

# Analiza uranjenog opremanja nadgrađa broda za prijevoz automobila i putnika

---

Senegović, Hrvoje

Master's thesis / Diplomski rad

2011

*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:235:710272>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Hrvoje Senegović**

Zagreb, 2011.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Doc. dr. sc. Boris Ljubenkov

Doc. dr. sc. Smiljko Rudan

Student:

Hrvoje Senegović

Zagreb, 2011.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno uz potrebne konzultacije, savjete i uporabu navedene literature.

Hrvoje Senegović

Ovom prilikom želim se zahvaliti svojim mentorima, doc.dr.sc. Borisu Ljubenkovu i doc.dr.sc. Smiljku Rudanu zbog kojih sam proširio svoje znanje na nova područja i koji su mi nesebično pomogli pri izradi ovog rada.

Zahvaljujem se kolegama i prijateljima bez kojih bi studiranje bilo mnogo teže.

Veliko hvala mojim roditeljima koji su vjerovali u mene svih ovih godina studiranja i koji su vlastitim odricanjem omogućili moje školovanje.

I na kraju, najveće hvala mojoj supruzi Branki na njezinoj bezgraničnoj potpori i razumijevanju koje mi je pružala svih ovih godina, a posebice tijekom izrade ovog rada.

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA .....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
SAŽETAK .....	VII
1. UVOD .....	1
2. BROD ZA PRIJEVOZ VOZILA I PUTNIKA (ROPAX) .....	3
2.1. Općenito o tipu broda .....	3
2.2. Povijest RO RO prijevoza .....	4
2.3. Opći podaci o brodu [3] .....	6
3. PODJELA TRUPA BRODA NA GRUPE I SEKCIJE .....	8
3.1. Općenito .....	8
3.2. Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije .....	9
3.3. Karakteristični blok .....	13
3.3.1. Ravnanje blokova nadgrađa .....	15
3.3.1.1. Primjeri ravnjanja dijelova strukture .....	17
3.3.1.2. Ravnanje blokova nadgrađa .....	20
4. OPREMANJE BRODA .....	21
4.1. Faze i zone opremanja .....	22
Opremanje tokom izrade sekcija .....	22
Opremanje okrupljenog bloka .....	23
Opremanje na građevnom mjestu .....	24
Opremanje na brodu prije zatvaranja broskog prostora obuhvaća: .....	24
Opremanje na brodu nakon zatvaranja broskog prostora .....	25
Opremanje na opremnoj obali .....	26
Završno opremanje .....	26
5. MONTAŽA PUTNIČKIH KABINA .....	27
5.1. Uranjeno opremanje bloka kabinskim modulima .....	29
6. STRUKTURNA ANALIZA BLOKA NADGRAĐA .....	31
6.1. Metoda konačnih elemenata .....	31
6.2. Mreža konačnih elemenata .....	33
6.3. Odstupanja modela .....	33
7. ANALIZA REZULTATA .....	38
7.1. Podizanje bloka .....	39
7.1.1. Dizanje opremljenog bloka sa 4 uške, bez upora .....	40
7.1.2. Dizanje opremljenog bloka sa 8 uški, bez upora .....	42
7.1.3. Usporedba rezultata .....	44
7.2. Analiza potrebnog broja upora .....	51
7.2.1. Upore na rebru 158 .....	51

---

7.2.2.	Upore na rebrima R149 i R158 .....	53
7.2.2.1.	Dimenzioniranje upora .....	54
7.2.3.	Dizanje bloka sa uporama bez kabina .....	55
7.2.4.	Usporedbe rezultata .....	56
7.3.	Oslonjeni blok .....	59
7.3.1.	Oslanjanje bloka bez upora .....	60
7.3.2.	Deformacije i naprezanja modela na uporama.....	62
7.3.3.	Deformacije i naprezanja modela na uporama bez kabina.....	65
7.4.	Analiza problema transporta.....	67
8.	ZAKLJUČAK.....	69
	LITERATURA.....	71

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Ukrcaj i smještaj vozila .....	3
Slika 2.	Empire Cederic .....	5
Slika 3.	Novogradnja 468 sagrađena u Brodosplitu 2011. ....	6
Slika 4.	Karakteristični blok .....	13
Slika 5.	Sekcije palube 8 .....	14
Slika 6.	Sekcije palube 9 .....	15
Slika 7.	Redosljed nanošenja toplinskih pruga na deformiranom polju .....	17
Slika 8.	Ravnanje bočne stijene .....	18
Slika 9.	Ravnanje velikih deformacija .....	18
Slika 10.	Ravnanje velikih deformacija otvora .....	19
Slika 11.	Ravnanje bloka nadgrađa .....	20
Slika 12.	Blok cjevovoda .....	23
Slika 13.	Sanitarni modul .....	24
Slika 14.	Opremanje na brodu prije zatvaranja brodskog prostora .....	25
Slika 15.	Servisni prostor kabinskih modula .....	26
Slika 16.	Tlocrt kabinskog modula B4 .....	28
Slika 17.	Spoj kabinskog modula i palube .....	29
Slika 18.	Blok opremljen sa 18 kabinskih modula .....	30
Slika 19.	Detalj spoja koljena i uzdužnjaka palube .....	33
Slika 20.	Dijagram modula elastičnosti kabina na naprezanja .....	34
Slika 21.	Spoj kabina sa palubom pomoću grednih elemenata .....	35
Slika 22.	Mreža konačnih elemenata, lijevi polublok nadgrađa .....	36
Slika 23.	Mreža konačnih elemenata, desni polublok nadgrađa .....	37
Slika 24.	Rubni uvjeti na uškama, fiksirana 4 označena čvora .....	39
Slika 25.	Model sa 4 uške .....	40
Slika 26.	Ekvivalentna naprezanja bez deformacija, dizanje pomoću 4 uške .....	41
Slika 27.	Ekvivalentna naprezanja sa deformacijama, dizanje pomoću 4 uške .....	41
Slika 28.	Model sa 8 uški .....	42
Slika 29.	Ekvivalentna naprezanja na gornjoj palubi bez deformacija, dizanje pomoću 8 uški .....	43
Slika 30.	Ekvivalentna naprezanja sa deformacijama, dizanje pomoću 8 uški .....	43
Slika 31.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R149, dizanje pomoću 4 uške .....	44
Slika 32.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R149, dizanje pomoću 8 uški .....	44
Slika 33.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R158, dizanje pomoću 4 uške .....	45
Slika 34.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R158, dizanje pomoću 8 uški .....	45
Slika 35.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranoj podvezi L4800, dizanje pomoću 4 uške .....	46
Slika 36.	Ekvivalentna naprezanja u deformiranoj podvezi L4800, dizanje pomoću 8 uški .....	46
Slika 37.	Naprezanja u rebru 149 pri dizanju bloka bez upora .....	48
Slika 38.	Naprezanja u rebru 158 pri dizanju bloka bez upora .....	48
Slika 39.	Naprezanja u podvezi L4800 pri dizanju bloka bez upora .....	49
Slika 40.	Ukupne deformacije opremljenog bloka bez upora .....	50
Slika 41.	Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka bez upora .....	50
Slika 42.	Čelični U profili, dimenzije .....	51
Slika 43.	Ukupne deformacije opremljenog bloka ukrućenog sa 3 upore .....	52



Slika 44.	Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka ukrućenog sa 3 upore .....	52
Slika 45.	Ukupne deformacije opremljenog bloka ukrućenog sa 5 upora .....	53
Slika 46.	Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka ukrućenog sa 5 upora .....	53
Slika 47.	Naprezanja u deformiranoj upori rebra 158, lijevo U12; desno U14 .....	54
Slika 48.	Ekvivalentna naprezanja pri dizanju bloka bez kabina .....	55
Slika 49.	Maksimalne defromacije pri dizanju bloka bez kabina .....	55
Slika 50.	Naprezanja u rebru R149 pri dizanju bloka sa uporama .....	57
Slika 51.	Naprezanja u rebru R158 pri dizanju bloka sa uporama .....	58
Slika 52.	Naprezanja u podvezi L4800 .....	58
Slika 53.	Oslonjeni opremljeni blok sa rubnim uvjetima (pogled odozdo) .....	59
Slika 54.	Deformacije prilikom oslanjanja opremljenog bloka, bez donjih upora .....	60
Slika 55.	Ekvivalentna naprezanja prilikom oslanjanja opremljenog bloka, bez donjih upora .....	60
Slika 56.	Deformacije na stijenama ispod 8. palube, bez donjih upora .....	61
Slika 57.	Deformacije opremljenog bloka bez donjih upora, na presjeku rebra R158 .....	61
Slika 58.	Deformacije na palubi 8, bez upora .....	62
Slika 59.	Položaj upora ispod palube 8 (dio bloka, prikazan okrenuto) .....	62
Slika 60.	Deformacije prilikom oslanjanja opremljenog bloka, s donjim uporama .....	63
Slika 61.	Ekvivalentna naprezanja prilikom oslanjanja opremljenog bloka, s donjim uporama .....	63
Slika 62.	Deformacije na stijenama ispod 8. palube, sa uporama .....	64
Slika 63.	Deformacije opremljenog bloka sa uporama, na presjeku rebra R158 .....	64
Slika 64.	Deformacije na palubi 8, sa uporama .....	65
Slika 65.	Deformacije u oslonjenom bloku bez kabina .....	65
Slika 66.	Ekvivalentna naprezanja u oslonjenom bloku bez kabina .....	66
Slika 67.	Deformacije na palubi 8 sa uporama, bez kabina .....	66
Slika 68.	Područje deformacija lima palube pod utjecajem gravitacije .....	67

**POPIS TABLICA**

Tablica 1.	Glavne dimenzije broda.....	7
Tablica 2.	Podjela strukture nadgrađa u grupe i sekcije .....	9
Tablica 3.	Kabine za prijevoz putnika.....	27
Tablica 4.	Kabine za prijevoz posade.....	27
Tablica 5	Analizirani scenariji .....	38
Tablica 6	Naprezanja u elementima rebara.....	47
Tablica 7.	Naprezanja u elementima podveze L4800.....	47
Tablica 8	Naprezanja u elementima rebara.....	56
Tablica 9	Naprezanja u elementima podveze L4800.....	57

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

Nacrt br. 1	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije.....	11
Nacrt br. 2	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije.....	12
Nacrt br. 3	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije.....	13

## **SAŽETAK**

Diplomskim radom potrebno je analizirati mogućnost i opseg opremanja bloka nadgrađa u fazi predmontaže kako bi se smanjio opseg opremanja nadgrađa nakon porinuća, odnosno na opremnoj obali. Diplomski rad sastoji se od 8 poglavlja.

U uvodnom poglavlju ukratko je prikazan razvoj metoda gradnje broda te koji su problemi karakteristični kod gradnje ROPAX brodova.

U drugom poglavlju prikazana je povijest razvoja RO-RO prijevoza, te su dani opći podaci ROPAX broda korištenog u analizi.

Kroz treće poglavlje opisana je podjela broda na grupe i sekcije, te je dan prikaz karakterističnog bloka nadgrađa, od kojih sekcija se sastoji i kako se okrupnjuje. Također su prikazani primjeri deformacija limova koje se pojavljuju nakon zavarivanja i kako se one uklanjaju ravnanjem.

U četvrtom poglavlju definirane su faze i zone opremanja broda.

Kroz peto poglavlje dane su upute za montažu kabinskih modula, te je prikazan karakteristični blok opremljen kabinama u fazi uranjenog opremanja.

U šestom poglavlju dan je uvod u strukturnu analizu. Također je objašnjen način izrade modela gdje su prikazana odstupanja modela od stvarne konstrukcije. Na kraju poglavlja prikazan je model karakterističnog bloka sa mrežom konačnih elemenata koji će se analizirati.

Kroz sedmo poglavlje provedena je strukturna analiza karakterističnog bloka.

U posljednjem, zaključnom poglavlju, istaknuti su rezultati analize, problemi koji se javljaju te važnost primjene strukturne analize.

## 1. UVOD

Brodovi koji se grade sve su složeniji, zahtjeva se veća kvaliteta, a istovremeno se traži što kraći rok isporuke i što niži troškovi gradnje samog broda. Kako bi se skratilo potrebno vrijeme gradnje i opremanja razvijale su se metode gradnje počevši od funkcijske preko funkcijsko-prostorne, zatim prostorno zonske do integralne. Kod funkcijske metode proizvodnost je bila niska, gotovo svi radovi sastavljanja trupa odvijali su se na navozu dok je opremanje broda bilo nakon porinuća. Kod funkcijsko prostorne metode počeli su se sastavljati veći dijelovi brodske strukture izvan navoza, na predmontažnim površinama, nakon čega su se podizali na navoz i međusobno spajali što je rezultiralo ranijim početkom opremanja. Iako su radovi opremanja počeli ranije, naručivanje materijala još se uvijek provodilo na osnovi cjelovitih funkcija, te radionička dokumentacija nije bila usklađena s tehnološkim potrebama proizvodnog procesa za razliku od prostorno zonske gdje je sva dokumentacija organizirana i prilagođena potrebama proizvodnje a brod je podjeljen na prostore i zone. Integralna metoda obuhvaća istovremeni rad na strukturi, opremanju i antikorozivnoj zaštiti građevnih jedinica. Današnja moderna brodogradilišta brod grade iz blokova u koje se nastoji ugraditi što je moguće više opreme. Veličina i opremljenost bloka zavisi o tehnološkim mogućnostima brodogradilišta što se u prvom redu odnosi na nosivost transportnih sredstava te širina transportnih puteva i proizvodnih linija.

ROPAX brodovi su brodovi specijalizirani za prijevoz automobila i putnika. Uobičajeno, opremanje nadgrađa kod ovakvih brodova obavljalo se na opremnoj obali, nakon sklapanja i zavarivanja sekcija u trup broda. Kako bi se obujam radova u kasnijim fazama gradnje i opremanja smanjio, potrebno je analizirati mogućnost opremanja blokova nadgrađa u fazi predmontaže. Budući da je za ovakve brodove karakterističan velik broj paluba građenih tankim limovima, javljaju se problemi deformacija i naprezanja uslijed zavarivanja te transporta.

Razvoj računala i odgovarajućih računalnih programa doveo je do sve češće uporabe numeričkih metoda pri izradi simulacijskog modela pomoću kojeg se oponašaju stvarni procesi. Najzastupljenija numerička metoda je metoda konačnim elementima koja se kod rješavanja inženjerskih problema pokazala vrlo pogodnom za rad s računalom te danas postoje brojni programi pomoću kojih se strukturnom analizom traže mehanički i

funkcionalni nedostaci konstrukcija na osnovu kojih se daju rješenja odnosno preporuke. U ovom radu analizirati će se naprezanja i deformacije koje se pojavljuju prilikom transporta opremljenog bloka, a ovisno o rezultatima analize biti će dane preporuke koje se mogu odnositi na promjenu debljina materijala, dodavanju potrebnih koljena ili upora, ili definiranju rasporeda uški za transport.

## 2. BROD ZA PRIJEVOZ VOZILA I PUTNIKA (ROPAX)

### 2.1. Općenito o tipu broda

Pojam RO RO izvedenica je iz engleskog izraza *roll on roll off* što u doslovnom prijevodu znači dokotrljati/otkotrljati. Radi se o brodovima čiji se glavni teret ukrcava i iskrcava na kotačima ili pomoću gusjenica. Pod glavnim teretom podrazumijevaju se automobili, kamioni, prikolice, poluprikolice, vagoni i ostala radna vozila. Vozila se ukrcavaju preko rampi koje su najčešće ugrađene u brod ali mogu biti i dio luke. Princip ukrcaja i smještaja vozila prikazan je slikom 1.



Slika 1. Ukrcaj i smještaj vozila

Osnovno obilježje RO-RO sustava je fleksibilnost. Direktnim ukrcavanjem i iskrcavanjem tereta smanjuje se broj operacija s teretom što rezultira kraćim zadržavanjem u lukama. Na obalama nije potrebna dodatna mehanizacija za prekrcaj tereta koji je moguće obavljati tokom cijelog dana. Ovakav način prijevoza lukama je donio značajne koristi, tako da se povećao promet te su otvarane nove rute. Ovisno o potrebama pojedinih ruta, razvijeno je nekoliko tipova RO-RO brodova, pa se danas razlikuju brodovi koji su namjenjeni isključivo za prijevoz automobila (Pure Car Carrier), automobila i kamiona (Pure Car Truck Carrier), za kombinirani prijevoz kontejnera i vozila (*ConRO*) te za prijevoz vozila i putnika (*ROPAX*).

## 2.2. Povijest RO RO prijevoza

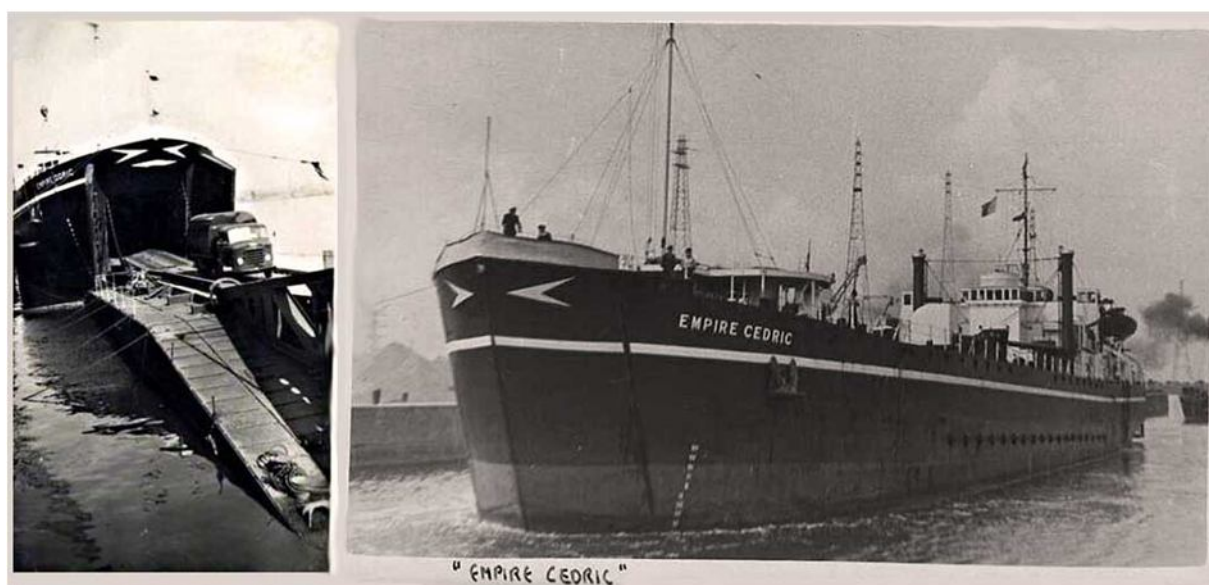
Prvi RO RO brodovi počeli su se graditi sredinom 19. stoljeća, kao brodovi namijenjeni za prijevoz vlakova preko rijeka. Bili su opremljeni tračnicama koje su se spajale sa onima na kopnu pa su se vlakovi jednostavno dovezli izravno na brod a na drugom kraju odvezli sa broda na isti način. Kao prva takva linija spominje se *Firth of Forth ferry* u Škotskoj koja je započela s radom 1851. godine.

Tijekom drugog svjetskog rata (1939-1945) isti je princip upotrebljavan za transport tenkova i ostale ratne opreme za sukobe na kopnu. Ipak nakon rata transport automobila na brodove obavljao se dizalicama. Takav način transporta bio je izrazito skup, dugotrajan i pomalo riskantan. Kako je rasla potražnja za transportom vozila tako je bilo potrebno i osmisliti brži način prijevoza, pa se poseglo za rješenjem koje je bilo osmišljeno za vrijeme rata.

Prijevoz automobila preko mora započeo je s prijevozom malog broja automobila na brodovima za prijevoz generalnog tereta. Automobili su se ukrcavali i iskrcavali sa broda pomoću postojeće opreme ili sa broda ili sa obale, prilikom kojeg su često bili i oštećeni. Nakon toga, automobili su se počeli prevoziti na brodovima za rasuti teret na kojima je bilo moguće ukrcati veći broj vozila. Automobili su se i dalje ukrcavali i iskrcavali pomoću dizalica. Ovakav način transporta nije bio zahvalan, jer uz oštećenja koja su se pojavljivala prilikom manevriranja sa dizalicama, vozila su također bila u dodiru s prljavim teretom.



Količina automobila koji su se prevozili morem sve više je rasla. Usporedno s količinom rasla je i potražnja za kvalitetom prijevoza što je dovelo do prvog broda isključivo za prijevoz automobila. Najznačajnija oprema na tom brodu bila je instalacija rampi za ukrcaj i iskrcaj tereta. Takav način nije samo skratio vrijeme potrebno za zadržavanje u lukama nego je i smanjena mogućnost oštećenja automobila prilikom prekrcavanja. Razvojem bržeg i sigurnijeg transporta otvarala su se nova tržišta automobilima što je rezultiralo i razvojem većih i bržih RO-RO brodova.

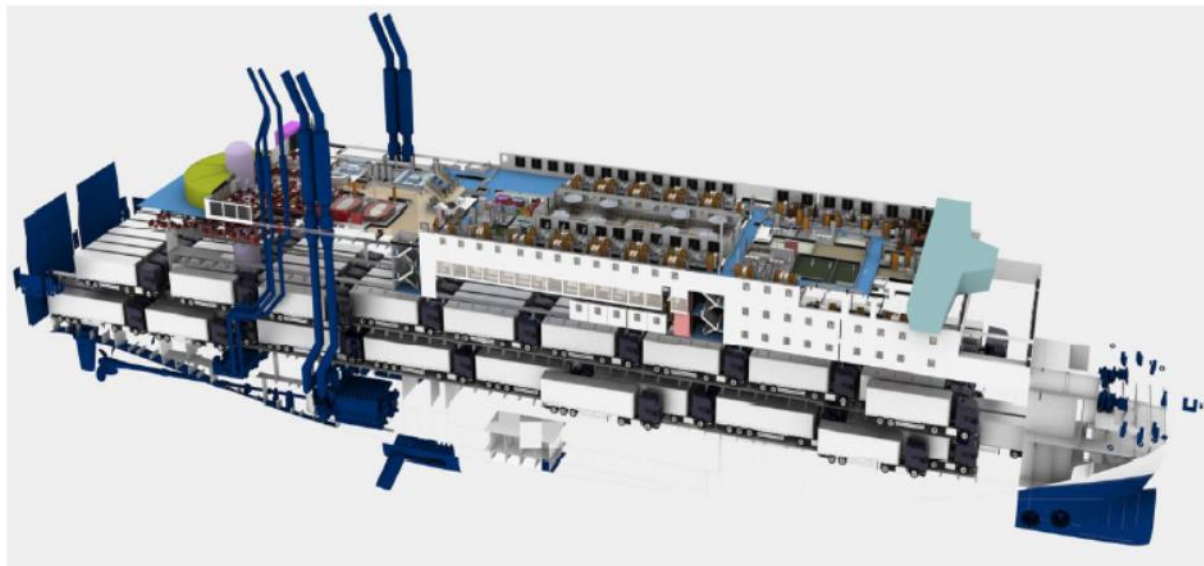


**Slika 2.** Empire Cederic

Slika 2. prikazuje prvi komercijalni linijski RO-RO brod. Brod je sagrađen za kraljevsku mornaricu kao brod za prijevoz tenkova (Slika 2 lijevo). Nakon rata otkupljen je od mornarice i preuređen za civilne potrebe 1948. godine (Slika 2 desno). [2]

### 2.3. Opći podaci o brodu [3]

Novogradnja 468, prikazana slikom 3, je brod za prijevoz putnika, teretnih i osobnih vozila te vozila s opasnim teretom.



**Slika 3.** Novogradnja 468 sagrađena u Brodosplitu 2011.

Na brodu se nalazi dvanaest paluba na kojima je smješteno 200 kabina te može prevesti 750 putnika. Pedeset i šest članova posade smješteno je u svojih 56 kabina. Četiri palube namjenjene su putnicima, a osobni automobili, šleperi i ostali teret prevoze se na šest paluba. Pogonjen je s četiri motora čija je ukupna snaga 38400 kW s dva propelera promjenjivog uspona. Maksimalna brzina broda iznosi 24 čvora. Glavne dimenzije broda dane su u tablici 1.

**Tablica 1.** Glavne dimenzije broda

Dužina preko svega	( $L_{oa}$ )	180,00 m
Dužina između okomica	( $L_{pp}$ )	167,50 m
Širina	(B)	30,50 m
Širina, max	( $B_{max}$ )	35,56 m
Visina do glavne palube br.3	(D)	9,80 m
Visina do gornje palube br. 5	(D)	15,80 m
Gaz	(T)	6,70 m
Nosivost	(DWT)	7600 t
Brzina	(v)	24,00 čv
Glavni strojevi	Wartsila 8L 46F-CR, snage 4 x 9600 Kw	
Snaga	(SMRC)	38 400 kW
Kapacitet smještaja automobila		1123 m
Kapacitet smještaja vozila		2484 m
Kapacitet smještaja putnika		700 osoba

### 3. PODJELA TRUPA BRODA NA GRUPE I SEKCIJE

#### 3.1. Općenito

Tehnološkom analizom gradnje razmatraju se mogući načini sastavljanja trupa i opremanja broda. Trup se raščlanjuje na dijelove strukture kao što su moduli, blokovi, sekcije te manji sklopovi i podsklopovi sa ciljem optimiziranja procesa gradnje broda. Potrebno je razmotriti i odabrati moguće metode, radna mjesta i postupke koji dolaze u obzir. Ugradnja opreme u blok trupa u predmontažnoj radionici učinkovitija je od ugradnje na opremnoj obali jer doprinosi skraćenju gradnje broda, a samim time i smanjenju ukupnih troškova gradnje. Gradnja i opremanje broda organizirana je po brodskim prostorima pri čemu je brod podijeljen na makroprostore s mogućom daljnjom podjelom na mikroprostore, odnosno zone i faze opremanja.

Makroprosotri broda su:

- krmeni dio (1)
- strojarnica (2)
- teretni prostor (3)
- pramčani dio (4)
- nadgrađe (5)

Tema zadatka je uranjeno opremanje nadgrađa, pa će se razmotriti podjela na grupe i sekcije tog dijela strukture.

### 3.2. Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije

Nadgrađe se proteže od 8. do 12. palube cijelom dužinom broda.

Podjela nadgrađa na grupe i sekcije prikazana je tablicom 2. Definiran je broj grupe, naziv grupe te broj sekcija unutar jedne grupe. Oznaka grupe sastoji se od 3 broja, od čega prvi broj označuje makroprostor. Drugi broj predstavlja na kojoj se visini broda grupa nalazi gledajući od dna broda prema gore, dok treći broj predstavlja poziciju u horizontalnom smjeru gledajući od krme prema pramcu. S1, S2, S3 i S4 označavaju sekciju, a „plusevi“ koja sekcija pripada određenoj grupi.

**Tablica 2.** Podjela strukture nadgrađa u grupe i sekcije

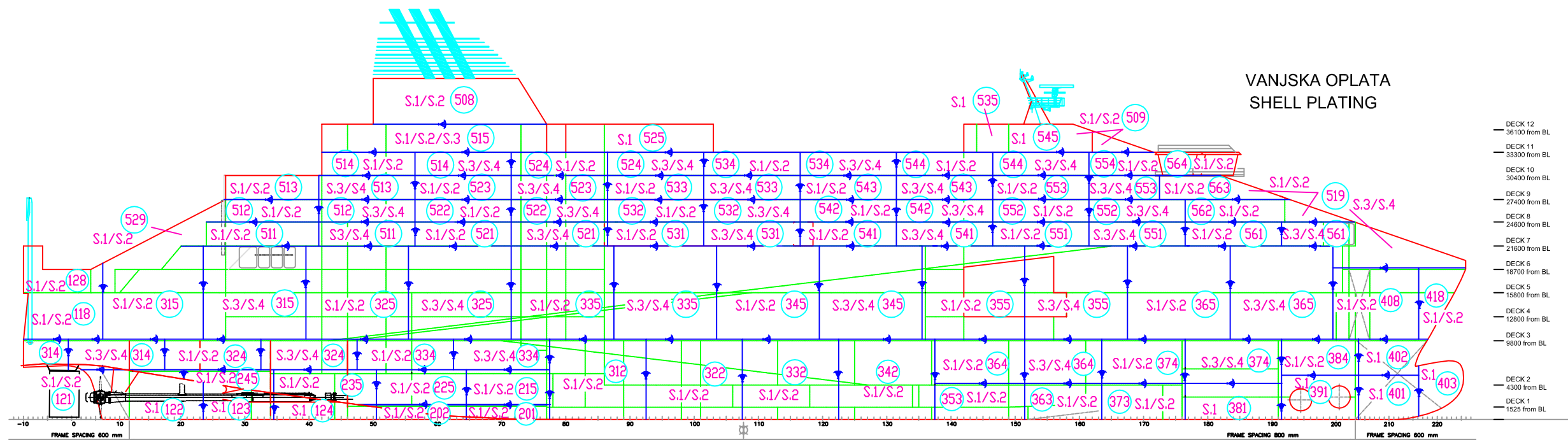
Grupa	Naziv	S1	S2	S3	S4
511	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
521	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
531	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
541	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
551	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
561	Paluba br.8 i stijene ispod	+	+	+	+
512	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+		
522	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+	+	+
532	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+	+	+
542	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+	+	+
552	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+	+	+
562	Paluba br.9 i stijene ispod	+	+	+	+
513	Paluba br.10 i stijene ispod	+	+		
523	Paluba br.10 i stijene ispod	+	+	+	+
543	Paluba br.10 i stijene ispod	+	+	+	+
553	Paluba br.10 i stijene ispod	+	+	+	+
563	Paluba br.10 i stijene ispod	+	+	+	+

**Tablica 2.** Podjela strukture nadgrađa u grupe i sekcije - nastavak

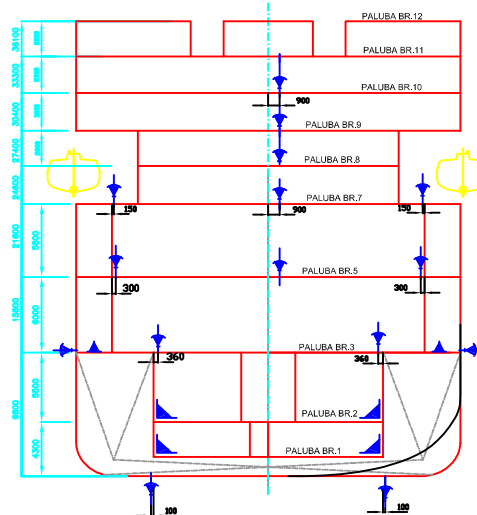
Grupa	Naziv	S1	S2	S3	S4
514	Paluba br.11 i stijene ispod	+	+		
524	Paluba br.11 i stijene ispod	+	+		
534	Paluba br.11 i stijene ispod	+	+	+	+
544	Paluba br.11 i stijene ispod	+	+	+	+
554	Paluba br.11 i stijene ispod	+	+	+	+
564	Kormilarnica	+	+	+	+
515	Paluba br.12 i stijene ispod	+	+	+	
525	Paluba br.12 i stijene ispod	+			
535	Prostor EDG-a	+			
545	Paluba br.12 i stijene ispod	+			
508	Dimnjak	+	+		
509	Linica nadgrađa	+	+		
519	Linica nadgrađa	+	+	+	+
529	Linica nadgrađa	+	+		


Nacrtom br. 1 prikazan je uzdužni i poprečni presjek broda sa podjelom na grupe i sekcije.

