

Usporedba utroška čelika za izvedbu spregnutog mosta sa i bez podupiranja

Dušati, Maria-Paola

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:198851>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Maria-Paola Dušati

**USPOREDBA UTROŠKA ČELIKA ZA
IZVEDBU SPREGNUTOG MOSTA SA I
BEZ PODUPIRANJA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2023



Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET

Maria-Paola Dušati

**USPOREDBA UTROŠKA ČELIKA ZA
IZVEDBU SPREGNUTOG MOSTA SA I BEZ
PODUPIRANJA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Zagreb, 2023.

TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Maria-Paola Dušati**

JMBAG: **0115071812**

Diplomski rad iz predmeta: **Mostovi 2**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Usporedba utroška čelika za izvedbu spregnutog mosta sa i bez podupiranja
ENG	Comparison of steel consumption for erection of composite bridge with and without temporary supports

Opis teme diplomskog rada:

1. Izraditi dispozicijska rješenja za spregnuti most statičkog sustava kontinuiranog nosača. Rješenja će se razlikovati u pogledu poprečnog presjeka (2 nosača, >2 nosača) i veličine raspona (40 do 50 m).
2. Izraditi modele za statički proračun za sve varijante dispozicijskih rješenja
3. Proračun i dimenzioniranje rasponskog sklopa provesti za dva različita načina izvedbe - sa podupiranjem (pomoćnim osloncima) unutar raspona, i bez podupiranja, u fazama betoniranja kolničke ploče
4. Usporediti utrošak materijala za izradu rasponskog sklopa za različite načine izvedbe dispozicijskih rješenja

Datum: **20.04.2022.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor:

Anđelko Vlašić

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

SAŽETAK

U radu je prikazana analiza spregnutih mostova s otvorenim presjecima za raspone od 40, 50 i 60 metara. Za svaki od raspona mogući presjeci sadrže različite tipove i broj "I" nosača, tj. za svaki raspon analizirana je varijanta s četiri glavna nosača s konstantom debljinom kolničke ploče, te s dva glavna nosača s kolničkom pločom s vutama. Analiza se provodi na modelima bez podupiranja gdje se spregnuti presjek aktivira nakon očvršćivanja betonske ploče i na modelima s podupiranjem pomoću privremenih oslonaca u trećinama raspona čime se postiže da se težina i čelika i betona preuzima spregnutim presjekom. Za sve modele napravljena je analiza i dimenzioniranje na trajna i prometna opterećenja, te na nejednoliku temperaturu, i tako je određena količina čelika prema graničnim stanjima. Promjena količina čelika za pojedine raspone i broj nosača ovisno o načinu gradnje uspoređena je pomoću dijagrama. Zaključno je dan komentar koji je od spregnutih presjeka je najpovoljniji ovisno o duljini raspona mosta.

Ključne riječi: spregnuti most, Model opterećenja 1, brza cesta, "I" nosači, faze izvedbe, pomoćni oslonci



ABSTRACT

The paper presents the analysis of composite bridges with open cross sections for spans of 40, 50 and 60 meters. For each of the spans, the possible cross sections include different types and numbers of "I" girders, i.e., for each span, a variant with four main girders with constant deck plate thickness and with two main girders with variable deck plate thickness was analyzed. The analysis was performed on unsupported models, where the composite section is activated after the concrete slab has cured, and on models supported by temporary supports in one-third of the span, so that the weight of both the steel and the concrete is delivered to the composite section. All models were analyzed and designed for permanent and traffic loads and for non-uniform temperature, and thus the amount of steel was determined according to the limit states. The change in steel quantity for different spans and number of girders was compared depending on the construction method graphically. Finally, a conclusion was made as to which of the composite cross sections is most favorable depending on the length of the bridge span.

Keywords: composite bridge, Load model 1, expressway, "I" girder, construction stages, temporary support

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	i
SADRŽAJ	iii
1 UVOD.....	1
2 SPREGNUTI MOSTOVI	2
2.1 Općenito o spregnutim mostovima.....	2
2.2 Ovisnost proračuna i načina izvedbe	3
3 OBLIKOVANJE SPREGNUTIH GREDNIH MOSTOVA S "I" NOSAČIMA.....	6
4 ANALIZA OPTEREĆENJA	11
4.1 Vlastita težina mosta.....	11
4.2 Dodatno stalno - ΔG	16
4.3 Prometno opterećenje	18
4.4 Nejednolika linearno promjenjiva temperatura	22
5 OPIS NAČINA MODELIRANJA I ELEMENTA MODELA.....	24
5.1 Opis softvera.....	24
5.2 Vrsta modela.....	25
5.3 Vrste elementa	25
5.4 Geometrija modela	25
5.5 Modeliranje faza izvedbe – CSM	26
6 DIMENZIONIRANJE KONTINUIRANOG NOSAČA.....	33
6.1 Postupak dimenzioniranja.....	33
6.1.1 Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju.....	33
6.1.2 Rasponski sklop - naprezanja	34
6.1.3 Dokaz stabilnosti limova.....	35
6.1.3.1 Donji pojas u tlaku.....	35

6.1.3.2	Dokaz stabilnosti hrpta	40
6.2	Rezultati za kontinuirani nosač bez podupiranja	44
6.2.1	Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju.....	44
6.2.2	Rasponski sklop-naprezanja	45
6.2.3	Dokaz stabilnosti limova.....	47
6.2.3.1	Donji pojas u tlaku	47
6.2.3.2	Dokaz stabilnosti hrpta	50
6.2.3.2.1	Dokaz stabilnosti hrpta nad osloncem	52
6.2.3.2.2	Dokaz stabilnosti hrpta u presjeku smanjenja debljine na $t=14$ mm	57
6.2.3.2.3	Hrpat u presjeku smanjenja debljine na $t= 12$ mm	58
6.2.3.2.4	Hrpat u sredini raspona.....	59
6.3	Rezultati za kontinuirani nosač sa podupiranjem	60
6.3.1	Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju.....	60
6.3.2	Rasponski sklop-naprezanja	61
6.3.3	Dokaz stabilnosti limova.....	63
6.3.3.1	Donji pojas u tlaku	63
6.3.3.2	Dokaz stabilnosti hrpta	66
6.3.3.2.1	Dokaz stabilnosti hrpta nad osloncem	68
6.3.3.2.2	Dokaz stabilnosti hrpta u presjeku smanjenja debljine na $t=14$ mm	69
6.3.3.2.3	Hrpat u presjeku smanjenja debljine na $t= 12$ mm	70
6.3.3.2.4	Hrpat u sredini raspona.....	71
6.4	Usporedba.....	72
6.4.1	Usporedba dimenzija nosača	72
6.4.2	Usporedba utroška čelika	81
7	PROSTA GREDA	82
7.1	Oblikovanje sustava proste grede s "I" nosačima	82
7.2	Analiza opterećenja	85

7.2.1	Vlastita težina mosta	85
7.3	Opis načina modeliranja i elementa modela.....	89
7.4	Dimenzioniranje proste grede.....	96
7.4.1	Razlike u postupku dimenzioniranja u odnosu na kontinuirani nosač	96
7.4.2	Rezultati za prostu gredu bez podupiranja	100
7.4.2.1	Rasponski sklop naprezanja	100
7.4.2.2	Dokaz stabilnosti limova.....	101
7.4.2.2.1	Dokaz stabilnosti hrpta	101
7.4.2.2.2	Hrpat u presjeku smanjenja debljine g. pojasnice sa 50 na 40 mm	104
7.4.2.2.3	Hrpat u presjeku smanjenja debljine g. pojasnice sa 40 mm na 20 mm.....	105
7.4.2.2.4	Hrpat u presjeku smanjenja debljine na $t=12$ mm	106
7.4.3	Rezultati za prostu gredu sa podupiranjem	107
7.4.3.1	Rasponski sklop naprezanja	107
7.4.3.2	Dokaz stabilnosti limova.....	108
7.4.3.2.1	Dokaz stabilnosti hrpta	108
7.4.3.2.2	Hrpat u presjeku smanjenja debljine d. pojasnice sa 40 mm na 30 mm.....	112
7.4.3.2.3	Hrpat u presjeku smanjenja debljine d. pojasnice sa 30 mm na 20 mm.....	113
7.4.3.2.4	Hrpat u presjeku smanjenja debljine na 12 mm	114
7.5	Usporedba.....	115
7.5.1	Usporedba dimenzija nosača	115
7.5.2	Usporedba utroška čelika	120
8	ZAKLJUČAK.....	121
	POPIS LITERATURE	123
	POPIS SLIKA	124
	POPIS TABLICA.....	129
	POPIS PRILOGA.....	130

1 UVOD

Tema ovog rada je usporedba utroška čelika spregnutog mosta sa ili bez podupiranja.

Cilj nam je bio pronaći adekvatne poprečne presjeke, te načine izvedbe koji će pokazati maksimalnu iskoristivost spregnutih sustava. Same dimenzije presjeka izravno ovise o samom načinu i tijeku izvođenja radova.

U nepoduprtim sustavima očekujemo veće dimenzije poprečnih presjeka jer čelični nosač mora nositi vlastitu težinu i težinu svježeg betona. Očvršćivanjem betona presjek postaje spregnuti i preuzima ukupno opterećenje. Važan je i sam redoslijed betoniranja kako bi se unijelo što manje negativnih momenata nad osloncem i spriječilo raspucavanje ploče.

Kod sustava s podupiranjem spregnuti presjek sudjeluje u nosivosti nakon uklanjanja oslonaca. Kako u fazi betoniranja u čeliku nema dodatnih naprezanja očekujemo i manje dimenzije samih čeličnih nosača.

Razmatrali smo dvije vrste statičkih sustava grednih spregnutih mostova; mostovi s kontinuiranim rasponskim sklopovima i mostovi s jednim rasponom tj. prosta greda. Za sustave je napravljena analiza i dimenzioniranje na stalna i prometna opterećenja, te na nejednoliku linearnu promjenjivu temperaturu.

U radu će biti prikazana usporedba dimenzija "I" nosača i količina utrošenog materijala ovisno o načinu izvedbe. Usporedbu količine čelika spregnutog mosta sa ili bez podupiranja smo radili kako bi imali bolju informaciju o samoj cijeni spregnutih mostova zbog činjenice da je čelik veliki faktor pri ukupnoj cijeni mosta, a dijelom zbog veće količine rada i vremena koji je potreban za proizvodnju čeličnih nosača u usporedi sa betonskim nosačima.

2 SPREGNUTI MOSTOVI

2.1 Općenito o spregnutim mostovima

Ukoliko se za gradnju mostova odgovarajuće primjeni istovremeno čelik i beton, dobivamo konstrukcije koje mogu imati znatne prednosti u odnosu na one izvedene od samog jednog materijala.

Neke od glavnih prednosti spregnutih mostova u odnosu na ostale betonske mostove sličnih dimenzija i raspona su smanjena težina rasponskog sklopa, manja konstrukcijska visina, manji elementi donjeg ustroja i jednostavnije temeljenje, estetski prihvatljivije strukture zbog vitkijeg rasponskog sklopa, bolje ponašanje u seizmičkim aktivnim područjima zbog manje težine, veća jednostavnost i lakoća montaže posebice kod težih uvjeta. Prednosti u odnosu na čelične sustave je povećana krutost, bolji funkcionalni odgovor konstrukcije, manji utrošak čelika, manji progibi od prometnog opterećenja, jednostavnija radionička izrada čelika i veća trajnost kolničke ploče i zastora [1].

S druge strane pokazuju i neke nedostatke u odnosu na betonske sustave poput veće količine utrošenog rada, složenije faze izvedbe zbog odvojene montaže čeličnih nosača i betoniranja ploče u posebnom slijedu kako bi se izbjeglo njezino raspucavanje i kako bi se što više opterećenja preuzelo spregnutim presjekom, većih progiba i opasnosti pojave zamora čelika. Spregnuti sustavi imaju veću težinu u odnosu na čelične sustave, što rezultira većim debljinama limova, te je kompliciranija sama radionička izvedba i zavarivanje [1].

Spregnuti mostovi su konkurenti za srednje raspone do 120 metara, te iznad tog raspona količina čelika postaje značajna.

U okviru ovog diplomskog rada analizirati će se dvije vrste statičkih sustava grednih spregnutih mostova; mostovi s kontinuiranim rasponskim sklopovima i mostovi s jednim rasponom tj. prosta greda.

Mostovi s kontinuiranim rasponskim sklopovima konkurenti su za raspone od 20 do 120 metara i imaju manje konstruktivne visine, ali se javljaju značajna vlačna naprezanja u betonu nad srednjim osloncima. Statički sustav proste grede pogodan je za raspone od 20 do 50 metara.

2.2 Ovisnost proračuna i načina izvedbe

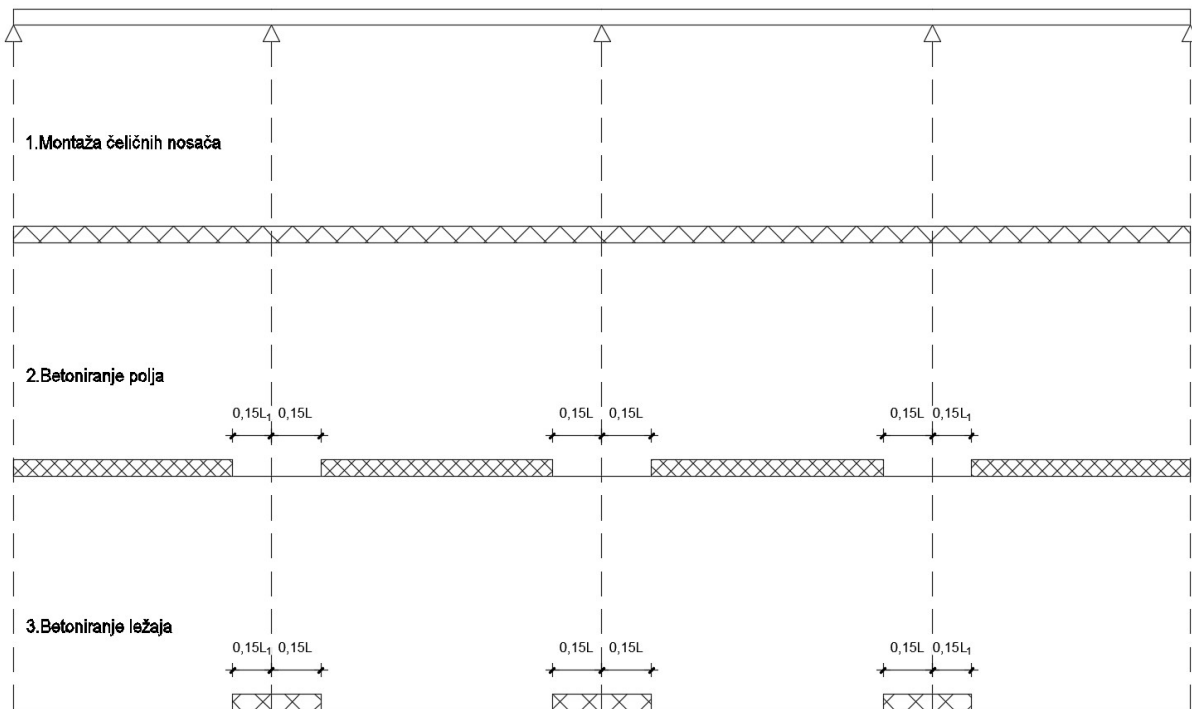
Neovisno koji tip mosta razmatramo, želimo usvojiti poprečni presjek i postupak izvedbe koji će maksimizirati potencijal spregnutog sustava. Kako se kod spregnutih sustava naprezanja unutar presjeka akumuliraju tijekom pojedinih faza izvedbe stoga je od izuzetne važnosti sam način i tijek izvođenja [2].

Kako se prilikom montaže mosta odgovarajuće mijenja i njegov statički sustav, razmatranje slijeda opterećivanja bitno je za njegovu pouzdanost. Promjena statičkog sustava može se dogoditi postavljanjem, tj. micanjem pomoćnih oslonaca ili načinom betoniranja kolničke ploče [2].

Kod nepoduprtih sustava uvelike je bitan redoslijed betoniranja kolničke ploče. Tokom faze betoniranja se u čeličnom nosaču akumuliraju naprezanja što ima za posljedicu veće izmjere samog čeličnog nosača i veće momente savijanja. Vlastitu težinu betonske ploče i težinu samog čeličnog nosača preuzima sam čelični nosač, te nakon očvršćivanja betona poprečni presjek djeluje kao spregnuti i preuzima ukupno opterećenje [2].

Postupak betoniranja:

1. montaža čeličnih nosača
2. betoniranje ploče polja – točke udaljene $0,15L$ od oslonaca
3. betoniranje ploče nad ležajem

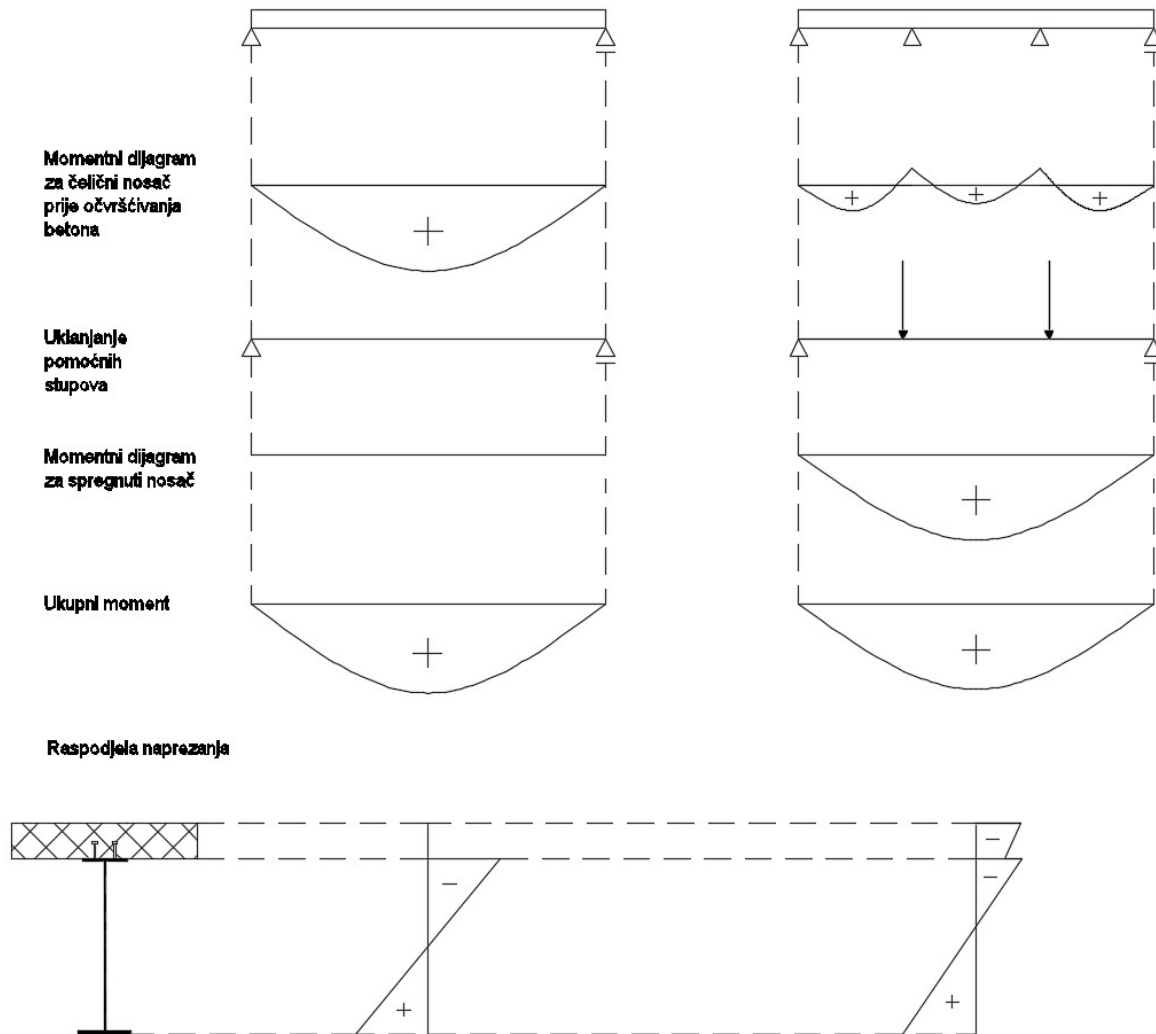


Slika 2.1. Faze betoniranja ploče

U području oslonaca dolazi do negativnih momenta savijanja, te prijenosu opterećenja sudjeluje samo čelični nosač. Zbog pojave vlaka dolazi do raspucavanja betonske ploče.

