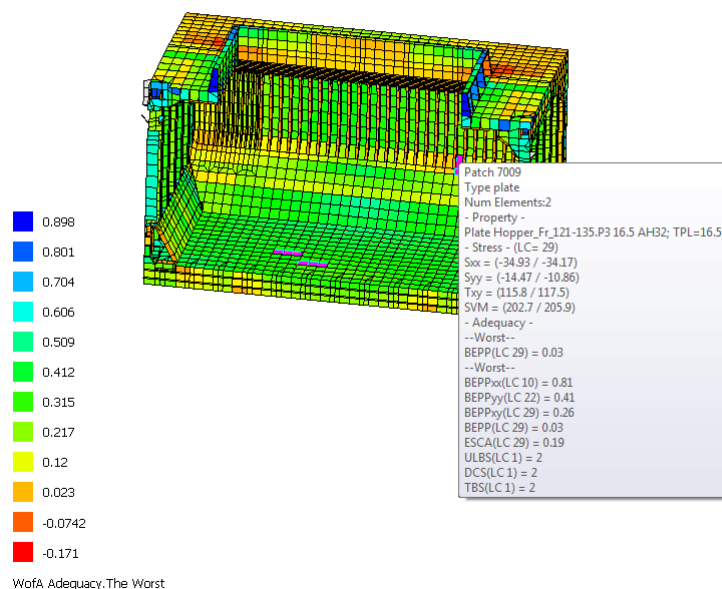
Slika 31. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata dna za Projekt P735a-Fin



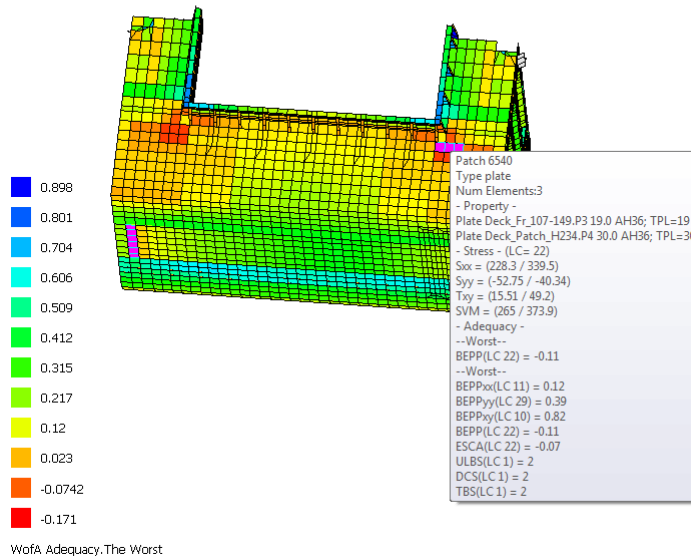
Slika 32. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata boka za Projekt P735a-Fin



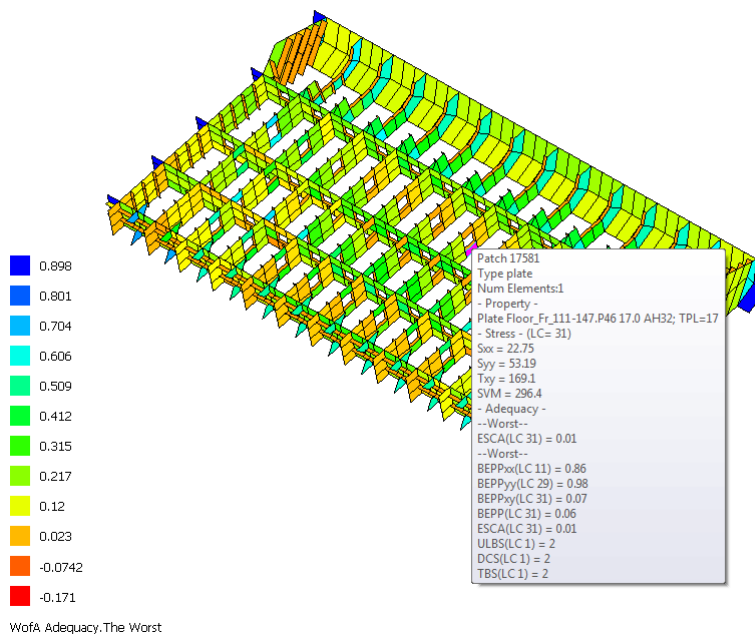
Slika 33. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate pokrova dvodna za Projekt P735a-Fin