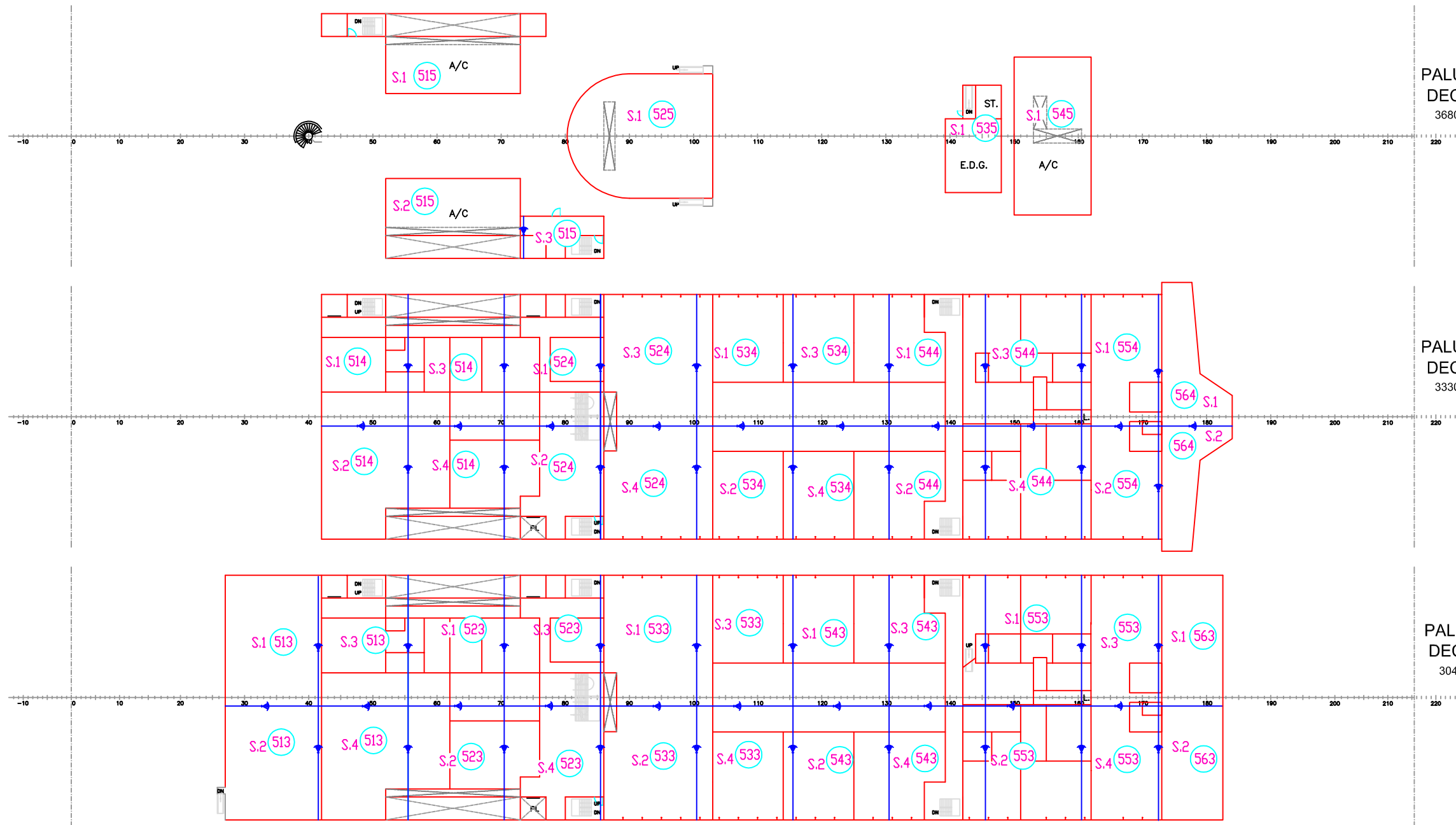
Nacrtima 2 i 3 prikazan je raspored sekcije pojedinih paluba.



TIPIČAN POPREČNI PRESJEK  
TYPICAL TRANSVERSE SECTION



DIPLOMSKI RAD		Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Zavod za brodogradnju i pomorsku tehniku
Student	Hrvoje Senegović		
Mentori	Dr.sc. Boris Ljubenkov Dr.sc. Smiljko Rudan		
Godina	2011.		
Nacrtni	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije	Mjerilo: 1:600	Nacrtni broj: 1



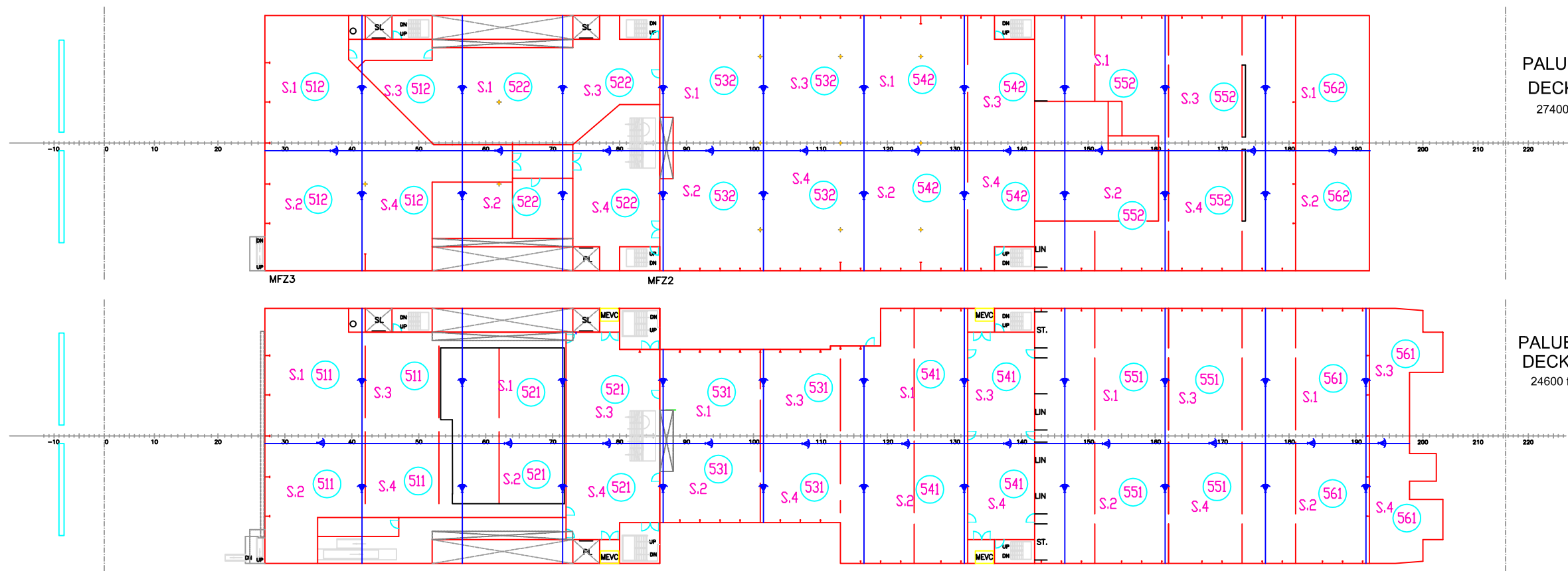
PALUBA br.12  
DECK No.12  
36800 from BL

PALUBA br.11  
DECK No.11  
33300 from BL

PALUBA br.10  
DECK No.10  
30400 from BL


DIPLOMSKI RAD		Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Zavod za brodogradnju i pomorsku tehniku
Student	Hrvoje Senegović		
Mentori	Dr.sc. Boris Ljubenkov		
	Dr.sc. Smiljko Rudan		
Godina	2011.		
Nacrtni	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije	Mjerilo: 1:600	Nacrtni broj: 2





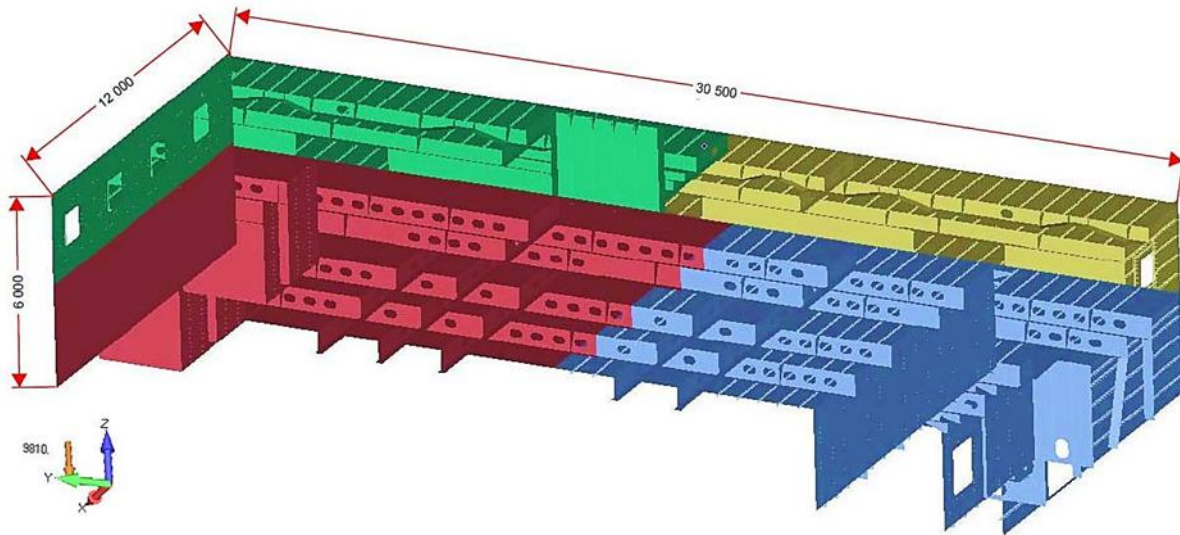
PALUBA br.9  
DECK No. 9  
27400 from BL

PALUBA br.8  
DECK No. 8  
24600 from BL

DIPLOMSKI RAD		Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Zavod za brodogradnju i pomorsku tehniku
Student	Hrvoje Senegović		
Mentori	Dr.sc. Boris Ljubenkov		
	Dr.sc. Smiljko Rudan		
Godina	2011.		
Nacrtni	Podjela strukture nadgrađa na grupe i sekcije	Mjerilo: 1:600	Nacrtni broj: 3

### 3.3. Karakteristični blok

Blok nadgrađa koji će se analizirati u radu, prikazan je slikom 4.



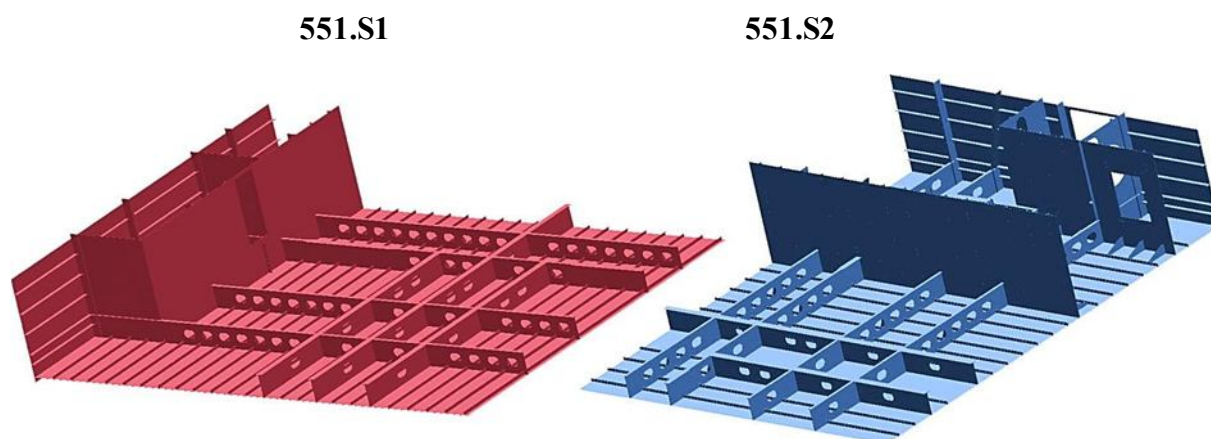
Slika 4. Karakteristični blok

Karakterističan blok sastoji se od sekcija **551.S1**, **551.S2** te **552.S1** i **552.S2**. Sekcije se sastoje od ukrepljenog panela paluba sa pripadnim stijenama i uporama te vanjske oplata nadgrađa. Dimenzije bloka su: 12 000 x 30500 m x 6000 [mm].

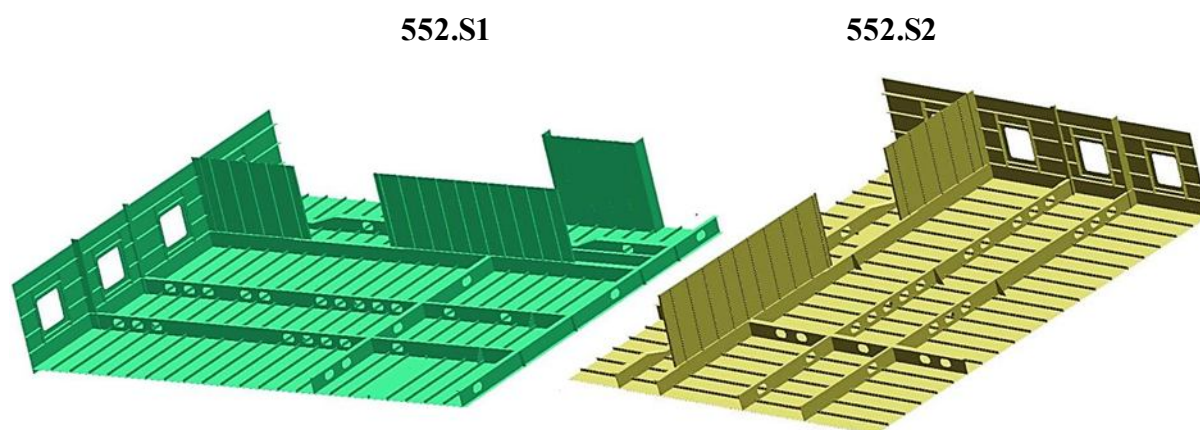
Izrada sekcija nadgrađa:

- na taktovima panel linije izrađuju se paneli nadgrađa
- baza izrade sekcija nadgrađa su palube nadgrađa
- na gotove panele postavljaju se sponje i podveze
- postavljaju se uzdužne i poprečne stijene, te vanjska oplata
- dodati ukrepu na 2/3 visine stijene na krajnjim rebrima
- dimenzijska kontrola
- ukrutiti otvore za prozore javnih prostora

Sekcije nadgrađa se izrađuju u predmontažnoj hali nakon čega se okreću u pravi položaj te se okrupnjavaju u blokove. Veličina bloka zavisi o tehnološkim mogućnostima brodogradilišta uzimajući u obzir nosivost transportnih sredstava te širinu transportnih puteva. Kako bi vrijeme koje je potrebno za sastavljanje blokova bilo što kraće, blok je potrebno izraditi iz što manje različitih radnih grupa. Struktura bloka mora biti stabilna kako bi se izbjegla potreba za dodatnim ukrućivanjem. Blokovi nadgrađa sa međuskladišta sekcija trebaju izaći kompletno toplinski izravnani bez deformacija na palubama i stijenkama. Sekcije nadgrađa se opremaju u radionicama predmontaže u onom dijelu i obimu koji je moguće odraditi u fazama opremanja tokom izrade sekcija. Antikorozivni (AKZ) tretman blokova nadgrađa radi se u AKZ hali prije izrade bloka. Nakon montaže blokovi se završno opremaju u tehnološkoj fazi opremanja na ležaju, odnosno na opremnoj obali. Na slikama 5 i 6 prikazane su sekcije bloka nadgrađa 8 i 9 palube.



**Slika 5.** Sekcije palube 8



Slika 6. Sekcije palube 9

Sekcije nadgrađa se izgrađuju u obrnutom položaju te ih je potrebno okrenuti. Prije samog okretanja potrebno je zavariti uške za lim panela. Uške treba zavariti iznad jakih nosača strukture. Kako ne bi došlo do deformiranja sekcija potrebna su privremena pojačanja prilikom okretanja. Ukoliko sekcija nije samostojeća za palubu su privaruju privremene upore ili se sekcije oslanjaju na potklade postavljene ispod palube. Nakon okretanja, sekcije se spajaju u blokove koje je potrebno izravnati. Ravnanje se vrši na međuskladištu gotovih blokova nadgrađa koji se ujedno koristi i u fazi opremanja blokova nadgrađa.

### 3.3.1. Ravnanje blokova nadgrađa

Pri gradnji broskog trupa teži se optimalnom postupku zavarivanja kako bi se povećala produktivnost i smanjili troškovi procesa. Toplina koja se dovodi prilikom zavarivanja uzrokuje rastezanje radnog komada. Nakon prestanka dovođenja topline, odnosno zavarivanja, slijedi hlađenje radnog komada koje izaziva stezanje u zoni oko zavarenog mjesta. Takve promjene uzrokuju pojavu zaostalih naprezanja i deformacija. Pod deformacijama se podrazumjevaju sve promjene oblika i dimezija zavarenog spoja, dijela ili čitave zavarene konstrukcije, i kao takve često zahtjevaju dodatne radove.

Rastezanje i stezanje, koje je izazvano zavarivanjem, djeluje prostorno pa se deformacije mogu podjeliti na:

- poprečne deformacije
- uzdužne deformacije
- kutne deformacije (kod sučeljnih i kutnih spojeva)

Ukoliko su komadi koji se zavaruju slobodni, rastezanje i stezanje uzrokuju izvijanje i savijanje radnog komada. Što su elementi (limovi i profili) tanji to su deformacije izraženije. Deformacije koje su nastale kao posljedica zavarivanja najčešće se uklanjaju ravnanjem plinskim plamenom koristeći isti efekt koji i izaziva te deformacije (unos topline u strukturu). Kod ravnjanja se toplina unosi sa suprotne strane strukture.

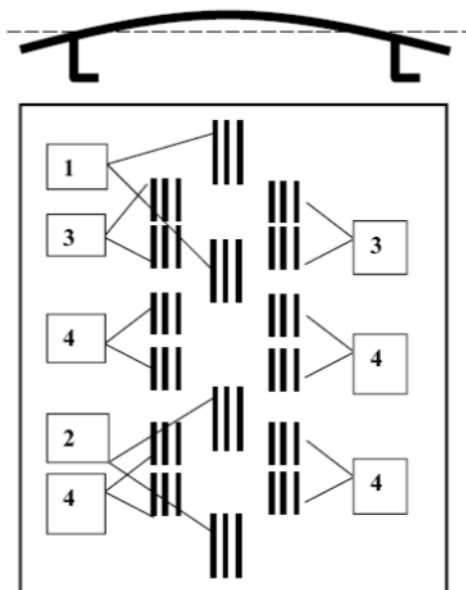
Kako bi izvođenje ravnjanja bilo uspješno, potrebno je pridržavati se sljedećih pravila:

- uvijek treba pristupiti otklanjanju deformacija na većim površinama odjednom
- zagrijavanje treba početi na području sa manjim deformacijama, a najveće deformacije otklanjati posljednje
- radi bolje iskoristivosti plamena, plamenik treba držati uvijek okomito
- jezgrom plamena ne smije se dodirivati površina radnog komada
- u poljima između ukrepa, zagrijavanja se izvode s konveksne strane (ispupčenje prema plameniku)
- s otklanjanjem deformacija se započinje nakon što su svi elementi strukture zavareni i nakon što su izrezani svi otvori (prozori, vrata, otvori...)
- temperatura zagrijanog mjesta ne smije ni u kojem slučaju prijeći temperature za to propisanim standardima
- ne smije se dva puta zagrijavati isto mjesto
- kod jako izraženih deformacija ukrepe se mogu grijati ponovno, ali na taj način da se plamenik pomakne u stranu za propisani razmak plamenika
- toplinska mjesta (materijal koji se lokalno i brzo zagrijava) se ni u kojem slučaju ne smiju preklapati
- nije dozvoljeno udaranje čekićem dok je materijal ugrijan, kako ne bi došlo do pojave nekontroliranih stezanja. Nakon što se lim ohladi na 30-40 °C, moguće je ravnati uporabom čekića uz obavezno korištenje podmetača

Prije početka otklanjanja deformacija potrebno je:

- napraviti mjerenja i označiti deformacije
- odrediti oblik, broj i redosljed zagrijavanja pojedinih toplinskih mjesta
- odrediti hladne zone

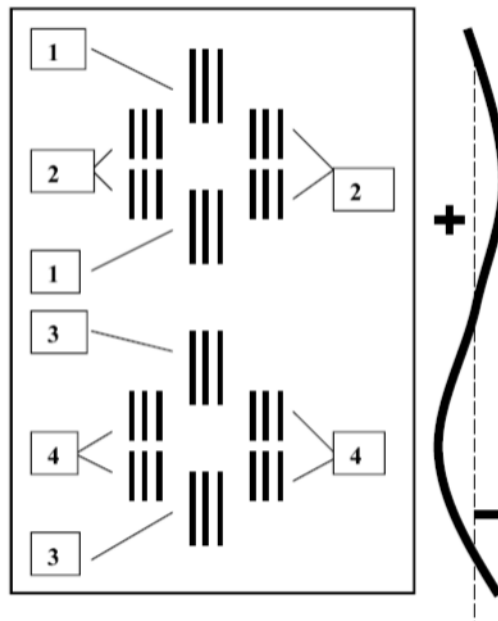
3.3.1.1. Primjeri ravnjanja dijelova strukture



Slika 7. Redosljed nanošenja toplinskih pruga na deformiranom polju

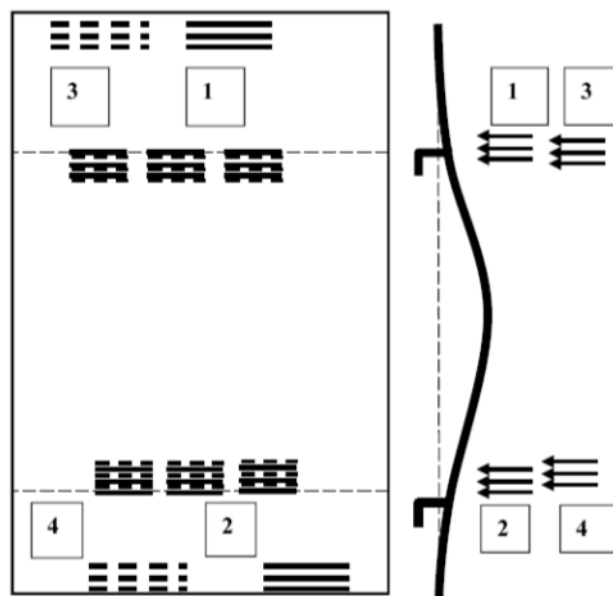
Slika 7 prikazuje redosljed nanošenja toplinskih mjesta na jedno polje palube s ispupčenjem prema gore. Prvo se nanose dva do tri toplinska mjesta (zahvat br. 1) u jednom polju. Nakon što se ta mjesta ohlade, nanose se daljnja toplinska mjesta (zahvat br. 2). Ukoliko ova mjesta nisu uspjela izravnati iskrivljenje, treba pristupiti povlačenju dodatnih toplinskih pruga, koje se nanose bočno (zahvati br. 3 i 4) od ranije postavljenjih toplinskih mjesta.

Česti slučaj koji se javlja kod bočnih stijena nadgrađa je taj da se neko polje deformira tako da je gornji dio ispupčen prema vani, a donji dio udubljen prema unutra. Kod takvih slučajeva prvo se nanose toplinska mjesta na ispupčeni dio bočne stijene nadgrađa i to sa vanjske strane. Donji dio koji je udubljen prema unutra ravna se tako da se toplinska mjesta nanose iznutra. Takav postupak prikazan je slikom 8.



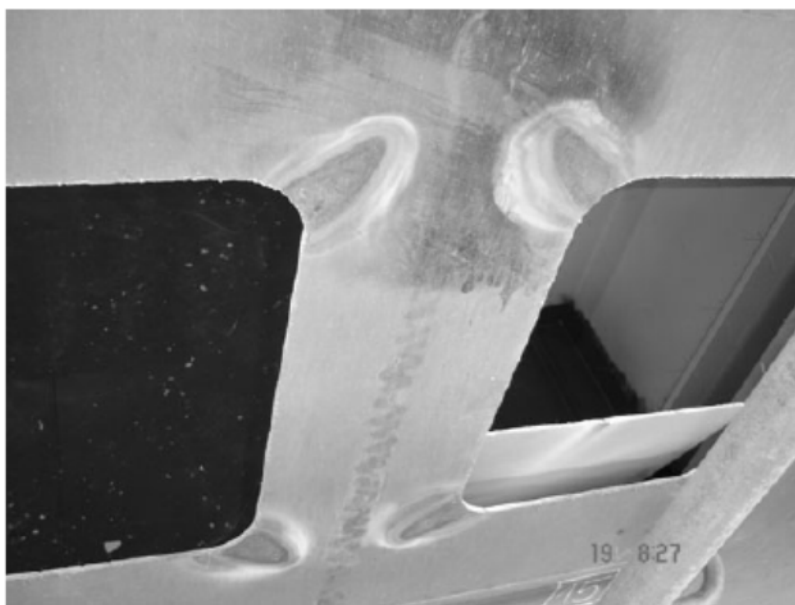
Slika 8. Ravnanje bočne stijene

Kod većih ispupčenja, nakon toplinskih pruga, treba povući toplinske pruge još jednom, pri čemu plamenik kod drugog povlačenja treba voditi pomaknut u stranu za pola širine plamenika i to u smjeru sredine ispupčenja. Takav slučaj prikazan je slikom 9.



Slika 9. Ravnanje velikih deformacija

Otklanjanje deformacija površina na kojima su izrezani otvori (prozori, vrata i sl.) provodi se tako da se najprije otklone kutne deformacije na ukrepama povlačenjem isprekidanih toplinskih pruga s plamenikom s jednim plamenom. Obično se koriste plamenici s tri plamena, tzv. grablje. Sljedeća faza za ravnanje zaostalih deformacija na uglovima izrezanih otvora jest postavljanje toplinskih klinova u uglove otvora prema slici 10.



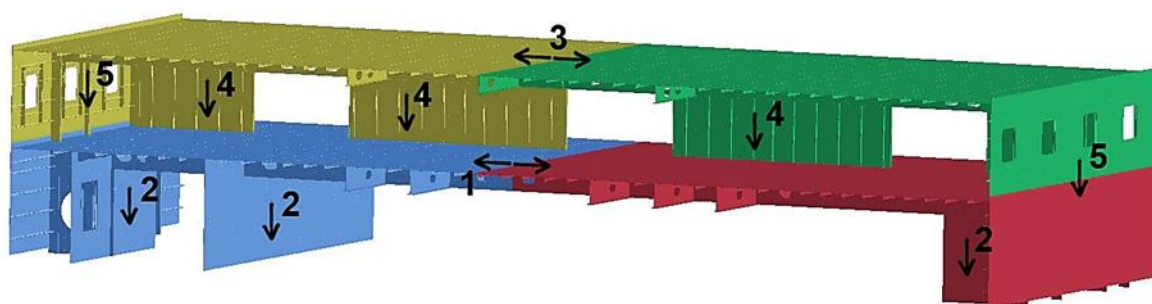
**Slika 10.** Ravnanje velikih deformacija otvora



### 3.3.1.2. Ravnanje blokova nadgrađa

Ravnanju blokova pristupa se nakon što je završeno zavarivanje cijelog bloka. Slobodni krajevi se odgrijavaju, a ako se ukaže potreba za ravnanjem, ravnaju se tek kada se uklope u cjelinu. Prvo se ravnaju palube pa stijene ispod. Smjer napredovanja je odozdo prema gore.

Slikom 11. prikazan je redosljed ravnanja karakterističnog bloka nadgrađa. Prvo se ravna donja paluba pa gornja. Nakon paluba ravnaju se stijene ispod te na kraju vanjska oplata.



Slika 11. Ravnanje bloka nadgrađa

## 4. OPREMANJE BRODA

Opremanje broda započinje već kod predmontaže sekcija, a završava primopredajom broda. U opremne radove ubrajaju se:

- cjevarski radovi, izrada i montaža cjevovoda
- mehanički radovi, montaža strojeva i uređaja
- električarski radovi (postavljanje kabela, elektro opreme, alarma, automatike...)
- bravarski radovi, izrada i montaža bravarske opreme (komunikacija, okna, prozori, metalna vrata, oprema za spašavanje, protupožarna oprema...)
- limarski radovi, izrada i montaža opreme (ventilacija, klimatizacija, ormari...)
- stolarski radovi, izrada i montaža opreme iz drva (stolovi, stolice, drveni namještaj, vrata, pregrade i obloge...)
- ličilački radovi, bojanje opreme i strukture broda
- izolaterski radovi

Radovi opremanja su međusobno zavisni, stoga je potrebno pridržavati se planskog redosljeda kako ne bi dolazilo do ponavljanja radova. Izrada pojedinih sklopova ili blokova opreme ne mora se nužno odvijati u specijaliziranim radionicama unutar brodogradilišta nego ih je moguće izvoditi u specijaliziranim kooperantskim tvrtkama.

Opremanje prostora nadgrađa obuhvaća sve unutarnje i vanjske opremne radove, od 8. palube do krova kormilarnice, kao i opremanje prostorija za posadu i putnike. Velik dio prostora nadgrađa zauzimaju kabinski moduli te nužne instalacije za život posade i putnika.

Osnovni pojmovi kod opremanja broda su faza i zona opremanja. Faza se odnosi na vrijeme, a zona na prostor

#### 4.1. Faze i zone opremanja

Zone opremanja odnose se na prostore, pri čemu je zona opremanja u predmontaži sekcija, na skladištu gotovih sekcija može biti i blok. Na navozu je zona opremanja nekoliko montiranih blokova, a na opremnoj obali kompletno nadgrađe.