Ovakvim redoslijedom betoniranja sprječavamo uvođenje negativnih momenata savijanja u betonsku ploču iznad ležajeva i dolazi do manjeg raspucavanja ploče u okolini ležajeva [1].

Kako bi se izbjeglo da se tokom betoniranja u čelik uvode dodatna naprezanja koriste se pomoćni oslonci. To znači da u fazi betoniranja u čeličnom nosaču praktički nema napona. Nakon očvršćivanja betonske ploče i uklanjanja pomoćnih oslonaca, stalna i promjenjiva djelovanja se u potpunosti preuzimaju spregnutim presjekom [1].

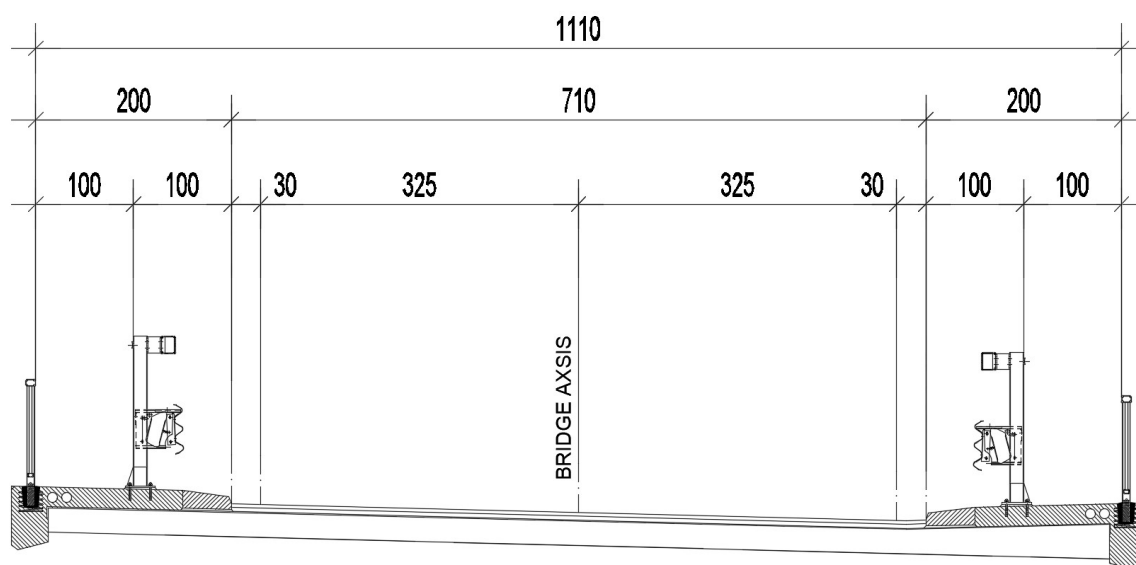


Slika 2.2. Momenti savijanja i naprezanja od vlastite težine za različite postupke gradnje

3 OBLIKOVANJE SPREGNUTIH GREDNIH MOSTOVA S "I" NOSAČIMA

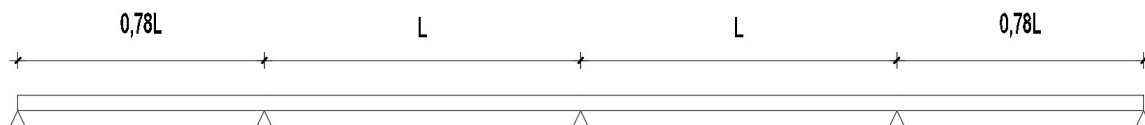
U ovom poglavlju biti će prikazani parametri koji su nam potrebni za izradu dispozicijskog rješenja i modela, te oni ostaju fiksni tokom cijelog dimenzioniranja.

U radu su analizirani modeli s dva i četiri glavna nosača. Širina mosta određena je projektnom brzinom koja iznosi 80 km/h.



Slika 3.1. Širina mosta za projektnu brzinu 80 km/h

Vrijednosti središnjih raspona su 40, 50 i 60 metara, a bočni iznose 78% duljine središnjeg raspona kako bi se ujednačili pozitivni momenti savijanja kroz sve raspone.



Slika 3.2. Uzdužna dispozicija mosta

Tablica 3.1. Dimenzije raspona

L [m]	$0,78 \cdot L$ [m]
40	31,2
50	39
60	46,8

Razmak glavnih nosača za kolničku ploču stalne debljine 25 cm je 2,95 metara (slika 3.5.), dok je razmak glavnih nosača za kolničku ploču promjenjive debljine 6,5 metara (slika 3.6.). Kod poprečnog presjeka s dva nosača u sredini debljina kolniče ploče ima vrijednost 25 cm te se ta vrijednost postepeno povećava do 40 cm iznad ležaja.

Visina glavnih nosača konstantne je visine po cijeloj dužini mosta te se određuje iz omjera $L/h=20$.

Tablica 3.2. Visine glavnih nosača

Raspon [m]	Visina glavnog nosača [mm]
40	1700
50	2200
60	2700

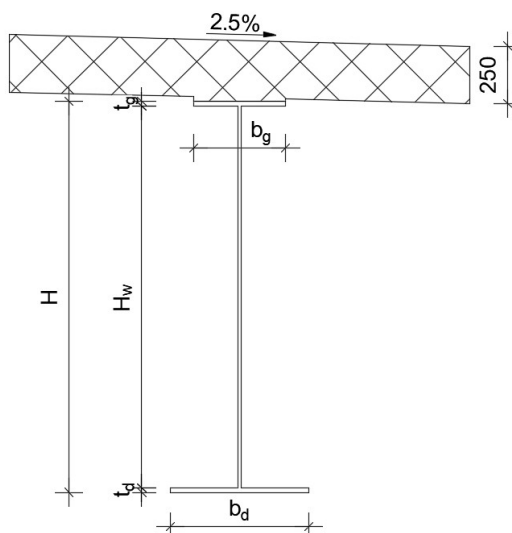
Poprečni nosači postavljaju se na razmaku od 4,7-5,2 m ovisno o modelu. Visina poprečnih nosača u polju uzeta je kao vrijednost 1/3 visine glavnog nosača. Nad ležajem visina poprečnog nosača za poprečni presjek s 4 glavna nosača jednaka je visini glavnog nosača, dok kod poprečnog presjela s 2 glavna nosača ona iznosi 2/3 visine glavnog nosača.

Tablica 3.3. Dimenzije poprečnih nosača u polju i nad ležajem

Raspon [m]	Poprečni nosači		
	Polje	Ležaj (visina poprečnog nosača) [mm]	
		4 nosača	2 nosača
40	HEA 600	1700	1150
50	HEA 750	2200	1500
60	HEA 900	2700	1800

U tablici su dane preporučene debljine gornjih i donjih pojasnica. Vrijednosti će se mijenjati prilikom dimenzioniranja i usvojene debljine biti će prikazane u poglavljima 6.4. i 7.5.

Kao preliminarnu vrijednost s kojima započinjemo modeliranje su 20 mm za debljine pojasnica, te 12 mm za debljine hrpta.



Slika 3.3. Preliminarnu dimenzije glavnog nosača

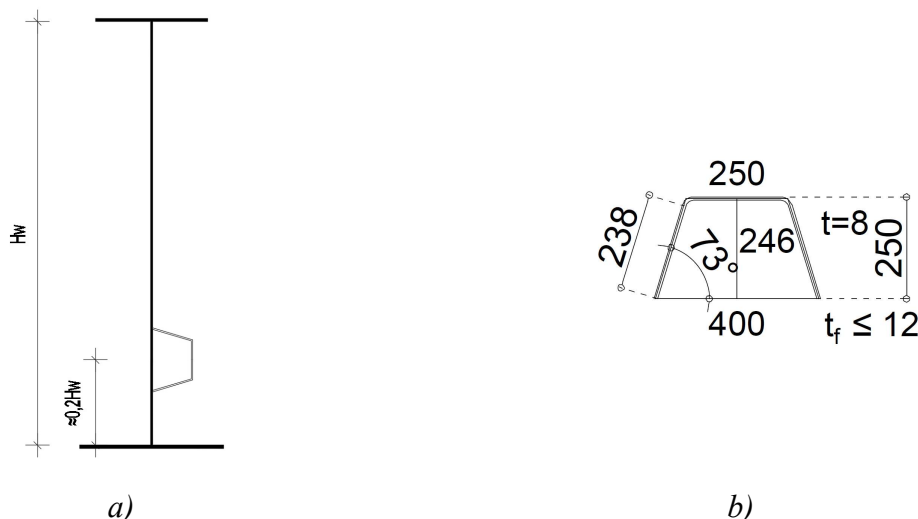
Tablica 3.4. Preporučene vrijednosti debljina pojasnica

Debljine limova	U polju	Iznad ležajeva
Gornji pojas (t_g)	20 mm	30 – 60 mm
Donji pojas (t_d)	20 – 40 mm	40 – 80 mm

Tablica 3.5. Preporučene vrijednosti širina gornjih i donjih pojasnica, te prisutnost horizontalnog ukrućenja

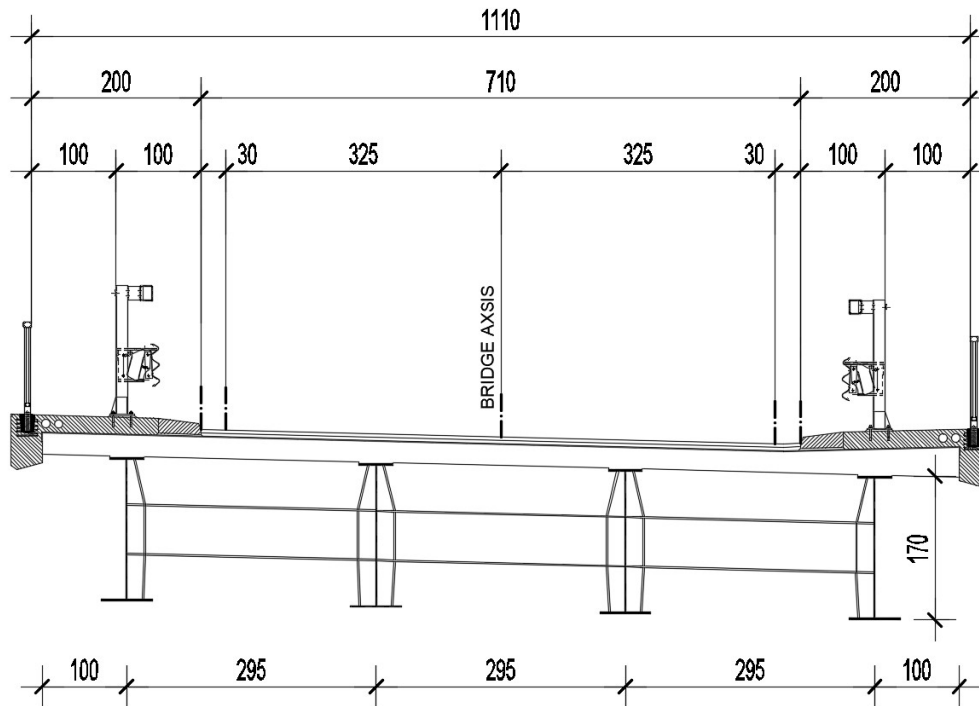
Raspon [m]	4 nosača		2 nosača		Horizontalno ukrućenje
	Širina gornje pojasnice b_g [mm]	Širina donje pojasnice b_d [mm]	Širina gornje pojasnice b_g [mm]	Širina donje pojasnice b_d [mm]	
40	400	600	600	700	NE
50	600	700	600	800	NE
60	600	700	700	900	DA/NE

Horizontalna ukrućenja preporučaju se za visine hrptova veća od 2000 mm, te postaju obavezna za visine iznad 2500 mm. U radu napravljene su varijante sa i bez horizontalnih ukrućenja radi usporedbe utroška čelika, te se koristilo ukrućenje TYP 250. Ukrućenje se postavlja na udaljenosti $0,2H_w$ od unutarnjeg ruba pojasnice u tlačni dio hrpta.



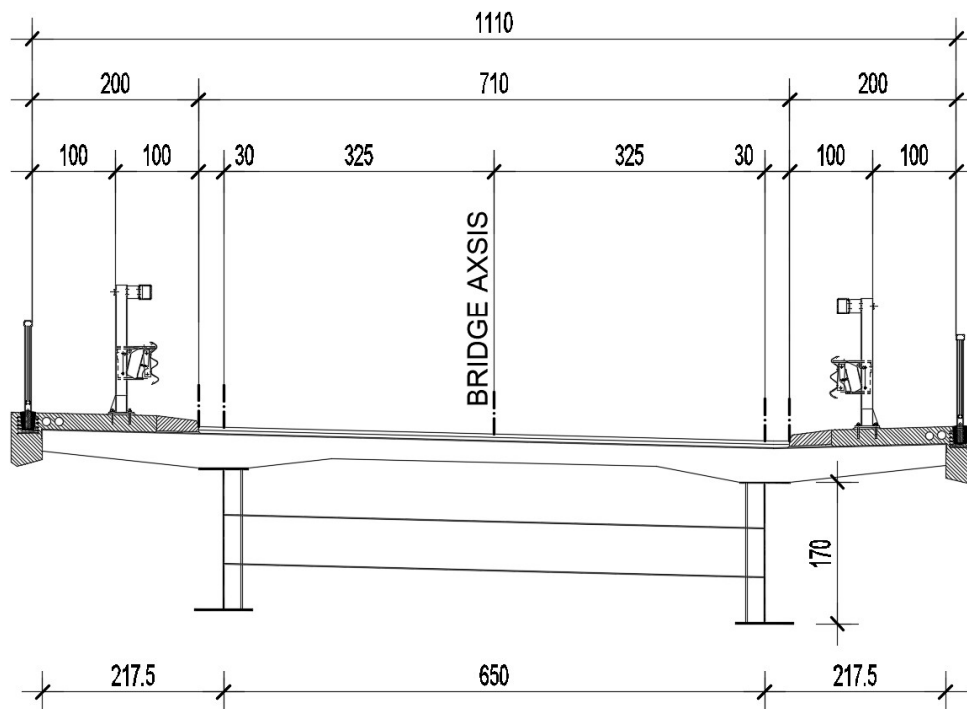
Slika 3.4. a) Položaj ukrućenja u odnosu na visinu hrpta ;b) Ukrućenje TYP 250

$b_g=400$ mm, $b_d=600$ mm, poprečni HEA 600



Slika 3.5. Poprečni presjek s četiri nosača

$b_g=600$ mm, $b_d=700$ mm, poprečni HEA 600



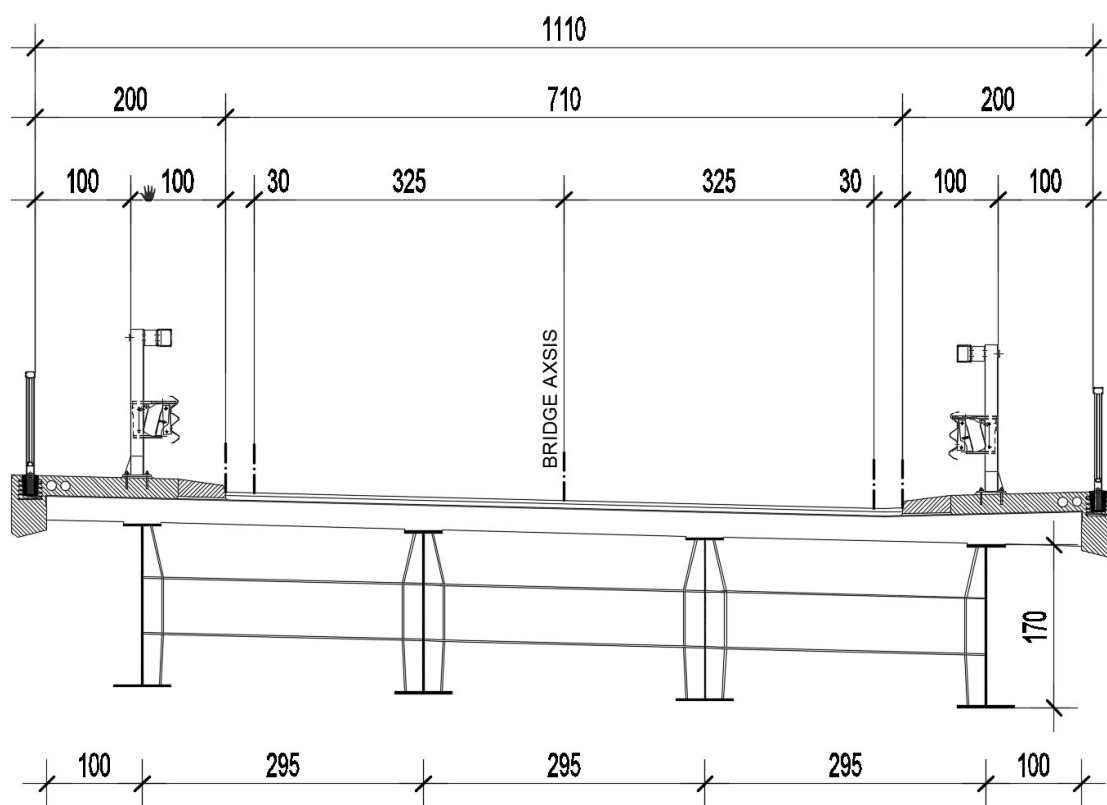
Slika 3.6. Poprečni presjek s dva nosača

4 ANALIZA OPTEREĆENJA

4.1 Vlastita težina mosta

Osim dijelova presjeka glavnog nosača, u vlastitu težinu čeličnog sklopa ulaze i svi poprečni elementi koji nisu dio glavnog statičkog modela. Ovi dijelovi čine dodatnu vlastitu težinu koja se u modelu nanosi u obliku koncentriranih sila na mjestima gdje stvarno djeluje.