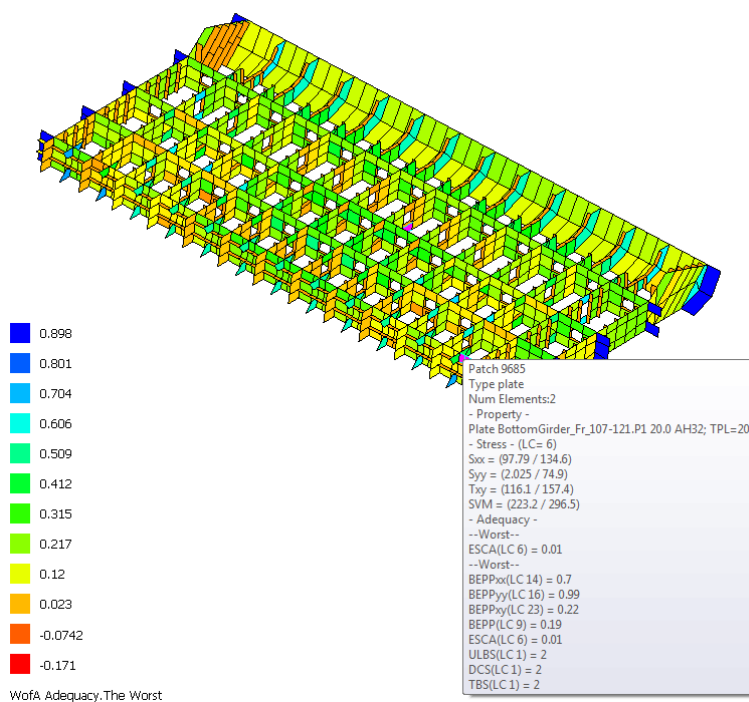
Slika 34. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplate uzvojnog tanka za Projekt P735a-Fin



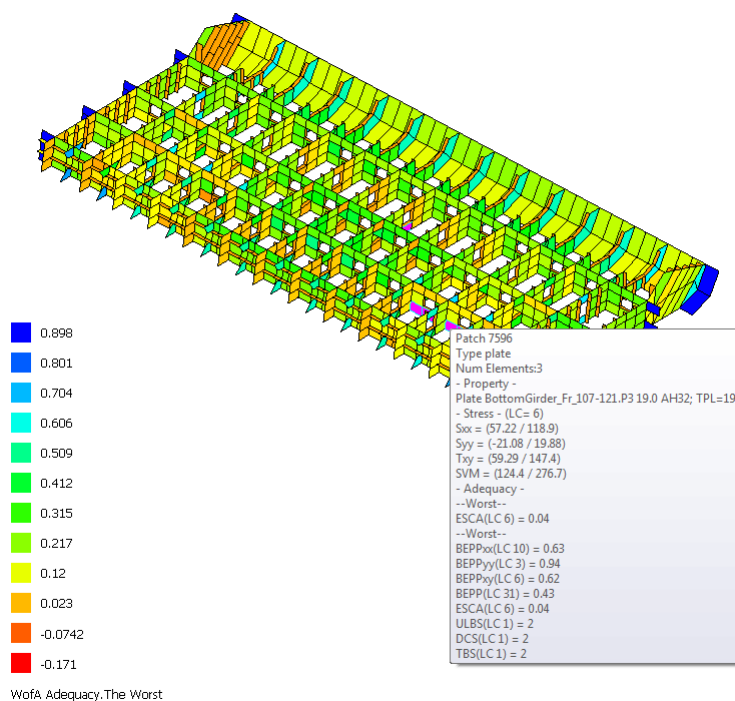
Slika 35. Najmanji postignuti faktor podobnosti oplata palube za Projekt P735a-Fin