Cilj ovakve raščlambe radova opremanja je da se većina radova pomakne u ranije faze procesa i na mjestima s boljim uvjetima opremanja kako bi se povećala proizvodnost te ujedno smanjilo vrijeme ukupnog procesa gradnje broda.

Četiri su osnovne faze opremanja:

- opremanje tokom izrade sekcija u predmontaži
- ugradnja opreme nakon okrupnjenja (skladište gotovih sekcija)
- građevno mjesto
- opremna obala

#### Opremanje tokom izrade sekcija

Suvremena brodogradilišta teže tome da ugrade što je moguće više opreme u fazi predmontaže sekcija. Opremanje pojedinih sekcija i količina opreme koja se ugrađuje ovisi o:

- vrsti i veličini sekcije
- vrsti, veličini i obliku dijelova opreme
- smještaju dijelova opreme na strukturu sekcije kako ne bi smetali pri kasnijoj montaži i drugim radovima koji se obavljaju u kasnijim fazama
- osjetljivosti opreme
- nosivosti transportnih sredstava i dizalica

U ovoj fazi opremanja, tokom izrade sekcija nadgrađa, ugrađuju se slijedeći elementi:

- cijevovodi, cijevni prolazi i priključci, nosači cijevovoda
- ventilacija i ventilacijski prolazi
- prozori, okna, vrata, nosači pregrada i obloga
- dijelovi elektroopreme (kabelske staze, nosači)
- nosači podkonstrukcije
- temelji i postolja uređaja

## Opremanje okrupljenog bloka

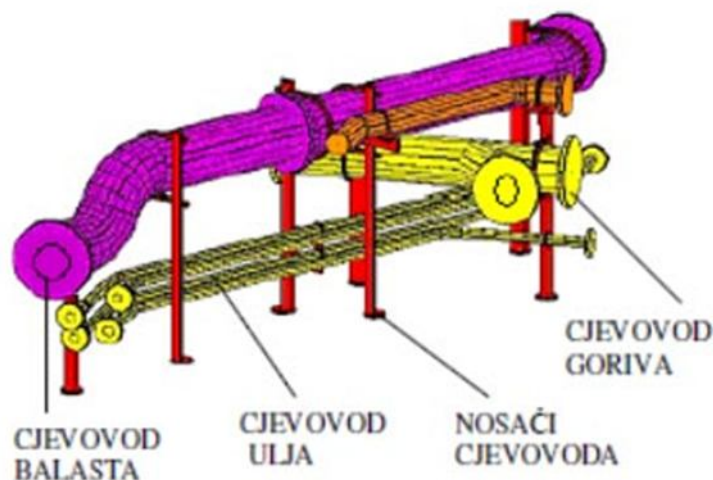
Ovo je faza u kojoj se ugrađuje oprema nakon završenih radova na strukturi predmontirane ili okrupljene sekcije. Oprema koja se ugrađuje u okrupljeni blok, u ovoj fazi je:

- cjevovodi i prolazi cjevovoda koje nije moguće ugraditi u prethodnoj fazi
- ventilacijski kanali
- platforme, nogostupi
- ograde i rukohvati
- vanjske i unutarnje stube i ljestve
- podkonstrukcije
- držači izolacije
- temelji i postolja uređaja

Nakon opremanja slijedi priprema te bojanje opremljenih sekcija i blokova u AKZ hali.

Faza nabave dijelova opreme, izrada te spajanje blokova opreme izvršavaju se neovisno i odvojeno od sekcija u koje će se ugraditi. Takav pristup omogućuje da se ranije počne sa izradom blokova, te se radovi vrše na pristupačnijim i sigurnijim mjestima što povećava produktivnost samog procesa opremanja.

Pod pojmom bloka opreme podrazumjeva se određena cjelina ili skup elemenata koji formiraju grupu odnosno jedan dio opreme koji ne osiguravaju njenu funkciju. Primjer bloka cjevovoda prikazan je slikom 12.



Slika 12. Blok cjevovoda

Module je moguće izraditi u radionicama brodogradilišta ili se naručuju kao gotov proizvod od vanjskih specijaliziranih isporučitelja opreme. Modul predstavlja funkcionalno izrađenu jedinicu. Modul sanitarnog prostora prikazan je slikom 13.



**Slika 13.** Sanitarni modul

Nakon bojanja bloka nadgrađa slijedi:

- postavljanje izolacije (oblaganje zidova)
- ugradnja kabinskih modula

### **Opremanje na građevnom mjestu**

Pod građevnim mjestom podrazumjeva se površina na kojoj se formira odnosno gradi trup broda i obavlja djelomično opremanje.

Opremanje na brodu prije zatvaranja broskog prostora obuhvaća:

- opremanje velikim elementima opreme koji ne mogu proći kroz vrata
- ugradnja klima centrale
- unošenje tankostijene ventilacije



**Slika 14.** Opremanje na brodu prije zatvaranja broskog prostora

#### Opremanje na brodu nakon zatvaranja broskog prostora

- ugradnja preostalih cjevovoda, ventilacije...
- ugradnja lifta
- ugradnja separatora otpadnih voda
- ugradnja hidrofora i pumpi protupožarnog sistema
- ugradnja pulta u kormilarnici
- ugradnja kabinskih modula
- ugradnja CO<sub>2</sub> jedinice
- postavljanje podne obloge
- ugradnja sve opreme koju nije bilo moguće ugraditi u prethodnim fazama

### Opremanje na opremnoj obali

Na opremnoj obali ugrađuju se preostali kabinski moduli, zatim se ugrađuju i spajaju cjevovodi, ventilacijski vodovi i elektrovodovi nakon kojih se na vodove spajaju kabinski moduli. Spajanje kabinskih modula na potrebne vodove obavlja se u servisnom prostoru, slika 15.



**Slika 15.** Servisni prostor kabinskih modula

### Završno opremanje

Ovo je faza rezervirana za ugradnju sitne i oštećenjima podložne opreme. Također u ovu fazu spadaju i ispitivanje brodskih sustava te predaja brodskih prostora.

- ugradnja opreme koju nije bilo moguće ugraditi u prijašnjim fazama
- završno opremanje prostorija

## 5. MONTAŽA PUTNIČKIH KABINA

U ovaj brod potrebno je ugraditi 256 kabinskih modula. Postoji nekoliko tipova kabinskih modula koji se ugrađuju, a ovise o njihovoj namjeni i smještaju. Tablicama 4 i 5 prikazani su tipovi kabinskih modula

**Tablica 3.** Kabine za prijevoz putnika

Tip kabine	Kapacitet putnika	Broj kreveta	Broj kabina
A2/B2	84	2	42
A4/B4	596	4	149
DIS	6	2	3
DIS	6	3	2
Suite/VIP	8	2	4
Ukupno	700		200

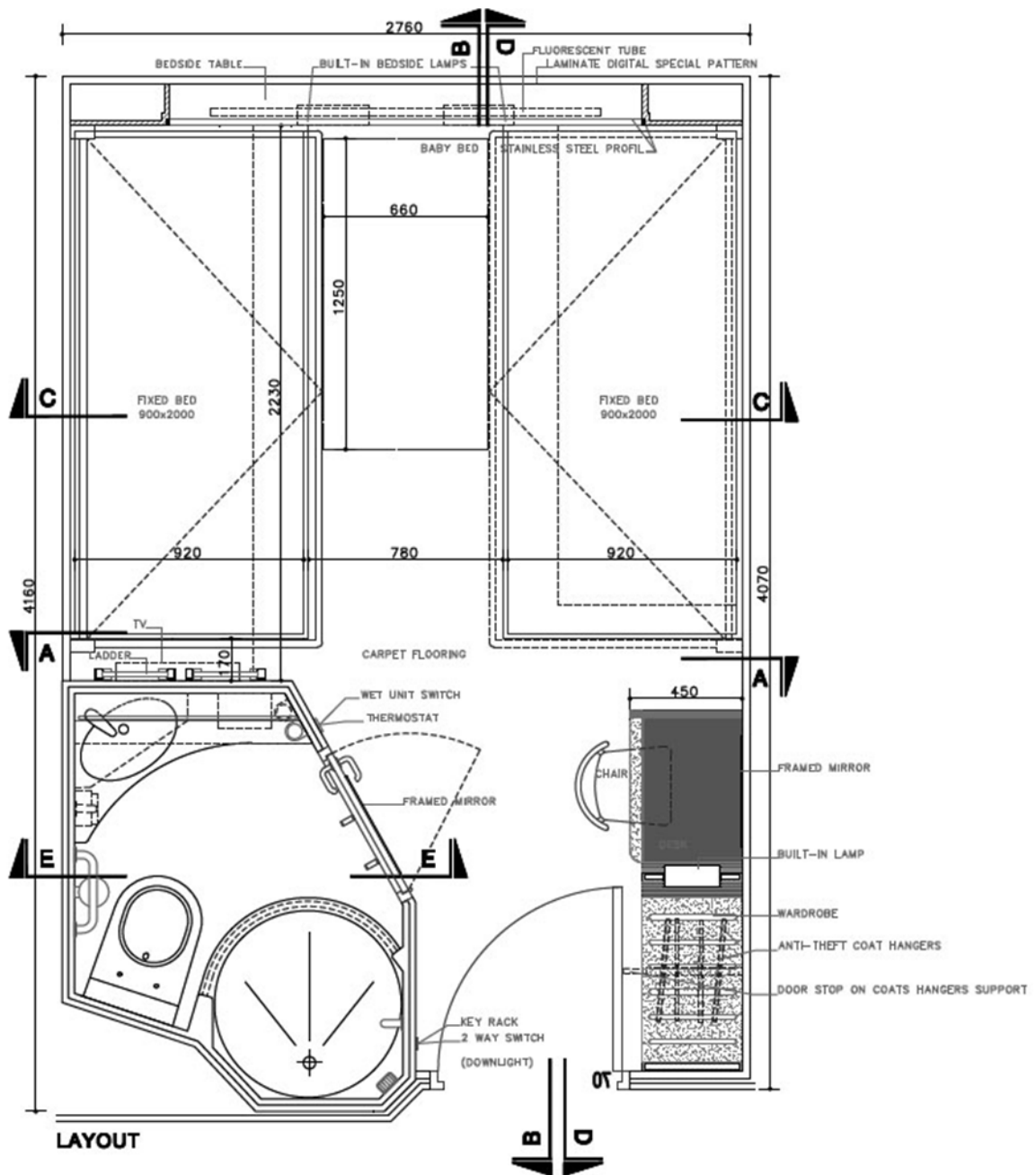
**Tablica 4.** Kabine za prijevoz posade

Članovi posade	Broj članova	Broj kreveta	Broj kabina
Capitan	2	1	2
1. Officer OCB	3	1	3
Officers OCA	4	1	4
Pilot	1	1	1
Crew	46	1	46
Ukupno	56		56

U karakteristični blok koji se analizira ugrađuju se kabinski moduli tipa A2/A4 i B4. Osnovna razlika između ova dva tipa modula je u tome što se moduli A nalaze uz bok broda te imaju prozor, dok su moduli tipa B bez prozora. Dimenzijama su jednaki, a razlika između A2 i A4 odnosno B2 i B4 je u broju kreveta, što ima mali utjecaj na masu modula. Masa četverokrevetnog kabinskog modula iznosi 1300 kg, dok dvokrevetnog iznosi 1200 kg.

Kabinski moduli se naručuju kao gotove jedinice te su odmah spremne za ugradnju na brod. Slikom 16. prikazan je tlocrt potpuno opremljenog kabinskog modula tipa B4, čije su dimenzije 2760 x 4160 x 2100 [mm]



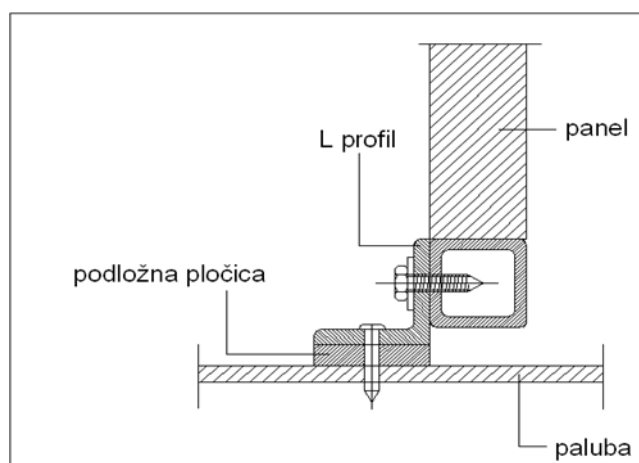


Slika 16. Tlocrt kabinskog modula B4

### 5.1. Uranjeno opremanje bloka kabinskim modulima

U ovoj fazi uranjenog opremanja, prvo se oblažu unutarnje strane bokova broda. Bokovi se izoliraju slojem meke mineralne vune nalijepljene na aluminijsku foliju. Izolacija od rubova bloka nadgrađa mora biti minimalno udaljena 100 mm, kako se ne bi prilikom naknadnog zavarivanja uništila. Tek nakon što se blokovi zavare na navozu, naknadno se stavlja sloj vune na mjestima gdje vunu nije bilo moguće do tada staviti. Nakon što se postavi izolacija, slijedi postavljanje kabinskih modula.

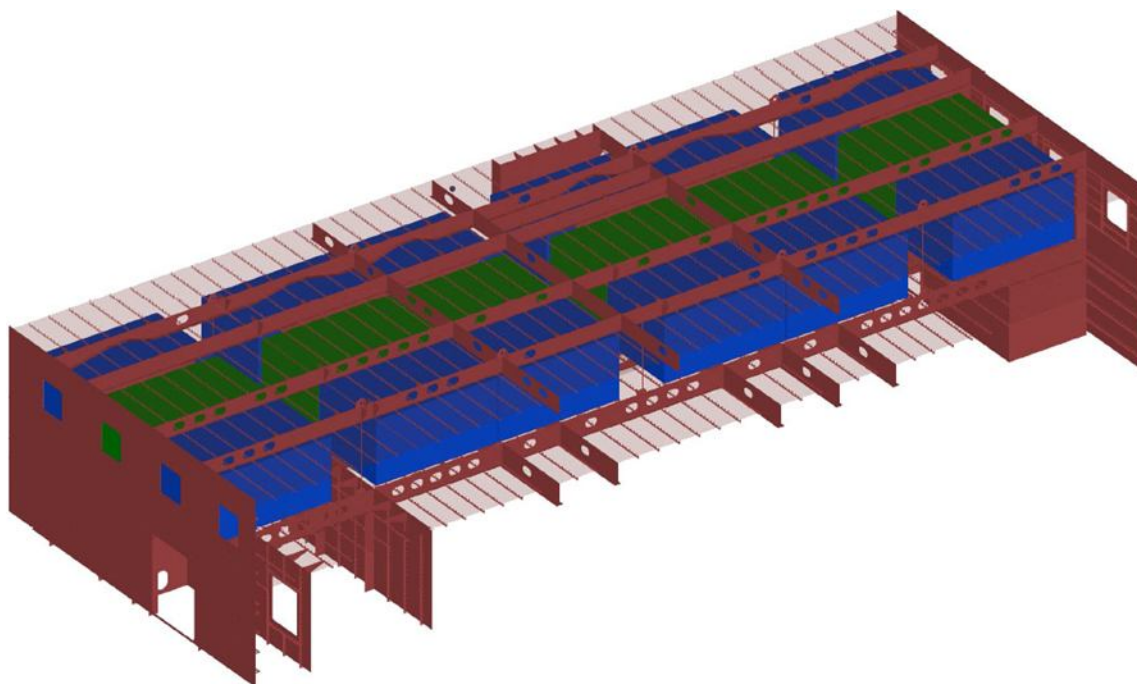
Kabinski moduli se transportiraju do bloka nadgrađa uz pomoć viličara. Nakon što viličar dostavi kabinski modul u blok, modul se transportira pomoću horizontalnog transportera na svoju poziciju. Kabina se za palubu učvršćuje pomoću „L“ profila, tako da se jedan kraj profila vijcima učvrsti za okvirnu gredu kabine, a drugi kraj čavlima za palubu. Čavli su od specijalnog čelika i zabijaju se pomoću specijalnog pištolja tako da bez izvijanja probijaju lim palube. Detalj spoja prikazan je slikom 17.



**Slika 17.** Spoj kabinskog modula i palube

Postavljanje kabinskih modula u fazi predmontaže ima ograničenja. Jedno se odnosi na položaj ruba boka te na širinu transportnih puteva kabina koje se ugrađuju u kasnijim fazama. Također treba voditi računa o kabinskim modulima koji će se ugrađivati u kasnijim fazama opremanja kako bi im transportni putevi ostali slobodni. Karakteristični blok je moguće opremiti sa maksimalno 18 (od ukupno 24) kabinskih modula u fazi predmontaže jer je potrebno ostaviti dovoljno mjesta za sekcijske zavare i naknadno toplinsko ravnjanje. Preostali kabinski moduli ugrađivati će se u fazama opremanja na navozu odnosno opremnoj obali.

Slikom 18. prikazan je karakteristični blok opremljen sa 18 kabina u fazi predmontaže. Tako opremljeni blok transportira se od međuskладиšta gotovih sekcija do navoza gdje se uz pomoć dizalica diže na navoz.



**Slika 18.** Blok opremljen sa 18 kabinskih modula

## 6. STRUKTURNA ANALIZA BLOKA NADGRAĐA

Svaka konstrukcija mora zadovoljiti mehaničke i funkcionalne uvjete. Strukturnom analizom razmatra se struktura odnosno ponašanje strukture ovisno o pobudi. Važna značajka strukturne analize metodom konačnih elemenata je brzina izvođenja proračuna, čime se u svakoj fazi analize može promatrati promjene u odzivu konstrukcije s obzirom na promjene u modelu. Sukladno tome, radi se korekcija modela sve dok se ne postignu zadovoljavajući rezultati. Dovoljnom brzinom analize, moguće je istovremeno razvijati više konstruktivnih varijanti te odabrati najpovoljnije rješenje. Prema tome, na osnovi postavljenih ciljeva, formiraju se kriteriji za ocjenu svojstva strukture. Sama analiza, u ovom radu izvodi se metodom konačnih elemenata. Na osnovi dobivenih rješenja ocjenjuje se polazno pretpostavljeno rješenje o kojem ovisi eventualno daljnje modificiranje strukture. Nakon korekcije, nanovo se provodi analiza i taj proces se ponavlja sve dok postavljeni ciljevi ne budu dostignuti.

### 6.1. Metoda konačnih elemenata

Metoda konačnih elemenata (MKE) spada u suvremene metode numeričke analize. Zasniva se na fizičkoj diskretizaciji, pri čemu se kontinuum s beskonačno stupnjeva slobode zamjenjuje diskretnim modelom međusobno povezanih elemenata s konačnim brojem stupnjeva slobode. Rješavanje inženjerskih problema svodi se tako na rješavanja sustava algebarskih jednadžbi s velikim brojem nepoznatih veličina u diskretnim točkama, što je vrlo pogodno rješavati računalima.

Analiza sistema spregnutih konačnih elemenata omogućava numeričku simulaciju odziva kontinuuma na zadane pobude. Fizičke veličine koje su obuhvaćene modelom dobivaju se u diskretnom obliku, odnosno u točkama koje proizlaze iz diskretizacije. Ove točke se nazivaju čvorovima. Modeliranjem objekta pomoću konačnih elemenata, zatim definiranjem rubnih uvjeta i opterećenja, kao i svih potrebnih mehaničkih svojstava materijala i konačno rješavanjem problema numeričkim metodama, dovodi nas do željenih rezultata.

Izrada modela bloka nadgrađa rađena je prema radioničkim nacrtima strukture pomoću programa FEMAP (*Finite Element Modeling And Postprocessing*). Da bi se

generirala mreža konačnih elemenata, potrebno je prvo izraditi geometriju modela. Geometrija, kao i mreža konačnih elemenata, će se doradivati tokom cijele izrade modela u svrhu njegovog poboljšanja.

Izrada mreže konačnih elemenata i definiranje modela je vrlo složen posao koji od analitičara zahtjeva dobro poznavanje problema, teoretskih osnova te mogućnosti programa pomoću kojih će se obaviti analiza. Model je moguće izraditi na mnogo načina, ali svaki od njih unosi, u većoj ili manjoj mjeri, odstupanja od stvarne konstrukcije. Te razlike se javljaju zbog prilagodbe modela kako bi dobili što kvalitetniji rezultat, ograničenja u mogućnostima računalnih programa i primjene same metode konačnih elemenata. Potrebno je dakle napraviti model koji će dobro aproksimirati oblik, geometriju te fizičke karakteristike strukture kao i rubne uvjete i opterećenja. Pri modeliranju nemoguće je zadovoljiti sve uvjete u potpunosti, zbog čega su kompromisi neizbježni.

Opterećenja predstavljaju pobudu fizičkog sistema, a u inženjerskim problemima su to uglavnom sile, momenti, pritisak i sl. Također opterećenja je moguće podijeliti u tri grupe:

- globalna opterećenja (ubrzanje, brzina, temperatura)
- opterećenja u čvorovima (sila/moment, pomak, brzina, temperatura, izvor topline)
- opterećenje po elementima (kontinuirano, pritisak, temperatura, izvor topline, konvekcija, radijacija)

Globalna opterećenja se primjenjuju na čitavo tijelo i iz tog razloga potrebno ih je definirati samo jednom. Ovakva opterećenja se najčešće koriste za simulaciju utjecaja gravitacije ili definiranje temperature okoline ili tijela za termičke proračune. U ovom radu razmatrana su dva slučaja opterećenja i u oba slučaja definirana su globalna opterećenja, ovisno o analizi koja se provodi. U prvom slučaju provest će se simulacija dizanja bloka pomoću dizalice u kojoj će blok biti opterećen dodatnom akceleracijom koja predstavlja silu dizanja bloka. U drugom slučaju analizirat će se blok opterećen svojom težinom, odnosno pod djelovanjem gravitacije.

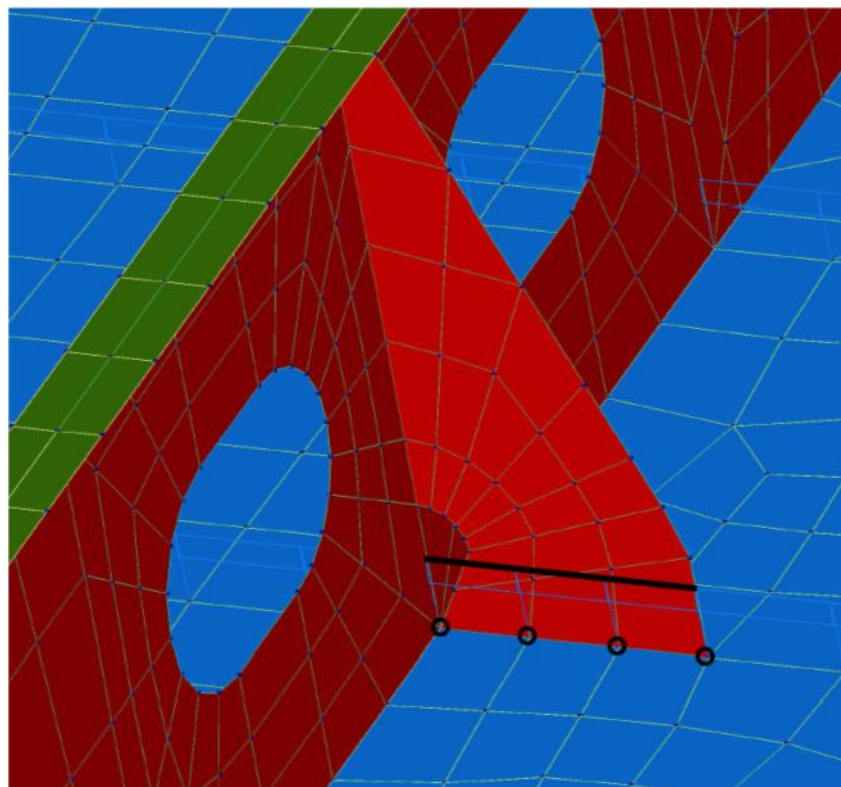
Spriječavanjem nekog od šest stupnjeva slobode gibanja modeliraju se slučajevi uklještenja, oslanjanja ili neke druge veze između tijela. Ograničenja se mogu definirati u globalnim i lokalnim koordinatnim sistemima, čime se olakšava modeliranje realnih uvjeta.

## 6.2. Mreža konačnih elemenata

Blok nadgrađa sastoji se od limova i profila, pa se tako i model sastoji od dvije vrste elemenata, a to su plošni (plate, ploča) i linijski (beam, greda) elementi. Plošni elementi definirani su s tri ili sa četiri čvora i pridruženom debljinom dok su linijski određeni sa 2 čvora uz pridružen poprečni presjek. Završni model, sastoji se ukupno od 136 694 elemenata; 12 573 linijskih te 123 680 četvrtastih i 441 trokutastih plošnih elementa.

## 6.3. Odstupanja modela

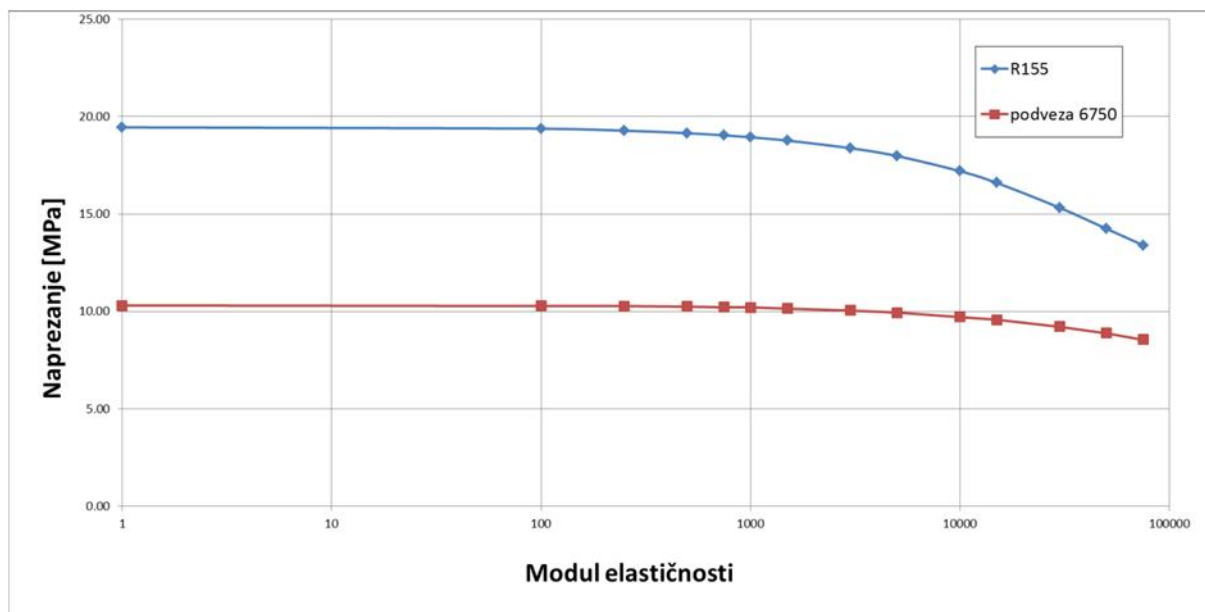
Prilikom modeliranja limovi su modelirani pločastim elementima, dok su profili modelirani grednim elementima. Takav način modeliranja olakšava izradu modela, međutim na nekim mjestima spajanje elemenata nije moguće zbog definicije linijskih elemenata. Jedan takav detalj prikazan je slikom 19.



**Slika 19.** Detalj spoja koljena i uzdužnjaka palube

Koljeno se u stvarnosti montira na vrh uzdužnjaka, koji je prikazan debljom crnom linijom. Međutim kako su linijski elementi, kojima su definirani uzdužnjaci, definirani grednim elementima odnosno čvorovima grede, potrebno je bilo produžiti (spustiti) elemente koljena do razine palube.

Kako bi se odredio utjecaj ugrađenih kabina na deformacije promatranog bloka, napravljena je analiza u kojoj su promatrana naprezanja na rebru i podvezi ispod 8. palube. Promatrana su naprezanja u referentnim elementima, te kako se ona mijenjaju ovisno o modulu elastičnosti materijala koji je pridružen kabinskim modulima. Dobiveni dijagram prikazan je slikom 20.

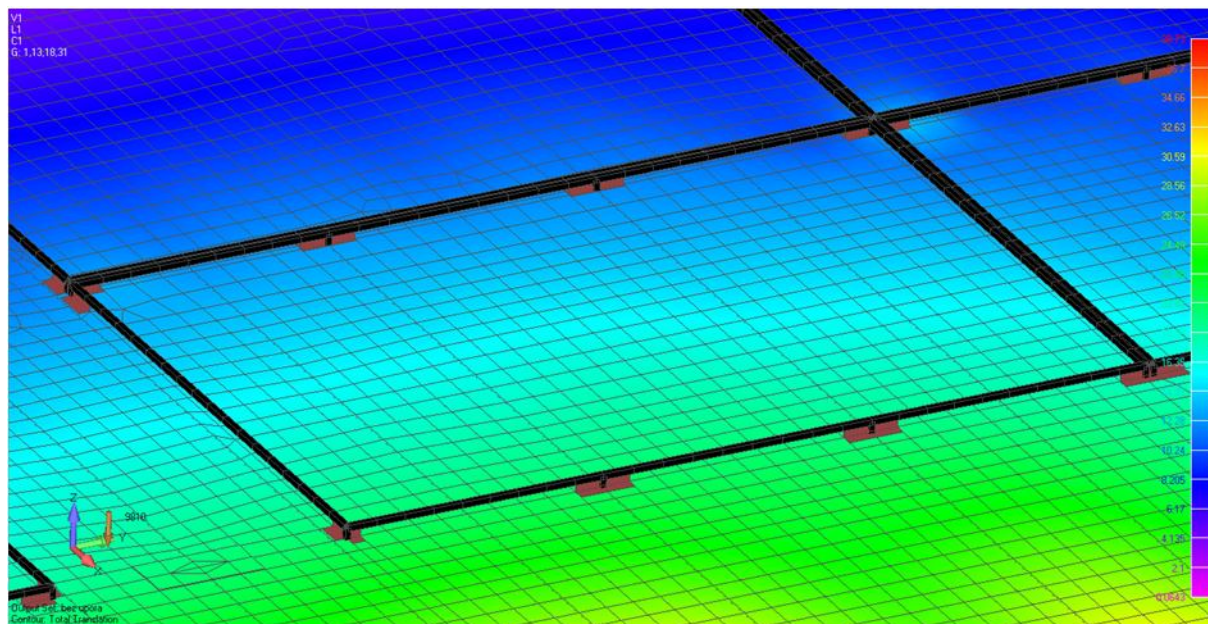


**Slika 20.** Dijagram modula elastičnosti kabina na naprezanja

Na osnovi tog dijagram odabran je modul elastičnosti kabinskih modula čime je njihov utjecaj na čvrstoću bloka zanemariv. Odabrani modul elastičnosti za materijal kabina i profila pomoću kojih su one spajane iznosi 100 MPa. Kako bi masa odgovarala stvarnoj masi kabina, gustoća materijala kabina iznosi  $3,26 \cdot 10^{-9} \text{ t/mm}^3$

Također, u stvarnosti L profili su kontinuirani i protežu se duž bridova dna kabina, dok je kod modela uzeto samo nekoliko elemenata profila, čime je smanjen njihov utjecaj na krutost palube. Takav spoj palube sa kabinama prikazan je slikom 21.