Polje



Slika 4.1. Poprečni presjek u polju

Faza 1 – montaža čeličnih nosača

- a) Hrbat vertikalnog ukrućenja [kN]

$$A_{vert.ukruć.} \cdot 0,02 \cdot \gamma_{\xi} = (0,0736 + 0,0987) \cdot 0,02 \cdot 80 = 0,3 \text{ kN}$$

- b) Pojasevi vertikalnog ukrućenja i ukrućenja hrpta pop nosača [kN]

$$0,3 \cdot 0,02 \cdot (a + c) \cdot \gamma_{\xi} = 0,3 \cdot 0,02 \cdot (0,55 + 0,53) \cdot 80 = 0,5 \text{ kN}$$

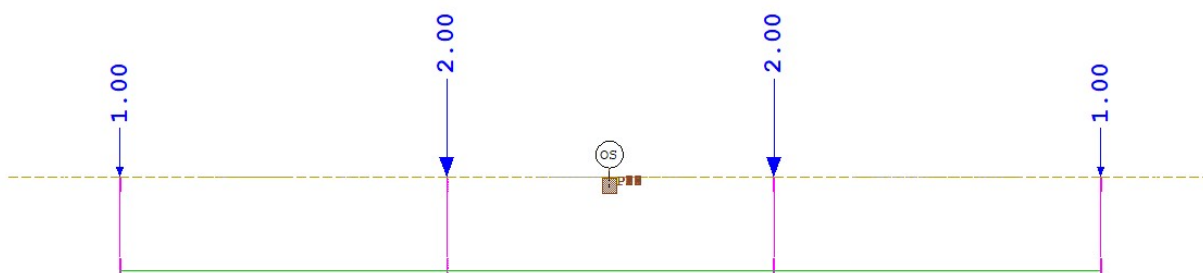
$$0,12 \cdot 0,03 \cdot b \cdot 2 \cdot \gamma_{\xi} = 0,12 \cdot 0,02 \cdot 0,57 \cdot 2 \cdot 80 = 0,2 \text{ kN}$$

Ukupno na mjestu rubnog poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma a + b = 0,3 + 0,5 + 0,2 = 1,0 \text{ kN}$$

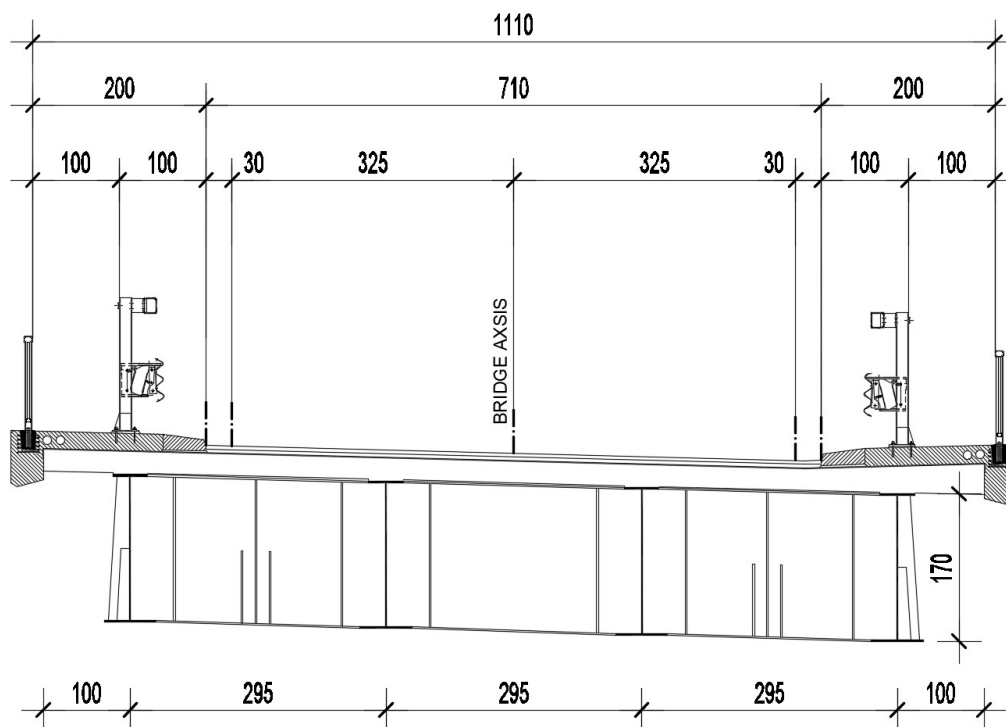
Ukupno na mjestu središnjeg poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma a + b = 2,0 \text{ kN}$$



Slika 4.2. Prikaz unosa dodatne vlastite težine u polju, Sofistik

Ležaj



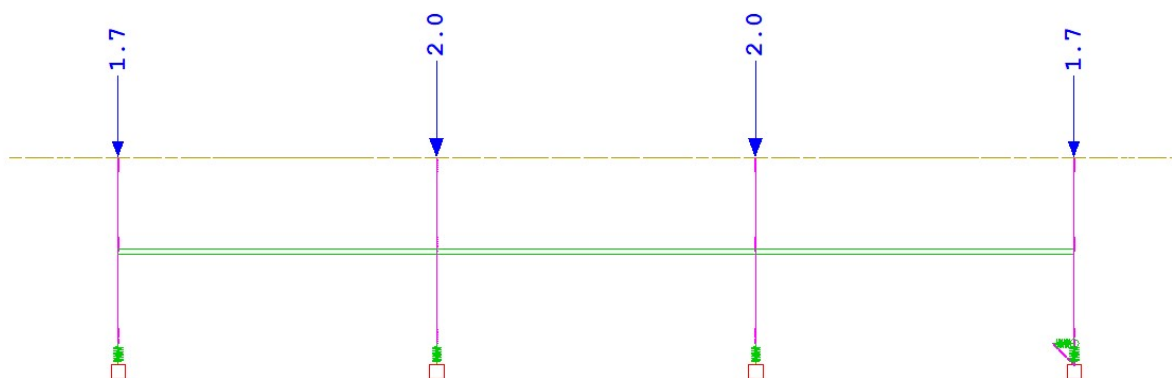
Slika 4.3. Poprečni presjek nad ležajem

Ukupno na mjestu rubnog poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma = 1,7 \text{ kN}$$

Ukupno na mjestu središnjeg poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma = 2,0 \text{ kN}$$



Slika 4.4. Prikaz unosa dodatne vlastite težine nad ležajem, Sofistik

Tablica 4.1. *Iznosi dodatne vlastite težine za sve modele*

raspon	broj gl. nosača	4 nosača		2 nosača [kN]
		središnji [kN]	rubni [kN]	
40 [m]	polje	2,0	1,0	1,2
	ležaj	2,0	1,7	2,1
50 [m]	polje	2,8	1,4	1,4
	ležaj	2,0	2,3	2,9
60 [m]	polje	3,4	1,7	1,7
	ležaj	2,4	2,8	3,8

Faza 2 – betoniranje ploče spregnutog presjeka

Model s 4 glavna nosača

- rubni nosač

$$A_{1 \text{ ploče}} = 0,619 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{1 \text{ ploče}} = A_{1 \text{ ploče}} \cdot \gamma_b = 0,619 \cdot 25 = 15,5 \text{ [kN/m]}$$

- središnji nosač

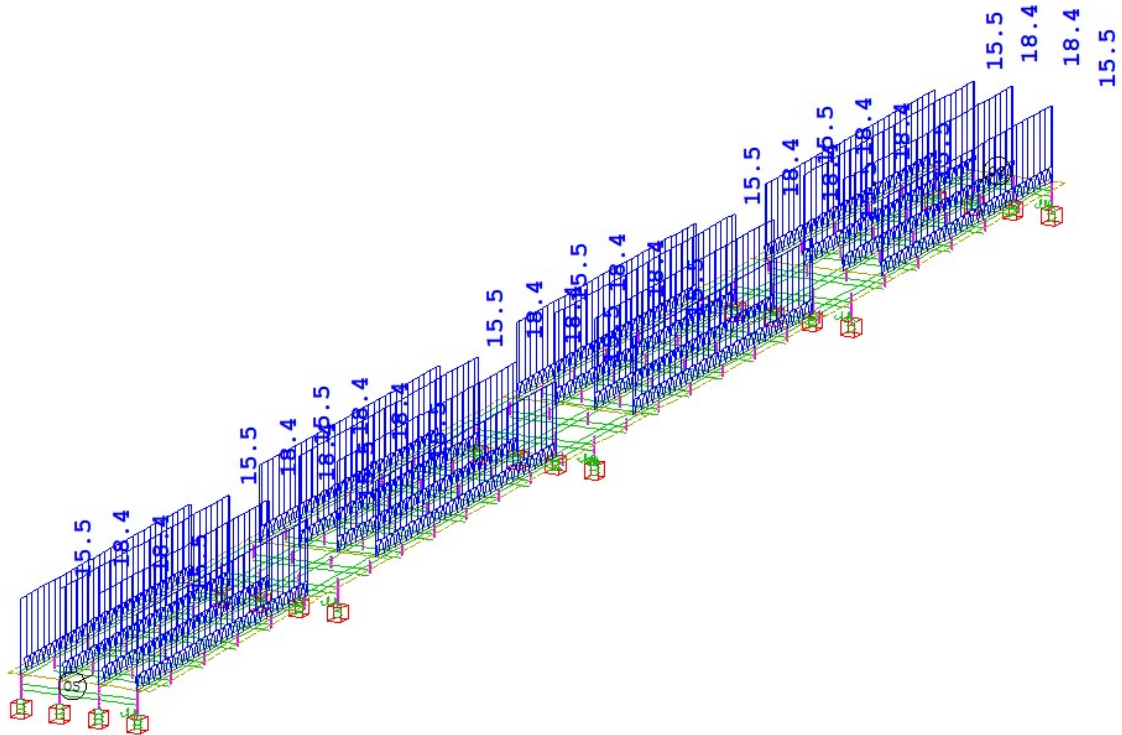
$$A_{1 \text{ ploče}} = 0,738 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{1 \text{ ploče}} = A_{1 \text{ ploče}} \cdot \gamma_b = 0,738 \cdot 25 = 18,4 \text{ [kN/m]}$$

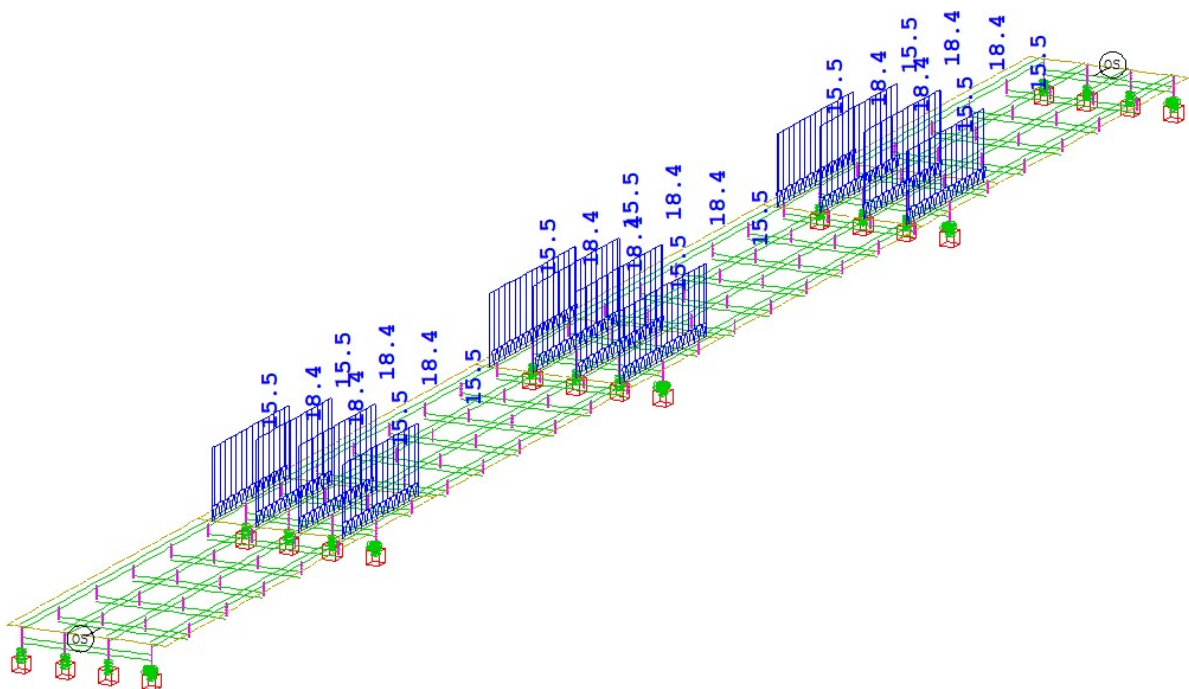
Model s 2 glavna nosača

$$A_{1 \text{ ploče}} = 1,356 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G_{1 \text{ ploče}} = A_{1 \text{ ploče}} \cdot \gamma_b = 1,356 \cdot 25 = 33,9 \text{ [kN/m]}$$



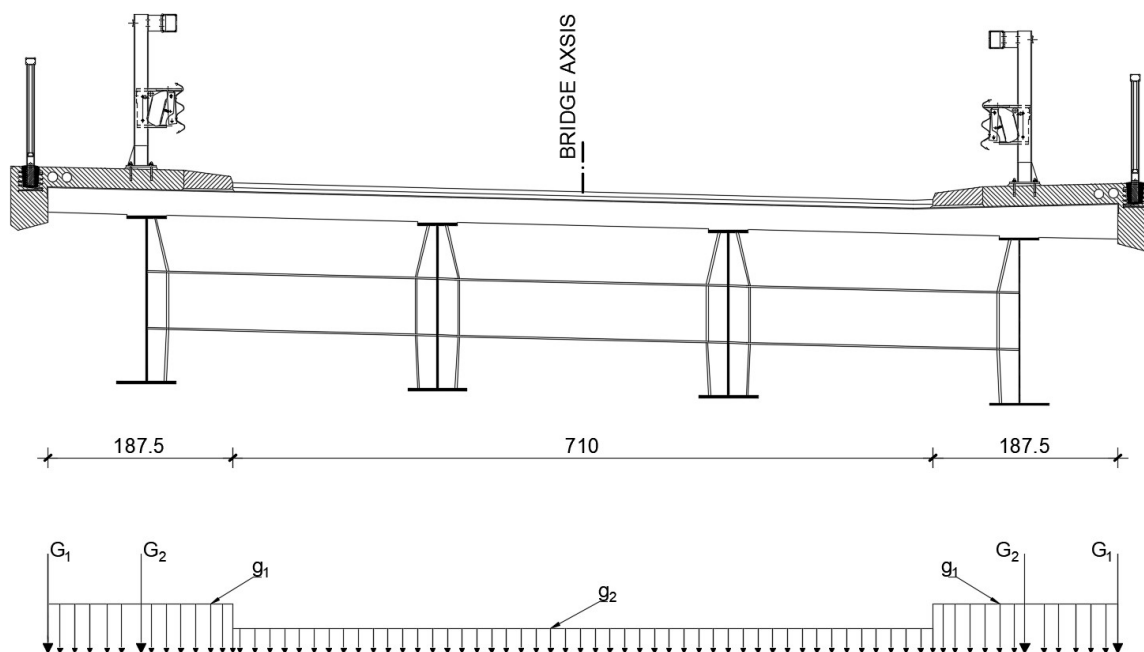
Slika 4.5. Prikaz unosa opterećenja betonske ploče za polje, Sofistik



Slika 4.6. Prikaz unosa opterećenja betonske ploče nad ležaj, Sofistik

4.2 Dodatno stalno - ΔG

Faza 3 – dodatno stalno



Slika 4.7. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja

Za cijeli most:

Pješačka staza, rubnjak..... $0,20 \cdot 1,88 \cdot 25 \cdot 2 = 23,5$ [kN/m]

Hidroizolacija..... $0,5 \cdot 10,85 = 5,43$ [kN/m]

Zastor..... $0,08 \cdot 6,8 \cdot 21 = 11,42$ [kN/m]

Ograde..... $4 \cdot 0,5 = 2,0$ [kN/m]

Vijenac..... $0,25 \cdot 25 \cdot 2 = 12,5$ [kN/m]

Ukupno: $\Sigma 54,9$ [kN/m]

Linijska opterećenja:

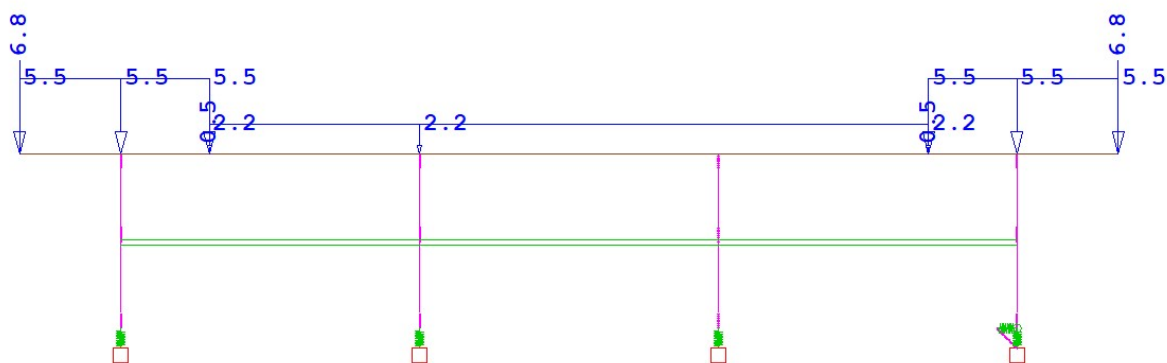
$$G_1 = A_v \cdot 25(\text{vijenac}) + 0,5(\text{ograda}) = 0,25 \cdot 25 + 0,5 = 6,75 \text{ kN/m}$$

$$G_2 = 0,5(\text{ograda}) = 0,5 \text{ kN/m}$$

Plošna (površinska) opterećenja

$$g_1 = 0,5(\text{hidroizolacija}) + d_h \cdot 25(\text{hodnik}) = 0,5 + 0,2 \cdot 2 = 5,50 \text{ kN/m}^2$$

$$g_2 = 0,5(\text{hidroizolacija}) + 0,08 \cdot 21(\text{zastor}) = 0,5 + 0,08 \cdot 2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$$