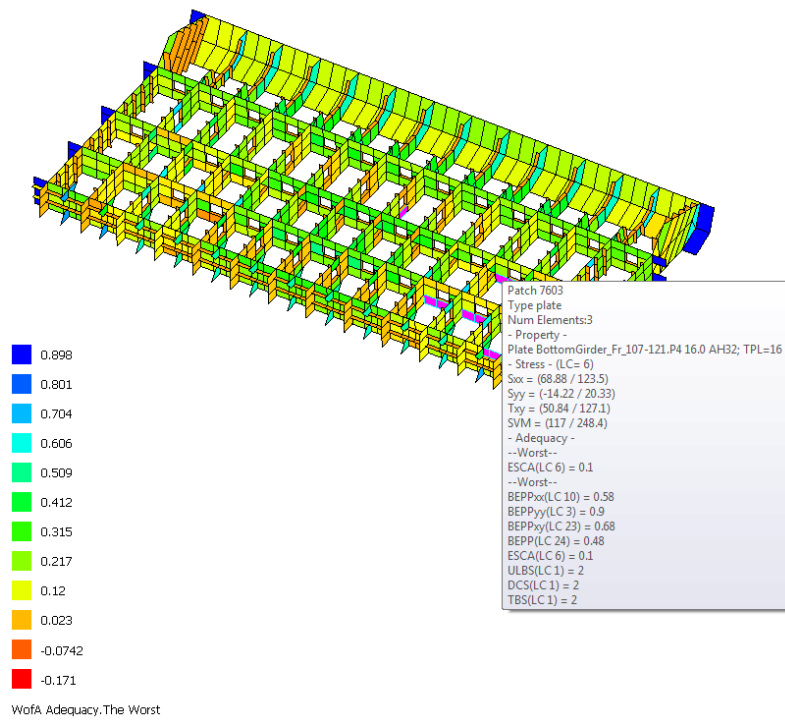
Slika 36. Najmanji postignuti faktor podobnosti rebrenice za Projekt P735a-Fin



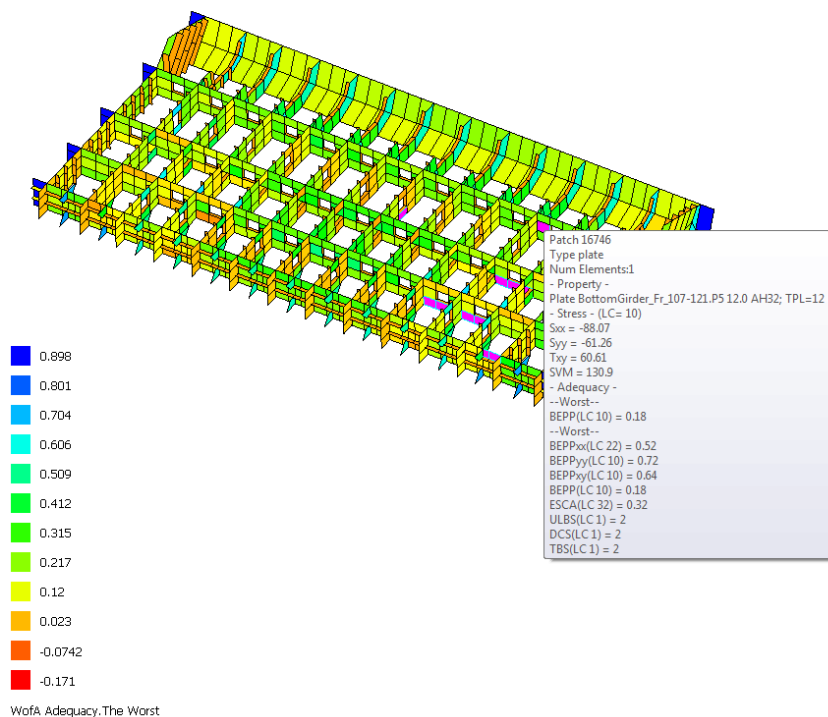
Slika 37. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača u CL za Projekt P735a-Fin



Slika 38. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 3200 od CL za Projekt P735a-Fin