**Slika 21.** Spoj kabina sa palubom pomoću grednih elemenata

Maske na rebrima i pregradama, kao i prolazi uzdušnjaka kroz rebra nisu modelirani radi pojednostavljenja mreže.

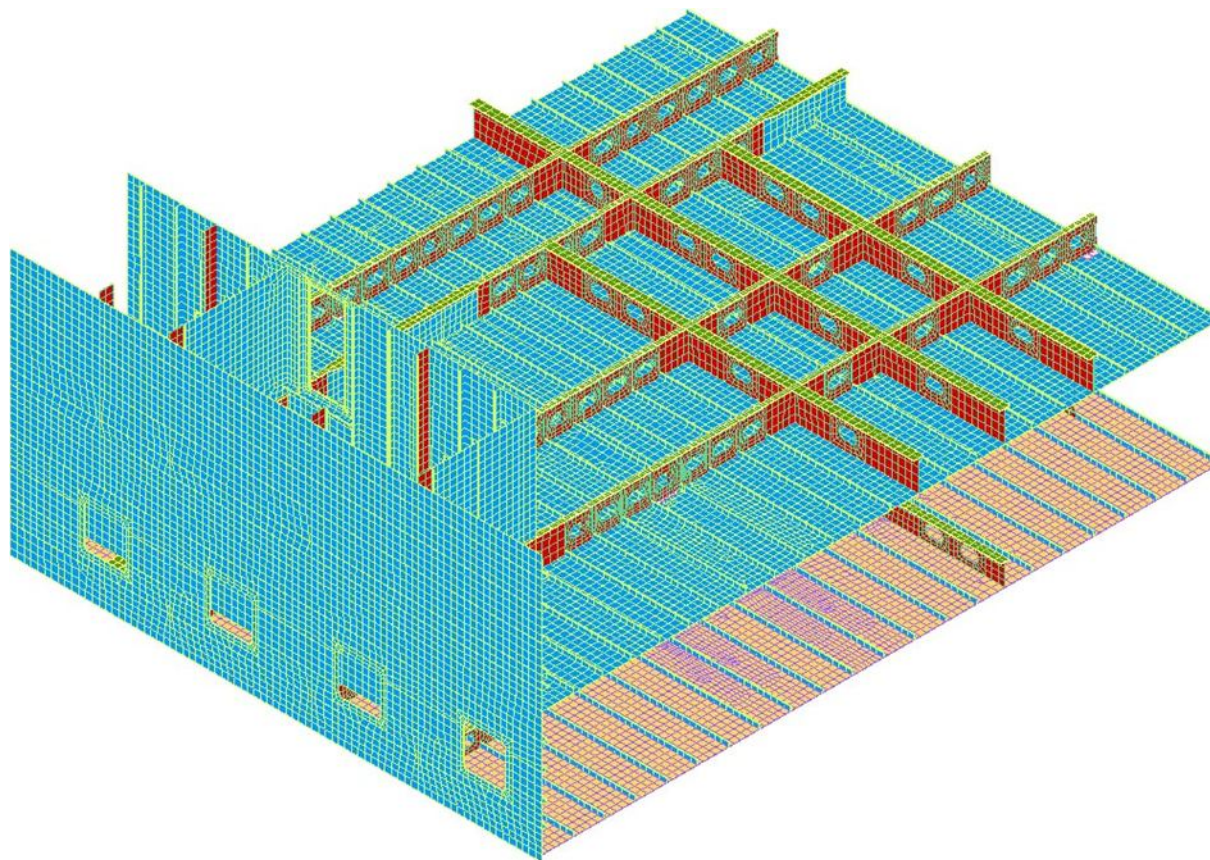
Masa bloka nadgrađa:

- struktura 75,3 t
- dodatni materijal zavarivanja (4% strukture) 3 t
- ugrađena oprema (cijevi, elektrotrase, nosači, temelji...) 5 t
- UKUPNO 83,3 t

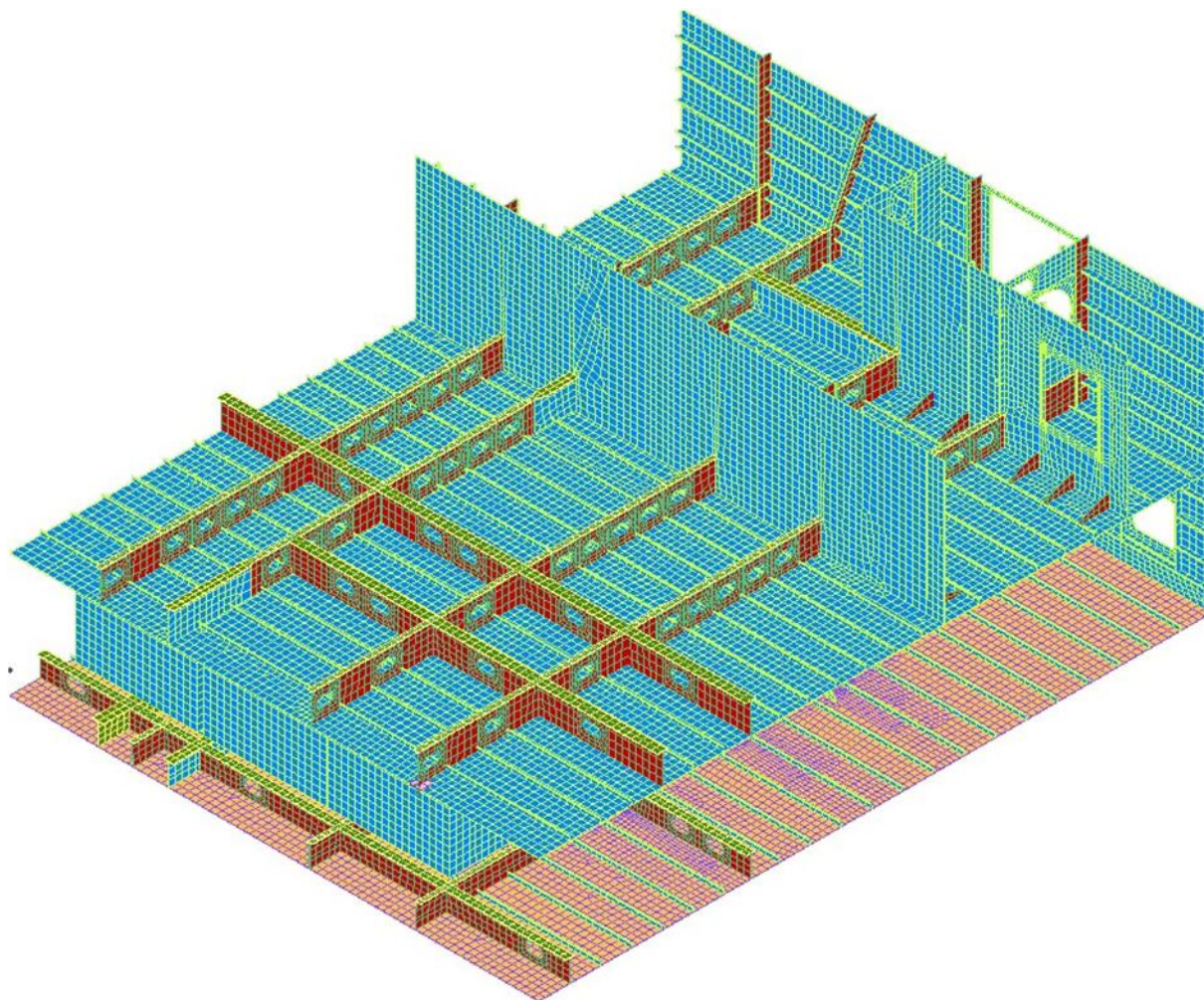
Da bi se u modelu ostvarila dobila ukupna masa opremljenog bloka (bez kabina) potrebno je povećati gustoću čelika, za materijal koji je pridružen strukturi bloka nadgrađa, na  $8,68 \cdot 10^{-9} t/mm^3$ , odnosno za 10,62%. Povećanjem gustoće, masa zavara i ugrađene opreme ta je dodatna masa uzeta u obzir i jednoliko raspoređena. Young-ov modul elastičnosti za materijal pridružen strukturi bloka iznosi 210 000 MPa.



Mreža konačnih elemenata bloka nadgrađa prikazna je slikama 22 i 23. Radi boljeg prikaza, blok je podjeljen na lijevi i desni polublok.



**Slika 22.** Mreža konačnih elemenata, lijevi polublok nadgrađa



**Slika 23.** Mreža konačnih elemenata, desni polublok nadgrađa

## 7. ANALIZA REZULTATA

Prilikom izrade bloka, radi okretanja u pravi položaj, na palubu se zavaruju uške koje će se koristiti i u kasnijim fazama opremanja te transporta opremljenog bloka. Nadalje, gotova sekcija nadgrađa, prije samog opremanja, odlaže se na upore koje će se koristiti tijekom faze opremanja. Iz tih razloga, da se tokom cijelog procesa proizvodnje, od izrade do opremanja koriste iste uške i iste upore, sa analizom će se krenuti od cilja, odnosno potpuno opremljenog bloka, prema neopremljenom bloku. Potpuno opremljen blok sastoji se od 18 kabinskih modula te ostalom ugrađenom opremom koja je uzeta u obzir s povećanjem gustoće čelika.

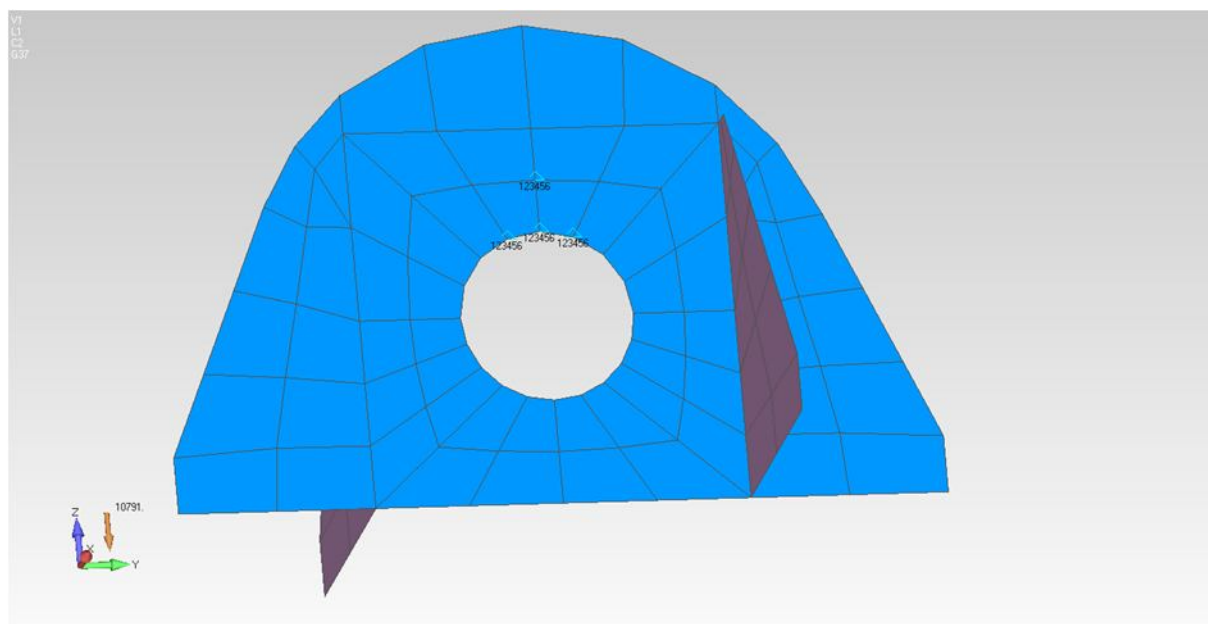
Prilikom analiziranja, postojat će dva slučaja opterećenja. Prvi slučaj opterećenja je dizanje tereta, kada je blok opterećen dodatno akceleracijom koja predstavlja dizanje bloka. Akceleracije prilikom dizanja ne smiju prelaziti  $0,1g$ , pa će blok biti opterećen ukupnom akceleracijom  $1,1 \cdot g$ . Drugi slučaj je blok opterećen samo svojom težinom i težinom kabina, kada će se promatrati naprezanja i deformacije bloka oslonjenog na uporama. Tada je blok opterećen globalno, akceleracijom  $1 \cdot g$ . Redosljed analiza dan je tablicom 5.

**Tablica 5** Analizirani scenariji

	Sl.	Scenarij	Opterećenje	Br upora	Kabine	Rubni uvjeti	
podizanje bloka - analiza potrebnog broja uški (7.1)	1.	dizanje opremljenog bloka s 4 uške (7.1.1)	$1,1 \cdot g$	-	18	spriječen pomak čvorova na uškama	
	2.	dizanje opremljenog bloka s 8 uški (7.1.2)	$1,1 \cdot g$	-	18		
podizanje bloka - analiza potrebnog broja upora (7.2)	3.	dizanje opremljenog bloka sa uporama na R158 (7.2.1.)	$1,1 \cdot g$	3 (R158)	18		
	4.	dizanje opremljenog bloka sa uporama na R149 i R158 (7.2.2)	$1,1 \cdot g$	3(R158), 2(R149)	18		
	5.	dizanje bloka sa uporama bez kabina (7.2.3)	$1,1 \cdot g$	3(R158), 2(R149)	-		
oslonjeni blok - analiza potrebnog broja upora (7.3)	6.	oslanjanje ukrepljenog i opremljenog bloka bez upora (7.3.1)	$g$	-	18		spriječen pomak čvorovima na $Z = 0$
	7.	oslanjanje ukrepljenog i opremljenog bloka pomoću upora ispod 8 palube (7.3.2)	$g$	3(R158), 2 (R149)	18		
	8.	oslanjanje ukrepljenog bloka bez kabina (7.3.3)	$g$	3(R158), 2 (R149)	-		

### 7.1. Podizanje bloka

Uške za transport bloka se postavljaju iznad rebara R149 i R158. Dimenzije uški ovise o masi bloka koji se diže. Naprezanja koja se ostvaruju prilikom podizanja bloka uvelike ovise o polažaju i broju uški. U oba slučaja blok će biti opterećen akceleracijom od  $1,1 g$  koja iznosi  $10791 \text{ [mm/s}^2\text{]}$ . U prvom slučaju blok će se dizati pomoću 4 uške, a u drugom slučaju pomoću 8 uški. Rubni uvjeti postaviti će se tako da će se na uškama fiksirati četiri čvora, kako je prikazano slikom 24.

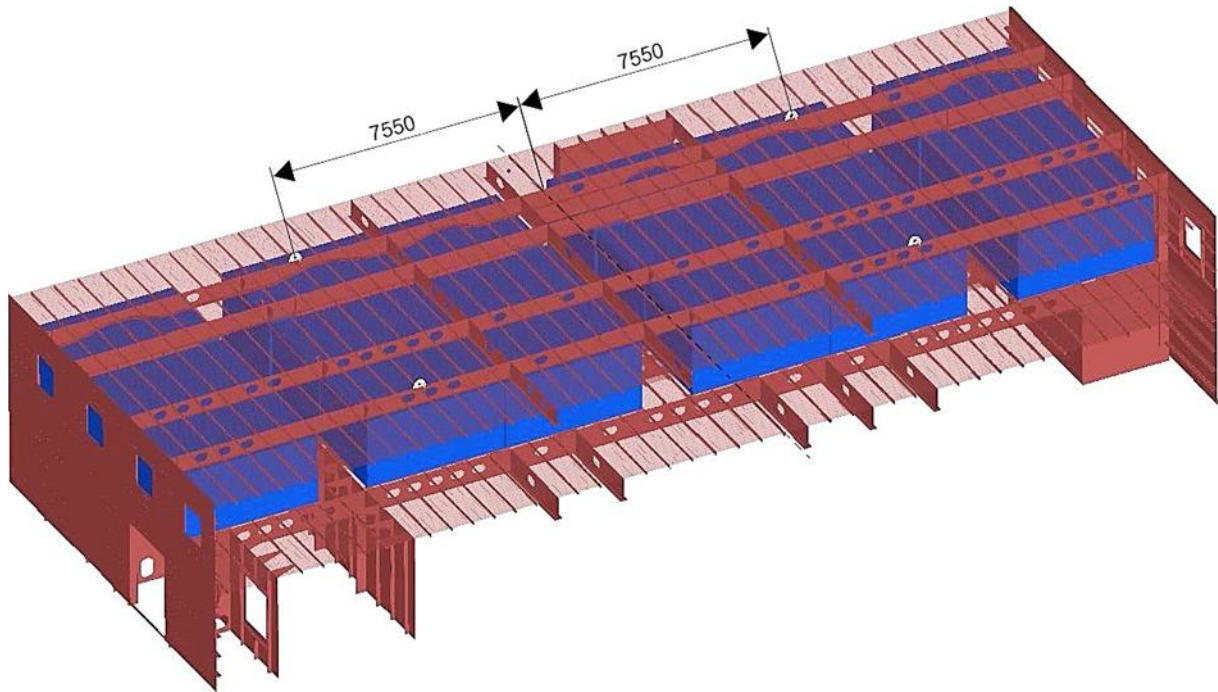


**Slika 24.** Rubni uvjeti na uškama, fiksirana 4 označena čvora



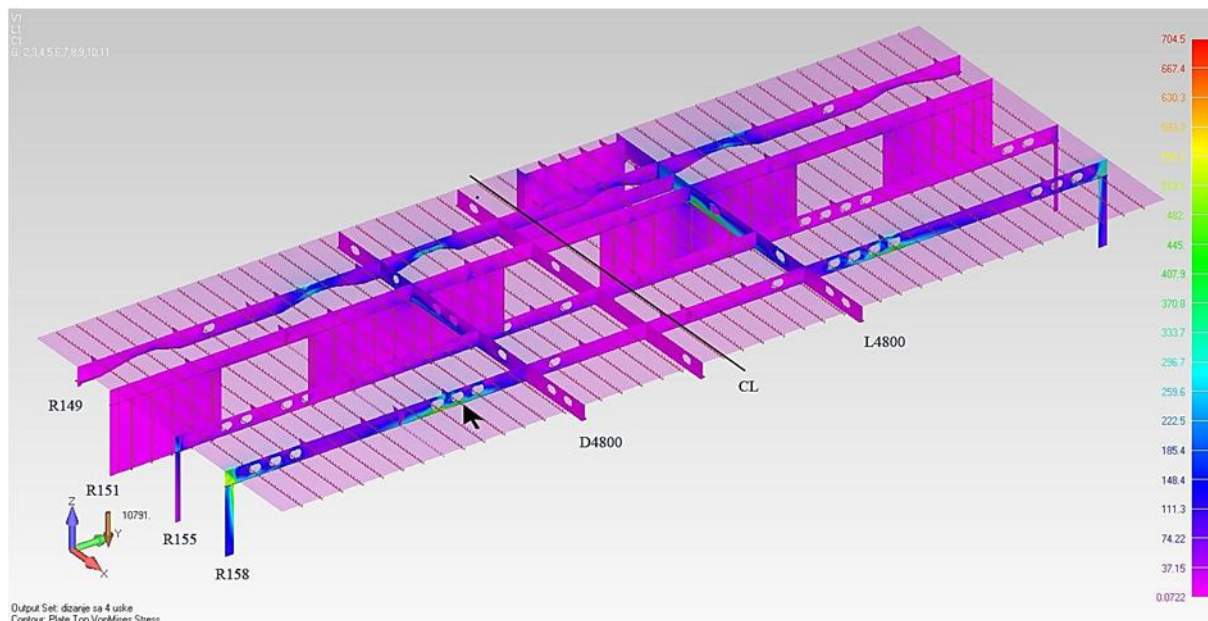
### 7.1.1. Dizanje opremljenog bloka sa 4 uške, bez upora

Model, s položajem uški, prikazan je slikom 25.

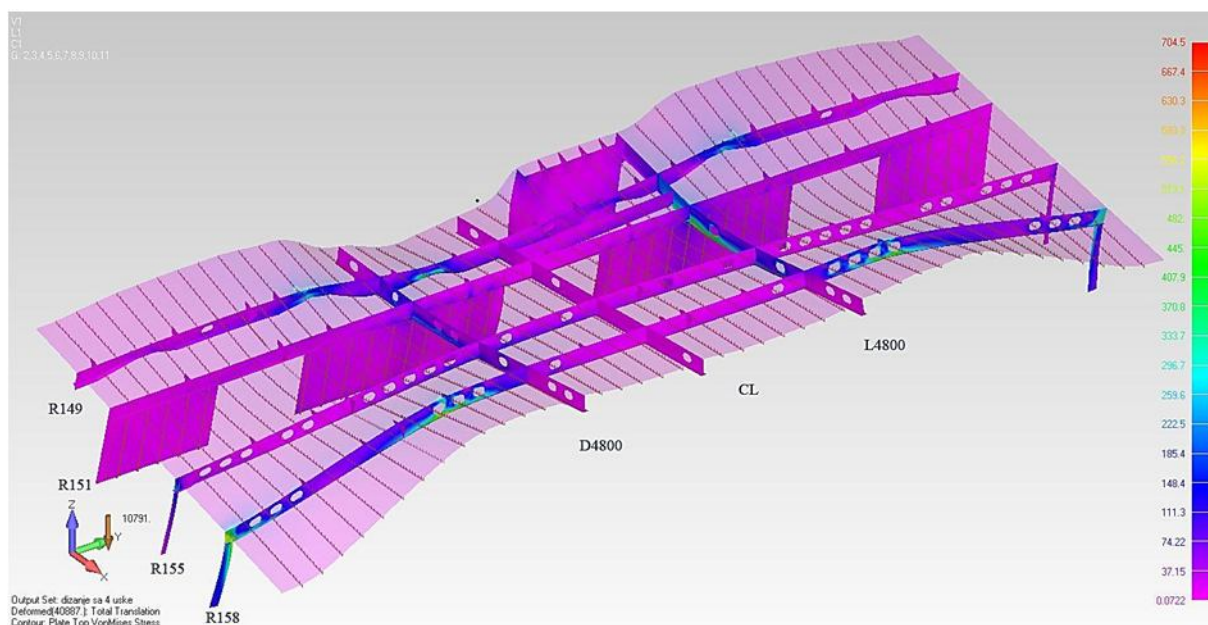


**Slika 25.** Model sa 4 uške

Slikom 26 prikazana su ekvivalentna naprezanja na gornjoj palubi i stijenama ispod, a slikom 27 ta ista naprezanja, ali na deformiranom modelu. Radi boljeg prikaza, deformacije su znatno uvećane.



**Slika 26.** Ekvivalentna naprezanja bez deformacija, dizanje pomoću 4 uške

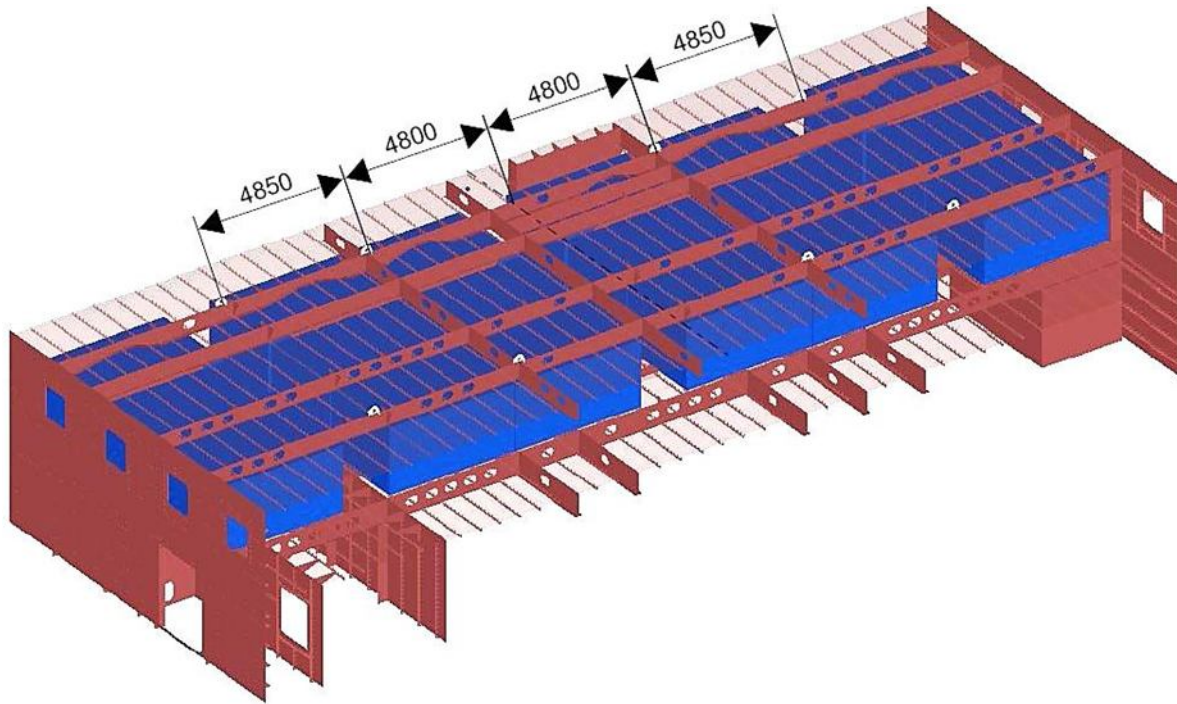


**Slika 27.** Ekvivalentna naprezanja sa deformacijama, dizanje pomoću 4 uške

Najveća naprezanja koja se pojavljuju iznose 704 MPa i nalaze se na R158, što je daleko više od dopuštenih 235. Rebra R149 i R158 te podveza L4800 su dijelovi konstrukcije na kojima su naprezanja također iznad dopuštenih.

### 7.1.2. Dizanje opremljenog bloka sa 8 uški, bez upora

Model, s položajem uški, prikazan je slikom 28.

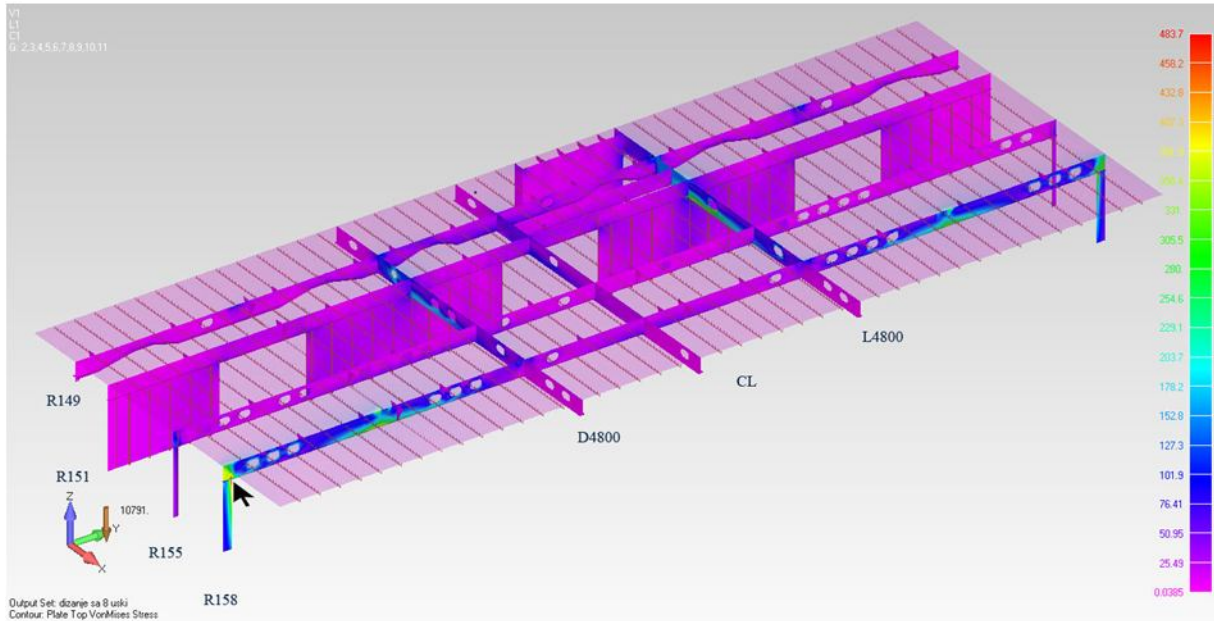


**Slika 28.** Model sa 8 uški

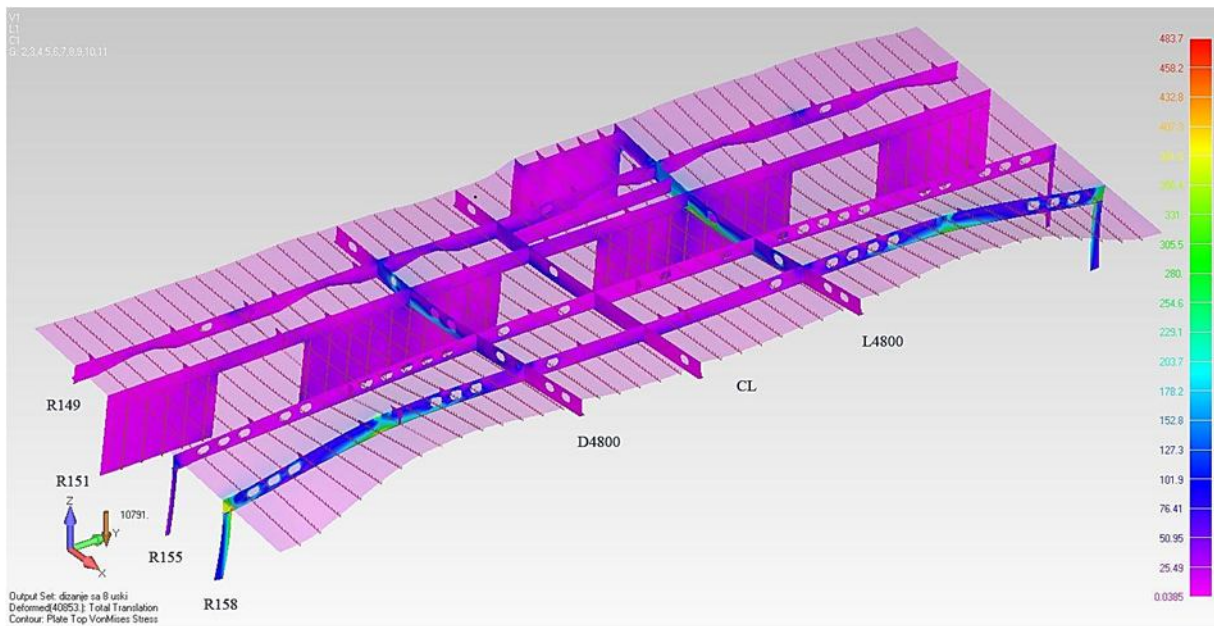
Slikom 29 prikazana su ekvivalentna naprezanja na gornjoj palubi i stijenama ispod, a slikom 30 ista ta naprezanja, ali na deformiranom modelu. Radi boljeg prikaza, deformacije su znatno uvećane.