Slika 4.8. Prikaz unosa dodatnog stalnog opterećenja, Sofistik

4.3 Prometno opterećenje

Model opterećenja 1

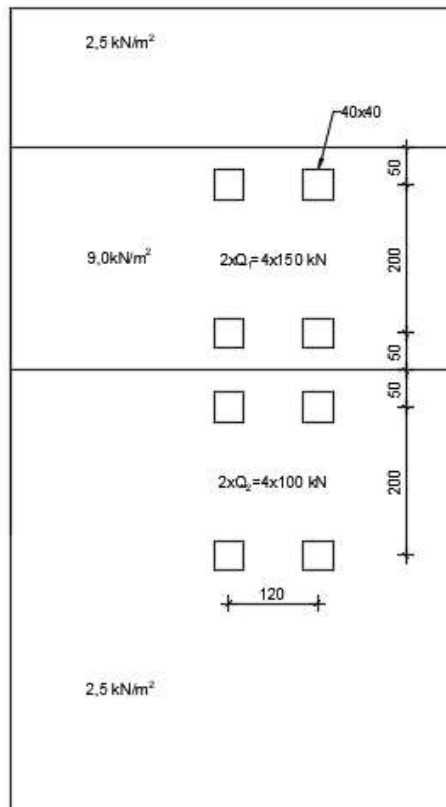
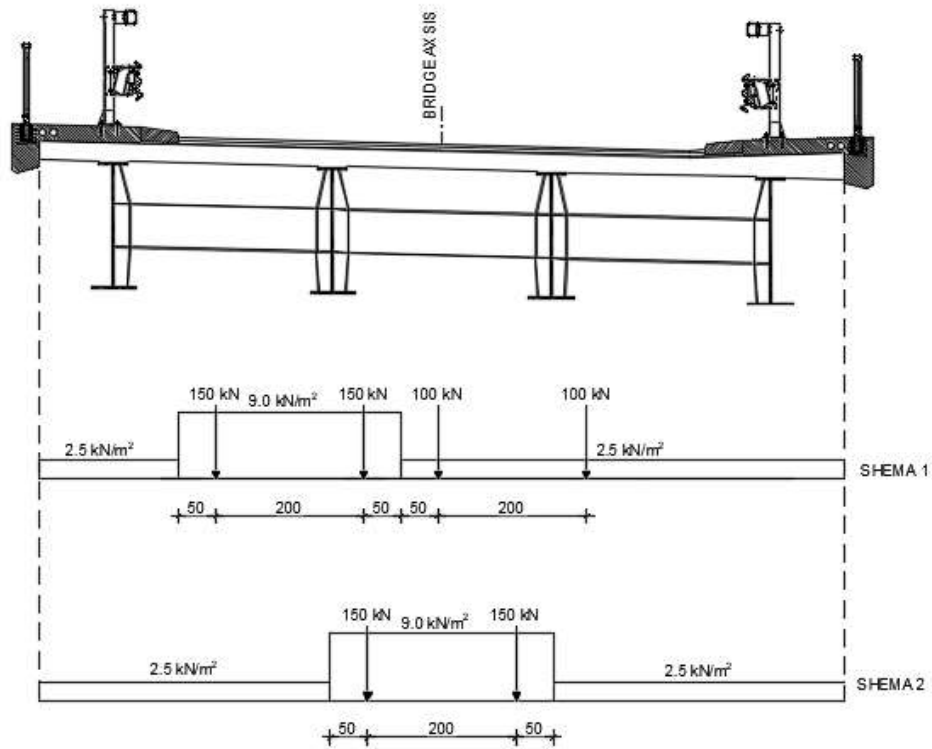
Model opterećenja 1 pokriva većinu djelovanja teretnih i osobnih vozila, te je glavni model opterećenja. Sastoji se od dvoosovinskog sustava – tandem vozila i jednolikog raspodijeljenog opterećenja.

Moguće sheme opterećenja

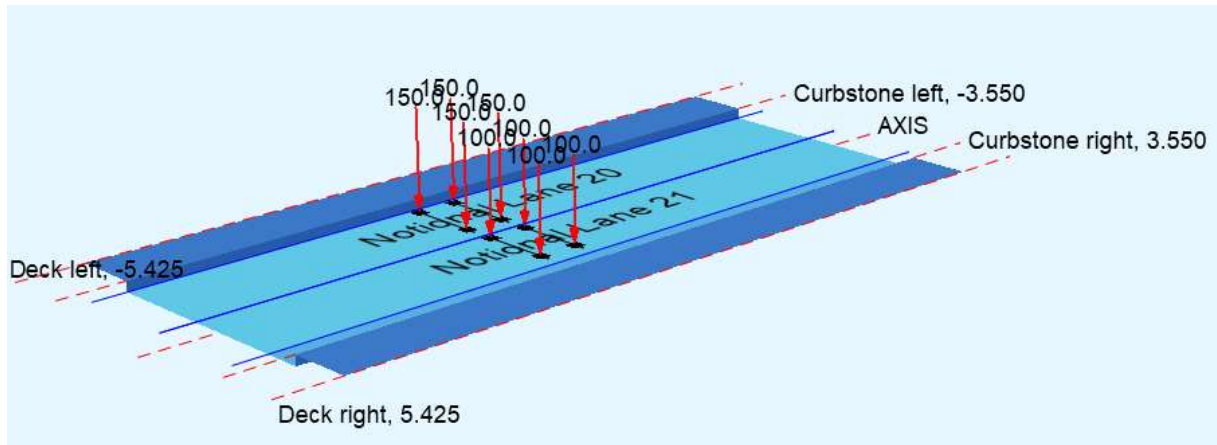
Položaj glavnog prometnog traka ovisi o konstrukcijskom elementu za koji tražimo kritičnu vrijednost rezne sile za dimenzioniranje. Položaj teškog vozila (glavnog prometnog traka) u poprečnom smjeru može se tako mijenjati kako bi se odredila maksimalna vrijednost mjerodavnog učinka za dimenzioniranje.

Elementi za koje tražimo mjerodavne sheme prometnog opterećenja kod mostova su obično:

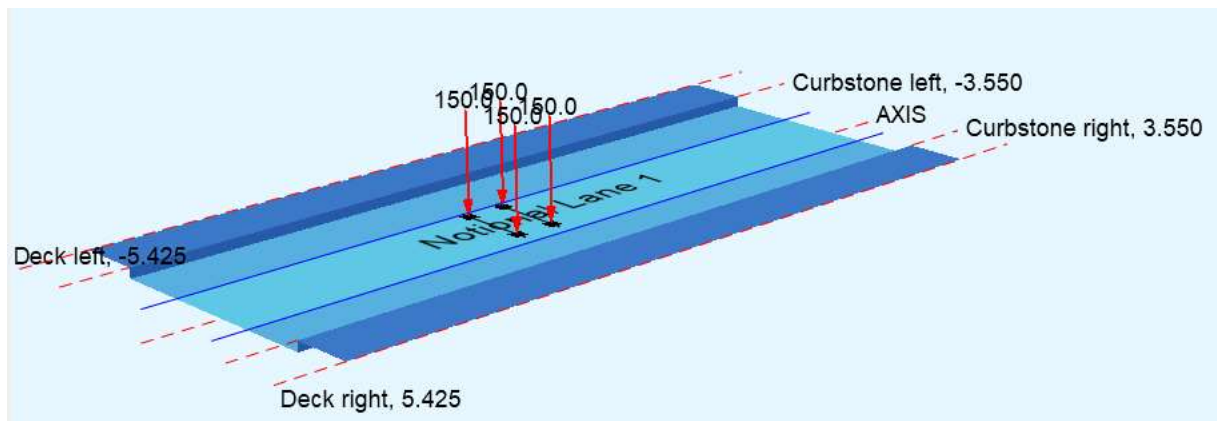
1. glavni nosač (max i min M_y)
 - a) rubni nosač → shema 1
 - b) srednji nosač → shema 2



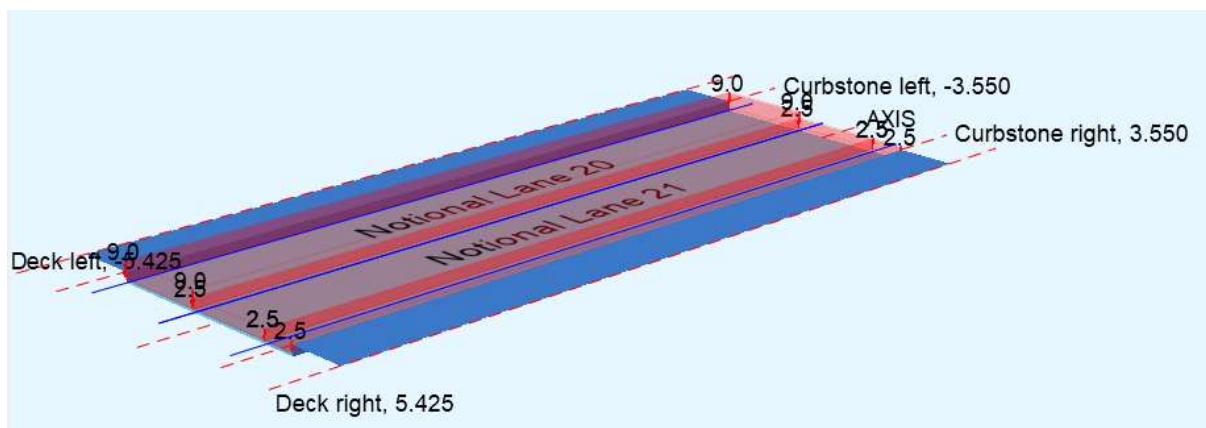
Slika 4.9. Sheme prometnog opterećenja



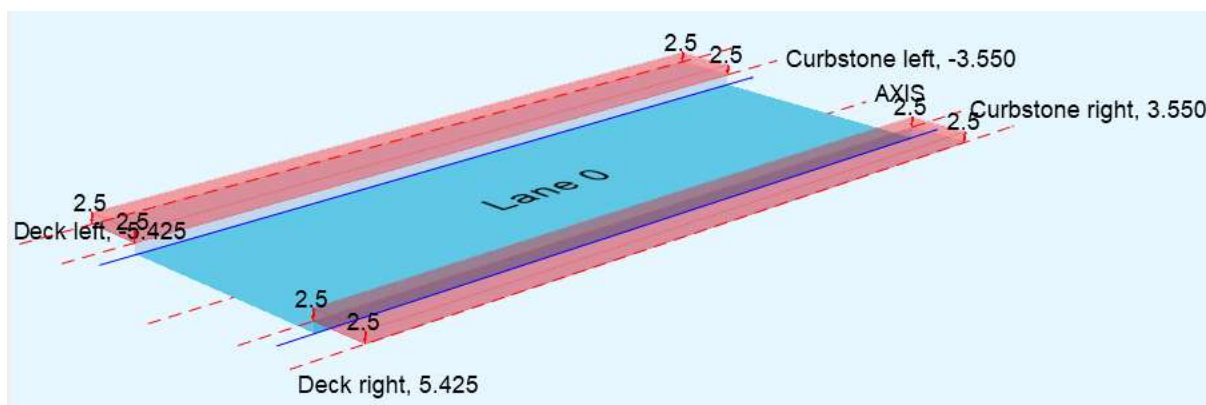
Slika 4.10. Tandem vozila, LMI, Sofistik



Slika 4.11. Tandem vozila, LMI, Sofistik



Slika 4.12. *Kontinuirano opterećenje, LMI, Sofistik*



Slika 4.13. *Kontinuirano opterećenje hodnika, LMI, Sofistik*

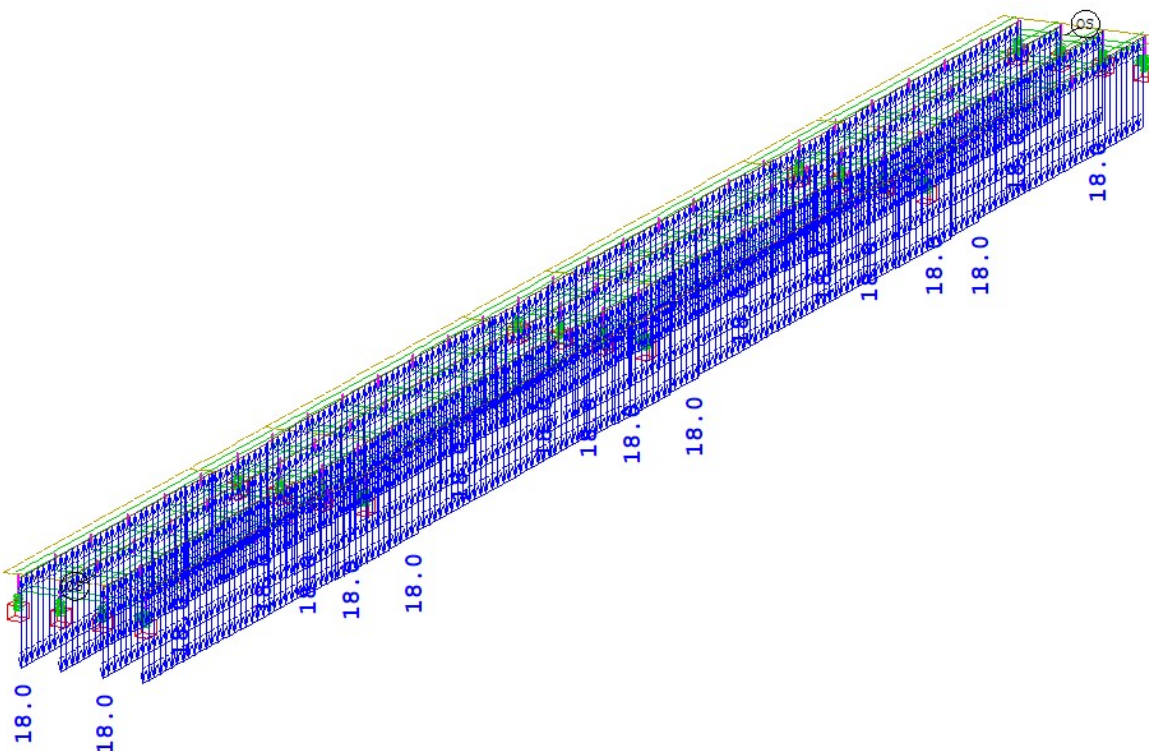
4.4 Nejednolika linearno promjenjiva temperatura

Jednolika linearna promjenjiva temperatura nije se uzimala u obzir zbog nepomičnog ležaja u sredini rasponskog sklopa zbog kojeg nema značajnih utjecaja od linearne temperature osim translacijskog pomicanja raspona u smjeru mosta.

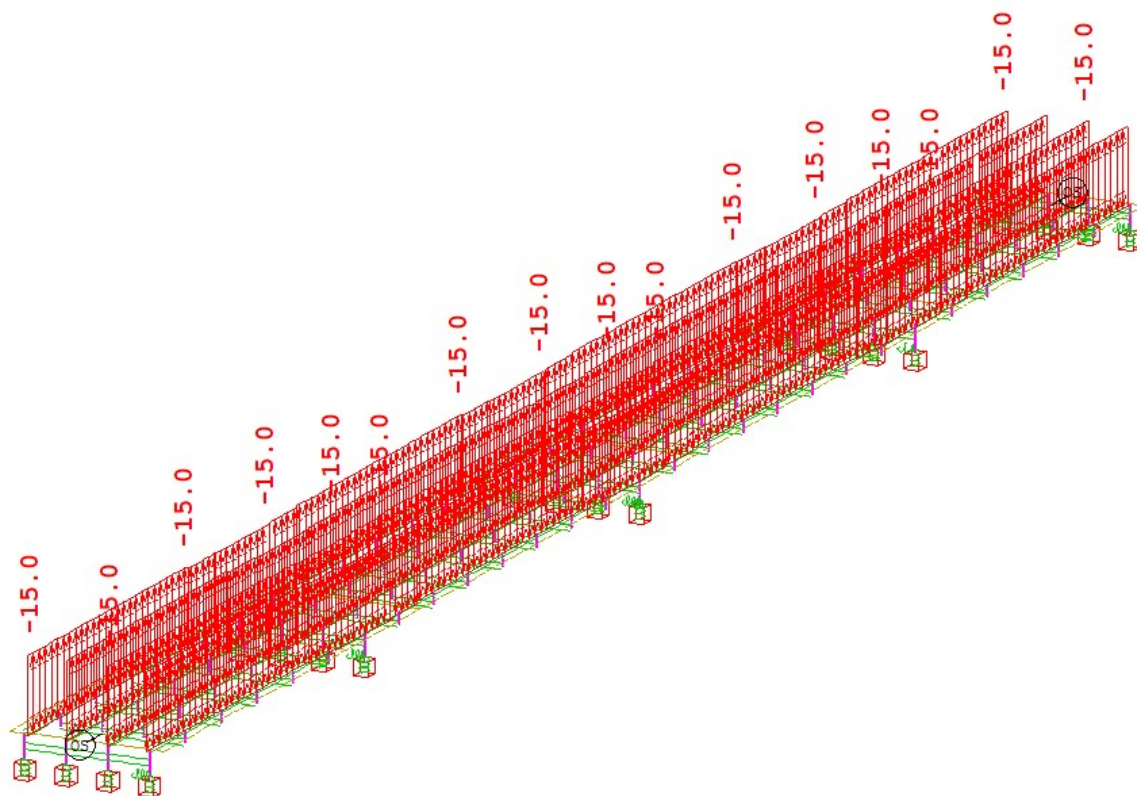
U analizi smo uzimali samo nejednoliku linearno promjenjivu temperaturu koja nam je mjerodavna u našem slučaju zbog javljanja momenata savijanja uslijed njezinog djelovanja.