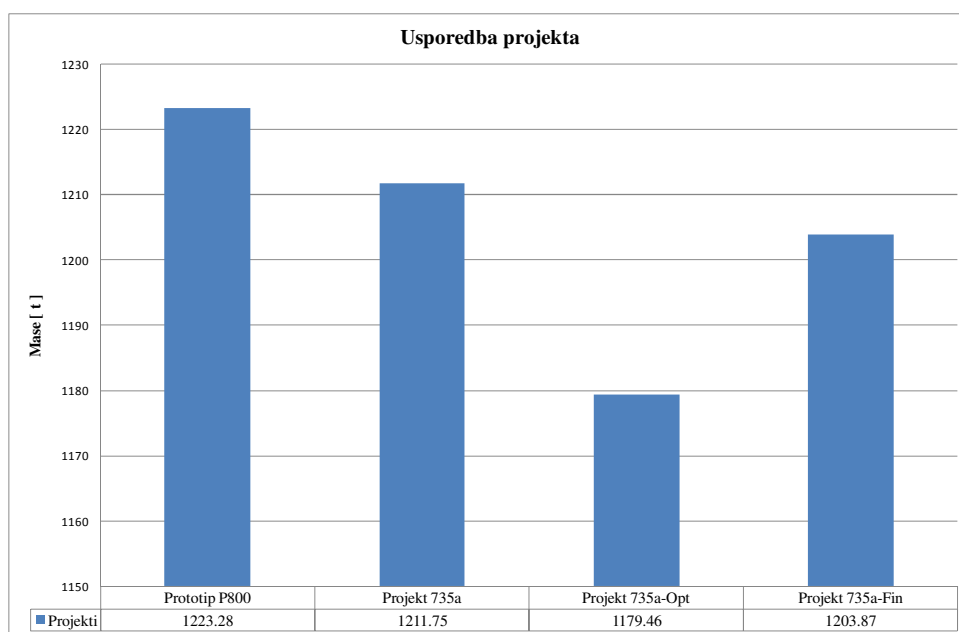
Slika 39. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 6400 od CL za Projekt P735a-Fin



Slika 40. Najmanji postignuti faktor podobnosti uzdužnog nosača na 10400 od CL za Projekt P735a-Fin

6. USPOREDBA PROTOTIPA I PROJEKTA 735a-Fin

U ovom poglavlju prikazana je usporedba ukupnih masa Prototipa P800 i Projekta 735a-Fin. Valja napomenuti da je prototipni model P800, koji je bio dostupan na FSB-u, prethodno detaljno optimiran model (kroz obje faze projektiranja konstrukcije).



Slika 41. Usporedba masa projekata

Iz dijagrama na slici 41. vidimo da Prototip P800 ima najveću masu. Izbacivanje uzdužnih nosača, smanjivanje razmaka rebara a samim time i dimenzija određenih strukturnih elemenata, dovelo je do smanjenja mase kod Projekta 735a (manja za 10 t). Ta masa je dodatno smanjena tijekom optimizacije, za dodatnih 30 t. No zbog standardizacije i usklađivanja strukturnih dimenzija masa je u finalnoj verziji projekta (Projekt 735a-Fin) narasla za oko 25 t. Usprkos tome masa Projekta 735a-Fin je oko 20 t manja od mase Prototipa P800.

U tablicama 29. i 30. dana je usporedba dimenzija strukturnih elemenata Prototipa P800 i Projekta 735a-Fin. Iz tablica je vidljivo da su dimenzije poprečnih strukturnih elemenata uglavnom smanjene, dok su nekim uzdužnim elementima narasle. Povećanje dimenzija je najočitije u slučaju jakih uzdužnih nosača dvodna.