Najveća naprezanja koja se pojavljuju iznose 484 MPa, što je još uvijek više od dopuštenih 235, Rebro R158 te podveza L4800 su i dalje dijelovi konstrukcije na kojima su vidljiva područja gdje su naprezanja veća od dopuštenih.





Slika 29. Ekvivalentna naprezanja na gornjoj palubi bez deformacija, dizanje pomoću 8 uški

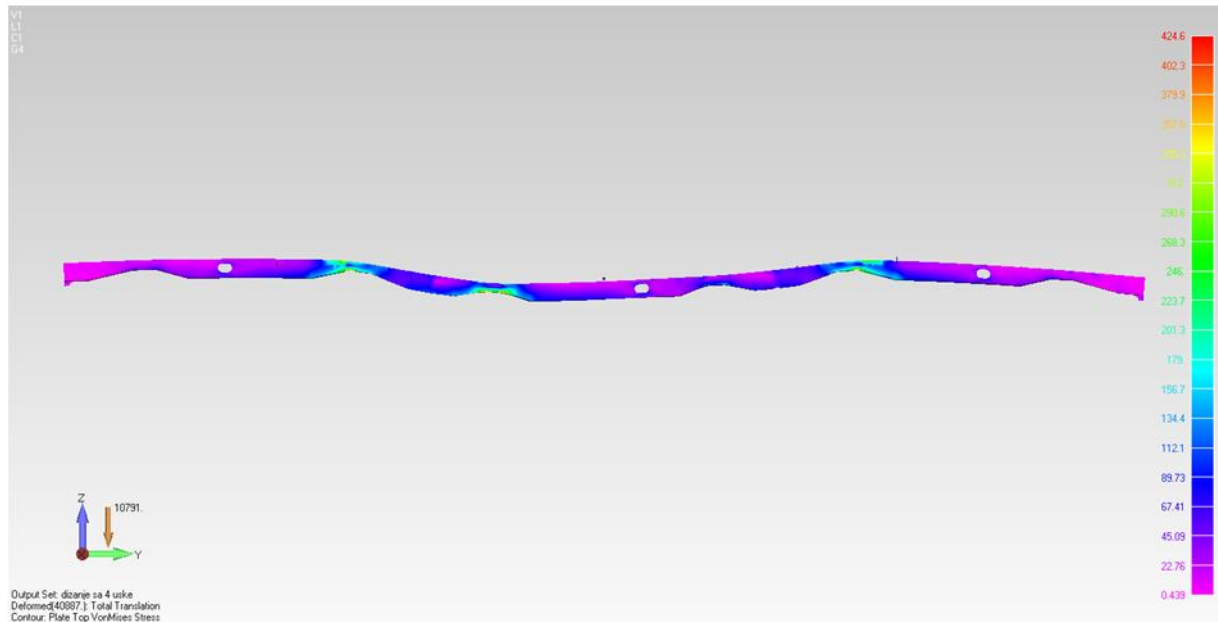


Slika 30. Ekvivalentna naprezanja sa deformacijama, dizanje pomoću 8 uški



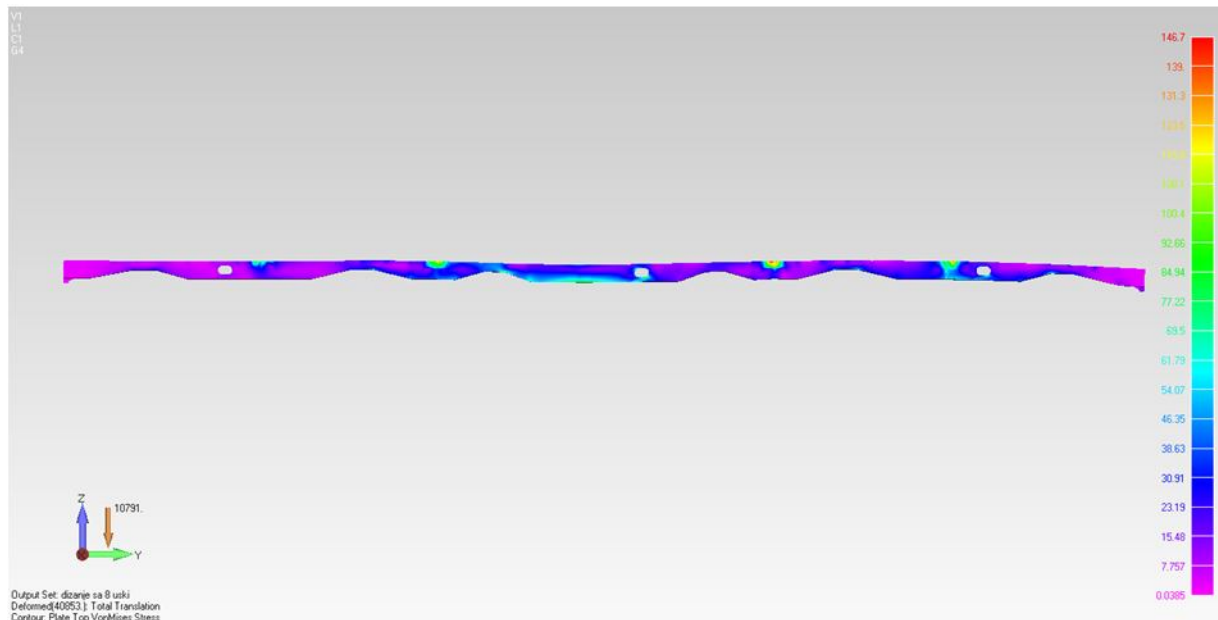
### 7.1.3. Usporedba rezultata

U ovom dijelu bit će prikazani elementi konstrukcije u kojima se pojavljuju naprezanja veća od dopuštenih pri dizanju bloka bez upora.

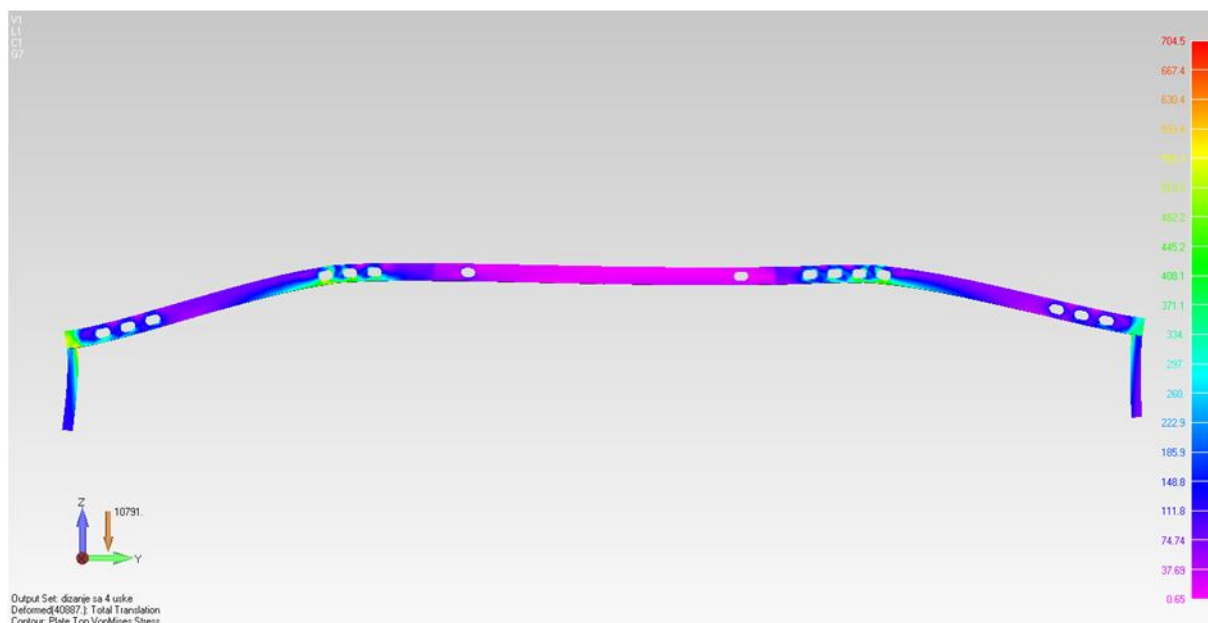


The image shows a finite element analysis (FEA) stress contour plot of a rib structure. The rib is a long, thin, curved component with four stiffeners. The plot displays the equivalent stress distribution across the rib, with a color scale on the right ranging from 0.439 (purple) to 424.6 (red). The highest stress concentrations are visible at the stiffener locations, reaching up to 424.6. A coordinate system is shown in the bottom left, with Z pointing up, Y pointing right, and a downward arrow labeled 10791. The text at the bottom left reads: "Output Set: dizanje sa 4 uske", "Deformed(40987): Total Translation", and "Contour: Plate Top VonMises Stress".

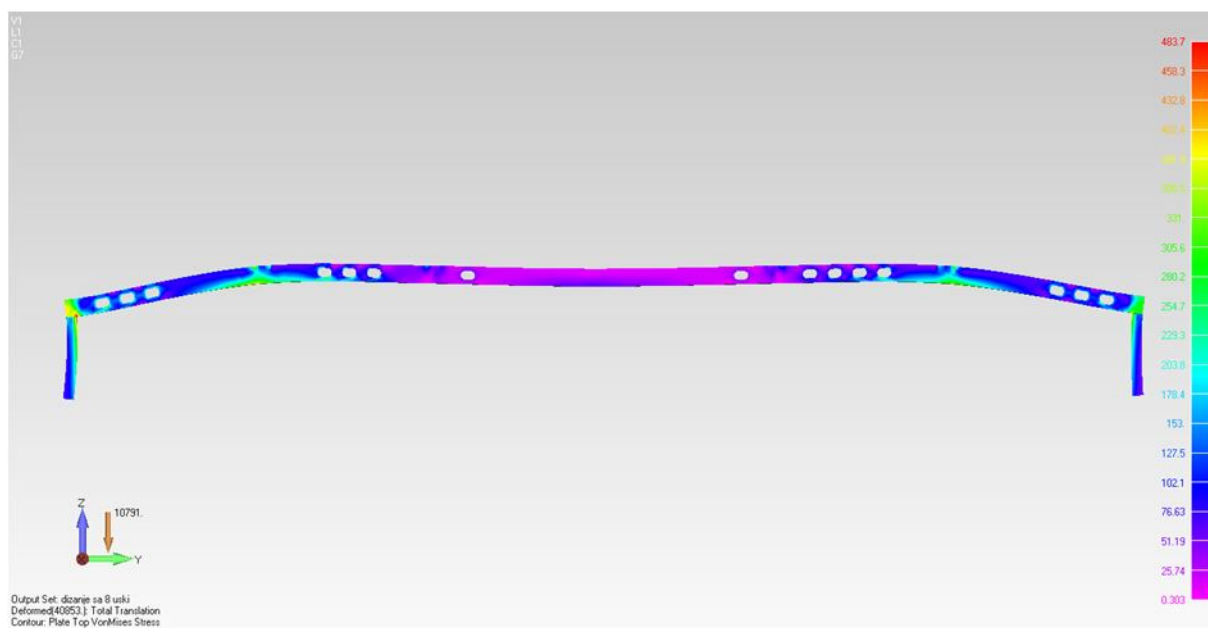
**Slika 31.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R149, dizanje pomoću 4 uške



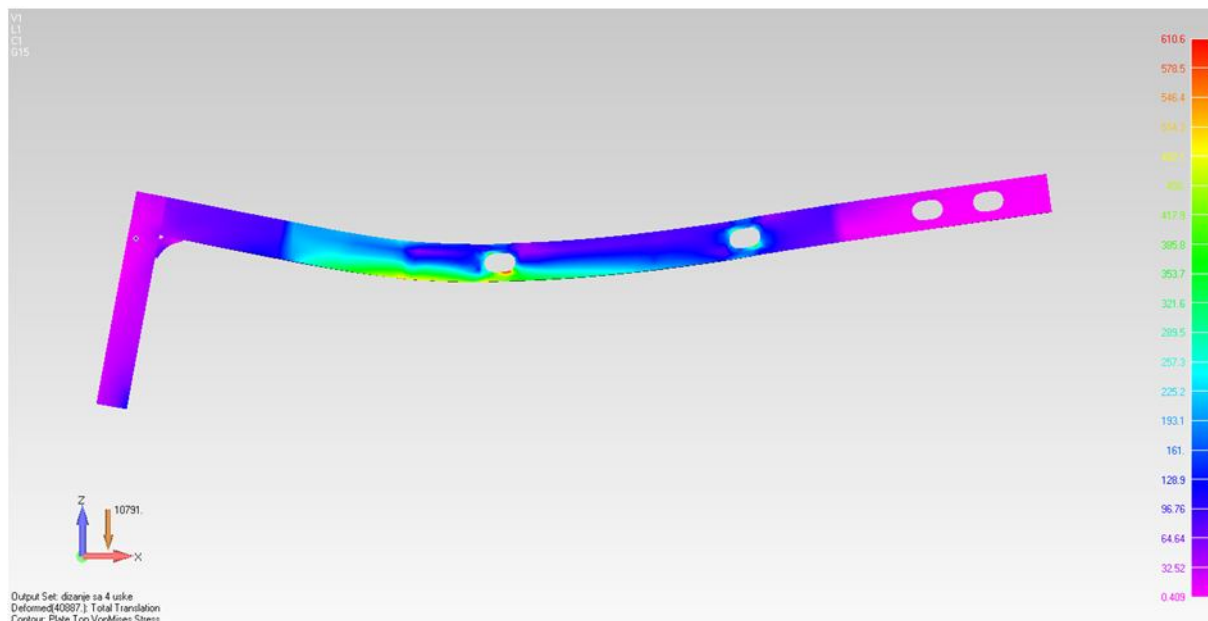
**Slika 32.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R149, dizanje pomoću 8 uški



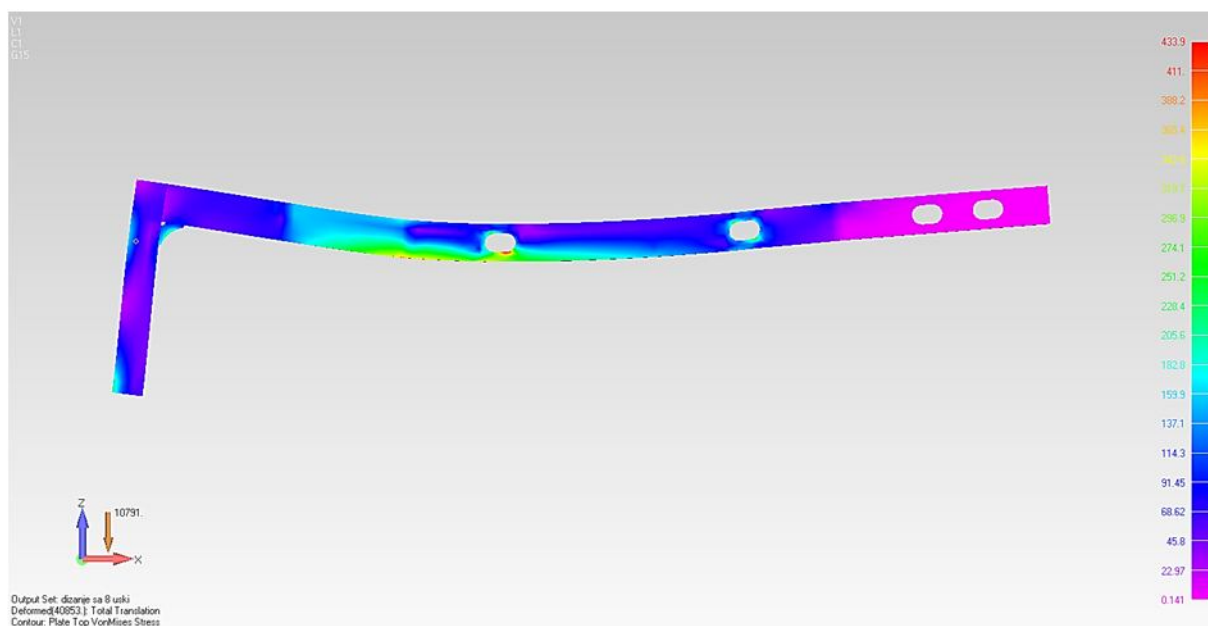
**Slika 33.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R158, dizanje pomoću 4 uške



**Slika 34.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranom rebru R158, dizanje pomoću 8 uški



**Slika 35.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranoj podvezi L4800, dizanje pomoću 4 uške



**Slika 36.** Ekvivalentna naprezanja u deformiranoj podvezi L4800, dizanje pomoću 8 uški

Tablicom 6 dane su vrijednosti naprezanja u elementima rebara R149 i R158. U prvom stupcu definiran je položaj elementa od lijevog boka do desnog, gdje je 0 lijevi bok gledano od krme prema pramcu (u smjeru R149 prema R158). Naprezanja su promatrana u prvim elementima do palube u razmaku od 1,525 m

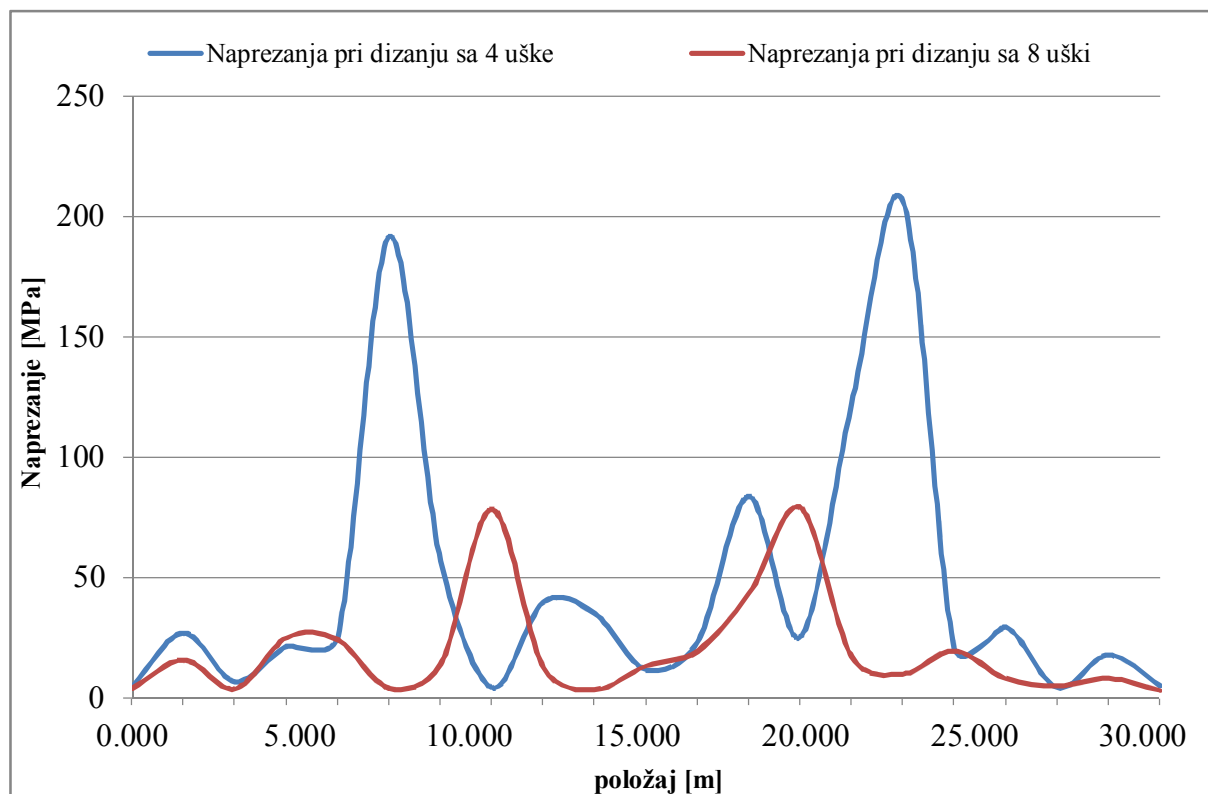
**Tablica 6** Naprezanja u elementima rebara

$\Delta$ [m]	Naprezanja pri dizanju sa 4 uške, bez upora [MPa]		Naprezanja pri dizanju sa 8 uški, bez upora [MPa]	
	R149	R158	R149	R158
0.000	5.14	310.01	3.93	253.03
1.525	26.94	25.32	15.82	20.00
3.050	6.82	53.87	3.74	66.33
4.575	21.47	61.19	25.04	67.58
6.100	25.42	62.01	24.10	48.76
7.625	191.79	137.86	4.09	22.23
9.150	57.03	16.65	14.02	16.92
10.675	4.31	38.45	78.52	54.85
12.200	39.85	7.92	12.69	15.32
13.725	35.16	3.43	3.44	12.31
15.250	11.65	9.07	13.40	6.83
16.775	23.25	14.92	19.49	13.27
18.300	83.84	17.58	43.24	17.62
19.825	25.39	35.96	79.14	67.16
21.350	122.56	26.59	17.10	16.82
22.875	206.45	142.70	9.97	26.53
24.400	20.67	89.53	19.62	53.07
25.925	29.52	76.41	8.02	79.58
27.450	4.32	63.48	4.93	77.29
28.975	17.86	34.95	8.11	24.65
30.500	5.09	461.25	3.21	326.93

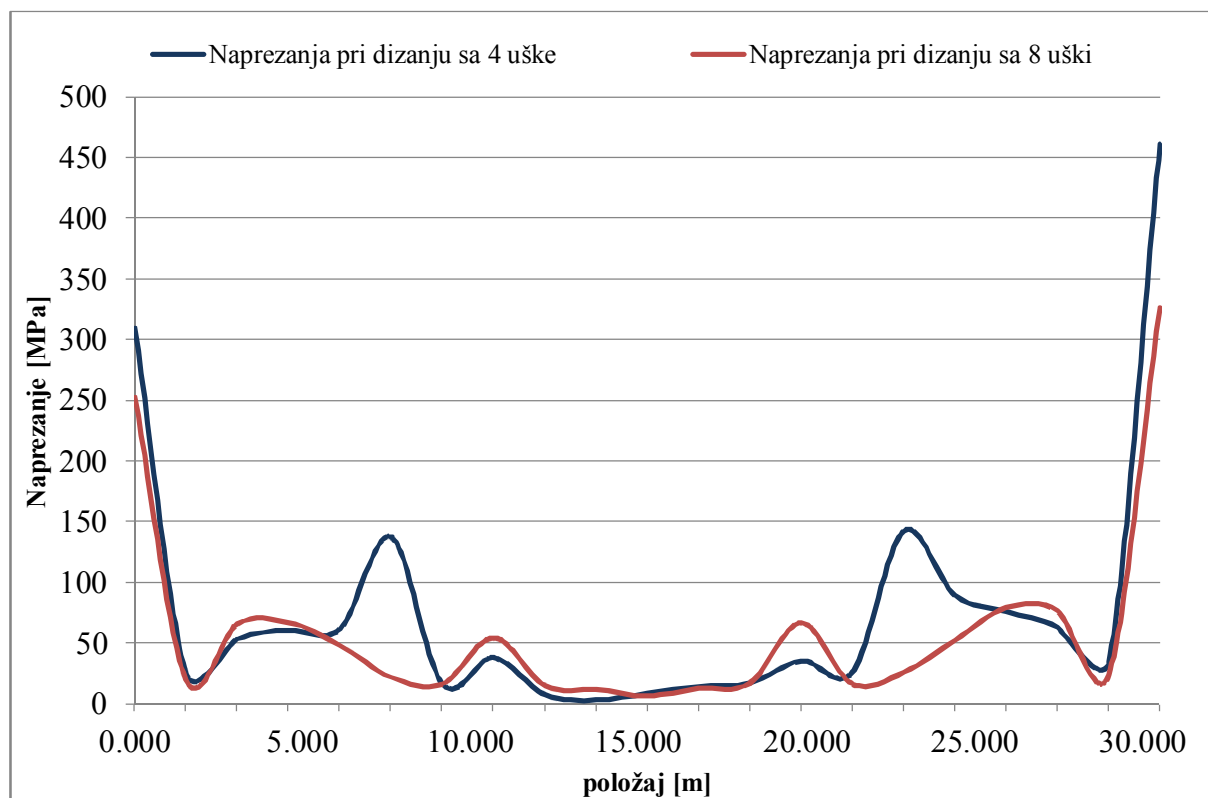
Tablicom 7 prikazana su naprezanja u elementima podveze L4800. Promatrana su naprezanja u elementima koji se nalaze do palube u razmaku od 1m, po duljini podveze, gledano od krmene strane prema pramčanoj.

**Tablica 7.** Naprezanja u elementima podveze L4800

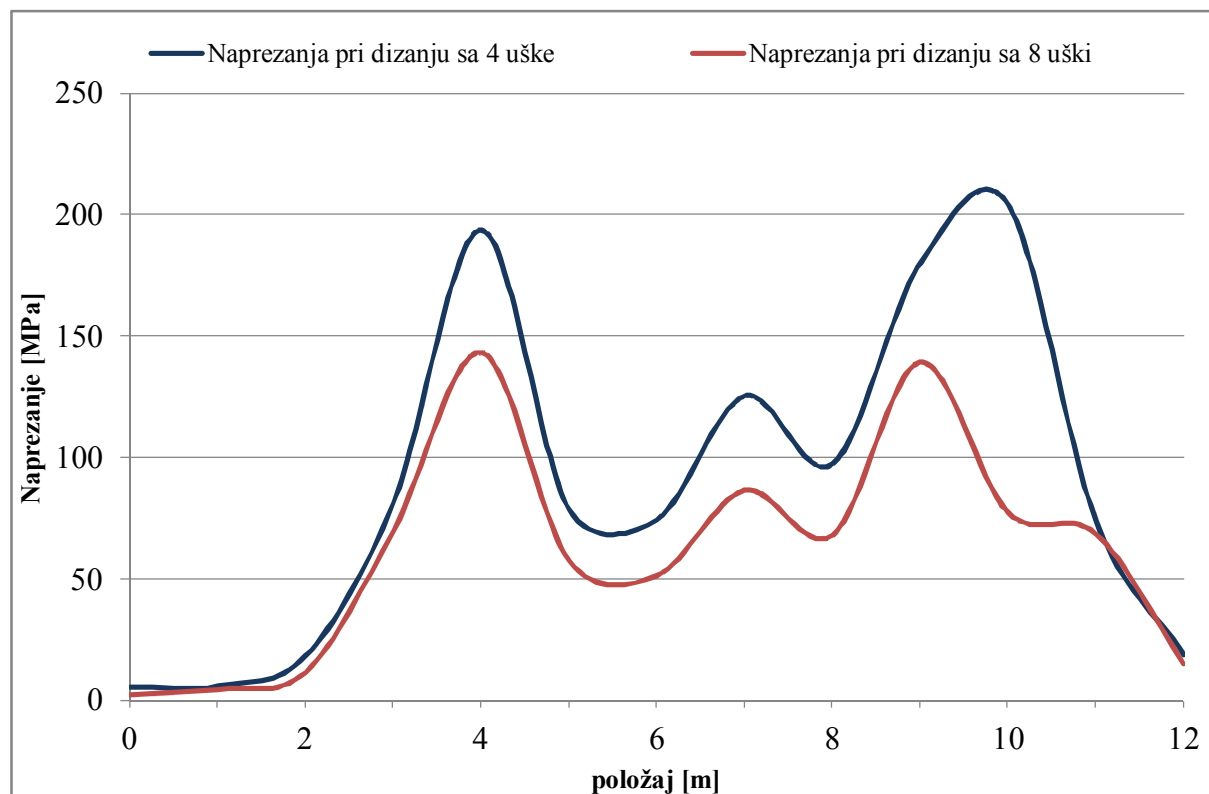
$\Delta$ [m]	Naprezanja pri dizanju sa 4 uške, bez upora [MPa]	Naprezanja pri dizanju sa 8 uški, bez upora [MPa]
0.000	5.61	2.23
1.00	5.92	4.78
2.000	18.43	11.88
3.00	81.72	70.08
4.000	193.86	143.47
5.00	78.75	57.73
6.000	74.53	51.56
7.00	125.57	86.67
8.000	97.50	68.20
9.00	180.30	139.40
10.000	204.45	77.60
11.00	74.41	68.79
12.000	18.98	15.28



Slika 37. Naprezanja u rebru 149 pri dizanju bloka bez upora



Slika 38. Naprezanja u rebru 158 pri dizanju bloka bez upora

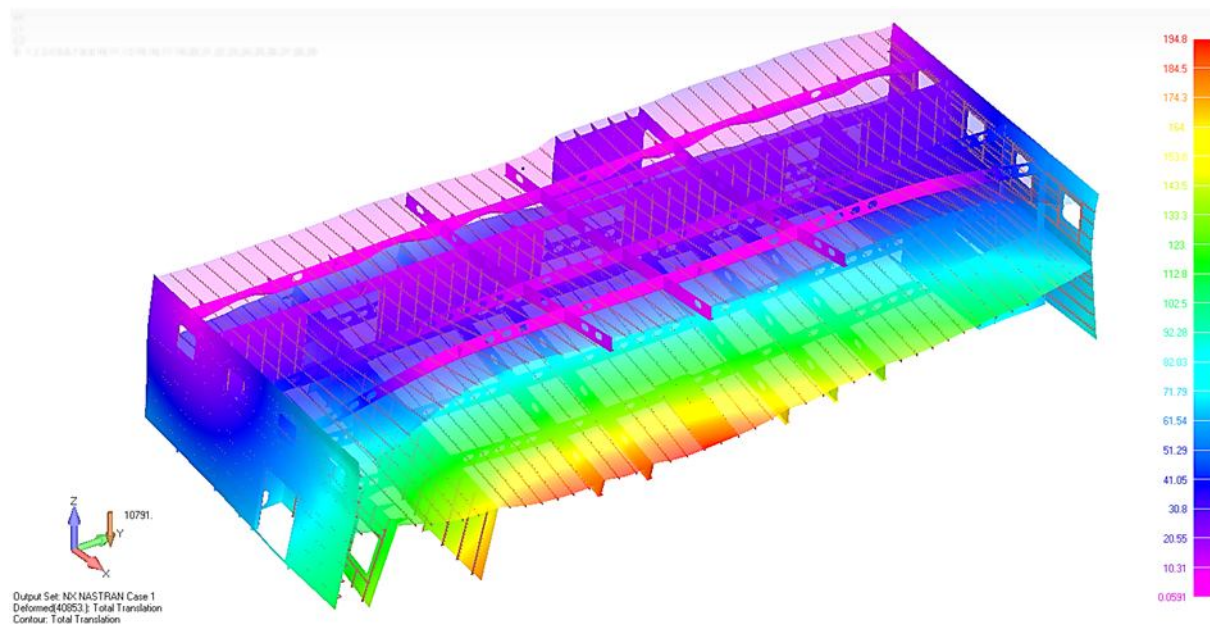


Slika 39. Naprezanja u podvezi L4800 pri dizanju bloka bez upora

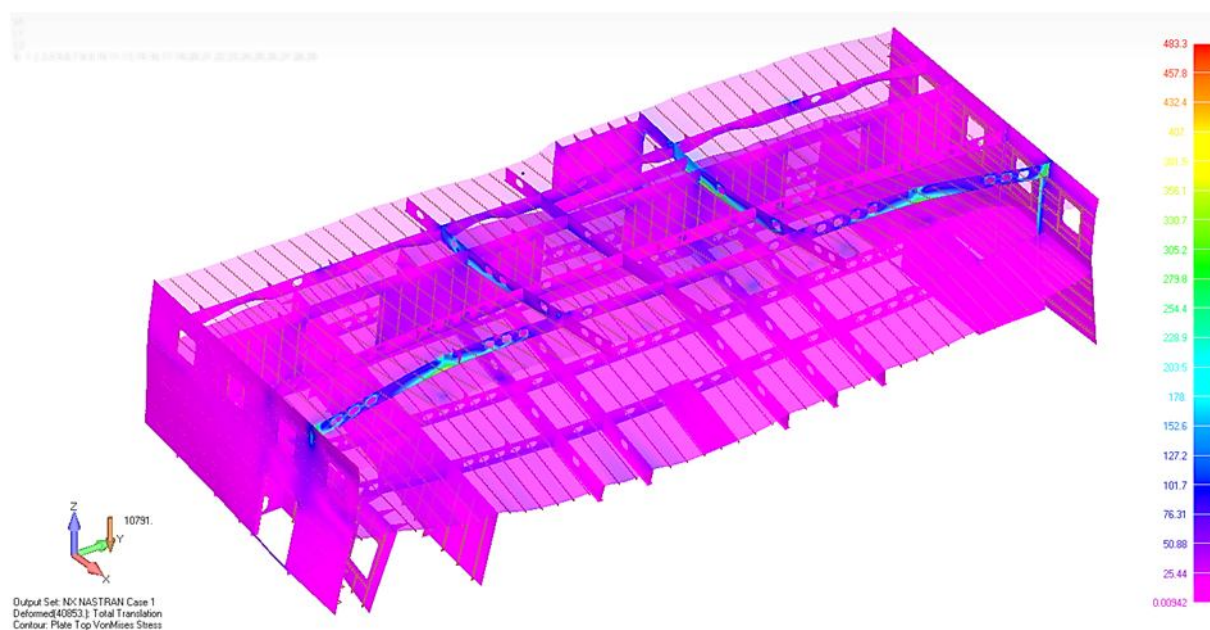
Usporedbom rezultata vidljivo je kako broj uški utječe na naprezanja u elementima bloka. Očekivano, maksimalna naprezanja su znatno manja kod modela koji se diže pomoću 8 uški. U prvom slučaju, kod dizanja pomoću 4 uške, kritična su bila rebra R149 i R158 te podveza L4800. U drugom slučaju u R149 su sva naprezanja ispod dopuštenih granica, dok su naprezanja u R158 i podvezi L4800 manja, ali još uvijek iznad dopuštenih.