Tip sklopa	Gornji dio nosača topliji od donjeg ($\Delta T_{M,heat}$) [$^{\circ}$ C]	Donji dio nosača topliji od gornjeg ($\Delta T_{M,cool}$) [$^{\circ}$ C]
2 (spregnuti nosač)	15	18
3 (betonski gredni nosač)	15	8

Slika 4.14. Vrijednosti nejednolike temperature ovisno o tipu mosta i gornjem i donjem nosaču [1]



Slika 4.15. Prikaz nejednolike temperature mosta (donji dio nosača topliji), Sofistik



Slika 4.16. Prikaz nejednolike temperature mosta (gornji dio nosača topliji), Sofistik

5 OPIS NAČINA MODELIRANJA I ELEMENTA MODELA

5.1 Opis softvera

Za modeliranje i proračun konstrukcije mosta korišten je programski paket „SOFiSTiK“. Unutar programskog paketa „SOFiSTiK“ definirani su svi potrebni materijali i poprečni presjeci za model mosta pomoć tekstualnog potprograma „Teddy“. Iskorišten je i grafički potprogram „SOFiPLUS(-X) Modeling“ kako bi se grafički zadao model mosta. Unutar tekstualnog potprograma „Teddy“ za poprečni presjek glavnog uzdužnog nosača zadali smo konstantne i varijabilne parametre poprečnog presjeka glavnog uzdužnog nosača. Unutar grafičkog potprograma „SOFiPLUS“ osim grafičkog modeliranja konstrukcije mosta, zadali smo promjenu varijabilnih parametara kao što su sudjelujuća širina betonske ploče i čeličnog nosača, raspucalost presjeka i debljine limova čeličnog nosača. Nakon oblikovanja mosta, zadavano je opterećenje na most koristeći mogućnosti grafičkog zadavanja u „SOFiPLUS“ potprogramu, tekstualno zadavanje u „Teddy“ potprogramu i modula unutar „SOFiSTiK“ programa. Prvo su se zadala grafička opterećenja u „SOFiPLUS“ potprogramu, a to su dodatna vlastita težina, težina betonske ploče i dodatno stalno opterećenje, a vlastitu težinu mosta sam software uzima u obzir. Nakon grafičkog zadavanja opterećenja, kako bi software uzeo ta opterećenja u obzir, potrebno je pokrenuti „Linear Analysis“ koji je pomoću modula ASE proračunao statička opterećenja. Pomoću „Construction Stages“ zadan je tijek faza izvedbe kao i uzimanje u obzir skupljanja i puzanja konstrukcije mosta. Nakon što su definirane faze izvedbe, pomoću modula „Traffic Loader“ definira se prometno opterećenje u ovisnosti o namjeni i parametrima mosta, a za proračun prometnog opterećenja korišten je modul ELLA koji preko utjecajnih linija pronalazi rezne sile u željenim elementima, a rezultati su prikazani preko anvelopa reznih sila. Tekstualno zadano opterećenje je nejednolika temperatura koja se proračunavala preko modula ASE, a pomoću modula MAXIMA kreirane su anvelope reznih sila.

5.2 Vrsta modela

Konstrukcija je modelirana pomoću hibridnog modela. Hibridni model je napredniji model za razliku od roštiljnog modela. Kod roštiljnog modela potrebno je uzdužne čelične nosače i betonsku ploču svesti na sustav štapova ekvivalentnih statičkih karakteristika gdje su uzdužni čelični nosači uzdužni štapovi povezani poprečnim štapovima tj. betonskom pločom. Kod hibridnog modela uzdužne čelične nosače oblikujemo kao uzdužne štapove ekvivalentnih statičkih karakteristika, a betonsku ploču zadajemo kao pločasti element s reduciranom uzdužnom krutosti. Time dobivamo spregnuti poprečni presjek. Redukcija uzdužne krutosti betonske ploče radi jer uzdužna krutost mosta definirana pomoću uzdužnih čeličnih nosača i betonske pojasnice. Dobili smo kvalitetniju preraspodjelu opterećenja između betonske pojasnice i čeličnog nosača (bitno kod puzanja i skupljanja) te je moguće odrediti stvarnu poziciju neutralne osi.

5.3 Vrste elementa

Za definiranje modela primarno su korišteni štapni elementi. Štapni elementima definirao se spregnuti presjek i poprečni nosači. Za definiranje betonske ploče korišteni su plošni elementi. Ležajevi su modelirani pomoću opruga odgovarajuće krutosti, a povezani su sa spregnutim presjekom pomoću „Constraina“.

5.4 Geometrija modela

Određivanje geometrije modela započinje zadavanjem centralne osi iz ishodišta lokalnog koordinatnog sustava. Centralna os prolazi sredinom poprečnog presjeka mosta. Nakon zadavanja centralne osi, zadaju se sekundarne osi prolaze osi čeličnog nosača i na rubu betonske kolničke ploče. Potrebno je generirati čvorove uzdužne osi nosača kako bi poslije mogli raditi promjene materijala.

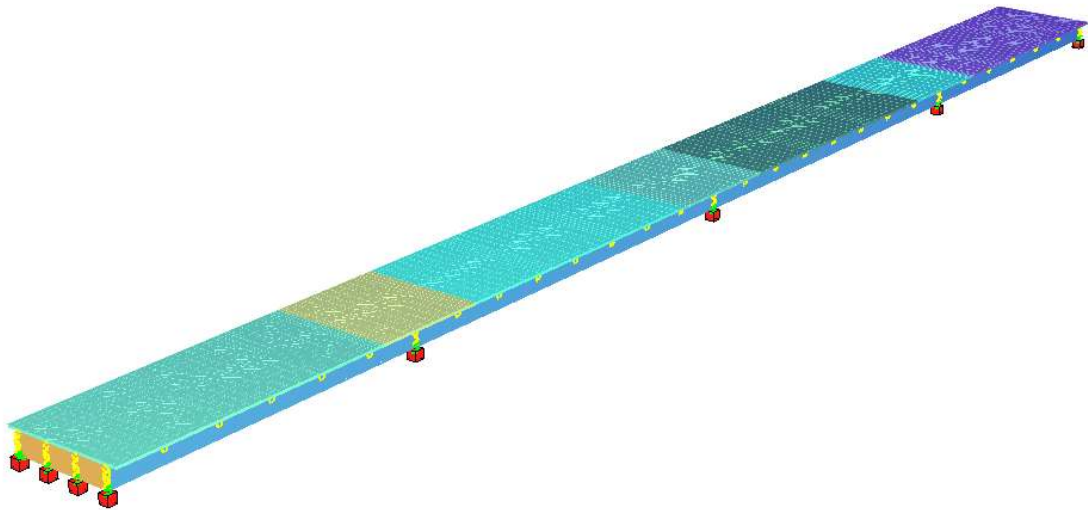
5.5 Modeliranje faza izvedbe – CSM

Pomoću modula „Construction stages“ modelirane su faze izvedbe konstrukcije mosta.

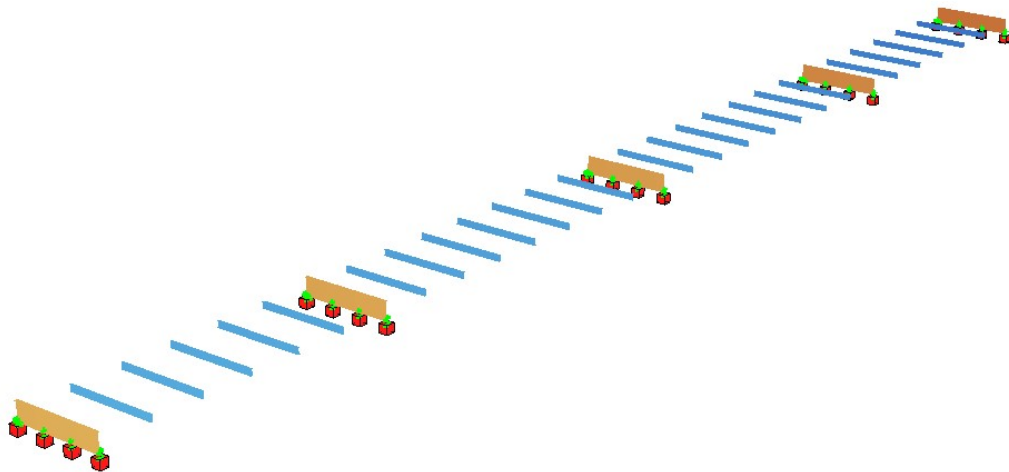
Tablica 5.1. *Faze izvedbe za model bez podupiranja i za model sa podupiranjem*

	Bez podupiranja	Sa podupiranjem
1.	Montaža čelika	Montaža čelika
2.	Betoniranje polja	Betoniranje polja
3.	Očvršćivanje polja	Očvršćivanje polja
4.		Uklanjanje pomoćnih oslonaca
5.	Betoniranje ležaja	Betoniranje ležaja
6.	Očvršćivanje ležaja	Očvršćivanje ležaja
7.	Postavljanje opreme mosta	Postavljanje opreme mosta
8.	Puštanje mosta u promet	Puštanje mosta u promet
9.	Kraj uporabnog vijeka mosta	Kraj uporabnog vijeka mosta

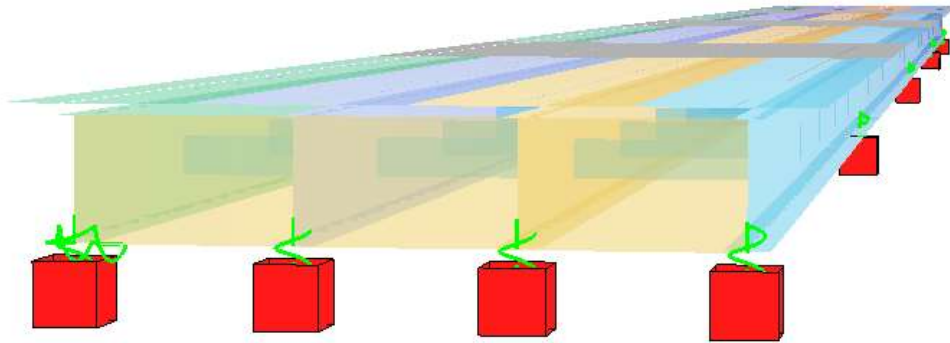
Naravno, nakon izvedbe i očvršćivanja betonskih elemenata, potrebno je uzeti u obzir utjecaj skupljanja i puzanja kao i utjecaj skupljanja i puzanja na kraju uporabnog vijeka mosta.



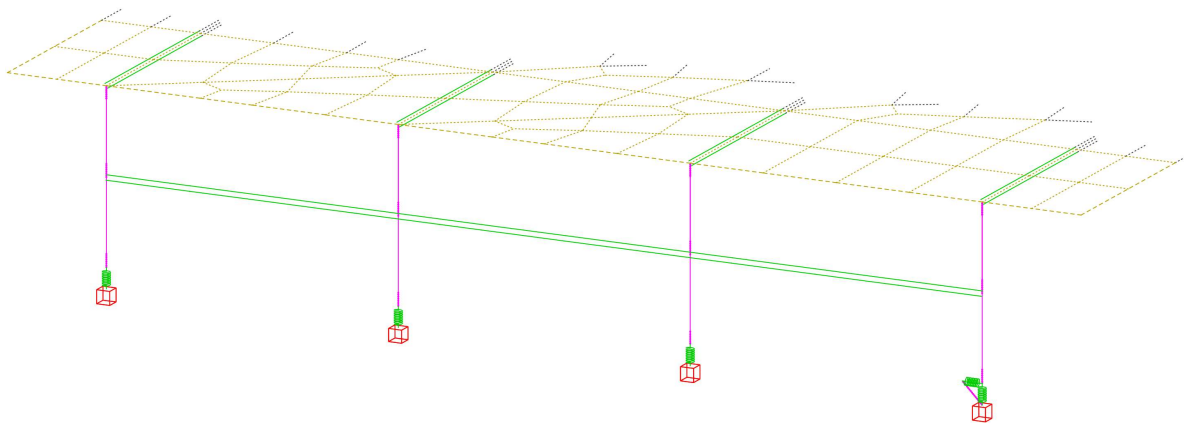
Slika 5.1. 3D prikaz modela, Sofistik



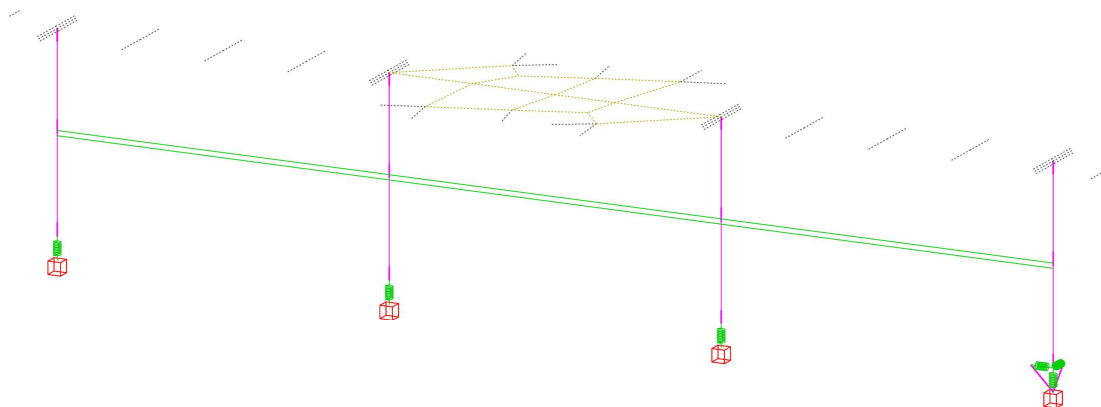
Slika 5.2. Raspored poprečnih nosača, Sofistik



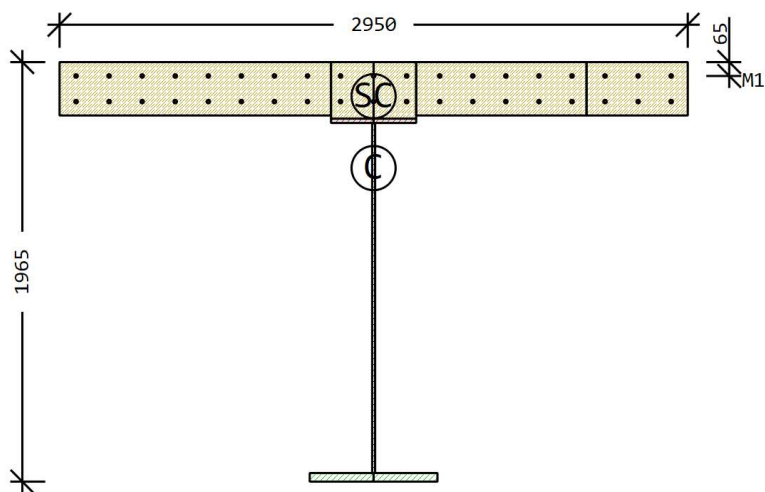
Slika 5.3. Pogled na rasponski sklop kod poprečnog nosača nad ležajem, Sofistik



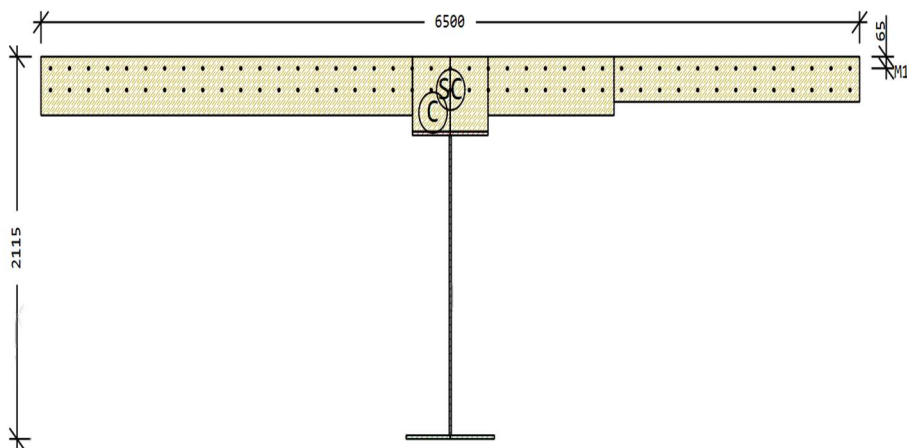
Slika 5.4. Prikaz ležajeva na upornjaku, Sofistik



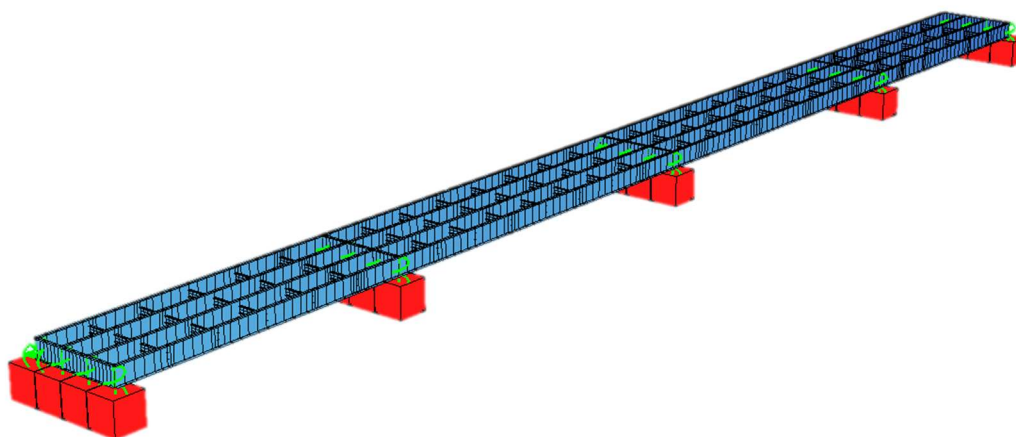
Slika 5.5. Prikaz ležajeva (nepomični ležaj), Sofistik



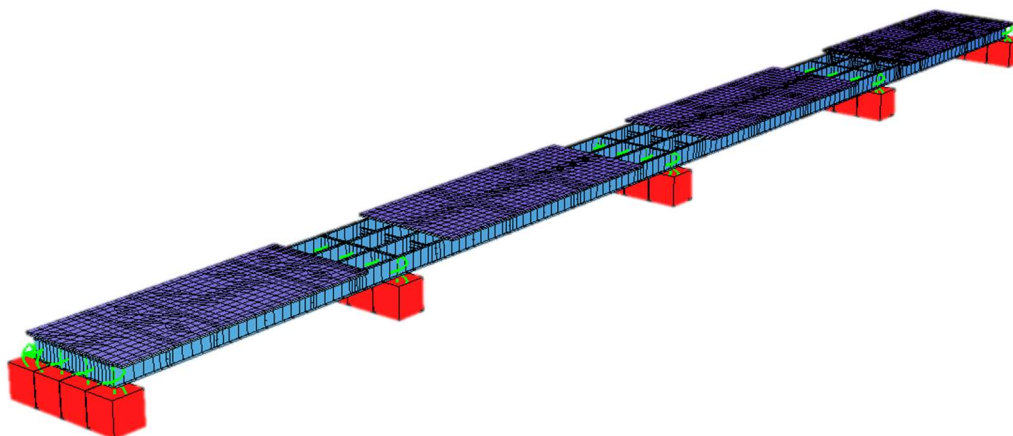
Slika 5.6. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 2,95 metara