Tablica 29. Usporedba strukturnih dimenzija

Structure	Property	Prototip P800	Projekt P735a-Fin
		Value	Value
Bilge_Fr_71-176	Plate Bilge_Fr_71-176.P1	14.0 AH36	14.0 AH36
Bottom	Bar Bottom.S1	HP260x10 AH32	HP240x10 AH32
	Bar Bottom.S2	HP240x11 AH32	HP240x10 AH32
Bottom_Fr_107-121	Plate Bottom_Fr_107-121.P1	22.0 AH36	22.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_107-121.P2	19.0 AH36	18.5 AH36
	Plate Bottom_Fr_107-121.P3	18.5 AH36	18.5 AH36
	Plate Bottom_Fr_107-121.P4	17.5 AH36	17.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_107-121.P5	15.0 AH36	15.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_107-121.P6	14.0 AH36	13.5 AH36
Bottom_Fr_121-135	Plate Bottom_Fr_121-135.P1	22.0 AH36	22.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_121-135.P2	20.0 AH36	20.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_121-135.P3	19.5 AH36	20.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_121-135.P4	18.5 AH36	19.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_121-135.P5	16.0 AH36	16.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_121-135.P6	14.0 AH36	13.5 AH36
Bottom_Fr_135-149	Plate Bottom_Fr_135-149.P1	22.0 AH36	22.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_135-149.P2	19.0 AH36	18.5 AH36
	Plate Bottom_Fr_135-149.P3	18.5 AH36	18.5 AH36
	Plate Bottom_Fr_135-149.P4	17.5 AH36	17.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_135-149.P5	15.0 AH36	15.0 AH36
	Plate Bottom_Fr_135-149.P6	14.0 AH36	13.5 AH36
BottomGirder	Bar BottomGirder.S1	HP240x10 AH32	HP240x10 AH32
	Bar BottomGirder.S2	FB150x12 AH32	FB150x12 AH32
BottomGirder_Fr_107-121	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P1	15.0 AH32	20.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P3	13.0 AH32	19.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P4	12.0 AH32	16.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_107-121.P5	12.5 AH32	12.0 AH32
BottomGirder_Fr_121-135	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P1	13.0 AH32	12.5 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P3	11.0 AH32	11.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P4	11.0 AH32	11.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_121-135.P5	13.0 AH32	13.0 AH32
BottomGirder_Fr_135-149	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P1	15.0 AH32	20.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P3	13.0 AH32	19.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P4	11.5 AH32	16.0 AH32
	Plate BottomGirder_Fr_135-149.P5	12.5 AH32	12.0 AH32
Bulkhead_111	Plate Bulkhead_111.P1	20.0 AH36	20.0 AH36
Bulkhead_147	Plate Bulkhead_147.P1	20.0 AH36	20.0 AH36
Deck	Bar Deck.S1	HP320x12 AH36	HP320x13 AH36
	Bar Deck.S6	HP200x10 ST24	HP200x10 ST24
Deck_Fr_106-152	Plate Deck_Fr_106-152.P5	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate Deck_Fr_106-152.P6	17.5 ST24	15.0 ST24
	Plate Deck_Fr_106-152.P7	16.5 ST24	14.0 ST24
	Plate Deck_Fr_106-152.P8	15.0 ST24	14.0 ST24

Tablica 30. Usporedba strukturnih dimenzija

Structure	Property	Prototip P800	Projekt P735a-Fin
		Value	Value
Deck_Fr_107-149	Plate Deck_Fr_107-149.P1	18.5 AH36	18.5 AH36
	Plate Deck_Fr_107-149.P2	18.5 AH36	18.5 AH36
	Plate Deck_Fr_107-149.P3	19.0 AH36	19.0 AH36
Floor_Fr_111-147	Plate Floor_Fr_111-147.P1	13.5 AH36	13.0 AH36
	Plate Floor_Fr_111-147.P21	13.5 ST24	12.0 ST24
	Plate Floor_Fr_111-147.P22	12.0 AH32	11.5 AH32
	Plate Floor_Fr_111-147.P31	12.0 ST24	12.0 ST24
	Plate Floor_Fr_111-147.P32	13.0 AH32	12.5 AH32
	Plate Floor_Fr_111-147.P33	13.5 AH32	13.5 AH32
	Plate Floor_Fr_111-147.P41	12.0 ST24	11.5 ST24
	Plate Floor_Fr_111-147.P42	15.0 ST24	14.5 ST24
	Plate Floor_Fr_111-147.P43	16.0 ST24	15.5 ST24
	Plate Floor_Fr_111-147.P44	15.0 AH32	14.0 AH32
	Plate Floor_Fr_111-147.P45	18.0 AH32	17.0 AH32
	Plate Floor_Fr_111-147.P46	18.0 AH32	17.0 AH32
	HatchH3	Plate HatchH3.P1	13.0 AH36
Plate HatchH3.P2		15.0 AH36	15.0 AH36
Plate HatchH3.P3		17.0 AH36	17.0 AH36
Plate HatchH3.P4		15.5 AH36	15.5 AH36
Plate HatchH3.P5		14.0 AH36	14.0 AH36
Hopper	Bar Hopper.S1	HP300x12 AH36	HP280x12 AH36
	Bar Hopper.S2	HP240x11 AH32	HP240x10 AH32
Hopper_Fr_107-121	Plate Hopper_Fr_107-121.P2	20.0 AH36	20.0 AH36
	Plate Hopper_Fr_107-121.P3	19.0 AH32	18.5 AH32
Hopper_Fr_111-147	Plate Hopper_Fr_111-147.P1	24.5 AH36	24.0 AH36
Hopper_Fr_121-135	Plate Hopper_Fr_121-135.P2	19.0 AH36	19.0 AH36
	Plate Hopper_Fr_121-135.P3	18.0 AH32	16.5 AH32
Hopper_Fr_135-149	Plate Hopper_Fr_135-149.P2	19.0 AH36	19.5 AH36
	Plate Hopper_Fr_135-149.P3	18.0 AH32	17.0 AH32
HopperTransverse_Fr_111-147	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P11	12.5 AH36	11.5 AH36
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P12	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P21	12.0 AH32	11.5 AH32
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P22	11.0 ST24	11.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P231	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P232	17.0 ST24	11.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P24	12.0 ST24	12.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P31	13.5 AH32	13.5 AH32
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P32	11.0 ST24	11.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P33	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate HopperTransverse_Fr_111-147.P34	12.5 ST24	12.0 ST24
InnerBottom	Bar InnerBottom.S1	HP300x12 AH36	HP280x12 AH36
InnerBottom_Fr_111-147	Plate InnerBottom_Fr_111-147.P1	25.0 AH36	24.5 AH36
SideFrameFlange	Bar SideFrameFlange.S1	FB200x15 ST24	FB200x15 ST24
	Bar SideFrameFlange.S3	FB100x25 ST24	FB100x25 ST24