Zbog manjih naprezanja, blok je potrebno dizati pomoću 8 uški, a postojeći model trebat će dodatno ukrutiti kako bi se smanjila naprezanja koja su ostala iznad dopuštenih.

Ukupne deformacije koje se pojavljuju pri dizanja bloka pomoću 8 uški i bez upora, prikazane su slikom 40, a maksimalna naprezanja slikom 41. Vidljivo je da se najveće deformacije pojavljuju na slobodnom kraju bloka, gdje je maksimalni pomak 195 mm.



Slika 40. Ukupne deformacije opremljenog bloka bez upora



Slika 41. Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka bez upora

## 7.2. Analiza potrebnog broja upora

Kako bi se blok dodatno ukrutio, uobičajeno se u brodogradilištu postavljaju privremene upore ispod transportnih uški, a najčešće se koriste U30 profili. Te upore koriste se tijekom transporta bloka, a nakon njegovog spajanja sa okolnom strukturom na navozu, one se uklanjaju. U ovom bloku, raspored uški je takav da je moguće nesmetano postavljanje upora, odnosno tako da ne ometaju ugradnju kabina u fazi predmontaže. Da bi se smanjila količina nepotrebnih radova i materijala, optimizirat će se broj i profil upora. Prvo će se postavljati upore kako bi se smanjila naprezanja u djelovima strukture i nakon što rezultati budu zadovoljavajući provjeravat će se naprezanja u uporama na osnovi kojih će se onda one dimenzionirati. Karakteristike U profila dane su slikom 42 [8].

Oznaka*	Dimenzije mm				Pre-sjek S mm <sup>2</sup>	Duljinska masa kg/m	Statičke veličine				
	h	b	d	t			e mm	I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup> (= cm <sup>4</sup> )	W <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )	W <sub>y</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup> (= cm <sup>3</sup> )
6,5	65	42	5,5	7,5	903	7,09	14,2	57,5	14,1	17,7	5,07
8	80	45	6	8	1100	8,64	14,5	106	19,4	26,5	6,36
10	100	50	6	8,5	1350	10,6	15,5	206	29,3	41,2	8,49
12	120	55	7	9	1700	13,4	16,0	364	43,2	60,7	11,1
14	140	60	7	10	2040	16,0	17,5	605	62,7	86,4	14,8
16	160	65	7,5	10,5	2400	18,8	18,4	925	85,3	116	18,3
18	180	70	8	11	2800	22,0	19,2	1350	114	150	22,4
20	200	75	8,5	11,5	3220	25,3	20,1	1910	148	191	27,0
(22)	220	80	9	12,5	3740	29,4	21,4	2690	197	245	33,6
24	240	85	9,5	13	4230	33,2	22,3	3600	248	300	39,6
26	260	90	10	14	4830	37,9	23,6	4820	317	371	47,7
(28)	280	95	10	15	5330	41,8	25,3	6280	399	448	57,2
30	300	100	10	16	5880	46,2	27,0	8030	495	535	67,8

\* Treba se kloniti dimenzija u zagradama.

Normalne duljine čeličnih profila □: 4 ... 15 m.

Čelični profili  
vruće valjani (JUS C.B3.141 — 1962)

Statičke veličine:

I — moment tromosti plohe

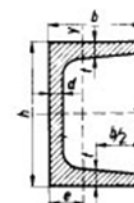
W — moment otpora

Polumjer tromosti:

$$i_x = \sqrt{I_x/A}$$

$$i_y = \sqrt{I_y/A}$$

Konstruktivske mjere — vidi str. 431!

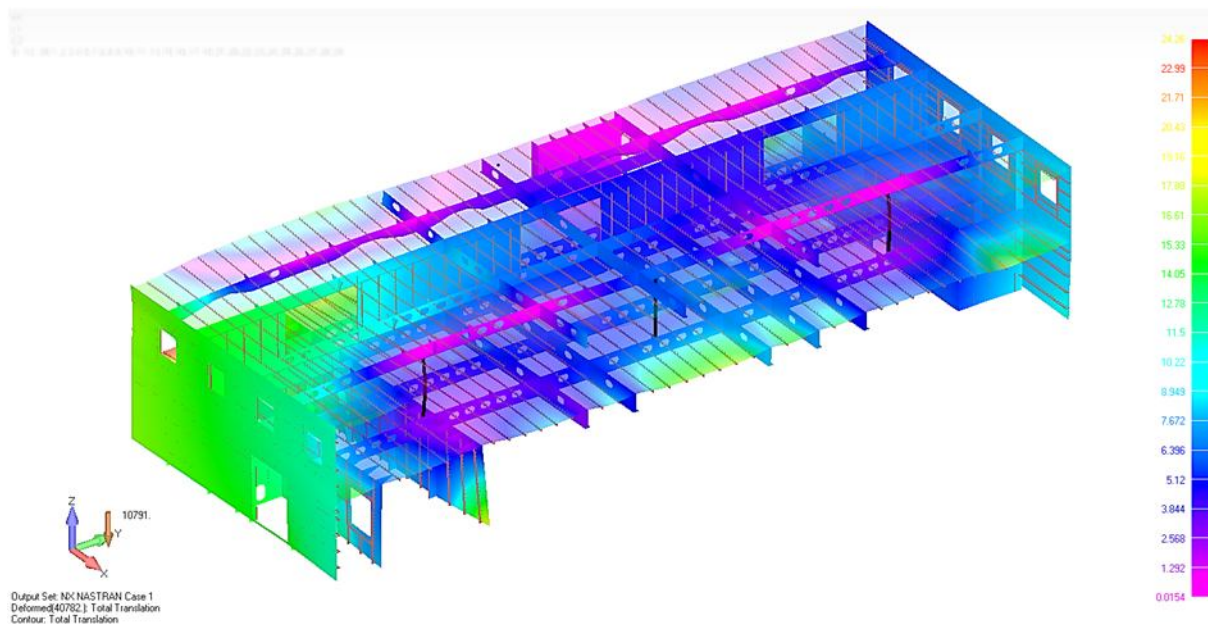


Slika 42. Čelični U profili, dimenzije

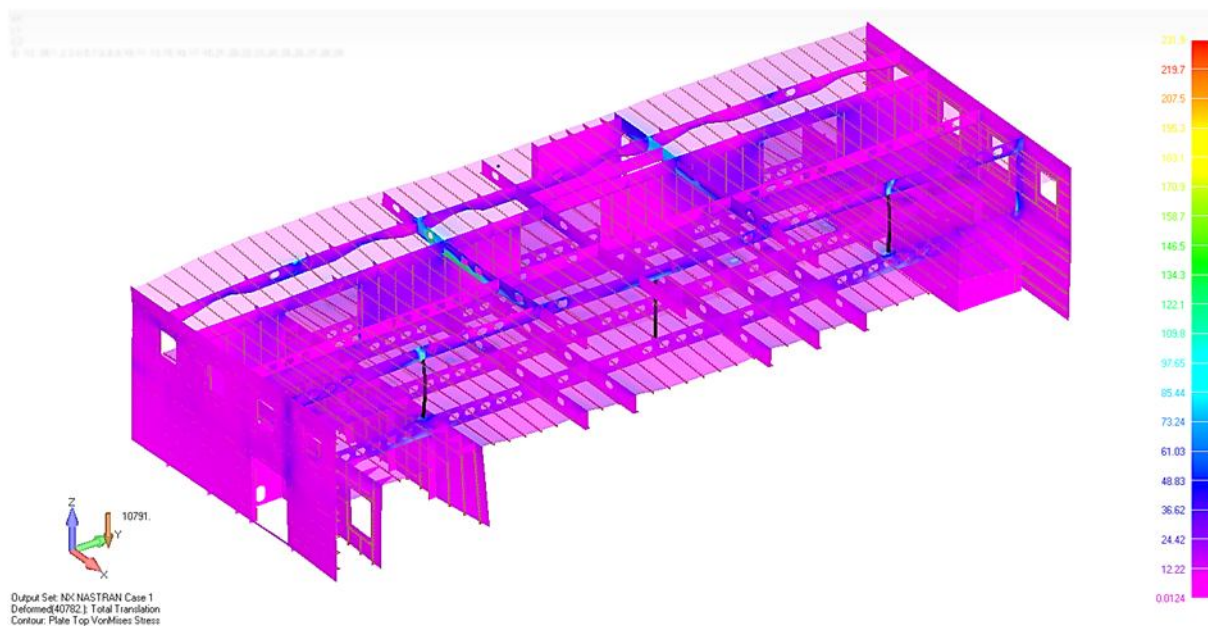
### 7.2.1. Upore na rebru 158

Budući da prethodna analiza pokazuje kako su naprezanja u R149 unutar dopuštenih vrijednosti, upore će se postaviti između rebara R158 osme i devete palube. Postavit će se 3 upore, na način da su dvije upore postavljene ispod uški koje su bliže bokovima bloka, te jedna na središnjem uzdužnjaku. Slikom 43 prikazane se ukupne deformacije, a slikom 44 naprezanja tako ukrüćenog bloka.





**Slika 43.** Ukupne deformacije opremljenog bloka ukrućenog sa 3 upore

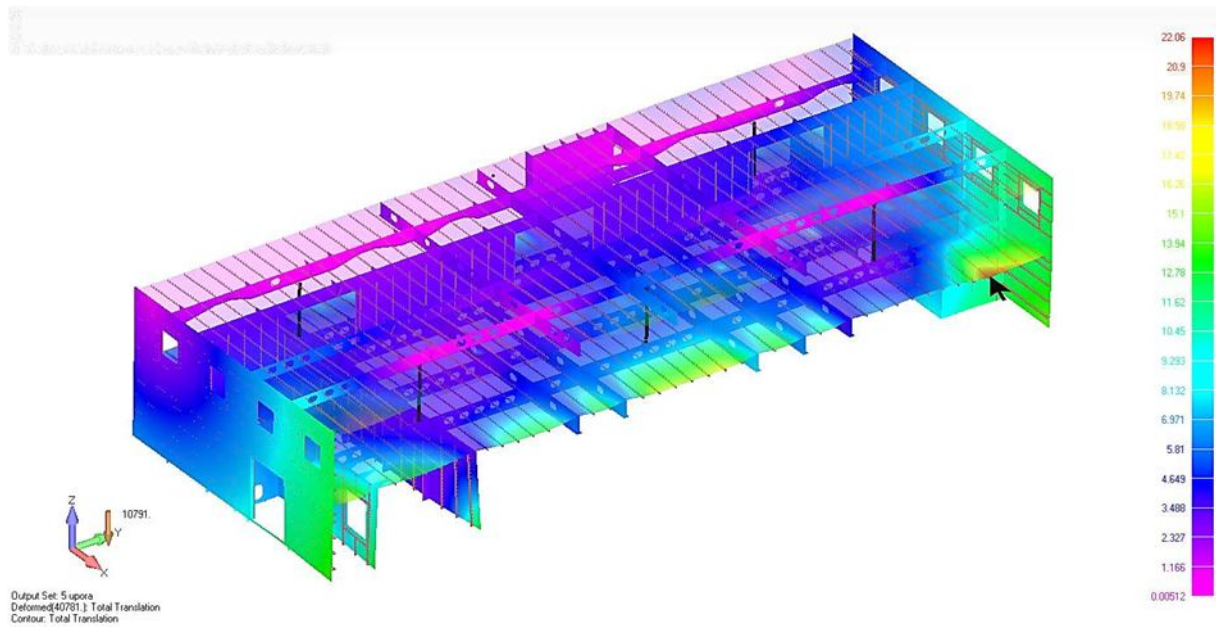


**Slika 44.** Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka ukrućenog sa 3 upore

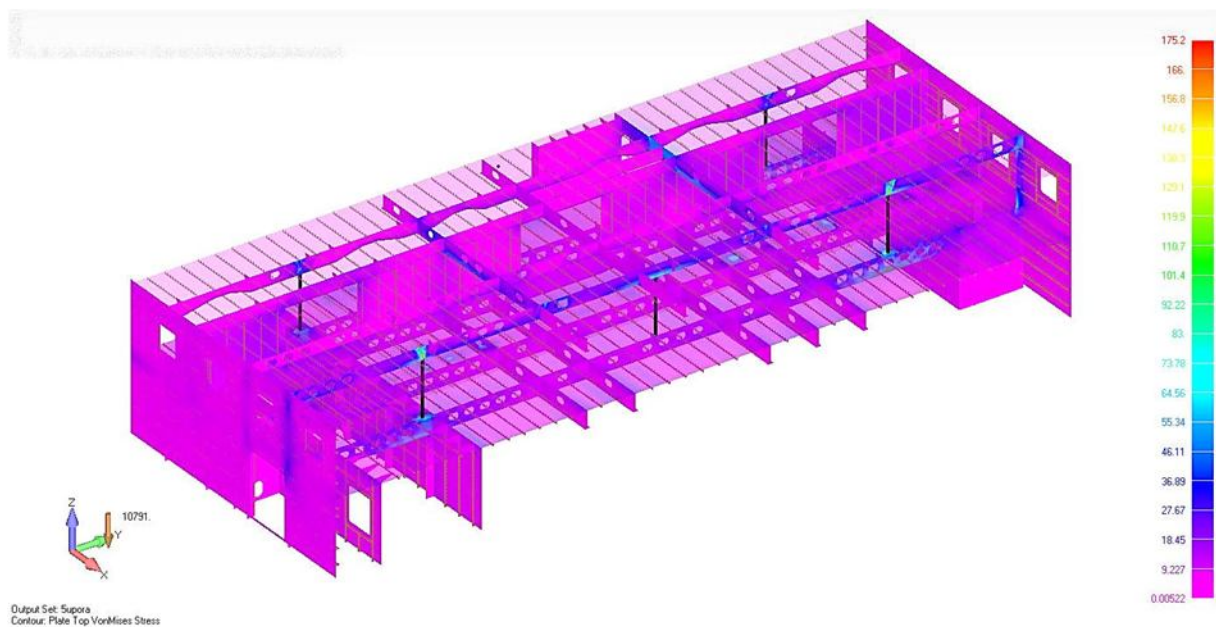
Iz rezultata je vidljivo da su deformacije znatno smanjene te maksimalni pomak iznosi svega 25 mm, slika 43. Maksimalna naprezanja su u području dozvoljenih naprezanja i iznose 232 MPa, slika 44. Iako su naprezanja u granicama dopuštenih (235 MPa), sigurnosti radi, razmotrit će se još jedan slučaj u kojem će se dodati dvije upore ispod uški na R149.

### 7.2.2. Upore na rebrima R149 i R158

Dodatne dvije upore se postavljaju ispod uški koje su bliže bokovima na rebru R149 kako ne bi smetale prilikom montaže kabina. Sada je blok ukrućen sa ukupno 5 upora. Slikom 45 prikazane su ukupne deformacije tako ukrućenog bloku nadgrađa.



**Slika 45.** Ukupne deformacije opremljenog bloka ukrućenog sa 5 upora



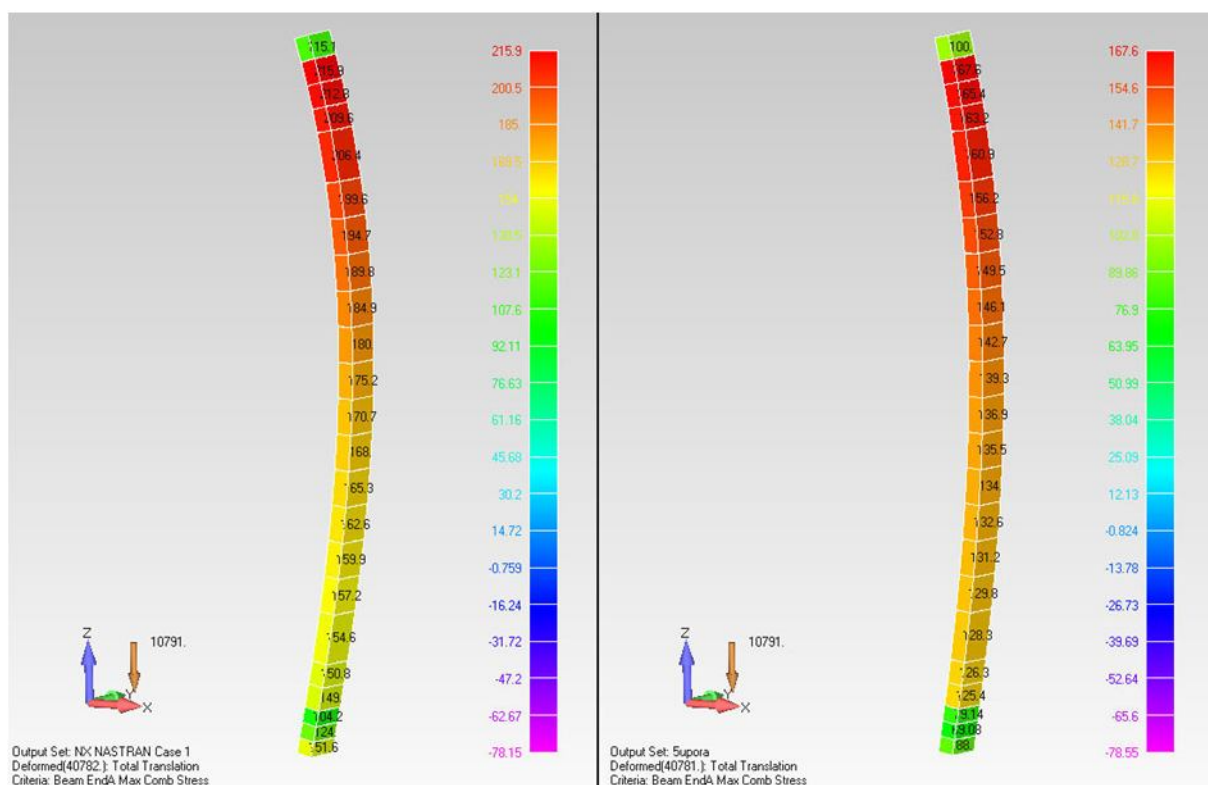
**Slika 46.** Ekvivalentna naprezanja opremljenog bloka ukrućenog sa 5 upora

Maksimalni pomaci pojavljuju se, kod ovako ukrućenog bloka, na slobodnom kraju 8. palube te ne prelaze 22 mm. Maksimalna naprezanja pojavljuju se u području iznad upora na rebro R158 međutim njihova vrijednost ne prelazi 175 MPa, slika 46.

### 7.2.2.1. Dimenzioniranje upora

U brodogradilištu se za ukrućivanje koristi U30 profil, dok su u analizi korištene dvostruko slabije upore profila U14. U ovom djelu analize provest će se provjera naprezanja u uporama, ako ona budu prevelika upore će se zamijeniti sa prvim većim standardnim profilom te će se provjera ponoviti, sve dok rezultati ne budu zadovoljavajući.

Slikom 47 prikazana su naprezanja u upori koja je najviše opterećena. Prilikom korištenja upora profila U14, naprezanja koja se javljaju u toj upori ne prelaze 167 MPa. Budući da takve upore zadovoljavaju, napravila se još jedna analiza u kojoj je ispitan profil U12, a naprezanja koja se pojavljuju pri tome ne prelaze 216 MPa.



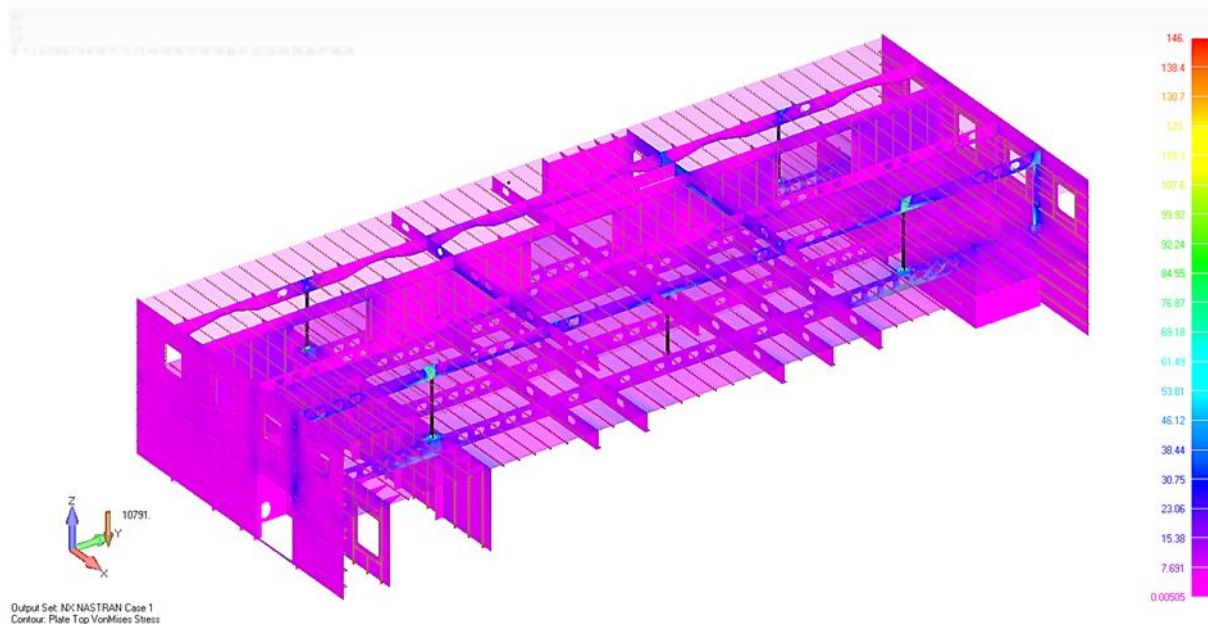
Slika 47. Naprezanja u deformiranoj upori rebra 158, lijevo U12; desno U14

Iz rezultata je vidljivo da su naprezanja u uporama oba profila u dozvoljenim granicama, ali sigurnosti radi za upore koristit će se profil U14.

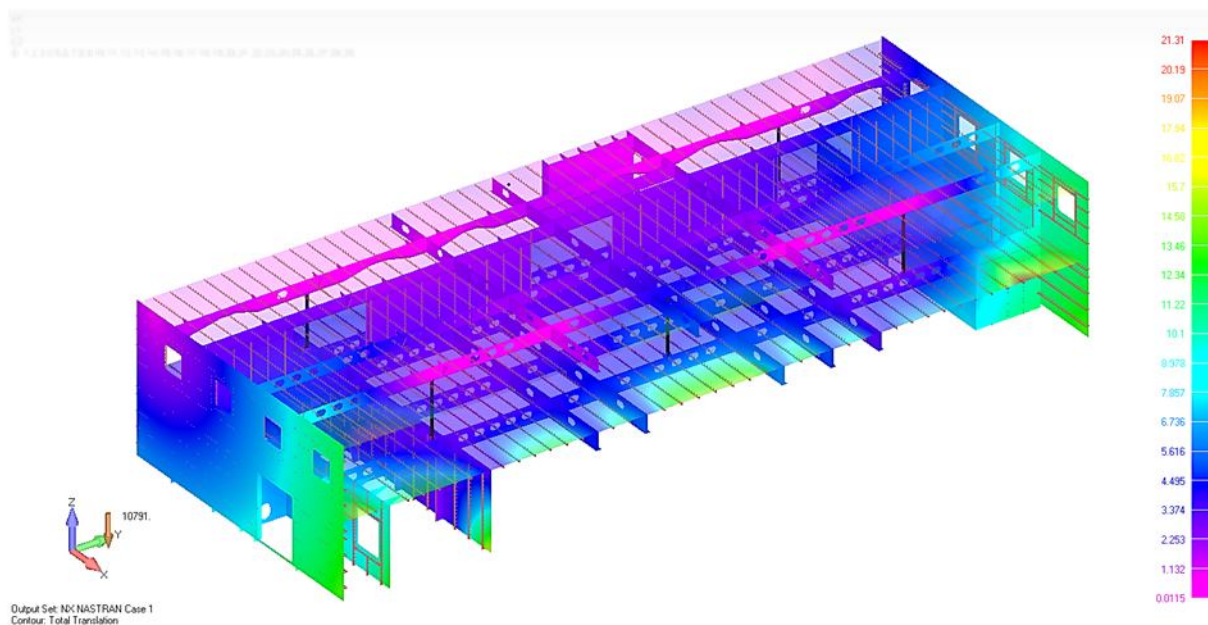


### 7.2.3. Dizanje bloka sa uporama bez kabina

Naprezanja koja se javljaju prilikom transporta bloka u koji nisu ugrađene kabine, prikazana su slikom 48, a deformacije slikom 49.



**Slika 48.** Ekvivalentna naprezanja pri dizanju bloka bez kabina



**Slika 49.** Maksimalne defromacije pri dizanju bloka bez kabina

Iz rezultata je vidljivo da se maksimalna naprezanja pojavljuju u R158 iznad upora, ali ona ne prelaze 146 MPa. Maksimalni pomaci su na slobodnom rubu 8 palube i oni ne prelaze 21,5 mm.