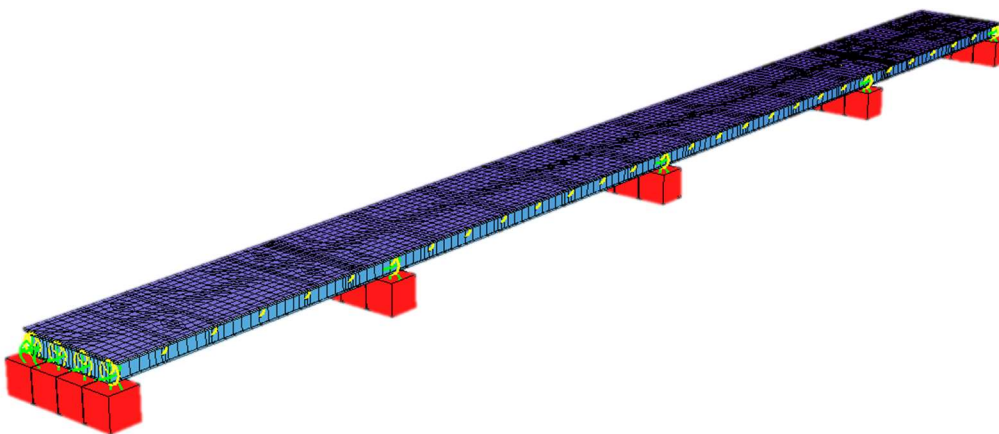
Slika 5.7. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 6,5 metara



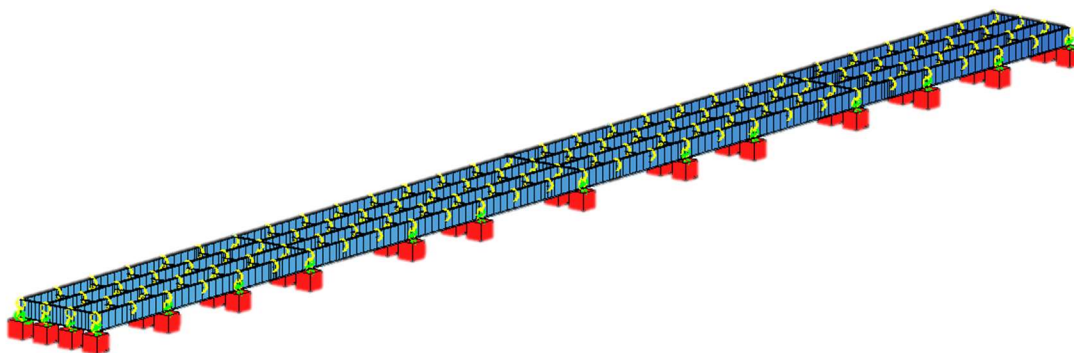
Slika 5.8. *Montaža čelika kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik*



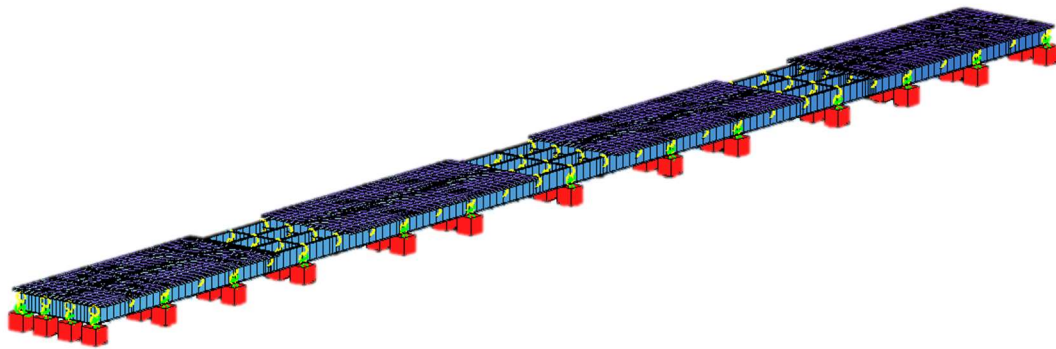
Slika 5.9. *Betoniranje polja kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik*



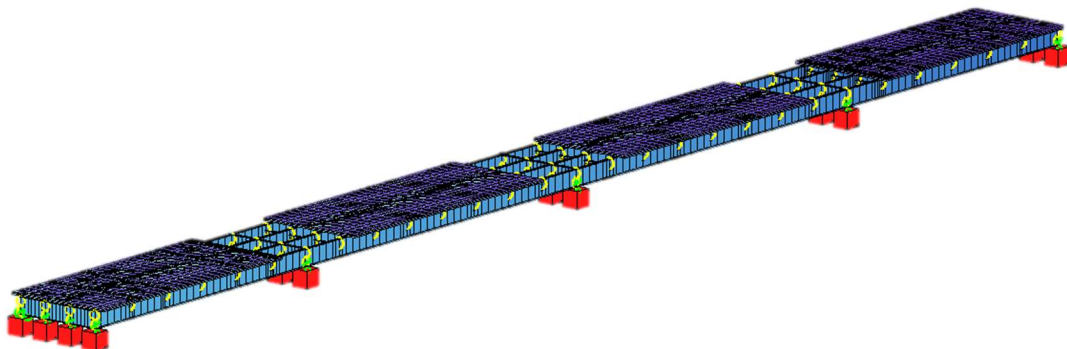
Slika 5.10. Betoniranje ležajeva kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik



Slika 5.11. Montaža čelika kod kontinuiranog mosta s podupiranjem, Sofistik



Slika 5.12. Betoniranje polja kod kontinuiranog mosta s podupiranjem, Sofistik



Slika 5.13. Uklanjanje pomoćnih oslonaca, Sofistik

6 DIMENZIONIRANJE KONTINUIRANOG NOSAČA

U ovom poglavlju prikazati ćemo prvo sam postupak dimenzioniranja, zatim i dimenzioniranje na dva modela. Oba modela imaju 4 glavna nosača i raspon od 40 metara. Prvi model je kontinuirani nosač bez podupiranja, a drugi je sa podupiranjem. Ostali modeli su dimenzionirani na isti način.

6.1 Postupak dimenzioniranja

6.1.1 Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju

Za određivanje učinaka raspucavanja u spregnutim nosačima s betonskim pojasnicama smije se upotrijebiti sljedeća metoda. Prvo treba proračunati anvelopu unutrašnjih sila i momenata za karakterističnu kombinaciju (još se naziva i rijetka), vidjeti normu EN 1990:2002, točku 6.5.3, uključujući dugotrajne učinke, upotrebom krutosti na savijanje $E_a I_1$ neraspucalnih presjeka. To se naziva „proračun bez raspucavanja“.

Zatim, u područjima u kojima vlačno naprezanje najopterećenijeg betonskog vlakna zbog anvelope globalnih učinaka za normalni beton premašuje dvostruku vrijednost f_{ctm} prema tablici 3.1 norme EN 1992-1-1:2004, krutost treba smanjiti krutost nosača bez betonske ploče (vidjeti točku 1.5.2.12.) Ta se raspodjela krutosti smije upotrebljavati za proračun graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja uporabljivosti. Zatim se nova raspodjela unutrašnjih sila, a ako je potrebno i deformiranja, određuje ponovnim proračunom. To se naziva „proračun s raspucavanjem“.

Za ploču je u modelu proveden postupak redukcije modula elastičnosti na 30 MPa u području raspucavanja. Područje raspucavanja definirano je na dijelovima nosača gdje naprezanja u ploči prelaze iznos:

$$\sigma_{rasp.} = 2 \cdot f_{ctm} = 2 \cdot 3,2 = 6,4 \text{ MPa} \quad (\text{za beton ploče C35/45: } f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2)$$

U poglavljima 6.2.1. i 6.3.1. su dani ispisi najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za rijetku ili karakterističnu (RARE) kombinaciju (maximum tension stress LC 12115).

6.1.2 Rasponski sklop - naprezanja

Granična naprezanja prema graničnom stanju nosivosti određena su kako slijedi:

Za vlak:

$$\sigma_{rd,max} = 355 \text{ Mpa}$$

Za tlak (debljina lima $\leq 40\text{mm}$):

$$\sigma_{rd,max} = \frac{-355}{1,1} = -322 \text{ Mpa}$$

Za tlak (debljina lima $> 40\text{mm}$):

$$\sigma_{rd,min} = \frac{-335}{1,1} = -304 \text{ Mpa}$$

Posmik:

$$\tau_{rd} = \frac{322}{\sqrt{3}} = 185 \text{ MPa}$$

U poglavljima 6.2.2. i 6.3.2. biti će iskazana su naprezanja za mjerodavnu kombinaciju stalne ili prolazne situacije:

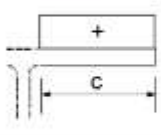
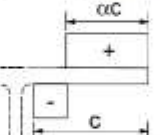
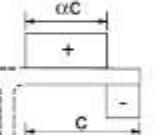
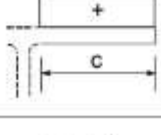
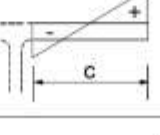
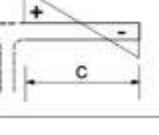
- Najveća normalna naprezanja u gornjem i donjem pojasu
- Najveća posmična i pripadna normalna naprezanja u hrptu
- Najveća normalna i pripadna posmična naprezanja u hrptu
- V.Mises naprezanja u hrptu

6.1.3 Dokaz stabilnosti limova

6.1.3.1 Donji pojas u tlaku

Donji pojas nosača nalazi se u čistom tlaku za najveći negativni moment savijanja (LC 2115). Provjera se vrši prema EN 1993-1-5 ukoliko lamela donjeg pojasa ne zadovoljava uvjet za klasu 3.

Uvjeti za klasu 3 presjeka mogu se vidjeti iz tablice 5.2 norme EN 1993-1-1, u ovisnosti o rubnim uvjetima i stanju naprezanja u limu.

VANJSKI TLAČNI ELEMENTI			
KLASA	TLAK	TLAK I SAVIJANJE	
RASPO- RED NAPONA (TLAK +)			
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
RASPO- RED NAPONA (TLAK +)			
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ k_σ EN 1993-1-5	

Slika 6.1. Najveći omjeri širine i debljine za tlačne dijelove [8]

Iz tablice se promatra stupac kada je čitava lamela u tlaku: $c/t \leq 42\epsilon$

c – širina donjeg pojasa mjereno između unutarnjih rubova hrptova

t – debljina donjeg pojasa

Za slučaj čelika S355, ϵ iznosi: $\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,8136$, dakle:

$$c/t \leq 34 \tag{1}$$

Ukoliko je izraz (1) zadovoljen, stabilnost je zadovoljena i daljnja provjera izostaje.

U slučaju da izraz (1) nije zadovoljen provodi se dokaz stabilnosti donjeg pojasa prema poglavlju 10 norme EN1993-1-5 – metoda reduciranih napreznja. Opći interakcijski izraz dokaza koji mora biti zadovoljen glasi:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z \cdot f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z \cdot f_y / \gamma_{M1}}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot f_y / \gamma_{M1}}\right)^2 \leq 1 \quad (2)$$

Za slučaj provjere stabilnosti donjeg pojasa izostaju vertikalna normalna i posmična napreznja pa se izraz (2) može napisati:

$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (3)$$

$\sigma_{x,Ed}$ - uzdužno napreznje u donjem pojasu

(NAPOMENA: tlak uvijek dolazi s predznakom + !)

ρ_x - koeficijent redukcije za uzdužno normalno napreznje

f_y - čvrstoća čelika (za $t \leq 40$ mm 355 MPa, za $t > 40$ mm 335 MPa)

γ_{M1} - koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku = 1,1

Koeficijent redukcije ρ_x se određuje prema izrazima:

- za ploču pridržanu na jednom kraju (donji pojas I nosača)

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \quad (4)$$

$$\text{ako je } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \Rightarrow \rho_x = 1 \quad (5)$$

$\bar{\lambda}_p$ je u gornjim izrazima svedena vitkost ploče, a određuje se prema izrazu:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} \quad (6)$$

$\alpha_{ult,k}$ je faktor za proračunska opterećenja da se dosegne karakteristična otpornost u najkritičnijoj točki ploče

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y}\right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 \Rightarrow \alpha_{ult,k} \quad (7)$$

Za slučaj tlačno opterećenog donjeg pojasa jedino naprezanje koje se pojavljuje u izrazu (7) je uzdužno tlačno naprezanje $\sigma_{x,Ed}$ pa se prema izrazu (7) $\alpha_{ult,k}$ može odrediti na slijedeći način:

$$\alpha_{ult,k} = \frac{f_y}{\sigma_{x,Ed}} \quad (8)$$

α_{cr} je faktor za proračunska opterećenja da se dosegne elastično kritično opterećenje ploče:

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4\alpha_{cr,z}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4\alpha_{cr,z}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1 - \psi_z}{2\alpha_{cr,z}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \alpha_{cr} \quad (9)$$

Komponenta $\alpha_{cr,x}$ određuje se iz izraza:

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}} \quad (10)$$

gdje je $\sigma_{cr,x}$ elastično kritično naprezanje izbočavanja ploče:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E \quad (11)$$

$$\text{Eulerovo kritično naprezanje} \quad \sigma_E = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (12)$$

b – širina dijela donjeg pojasa koji se izbočava

t – debljina donjeg pojasa

ψ_x je odnos naprezanja na rubovina lima:

$$\psi_x = \frac{\sigma_{2x}}{\sigma_{1x}} \quad (13)$$

Kako je u slučaju tlačnog donjeg pojasa naprezanje jednoliko raspoređeno duž pojasa,

$$\psi_x = 1.$$

Faktor izbočavanja $k_{\sigma,x}$ određuje se iz odnosa naprezanja ψ_x , različito za ploče pridržane na jednom kraju (donji pojas I presjeka) i ploče pridržane na dva kraja (donji pojas trapeznog nosača), tablica

Prema tablicama slijedi:

Za slučaj $\psi_x = 1$ i donji pojas trapeznog nosača vrijedi: $k_{\sigma,x} = 4$

Za slučaj $\psi_x = 1$ i donji pojas I nosača vrijedi: $k_{\sigma,x} = 0,43$

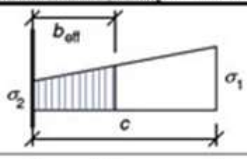
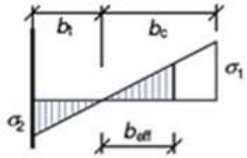
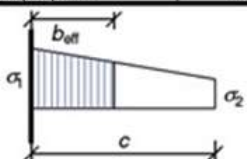
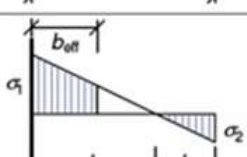
Za slučaj tlačno opterećenog donjeg pojasa u izrazu (9) se pojavljuju samo članovi $\psi_x = 1$ i $\alpha_{cr,x}$, pa se izraz (9) daje: $\alpha_{cr} = \alpha_{cr,x}$.

Konačno, to znači da se izraz (6) sada može napisati:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,x}}} = \sqrt{\frac{f_y}{k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E}} \quad (14)$$

Sada se može provesti dokaz za stabilnost donjeg pojasa prema izrazu (3).

Za ploče pridržane na jednom kraju (donji pojas I nosača) $k_{\sigma,x}$ se određuje prema tablici:

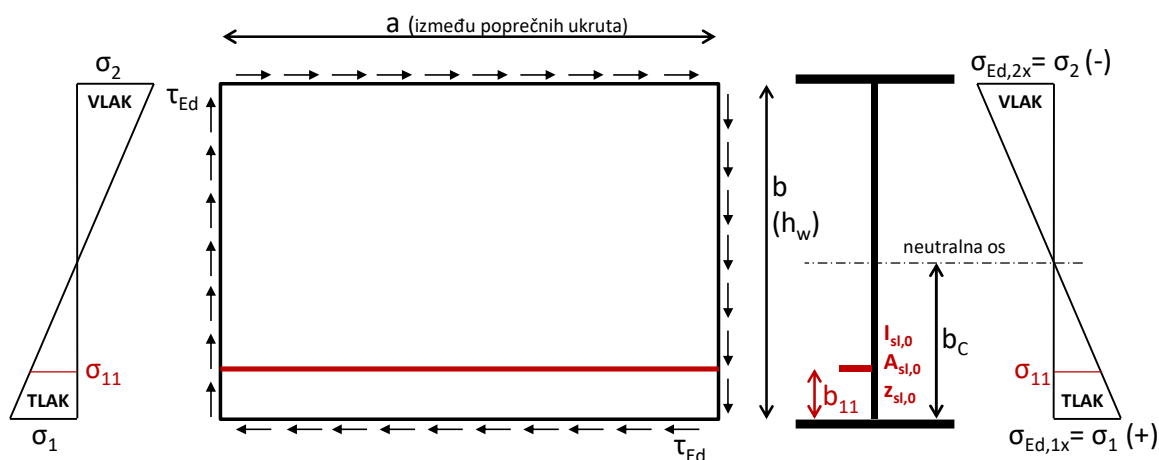
Raspodjela naprezanja (tlak je pozitivan)		Proračunska ^P širina b_{eff}			
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi < 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$	
Faktor izvijanja k_{σ}	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0$: $b_{\text{eff}} = \rho c$			
		$\psi < 0$: $b_{\text{eff}} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Faktor izvijanja k_{σ}	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

Slika 6.2. Istaknuti tlačni elementi [8]

6.1.3.2 Dokaz stabilnosti hrpta

Hrpat je pločasti element ukrućen uzdužnim ukrutama ili neukrućen, izložen složenoj stanju naprezanja. Uzdužna normalna naprezanja po rubu lima hrpta posljedica su momenta savijanja nosača i mijenjaju predznak od tlaka do vlaka. Osim uzdužnih naprezanja, u hrptu su još i značajna posmična naprezanja. Dokaz stabilnosti mora uzeti u obzir interakciju između ovih naponskih stanja.

Kod provjere hrpta na stabilnost on se promatra kao pločasti element pridržan na obje strane jer ga na krajevima pridržavaju pojasevi nosača. Dakle, svi relevantni izrazi se koriste za opciju unutarnjeg pridržanog elementa



Za prikazani element hrpta provodi se dokaz prema izrazu (3). Osim uzdužnog naprezanja, sada postoji i posmično naprezanje pa izraz (3) sada glasi:

$$\left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1 \quad (15)$$

gdje su $\sigma_{1x,Ed}$ i τ_{Ed} su računsko tlačno i posmično naprezanje u presjeku.