Tablica 31. Usporedba strukturnih dimenzija

Structure	Property	Prototip P800	Projekt P735a-Fin
		Value	Value
SideFrameLowerBracketFlange	Bar SideFrameLowerBracketFlange.S3	FB100x25 ST24	FB100x25 ST24
	Bar SideFrameLowerBracketFlange.S7	FB200x20 ST24	FB200x20 ST24
SideFrameLowerBracketWeb	Plate SideFrameLowerBracketWeb.P4	20.0 ST24	18.5 ST24
SideFrameUpperBracketFlange	Bar SideFrameUpperBracketFlange.S3	FB100x25 ST24	FB100x25 ST24
	Bar SideFrameUpperBracketFlange.S7	FB200x15 ST24	FB200x15 ST24
SideFrameUpperBracketWeb	Plate SideFrameUpperBracketWeb.P1	14.0 ST24	14.0 ST24
SideFrameWeb	Plate SideFrameWeb.P2	14.0 ST24	14.0 ST24
SideShell	Bar SideShell.S1	HP240x10 AH32	HP220x10 AH32
	Bar SideShell.S2	HP300x11 AH36	HP300x11 AH36
SideShell_Fr_107-149	Plate SideShell_Fr_107-149.P1	14.0 AH36	14.0 AH36
	Plate SideShell_Fr_107-149.P3	16.5 AH36	16.0 AH36
	Plate SideShell_Fr_107-149.P4	17.0 AH36	16.5 AH36
SideShell_Fr_135-191	Plate SideShell_Fr_135-191.P2	20.5 AH36	19.5 AH36
SideShell_Fr_71-135	Plate SideShell_Fr_71-135.P2	20.0 AH36	19.5 AH36
UpperStoolH3	Plate UpperStoolH3.P1	12.5 AH36	12.5 AH36
	Plate UpperStoolH3.P2	13.0 AH36	13.0 AH36
	Plate UpperStoolH3.P3		13.0 AH36
UpperStoolWeb	Plate UpperStoolWeb.P1	10.0 ST24	10.0 ST24
	Plate UpperStoolWeb.P2	12.5 AH32	12.5 AH32
	Plate UpperStoolWeb.P3	12.5 AH32	12.5 AH32
WebBelowHatch	Plate WebBelowHatch.P1	13.0 AH36	13.0 AH36
	Plate WebBelowHatch.P2	24.0 AH36	19.0 AH36
	Plate WebBelowHatch.P3	19.0 AH36	16.0 AH36
Wing	Bar Wing.S1	HP300x11 AH36	HP320x12 AH36
	Bar Wing.S2	FB150x12 AH32	FB150x12 AH32
Wing_Fr_107-121	Plate Wing_Fr_107-121.P2	17.0 AH36	17.0 AH36
	Plate Wing_Fr_107-121.P3	17.5 AH36	17.5 AH36
Wing_Fr_107-149	Plate Wing_Fr_107-149.P1	14.5 AH32	14.0 AH32
Wing_Fr_121-149	Plate Wing_Fr_121-149.P2	17.0 AH36	17.0 AH36
	Plate Wing_Fr_121-149.P3	17.5 AH36	17.0 AH36
Wing_Fr_72-149	Plate Wing_Fr_72-149.P5	18.0 AH36	16.5 AH36
Wing_Fr_79-149	Plate Wing_Fr_79-149.P4	18.0 AH36	17.5 AH36
WingTransverse_Fr_111-147	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P11	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P12	14.0 AH32	13.0 AH32
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P211	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P212	13.0 AH32	12.5 AH32
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P22	13.0 AH32	13.0 AH32
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P311	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P312	14.0 AH32	12.5 AH32
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P32	14.0 AH32	13.0 AH32
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P41	20.0 ST24	20.0 ST24
	Plate WingTransverse_Fr_111-147.P42	14.0 AH32	13.5 AH32