#### 7.2.4. Usporedbe rezultata

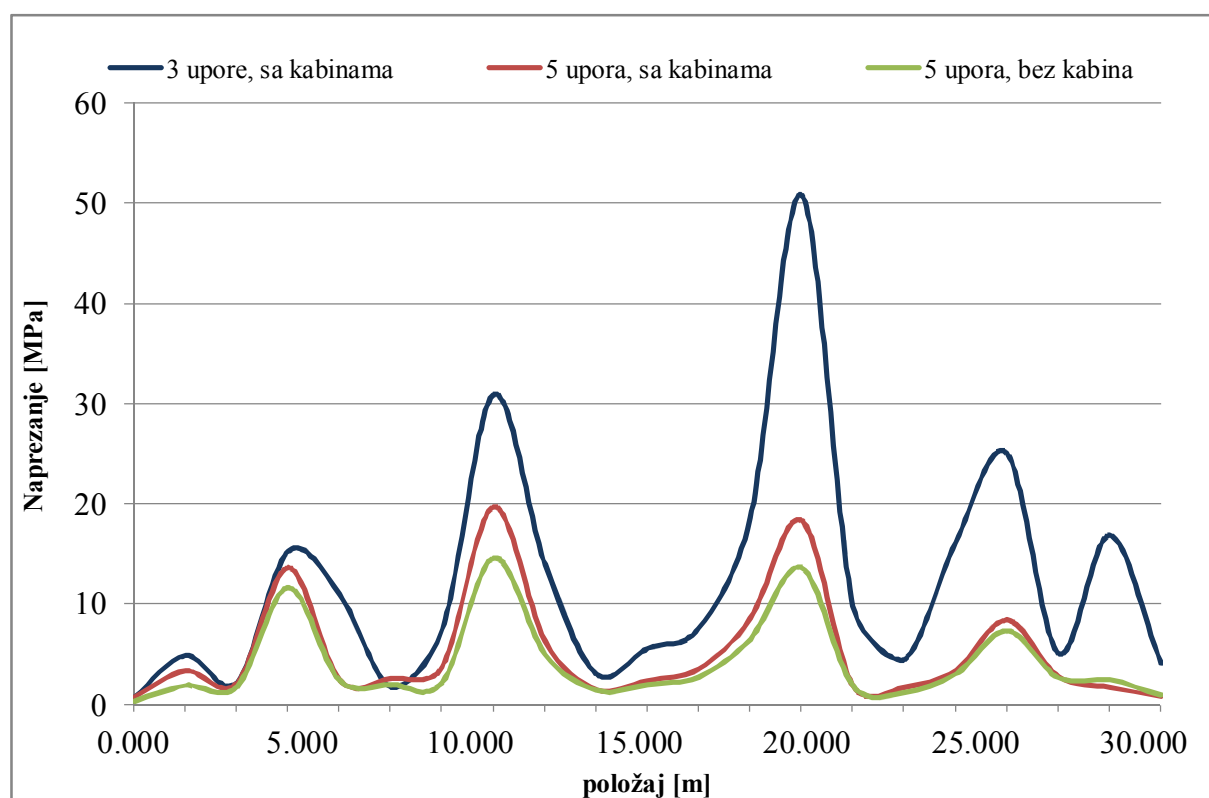
Pri usporedbi rezultata koristit će se isti princip kao i u prethodnoj analizi, tablicom 8 prikazana su naprezanja u elementima rebara, a tablicom 9 u elementima podveze.

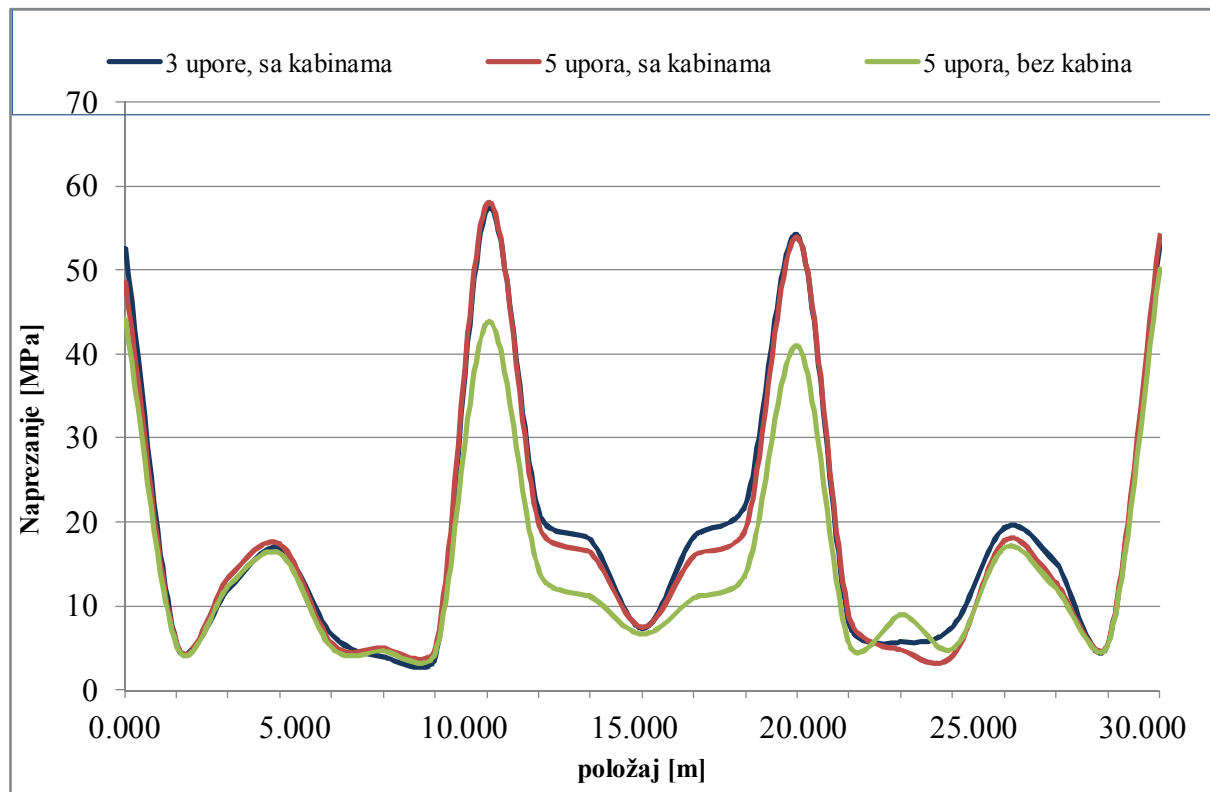
**Tablica 8** Naprezanja u elementima rebara

$\Delta$ [m]	Opremljeni blok				Bez kabina	
	Naprezanja pri dizanju sa 3 upore [MPa]		Naprezanja pri dizanju sa 5 upora [MPa]		Naprezanja pri dizanju sa 5 upora [MPa]	
	R149	R158	R149	R158	R149	R158
0.000	0.81	52.60	0.82	48.58	0.39	44.24
1.525	4.93	5.44	3.41	5.44	1.94	5.22
3.050	2.22	12.10	2.15	13.51	1.83	12.52
4.575	15.31	16.94	13.71	17.38	11.71	16.28
6.100	11.00	6.62	2.50	5.58	2.45	5.06
7.625	1.80	4.06	2.67	5.07	2.06	4.73
9.150	7.55	4.09	3.83	5.08	2.25	4.56
10.675	30.96	57.29	19.79	58.00	14.68	43.84
12.200	14.01	21.13	6.39	19.57	5.10	14.19
13.725	3.12	17.94	1.56	16.43	1.47	11.18
15.250	5.65	7.38	2.45	7.53	2.01	6.71
16.775	7.64	18.38	3.60	16.10	2.81	11.05
18.300	18.65	22.33	8.62	19.37	6.59	14.03
19.825	50.85	54.15	18.39	53.90	13.71	40.99
21.350	9.83	7.83	1.88	8.71	1.93	5.41
22.875	4.54	5.77	1.74	4.85	1.24	9.06
24.400	16.22	7.67	3.44	4.20	3.07	5.01
25.925	25.09	19.39	8.47	17.90	7.39	17.01
27.450	5.16	15.10	2.84	12.73	2.72	12.09
28.975	16.93	5.73	1.77	5.80	2.50	5.62
30.500	4.17	53.12	0.87	54.20	0.99	50.16

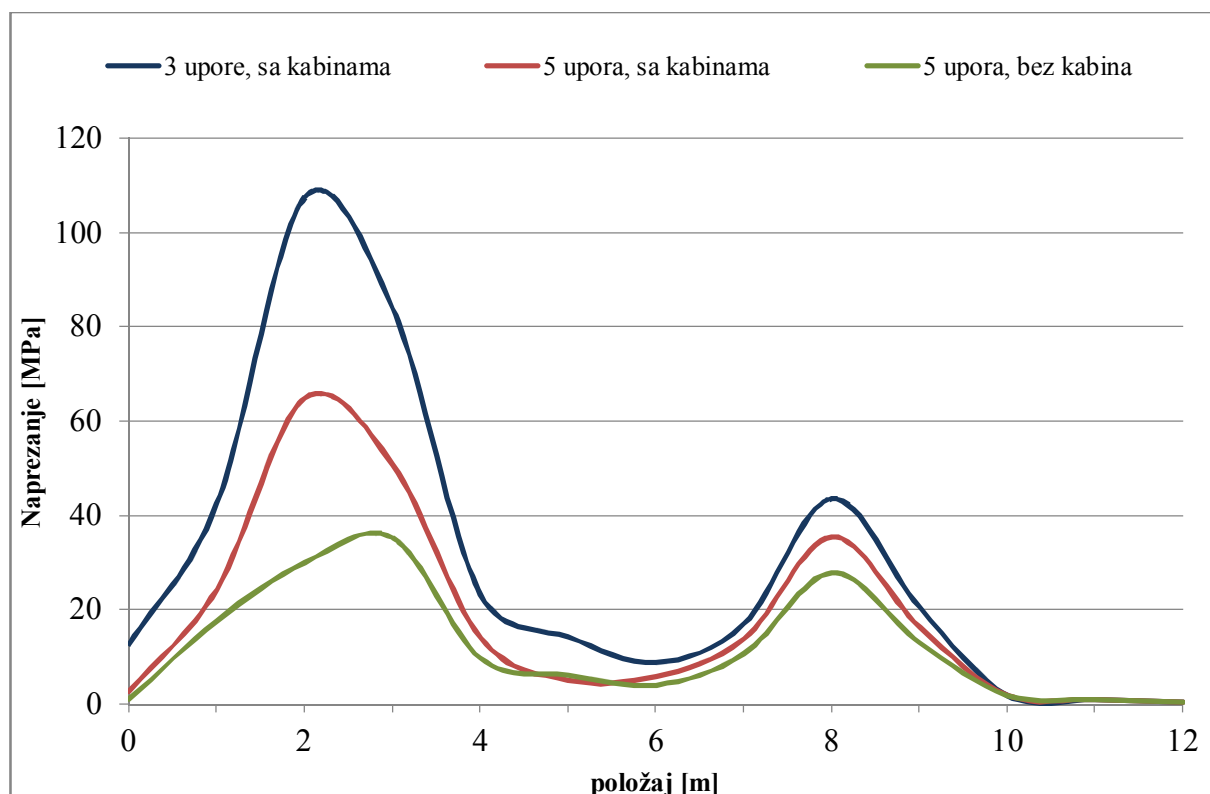
**Tablica 9** Naprezanja u elementima podveze L4800

$\Delta$ [m]	Opremljeni blok		Bez kabina
	Naprezanja pri dizanju sa 3 upore [MPa]	Naprezanja pri dizanju sa 5 upora [MPa]	Naprezanja pri dizanju sa 5 upora [MPa]
0.000	12.86	2.82	1.12
1.00	42.71	24.52	17.91
2.000	107.57	64.99	30.11
3.00	84.04	50.95	35.39
4.000	23.38	14.19	9.87
5.00	14.42	5.22	6.22
6.000	8.95	6.03	4.20
7.00	17.14	13.90	10.84
8.000	43.68	35.62	28.01
9.00	20.59	16.48	13.12
10.000	1.98	2.02	1.96
11.00	0.99	1.16	1.10
12.000	0.52	0.66	0.59

**Slika 50.** Naprezanja u rebru R149 pri dizanju bloka sa uporama



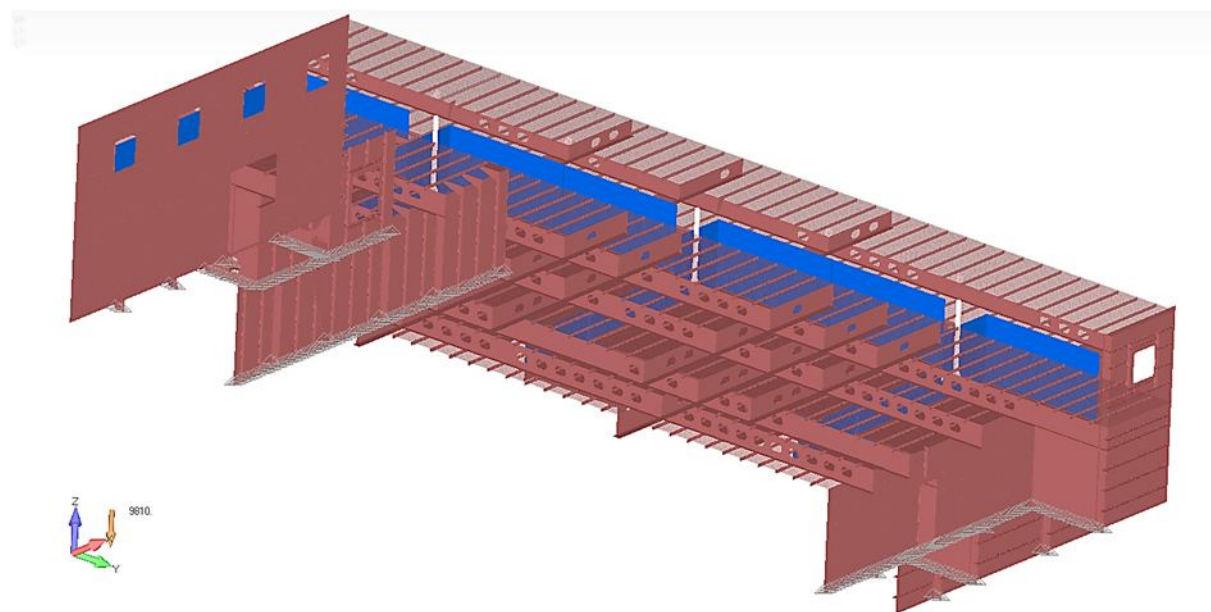
Slika 51. Naprezanja u rebru R158 pri dizanju bloka sa uporama



Slika 52. Naprezanja u podvezi L4800

### 7.3. Oslonjeni blok

Prilikom opremanja kabinskim modulima, blok je oslonjen na podlogu. Budući da su rebra kao i pregrade u doticaju sa tlom, čvorovima koji se nalaze na tim mjestima biti će onemogućen pomak u Z smjeru. Također će se spriječiti pomaci u ostalim smjerovima čvorovima koji se nalaze na  $Y=0$  i koji su u dodiru sa tlom. Cijela konstrukcija kao i oprema pod utjecajem je gravitacije, te je i model koji se analizira opterećen globalno sa gravitacijom. Model sa rubnim uvjetima prikazan je slikom 53.

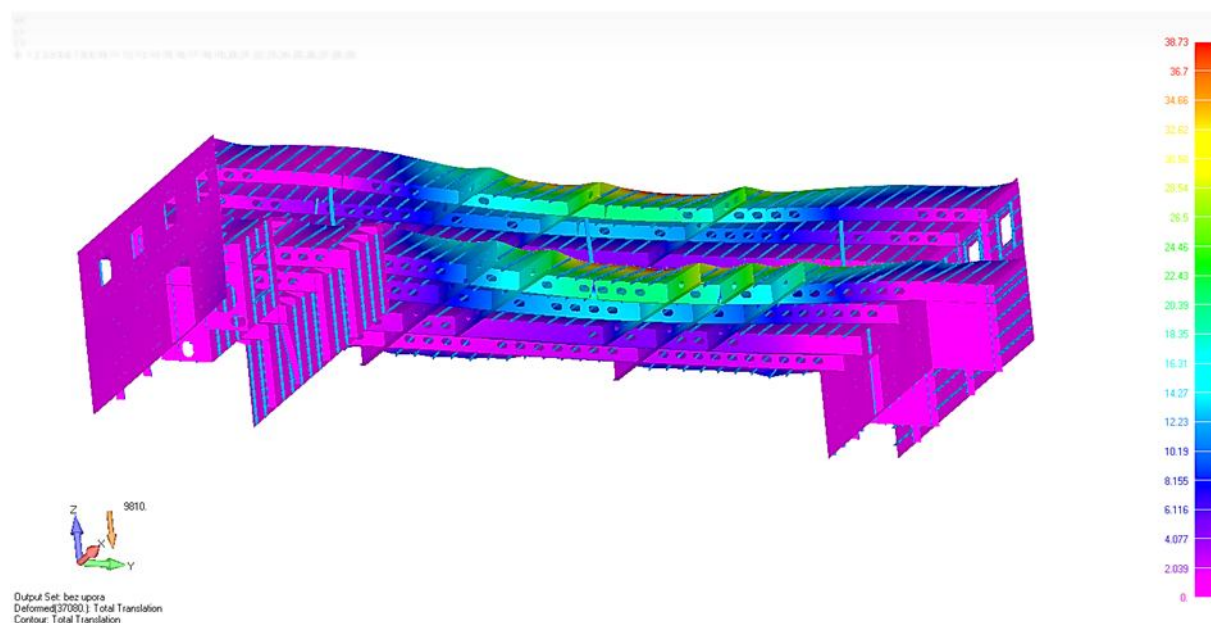


**Slika 53.** Oslonjeni opremljeni blok sa rubnim uvjetima (pogled odozdo)

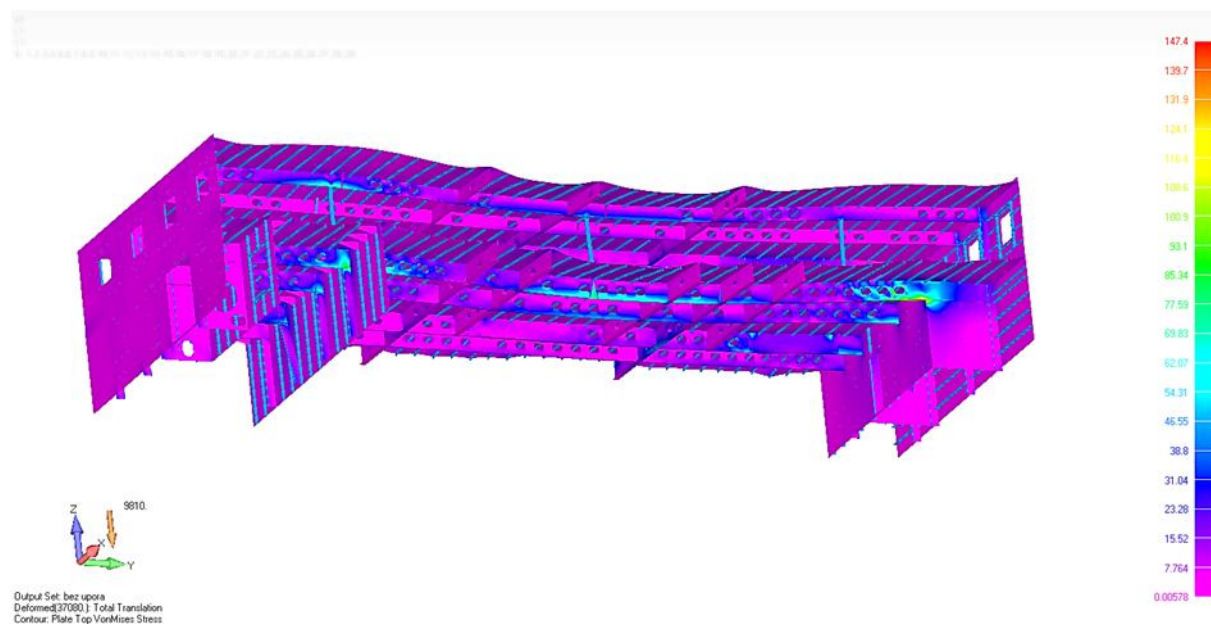


### 7.3.1. Oslanjanje bloka bez upora

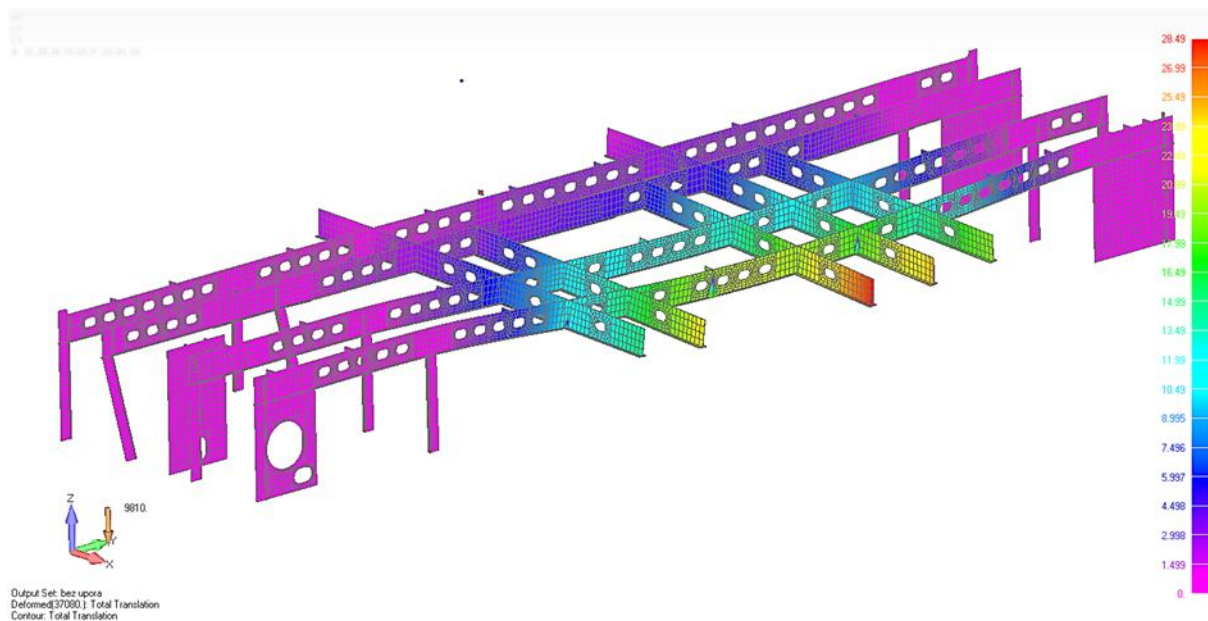
Prvo će se analizirati model bez upora kako bi se vidjela kritična mjesta na osnovu kojih će se odrediti razmještaj i broj upora. Slikom 54 prikazane su deformacije, a slikom 55 napreznja kod tako opterećenog modela. Deformacije su prikazane izraženo.



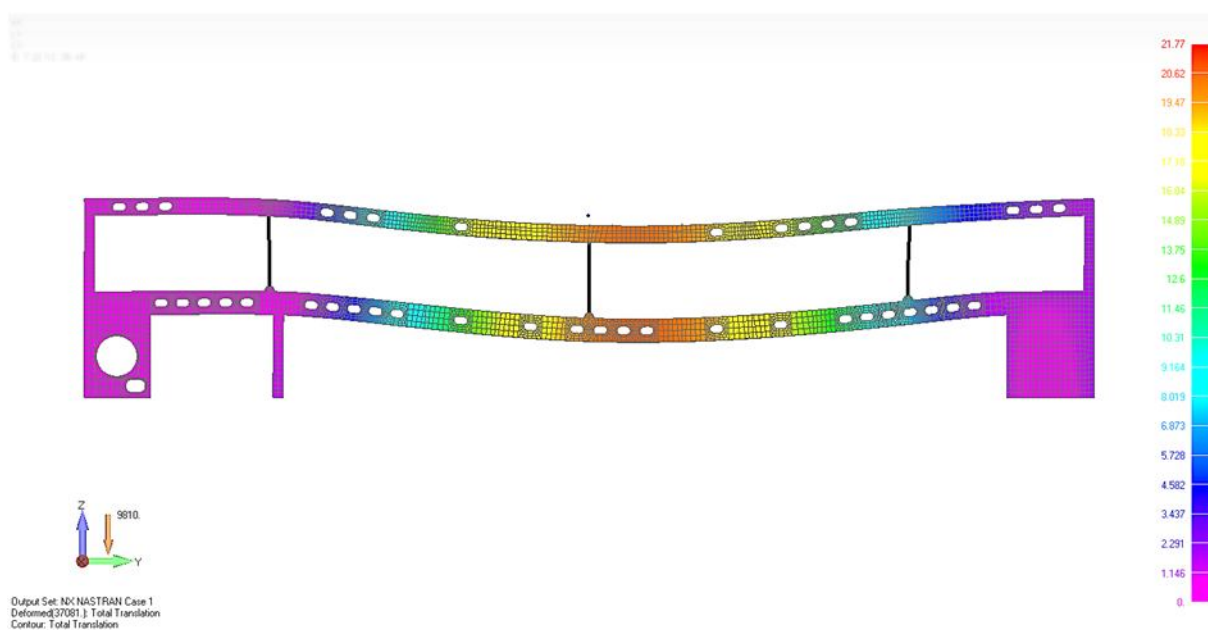
**Slika 54.** Deformacije prilikom oslanjanja opremljenog bloka, bez donjih upora



**Slika 55.** Ekvivalentna napreznja prilikom oslanjanja opremljenog bloka, bez donjih upora

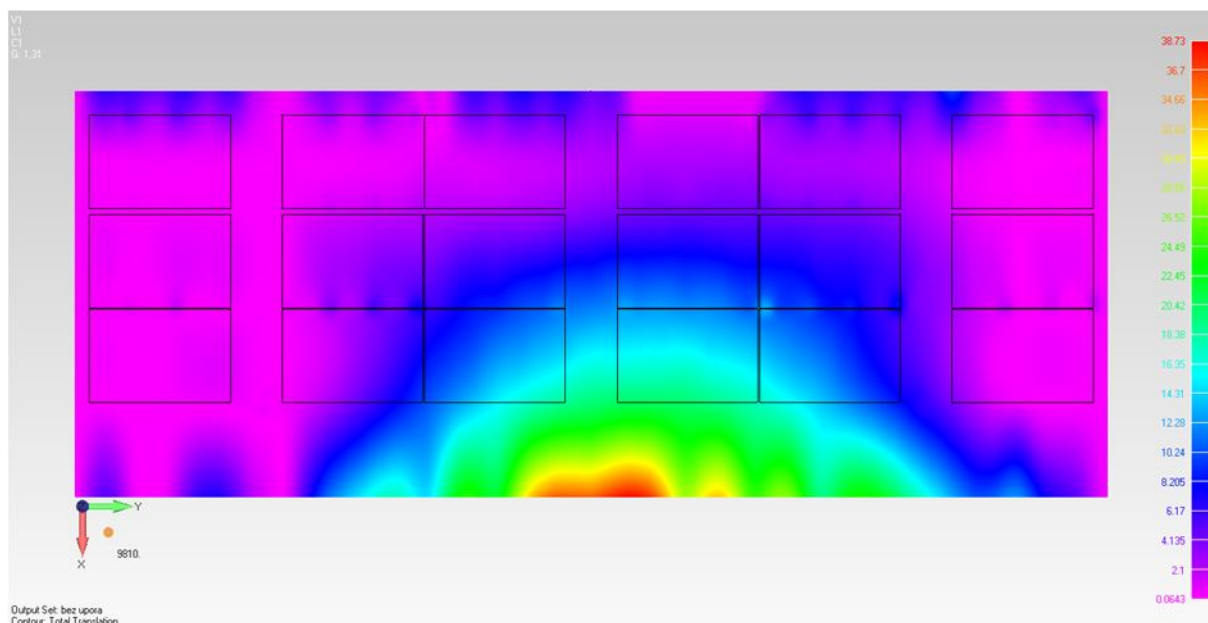


**Slika 56.** Deformacije na stijenama ispod 8. palube, bez donjih upora



**Slika 57.** Deformacije opremljenog bloka bez donjih upora, na presjeku rebra R158

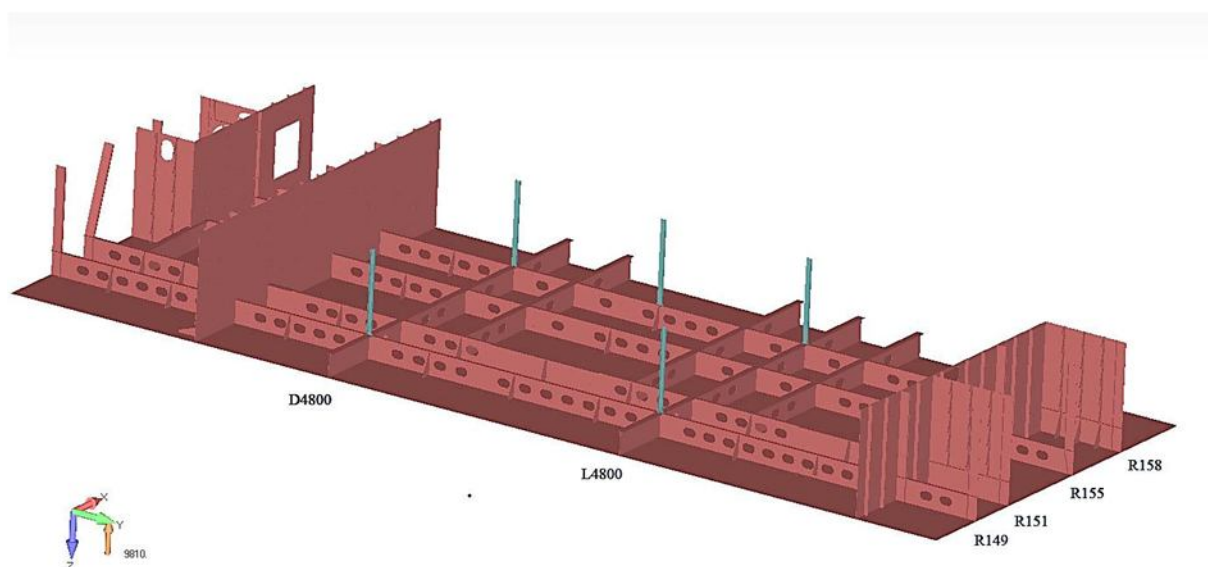
Sva naprezanja koja se pojavljuju u bloku koji je oslonjen bez upora, su unutar dopuštenih granica. Maksimalne deformacije koje se pojavljuju ne prelaze 39 mm. Slikom 58 prikazane su deformacije na 8. palubi te su vidljive pozicije kabina. Kod ovako oslonjenog bloka može se uočiti da se središnje kabine nalaze na deformiranom području palube te da je to područje potrebno ukrutiti. Upore koje se postavljaju bit će jednake onima koje su se postavljale između paluba, dakle čelični profili U14.