Postupak proračuna kada nema uzdužnih ukrućenja

Za izračun ρ_x vrijedi izraz (5):

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2}; \text{ ako je } \bar{\lambda}_p \leq 0,673 \Rightarrow \rho_x = 1$$

Za izračun vitkosti vrijedi izraz (6):

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}}$$

Za izračun $\alpha_{ult,k}$ koristi se modificirani izraz (7):

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{f_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 \Rightarrow \alpha_{ult,k} \quad (16)$$

Za izračun α_{cr} koristi se modificirani izraz (9):

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}}\right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \Rightarrow \alpha_{cr} \quad (17)$$

Sada je $\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 0$, pa se $k_{\sigma,x}$ računa prema slijedećim izrazima:

$$\begin{aligned} k_{\sigma,x} &= 7,81 - 6,29\psi_x + 9,78\psi_x^2 && \text{za } 0 > \psi_x > -1 \\ k_{\sigma,x} &= 5,98(1 - \psi_x)^2 && \text{za } -1 > \psi_x > -3 \end{aligned} \quad (18)$$

Dalje slijedi:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E \Rightarrow \alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}}$$

Iz odnosa kritičnog posmičnog naprezanja i posmičnih računskih naprezanja slijedi:

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}} \quad (19)$$

Pa je elastični kritični posmik za izbočavanje ploče:

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E \quad (20)$$

Faktor izbočavanja za neukružene ploče iznosi:

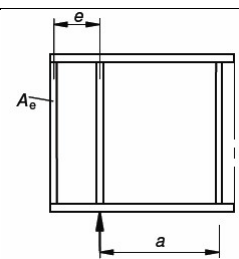
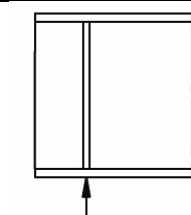
$$\begin{aligned}
 k_{\tau} &= 4 + 5,34(h_w/a)^2 \quad \text{za } \alpha < 1 \\
 k_{\tau} &= 5,34 + 4(h_w/a)^2 \quad \text{za } \alpha \geq 1
 \end{aligned}
 \qquad
 \alpha = \frac{a}{h_w}
 \qquad
 (21)$$

Rješavajući izraze (18) – (21) i uvrštavanjem u (17) dobivamo α_{cr} .

Uvrštavanjem ovako dobivenog α_{cr} u izraz (6) dobivamo $\bar{\lambda}_p$.

Prema $\bar{\lambda}_p$ iz izraza (6) za ploču pridržanu na dva kraja dobivamo redukcijski faktor za uzdužna naprezanja ρ_x .

Preostaje izračunati redukcijski faktor za posmična naprezanja χ_w prema tablici:

χ_w		$\bar{\lambda}_w < 0,83/\eta$	$0,83/\eta \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$
Ploča kruto oslonjena na kraju (rigid end post)		η	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$
Ploča nije kruto oslonjena na kraju (non rigid end post)		η	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$

Za provjeru stabilnosti hrpta mosta pretpostavljamo uvijet da je ploča kruto oslonjena na kraju (rigid end post) pa koristimo izraze iz prvog retka iz tablice.

U gornjim izrazima $\eta = 1,2$ za čelike do S460, za čelike veće kvalitete $\eta = 1,0$.

Kako se provjera stabilnosti provodi prema poglavlju 10 EN 1993-1-5, vrijednost svedene vitkosti za posmik $\bar{\lambda}_w$ jednaka je kao i za sve druge utjecaje pa vrijedi $\bar{\lambda}_w = \bar{\lambda}_p$.

I konačno, nakon određenih svih redukcijskih faktora (ρ_x, χ_w) dokaz se provodi uvrštavanjem svih potrebnih članova u izraz (15).

Naprezanja se provjeravaju nad ležajem i za sve presjeke gdje se debljina hrpta mijenja na putu od ležaja prema sredini raspona. Često su ovi presjeci najkritičniji jer je uzdužno naprezanje od negativnog momenta savijanja i posmik od poprečne sile još veliko, a debljina hrpta se smanjuje sve do minimalne od 12 mm.

Naprezanja za hrpat uzimaju se za dvije kombinacije:

1. Najveći negativni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2102)
2. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103 ili LC 2104)

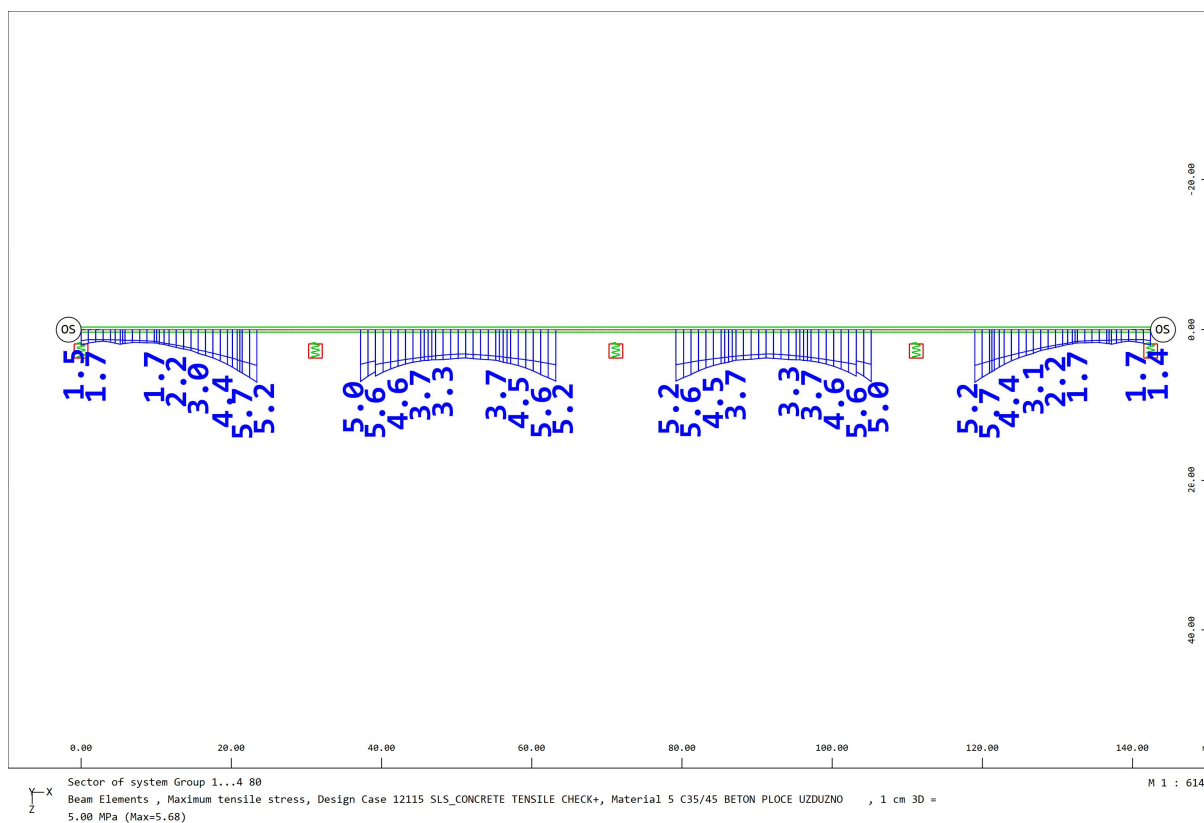
Kod provjere stabilnosti hrpta u sredini raspona zbog malog posmika dovoljno je provjeriti kombinaciju naprezanja za najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuću poprečnu silu (LC 2101)

Kod iskaza naprezanja važno je odabrati da se najveća vlačna i tlačna naprezanja prikazuju samo za materijal hrpta i uvijek se uzdužna naprezanja i posmik za interakciju kod provjere stabilnosti moraju uzimati iz istog LC-a!

6.2 Rezultati za kontinuirani nosač bez podupiranja

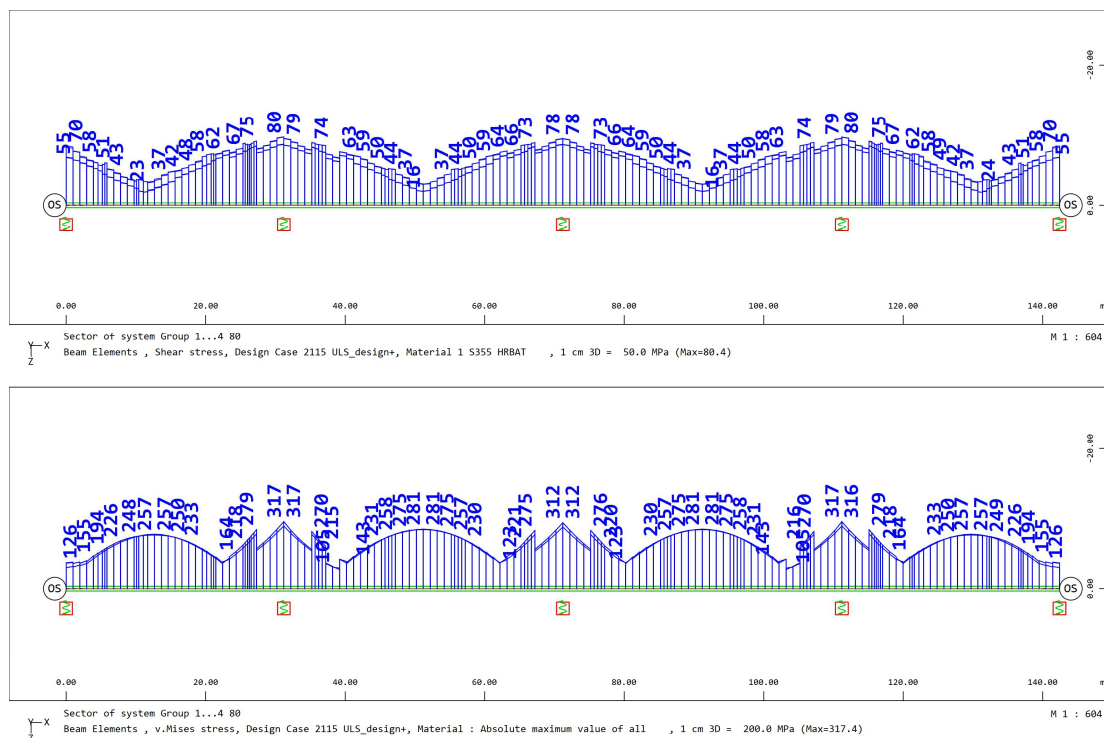
6.2.1 Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju

Ispisi najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za rijetku ili karakterističnu (RARE) kombinaciju (maximum tension stress LC 12115).

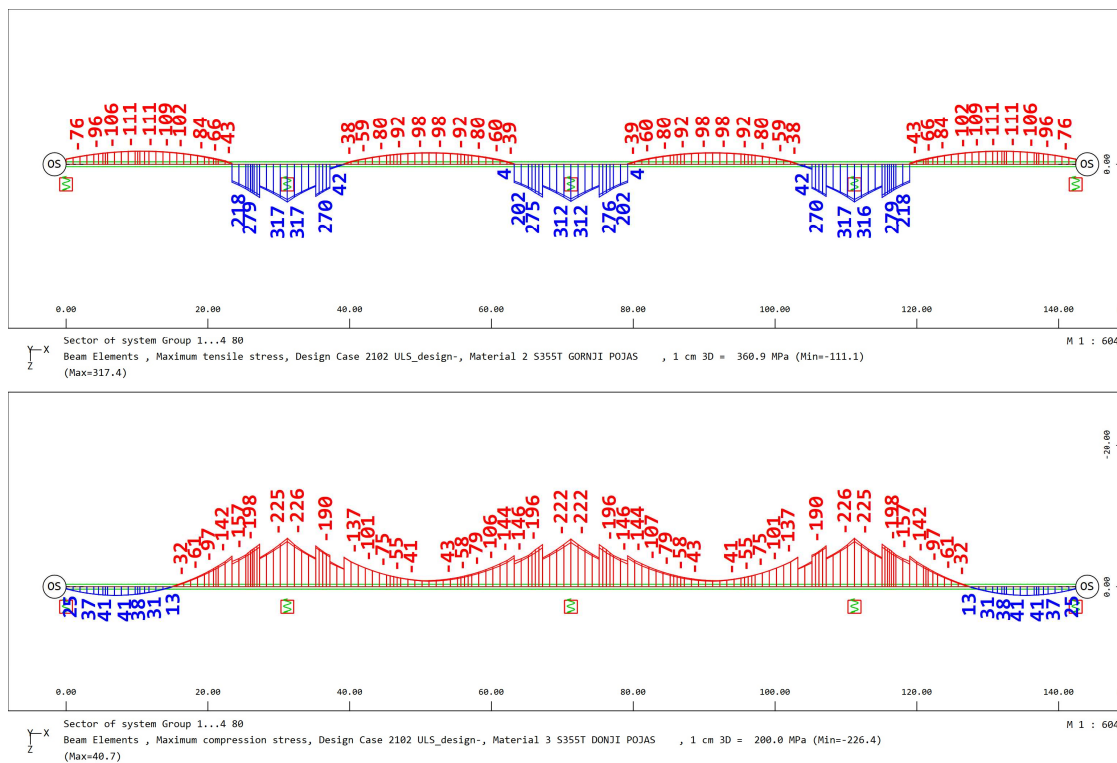


Slika 6.3. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči

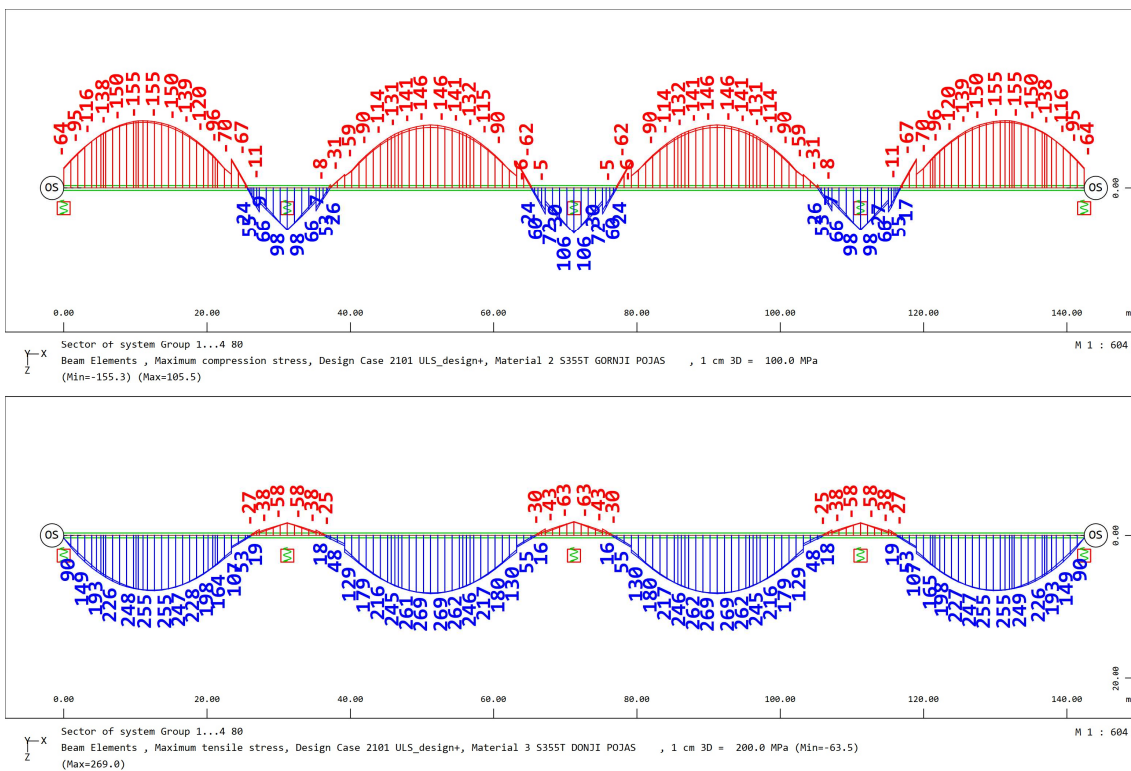
6.2.2 Rasponski sklop-naprezanja



Slika 6.4. Prikaz posmičnih naprezanja i v. Mises naprezanja u hrpu



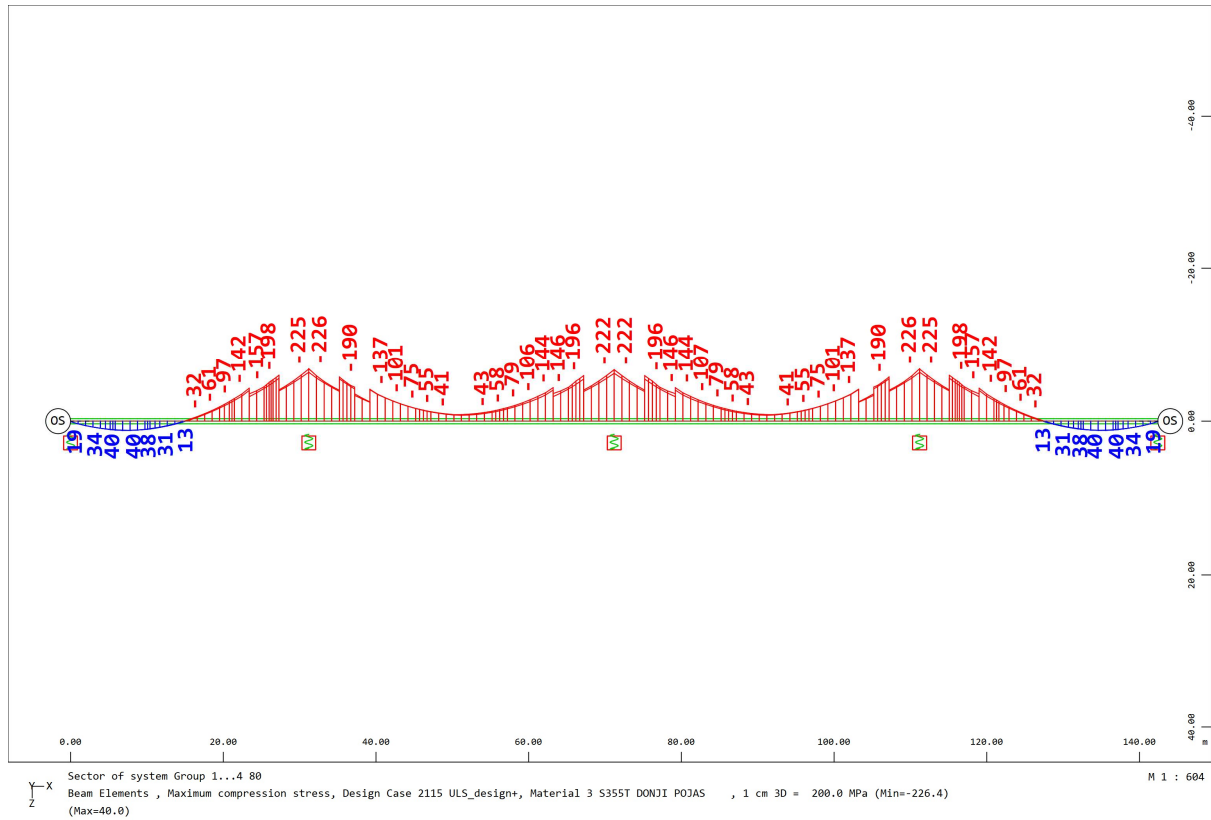
Slika 6.5. Najveće vlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće tlačno naprezanje donjeg pojasa



Slika 6.6. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa

6.2.3 Dokaz stabilnosti limova

6.2.3.1 Donji pojas u tlaku



Slika 6.7. Najveće tlačno naprezanje u donjem pojasu

Slučaj 1. debljina donjeg pojasa $t = 60$ mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{335}} = 0,84$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,84 = 11,73$$

$$\frac{c}{t} = \frac{292}{60} = 4,87$$

Presjek je u klasi 3.