ZAKLJUČAK

Projektiranje i gradnja brodova za rasuti teret danas se provodi prema Usuglašenim zajedničkim pravilima IACS CSR(BC). Za određivanje strukturnih dimenzija, osim preskriptivnih pravila, potrebno je provesti i strukturnu analizu teretnog prostora (tri skladišta) metodom konačnih elemenata (MKE). Racionalno dimenzioniranje strukturnih dimenzija trupa broda korištenjem MKE i optimizacijskih metoda karakteristika je suvremenog načina projektiranja brodskih konstrukcija. Cilj ovog rada je upravo demonstracija takvog pristupa projektiranju brodske konstrukcije na primjeru broda za rasuti teret od oko 40 000 DWT-a.

Proračun je proveden kroz dvije faze. Kroz fazu 1 evaluirane su strukturne dimenzije prototipa P800, te su generirane tri varijante konstrukcije s izbačenim jednim jakim uzdužnim nosačem u dvodnu razmakom rebara 885 mm i 735 mm. Tim trima varijantama reprojektirane su dimenzije strukturnih elemenata te je provedena analiza prema preskriptivnim Pravilima korištenjem programa MARS. Evaluacijom odabrana je najbolja varijanta po kriteriju minimalne mase. Za odabranu varijantu u drugoj fazi proveden je, direktni proračun korištenjem metode konačnih elemenata, te strukturna optimizacija.

Izbacivanje uzdužnih nosača, smanjivanje razmaka rebara a samim time i dimenzija određenih strukturnih elemenata, dovelo je do smanjenja mase kod Projekta 735a. Ta masa je dodatno smanjena tijekom optimizacije. No zbog standardizacije i usklađivanja strukturnih dimenzija masa se u finalnoj verziji povećala. Usprkos tome masa Projekta 735a-Fin je manja od mase Prototipa P800 za oko 20 tona. Valja napomenuti da je prototipni model P800, koji je bio dostupan na FSB-u, prethodno detaljno optimiran (kroz obje faze projektiranja konstrukcije). Iz tablica je vidljivo da su dimenzije poprečnih strukturnih elemenata uglavnom smanjene, dok su nekim uzdužnim elementima narasle. Povećanje dimenzija je najočitije u slučaju jakih uzdužnih nosača dvodna.

LITERATURA

- [1] IACS: Common Structural Rules for Bulk Carriers, July 2012.
- [2] *The Society of Naval Architects and Marine Engineers: Ship Design and Construction*, 2004.
- [3] ...,MAESTRO Version 11.0.0 Beta 7: „Program documentation“, DRS-C3 Advanced Technology Center, Stevensville, MD, USA
- [4] MARS200 Version 2.8e, Bureau Veritas
- [5]OCTOPUS Ver.3.0, "Teoretski i korisnički priručnik", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006.
- [6] Prebeg, P. "Višekriterijsko projektiranje složenih tankostjenih konstrukcija", Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2011.