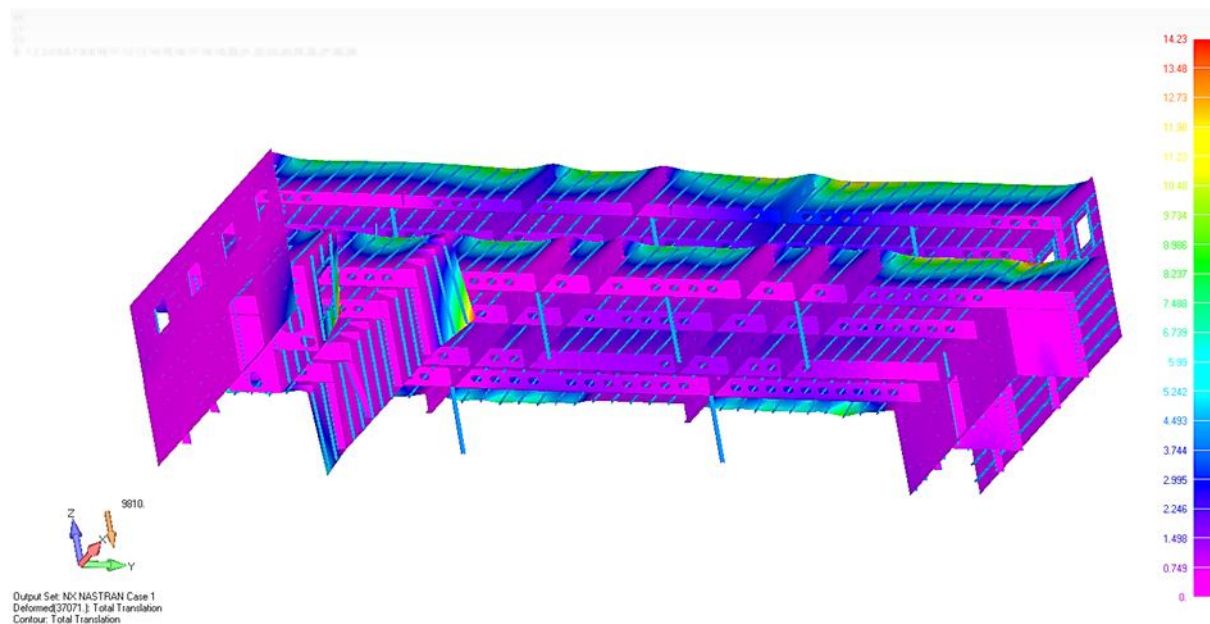
Slika 58. Deformacije na palubi 8, bez upora

### 7.3.2. Deformacije i napreznja modela na uporama

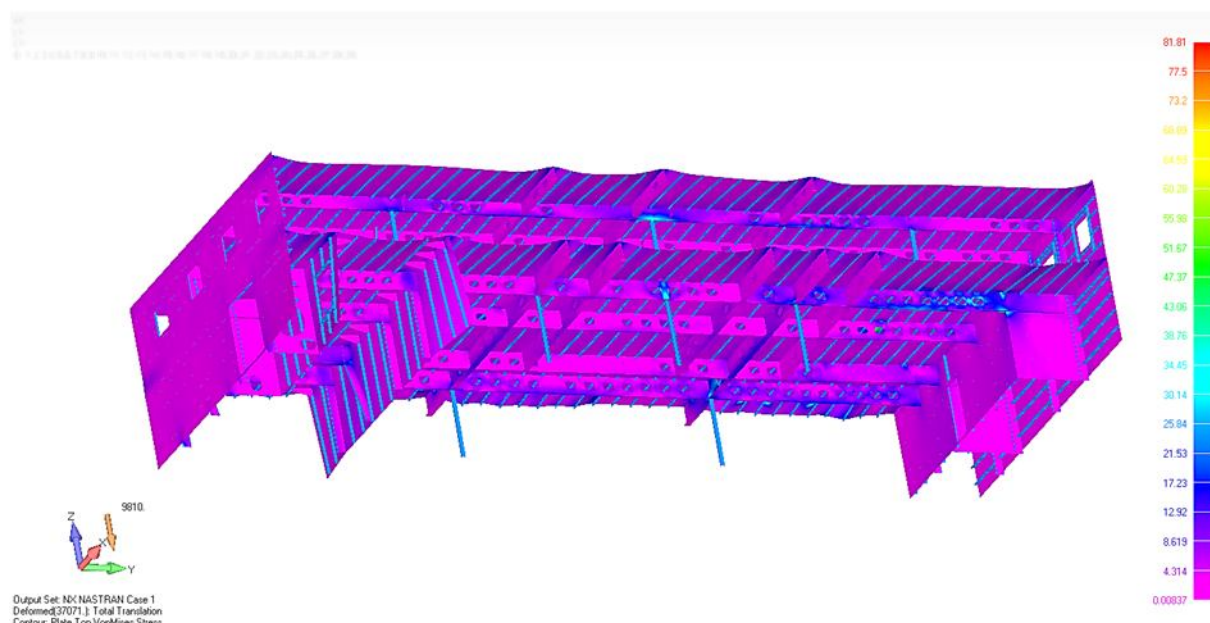
Četiri upore se postavljaju na presjecištu podveza 4800 sa rebrima R149 i R158 te jedna na sredini rebra R158, odnosno ispod uzdušnjaka na CL-u kako je prikazano slikom 59. Na tako poduprtom bloku, deformacije su prikazane slikom 60, a napreznja slikom 61.



Slika 59. Položaj upora ispod palube 8 (dio bloka, prikazan okrenuto)

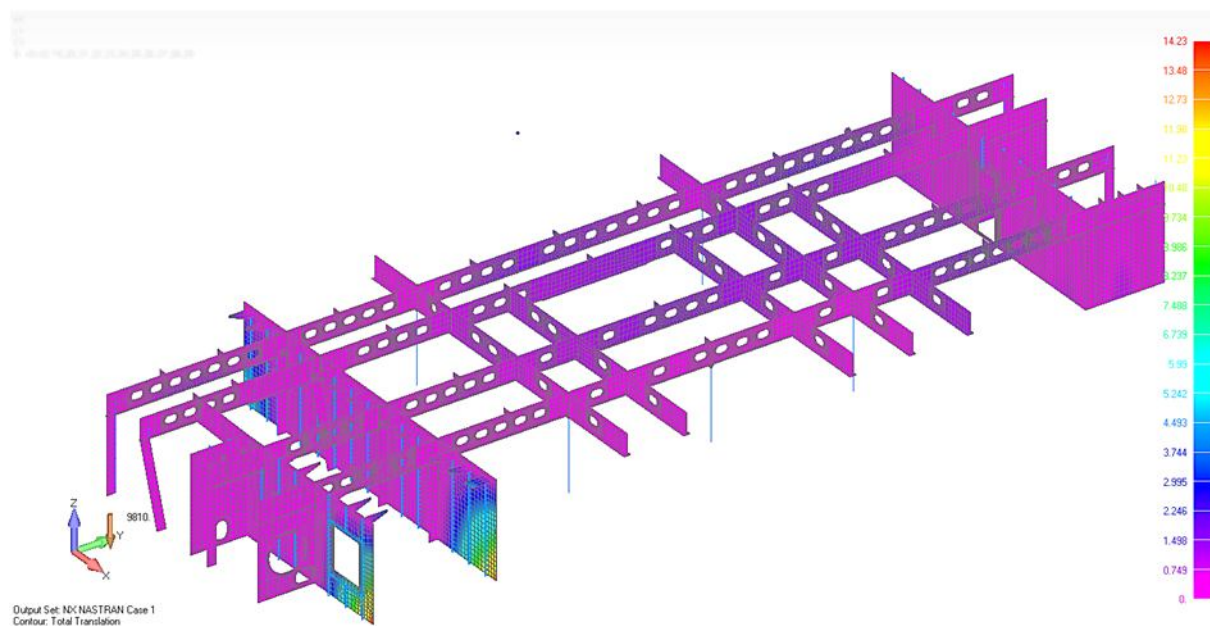


**Slika 60.** Deformacije prilikom oslanjanja opremljenog bloka, s donjim uporama (pogled odozdo)

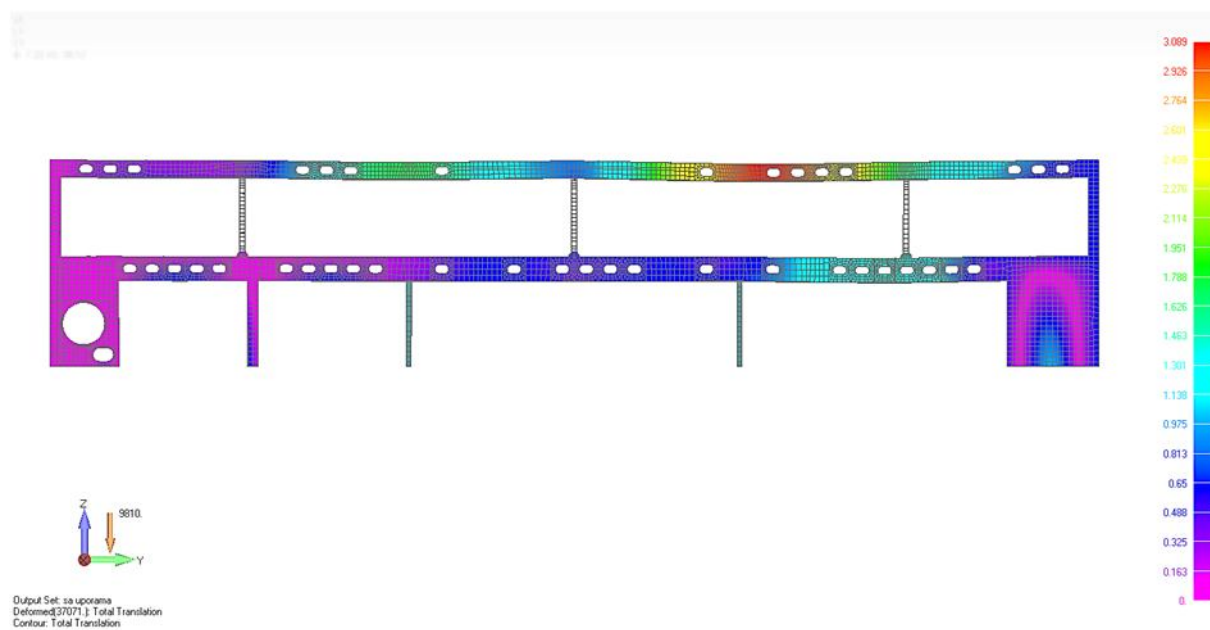


**Slika 61.** Ekvivalentna naprezanja prilikom oslanjanja opremljenog bloka, s donjim uporama (pogled odozdo)

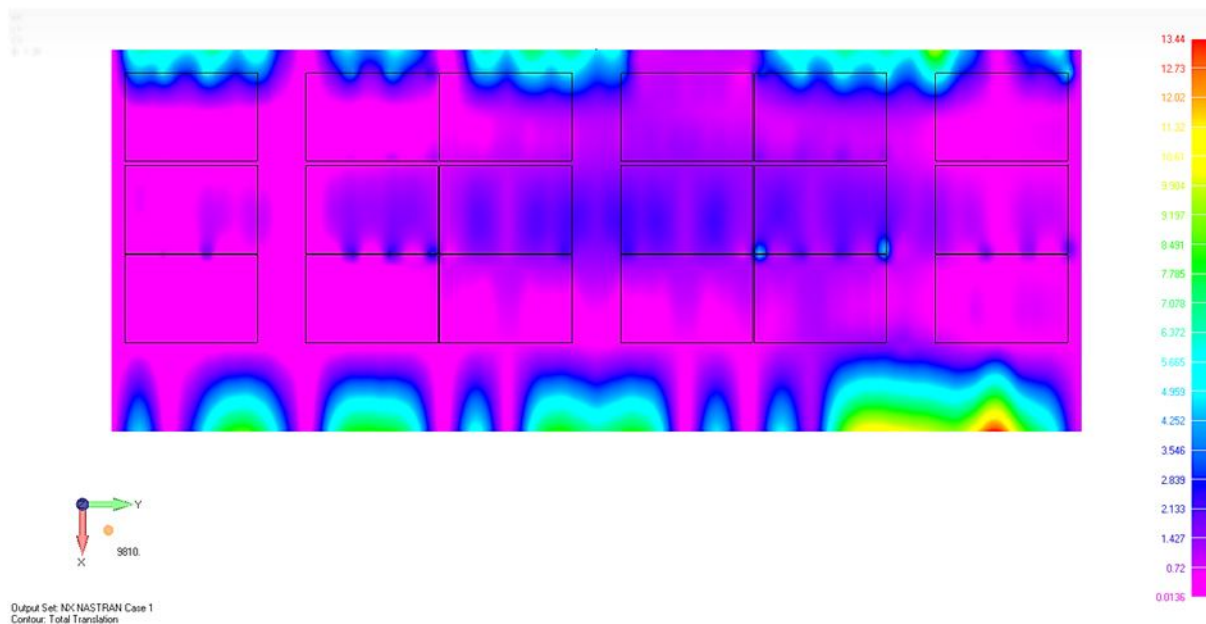




Slika 62. Deformacije na stijenama ispod 8. palube, sa uporama



Slika 63. Deformacije opremljenog bloka sa uporama, na presjeku rebra R158

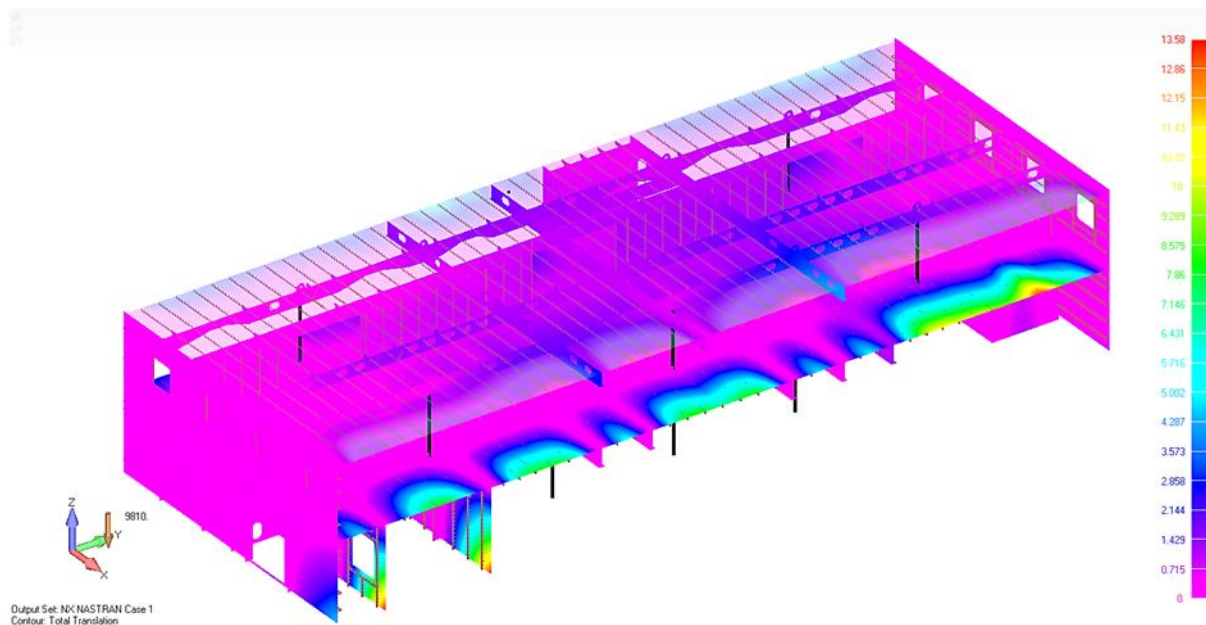


**Slika 64.** Deformacije na palubi 8, sa uporama

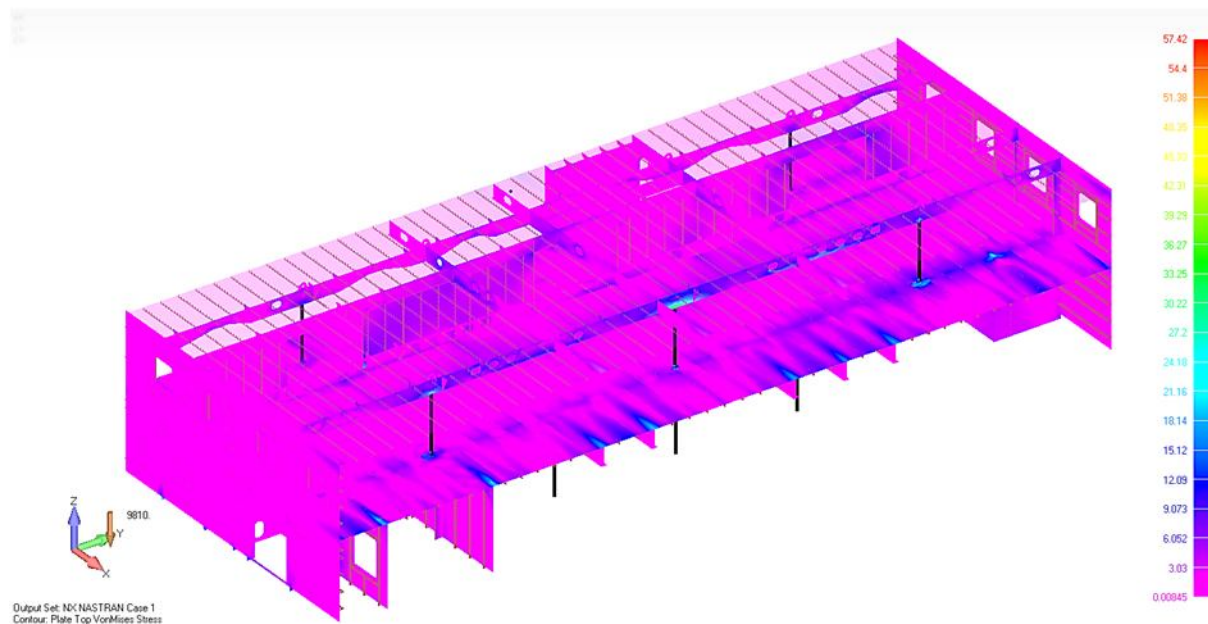
Dodavanjem upora ispod 8. palube, mijenja se ne samo velična deformacija, nego i širina područja na kojem se pojavljuju. Maksimalni iznosi deformacija ne prelaze 14 mm, a javljaju se na slobodnim rubovima palube.

### 7.3.3. Deformacije i naprezanja modela na uporama bez kabina

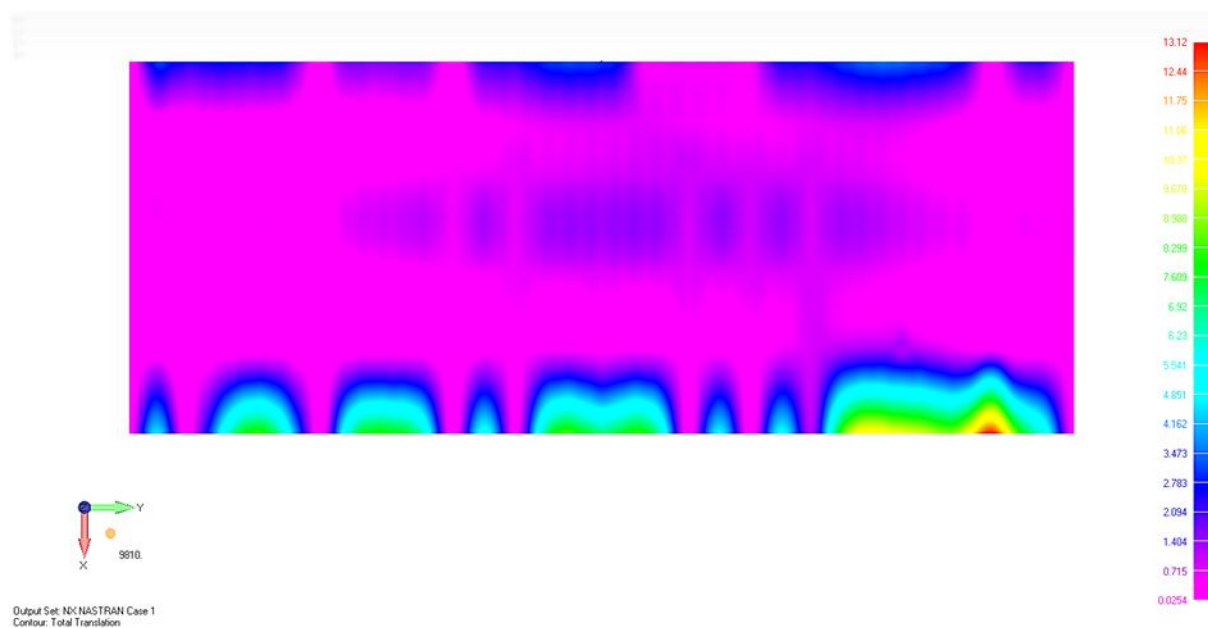
Deformacije koje se pojavljuju kod bloka bez kabina i oslonjenog na uporama prikazane su slikom 65, dok su slikom 66 prikazana naprezanja u bloku.



**Slika 65.** Deformacije u oslonjenom bloku bez kabina



**Slika 66.** Ekvivalentna naprežanja u oslonjenom bloku bez kabina



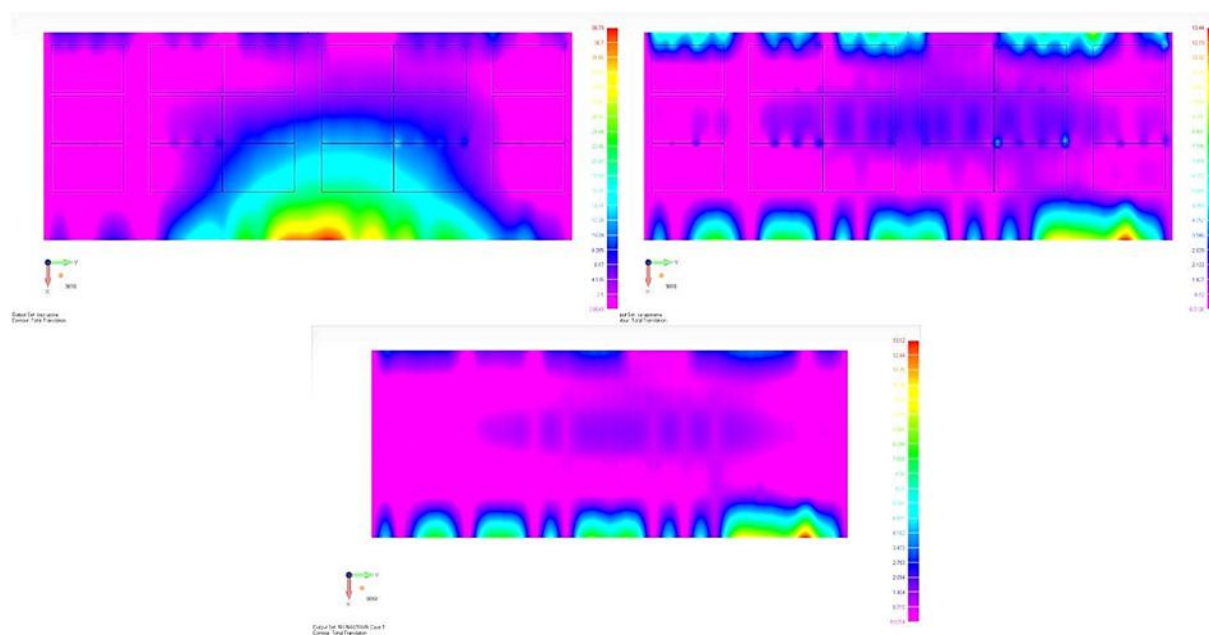
**Slika 67.** Deformacije na palubi 8 sa uporama, bez kabina

Maksimalna naprežanja koja se javljaju u oslonjenom bloku bez kabina ne prelaze 57 MPa, a maksimalne deformacije 13,5 mm.

#### 7.4. Analiza problema transporta

Kabinama nije i ne smije biti funkcija da doprinose ukrućenju konstrukcije bloka, zbog čega je potrebno bilo prilagoditi materijal kabina kao i njihov način učvršćivanja. Zbog ovakvog načina modeliranja kabina i spoja kabina sa palubom, deformacije palube razlikuju se od onih koji bi se dobili kod stvarne konstrukcije.

Problem deformacija koji se javlja prilikom opremanja i oslanjanja bloka, prikazan je slikom 62 gdje su prikazane deformacije na palubi u različitim slučajevima.



**Slika 68.** Područje deformacija lima palube pod utjecajem gravitacije, gore lijevo sa kabinama bez upora; gore desno s kabinama i sa postavljenim uporama; dolje bez kabina sa uporama

Na slici 68 je uočljiva širina područja na kojima su izražene deformacije te kako se ona mijenjaju postavljanjem upora ispod palube. Deformacije koje su ostale i koje su neizbježne javljaju se na slobodnim rubovima palube. Te deformacije na rubovima su uočljive i u bloku bez kabina. Također, može se vidjeti da je područje deformacija, kao i veličina tih deformacija, slična u slučajevima sa i bez kabina, pa se može zaključiti da na ovako oslonjen blok sa uporama same kabine i nemaju velikog utjecaja na deformaciju palube. Deformacije rubova posljedica su elastičnosti samog bloka.



Prilikom vertikalnog transportiranja opremljenog bloka, odnosno dizanja pomoću dizalica, on je opterećen dodatnim ubrzanjem. Budući da se blok diže pomoću uški, potrebno je bilo odrediti odgovarajuće pozicije. Iz provedenih analiza vidljivo je kako broj i raspored uški utječe na naprezanja i defromacije koje se pri tom javljaju u bloku. Najveća naprezanja koja su se pojavljivala prilikom dizanja sa 4 uške iznosila su 704 MPa dok su ona prilikom dizanja sa 8 uški iznosila maksimalnih 484. Budući da su dozvoljena naprezanja za običan brodograđevni čelik 235 MPa, blok je potrebno ukrutiti privremenim uporama. Postavljanjem upora ispod rebra 158, na način koji je prikazan u analizi, naprezanja su smanjena i ona ne prelaze 231 MPa. Teoretski i ovakvo rješenje je zadovoljavajuće jer su naprezanja u granicama dopuštenih, međutim kako je to ipak granični slučaj rađena je još jedna analiza gdje su postavljene dvije dodatne upore ispod rebra 149. Ovakvim načinom ukrućivanja maksimalna naprezanja ne prelaze 175 MPa te se sa sigurnošću može zaključiti da se ovako opremljen i ukrućen blok može transportirati dizalicama.

## 8. ZAKLJUČAK

Metoda modeliranja konačnim elementima, zbog mogućnosti brzog dobivanja rezultata nakon izvedenih promjena promatrane konstrukcije velika je pomoć u inženjerskoj praksi. Unatoč određenim razlikama između stvarne konstrukcije i prihvaćenog modela, jednostavnom i brzom metodom može se dobiti vrlo precizan uvid u nedostatke konstrukcije i utjecaj izvedenih promjena na nju, na osnovi kojih je moguće doći do optimalnog rješenja.

Veliki rasponi između pregrada, korištenje tankih limova te velik broj paluba (10 do 12), kao i oprema koja se ugrađuje u ROPAX brodove, svrstava ih u složenije brodove za gradnju. Problem krutosti koji se javlja kod gradnje ovakvih tipova broda posljedica je velikih dimenzija prema težini. Cilj ovog rada bio je da se dobije uvid u probleme koji se javljaju prilikom uranjenog opremanja bloka nadgrađa. U radu je analizirano 8 različitih scenarija transporta i opremanja bloka nadgrađa.

U prvom dijelu analize pokazano je kako raspored uški utječe na ponašanje konstrukcije prilikom njenog dizanja. U 1. slučaju, dizanje bloka sa 4 uške, naprezanja su se kretala do maksimalnih 704 MPa, dok su ona smanjena na 484 MPa u 2. slučaju, pri dizanju sa 8 uški. Također je bilo vidljivo, da pri dizanju takvog bloka dolazi do razdvajanja paluba, zbog čega je sljedeći korak bio postavljanje upora.

U drugom dijelu analize prikazan je utjecaj upora, te se tražio potreban broj upora da bi naprezanja u bloku, koja se javljaju prilikom dizanja, bila unutar dozvoljenih granica. U 3. slučaju deformacije su znatno smanjena, te maksimalni pomak iznosi svega 25 mm, dok su naprezanja u području dozvoljenih i ne prelaze 232 MPa. Također je vidljivo iz rezultata analize, da se postavljanjem upora na rebro R158, koncentracije naprezanja u podvezama pomiču prema krmenom djelu bloka. Slučajem 4. naprezanja su smanjena na 175 MPa, a deformacije koje se pojavljuju su na slobodnom kraju palube 8, i ne prelaze 22 mm. Prilikom dizanja bloka bez kabina, slučaj 5, naprezanja su očekivano manja i ne prelaze maksimalnih 146 MPa, dok su maksimalne deformacije također na rubu 8. palube te iznose 21,5 mm.

U trećem dijelu analize, prikazano je oslanjanje bloka nadgrađa. Blok je samostojeći, međutim zbog velikog razmaka između pregrada ispod 8 palube, pod središnji dio potrebno je postaviti upore. Postavljanje upora ispod palube 8, kako je prikazano analizom, rezultiralo je

smanjenjem deformacija sa maksimalnih 39 mm (slučaj 6) na svega 14 mm (slučaj 7). U slučaju 8, bez kabina, deformacije koje se pojavljuju slične su i po iznosu i po području djelovanja kao i u slučaju 7, što znači da one nisu posljedica utjecaja kabina, već problem krutosti samog bloka.

Osim pogleda na optimiziranje konstrukcije, analiza ima velikog utjecaja na organiziranje tehnološkog procesa u proizvodnji broda. Optimiziranjem i definiranjem konstrukcije broda u svim detaljima optimizira se i tehnološki proces izrade u smislu efikasnosti proizvodnje, nabave, protoka materijala i izrade elemenata konstrukcije, organizacije nabave opreme od kooperanata te smanjivanja količine otpada čime se snizuju troškovi gradnje, a samim time brodogradilište postaje konkurentnije.

Razvoj programskih paketa kao i računala omogućio je primjenu računala u svim fazama proizvodnog procesa. Današnji programi uvelike olakšavaju simulaciju stvarnih procesa. Ispitivanja u naravi su skupa i dugotrajna, te za neke promjene na modelu često treba izrađivati novi model, dok su računalni modeli puno prihvatljiviji. Jednom napravljen računalni model može se koristiti u beskonačno mnogo ispitivanja, ali ga je isto tako moguće mjenjati po potrebi. Zbog toga računala danas, ali i u budućnosti, imaju veliku ulogu u ispitivanju i razvoju proizvoda.

## **LITERATURA**

- [1] <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/ro-ro.htm>
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/SS\\_Empire\\_Celtic](http://en.wikipedia.org/wiki/SS_Empire_Celtic)
- [3] <http://www.tjednik.hr/vijest/Split/16166/Iz-splitskog-kvera-iza-ao-najskuplji-hrvatski-brod>
- [4] Tehnološki procesi brodogradnje, Sveučilište u Rijeci
- [5] Tehnološke upute za montažu blokova nadgrađa, Brodosplit
- [6] Tehnološke upute za ravnanje brodske strukture, Brodosplit
- [7] Senjanović I. Metode konačnih elemenata u analizi brodskih konstrukcija, Zagreb, 1986
- [8] Kraut B. Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb
- [9] Famap/Nastran user manual, 2010.