Slučaj 2. debljina donjeg pojasa $t = 40$ mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,39$$

$$\frac{c}{t} = \frac{293}{40} = 7,33$$

Presjek je u klasi 3.

Slučaj 3. debljina donjeg pojasa $t = 20$ mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,39$$

$$\frac{c}{t} = \frac{294}{20} = 14,70$$

Presjek nije u klasi 3.

Donji pojas se nalazi u klasi 4 te je potrebno dokazati stabilnost.



Slika 6.8. Najveće tlačno naprezanje za provjeru stabilnosti pojasnice debljine 20 mm

$$\sigma_{x,Ed} = 144 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M_1} = 1,10$$

$$\psi = 1,00$$

$$k_{\sigma,x} = 0,43$$

$$b = c = 294 \text{ mm}$$

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{20}{294}\right)^2 = 878,34 \text{ N/mm}^2$$

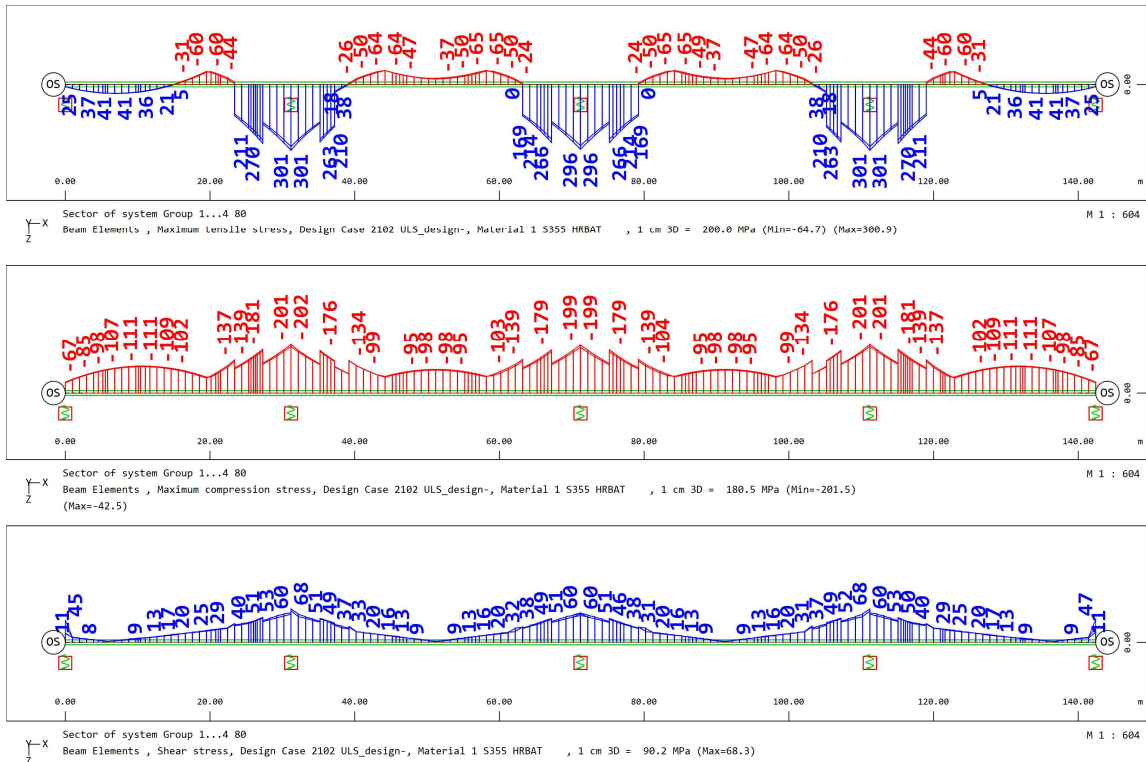
$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E}} = \sqrt{\frac{355}{0,43 \cdot 878,34}} = 0,970$$

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,005 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,970 - 0,005 \cdot (3 + 1)}{0,970^2} = 0,797$$

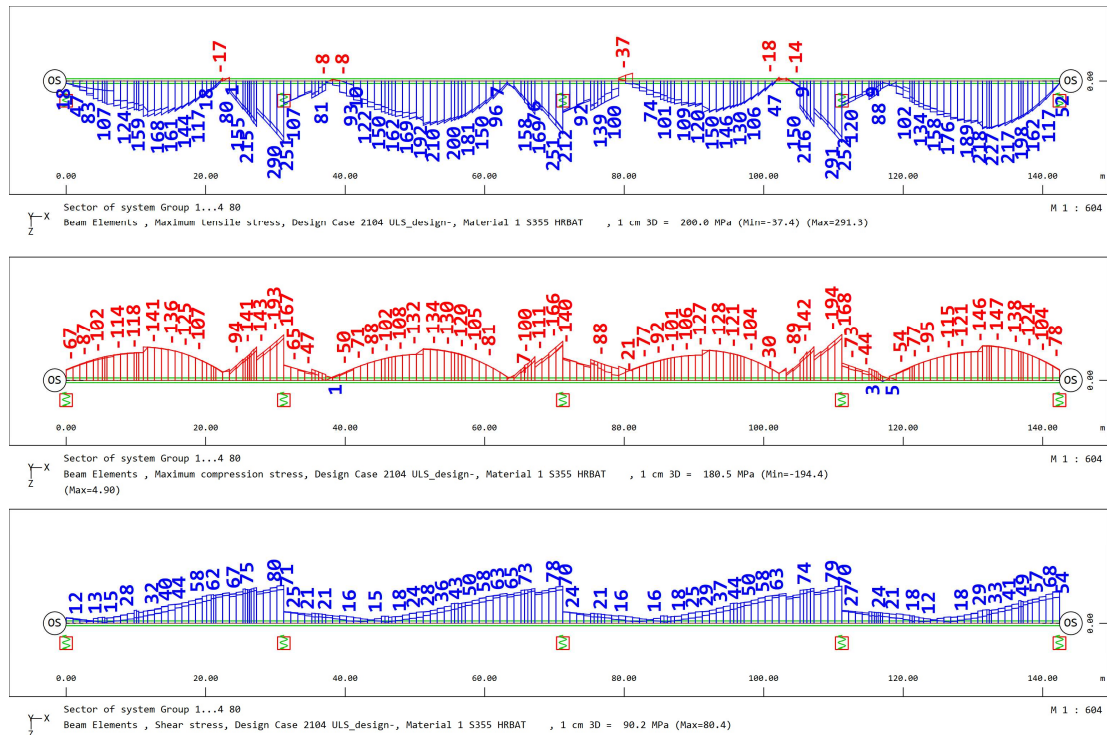
$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M_1}} = \frac{144}{0,797 \cdot 355 / 1,1} = 0,56 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen.

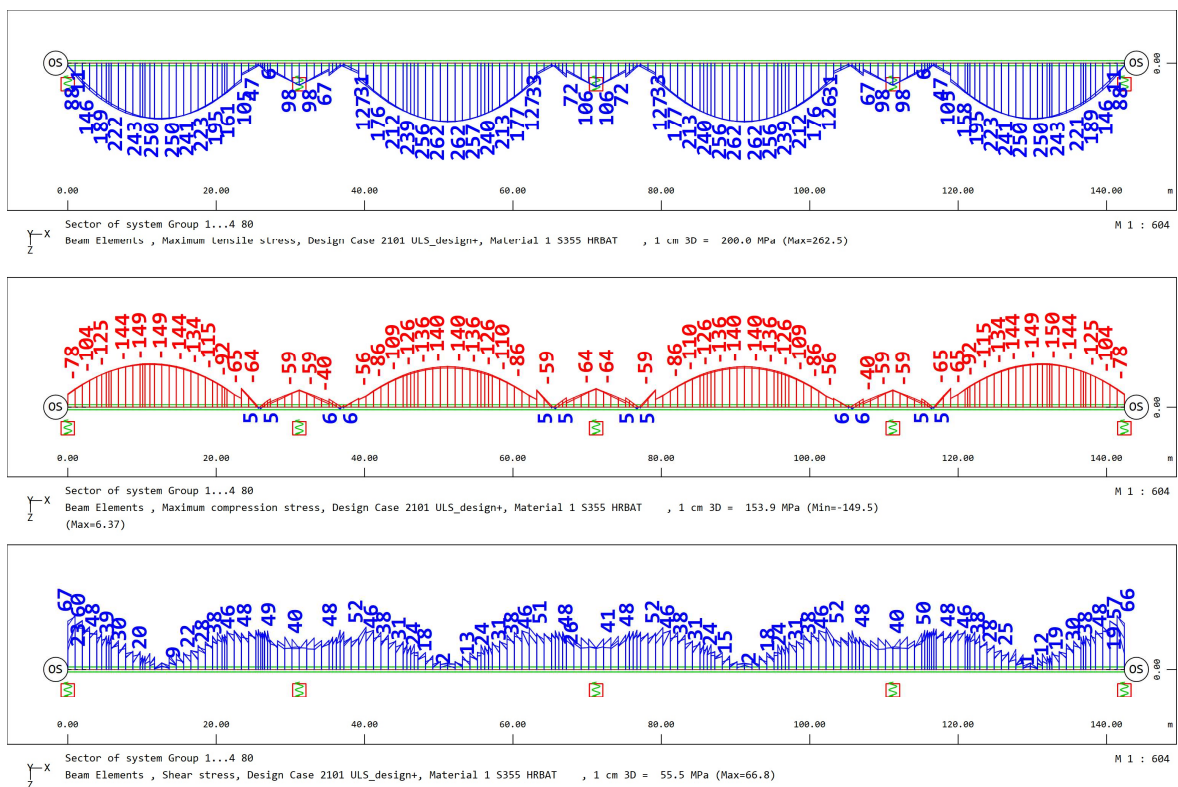
6.2.3.2 Dokaz stabilnosti hrpta



Slika 6.9. Najveći negativni moment i pripadajuća poprečna sila (LC 2102)



Slika 6.10. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2104)



Slika 6.11. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)

6.2.3.2.1 Dokaz stabilnosti hrpta nad osloncem

Ulazni podatci:	
Razmak dijafragmi:	$a = 5200 \text{ mm}$
Visina hrpta:	$b = 1600 \text{ mm}$
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 202 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_{2x,Ed} = -301 \text{ N/mm}^2$
	$\tau_{Ed} = 68 \text{ N/mm}^2$
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 193 \text{ N/mm}^2$
	$\sigma_{2x,Ed} = -290 \text{ N/mm}^2$
	$\tau_{Ed} = 80 \text{ N/mm}^2$
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$

Proračun stabilnosti hrpta na naprezanja za najveći moment savijanja:

Faktor za proračunska opterećenja za dosizanje karakteristične otpornosti u najkritičnijoj točki ploče:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{f_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2 = \left(\frac{202}{355}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{68}{355}\right)^2 = 0,32 + 0,11 = 0,43$$

$$\alpha_{ult,k} = 1,52$$

U ovisnosti o odnosu vrijednosti naprezanja na krajevima hrpta, izračunavamo koeficijent izbočavanja:

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{-301}{202} = -1,49 < 0$$

$$k_{\sigma,x} = 5,98 \cdot (1 - \psi_x)^2 \text{ za } -1 > \psi_x > -3$$

$$k_{\sigma,x} = 5,98 \cdot (1 - \psi_x)^2 = 5,98 \cdot (1 + 1,49)^2 = 37,08$$

Eulerovo kritično naprezanje:

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{16}{1600}\right)^2 = 18,98 \text{ N/mm}^2$$

Elastično kritično naprezanje izbočavanja ploče:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E = 37,08 \cdot 18,98 = 703,77 \text{ N/mm}^2$$

Vrijednost komponente:

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}} = \frac{703,77}{202} = 3,48$$

Odnos razmaka dijafragmi i visine hrpta utječe na koeficijent izbočavanja neukružene ploče:

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{5200}{1600} = 3,25$$

$$k_{\tau} = 5,34 + 4 \cdot (h_w/a)^2 \quad \text{za } \alpha \geq 1$$

$$k_{\tau} = 5,34 + 4 \cdot \left(\frac{1600}{5200}\right)^2 = 5,72$$

Elastični kritični posmik za izbočavanje ploče:

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E = 5,72 \cdot 18,98 = 108 \text{ N/mm}^2$$

Odnos kritičnog posmičnog naprezanja i posmičnih računskih naprezanja:

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}} = \frac{108}{68} = 1,60$$

Faktor za proračunska opterećenja za dosizanje elastičnog kritičnog opterećenja ploče:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\alpha_{cr}} &= \frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \frac{1 - 1,49}{4 \cdot 3,48} + \left[\left(\frac{1 - 1,49}{4 \cdot 3,48} \right)^2 + \frac{1 + 1,49}{2 \cdot 3,48^2} + \frac{1}{1,60^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= -0,0352 + [0,0124 + 0,1026 + 0,3925]^{\frac{1}{2}} = \\ &\alpha_{cr} = 1,49 \end{aligned}$$

Svedena vitkost hrpta

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,52}{1,49}} = 1,008$$

Koeficijent redukcije za uzdužno normalno naprezanje:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,008 - 0,055 \cdot (3 - 1,49)}{1,008^2} = 0,910$$

Redukcijski faktor za posmična naprezanja iznosi

$$\chi_w = 0,823$$

Uvjet stabilnosti hrpta:

$$\left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot f_{yd}/\gamma_{M1}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot f_{yd}/\gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1,00$$

$$\left(\frac{202}{0,910 \cdot 355/1,1} \right)^2 + \left(\frac{68}{0,823 \cdot 355/1,1} \right)^2 \leq 1,00$$

$$0,47 + 0,20 = 0,67 \leq 1,00$$

Uvjet je zadovoljen.

Proračun stabilnosti hrpta na naprezanja za najveću poprečnu silu:

Faktor za proračunska opterećenja za dosizanje karakteristične otpornosti u najkritičnijoj točki ploče:

$$\frac{1}{\alpha_{ult,k}^2} = \left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{f_y} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2 = \left(\frac{193}{355} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{80}{355} \right)^2 = 0,30 + 0,15 = 0,45$$

$$\alpha_{ult,k} = 1,49$$

U ovisnosti o odnosu vrijednosti naprezanja na krajevima hrpta, izračunavamo koeficijent izbočavanja:

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{-290}{193} = -1,50 < 0$$

$$k_{\sigma,x} = 5,98(1 - \psi_x)^2 = 5,98 \cdot (1 + 1,5)^2 = 37,45$$

Eulerovo kritično naprezanje:

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{16}{1600}\right)^2 = 18,98 \text{ N/mm}^2$$

Elastično kritično naprezanje izbočavanja ploče:

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E = 37,45 \cdot 18,98 = 711 \text{ N/mm}^2$$

Vrijednost komponente:

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}} = \frac{711}{193} = 3,68$$

Odnos razmaka dijafragmi i visine hrpta utječe na koeficijent izbočavanja neukrućene ploče:

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{5200}{1600} = 3,25$$

$$k_\tau = 5,34 + 4(h_w/a)^2 = 5,34 + 4 \cdot (1600/5200)^2 = 5,72$$

Elastični kritični posmik za izbočavanje ploče:

$$\tau_{cr,\tau} = k_\tau \cdot \sigma_E = 5,72 \cdot 18,98 = 109 \text{ N/mm}^2$$

Odnos kritičnog posmičnog naprezanja i posmičnih računskih naprezanja:

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}} = \frac{109}{80} = 1,36$$

Faktor za proračunska opterećenja za dosizanje elastičnog kritičnog opterećenja ploče:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\alpha_{cr}} &= \frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4\alpha_{cr,x}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2\alpha_{cr,x}^2} + \frac{1}{\alpha_{cr,\tau}^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \frac{1 - 1,50}{4 \cdot 3,68} + \left[\left(\frac{1 - 1,50}{4 \cdot 3,68} \right)^2 + \frac{1 + 1,50}{2 \cdot 3,68^2} + \frac{1}{1,36^2} \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= -0,0341 + [0,0011 + 0,0922 + 0,5432]^{\frac{1}{2}} = \\ &\alpha_{cr} = 1,31 \end{aligned}$$

Svedena vitkost hrpta

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,49}{1,31}} = 1,07$$

Koeficijent redukcije za uzdužno normalno naprezanje:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,07 - 0,055 \cdot (3 - 1,50)}{1,07^2} = 0,86$$

Redukcijski faktor za posmična naprezanja iznosi

$$\chi_w = 0,78$$

Uvjet stabilnosti hrpta:

$$\left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y \cdot \gamma_{M1}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot f_y \cdot \gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1,00$$
$$\left(\frac{193}{0,86 \cdot 355/1,1} \right)^2 + \left(\frac{80}{0,78 \cdot 355/1,1} \right)^2 \leq 1,00$$
$$0,48 + 0,31 = 0,79 \leq 1,00$$

Uvjet je zadovoljen.

Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,67	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,79	ZADOVOLJAVA

6.2.3.2.2 Dokaz stabilnosti hrpta u presjeku smanjenja debljine na $t=14\text{ mm}$

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200\text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1640\text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 14\text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 181\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -270\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 51\text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2104	$\sigma_{1x,Ed} = 141\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -215\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 75\text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355\text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1\text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73\text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,59	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,74	ZADOVOLJAVA

6.2.3.2.3 Hrbat u presjeku smanjenja debljine na $t=12\text{ mm}$

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200\text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1660\text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12\text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 139\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -143\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 32\text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2104	$\sigma_{1x,Ed} = 16\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -17\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 63\text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355\text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1\text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73\text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,48	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,41	ZADOVOLJAVA

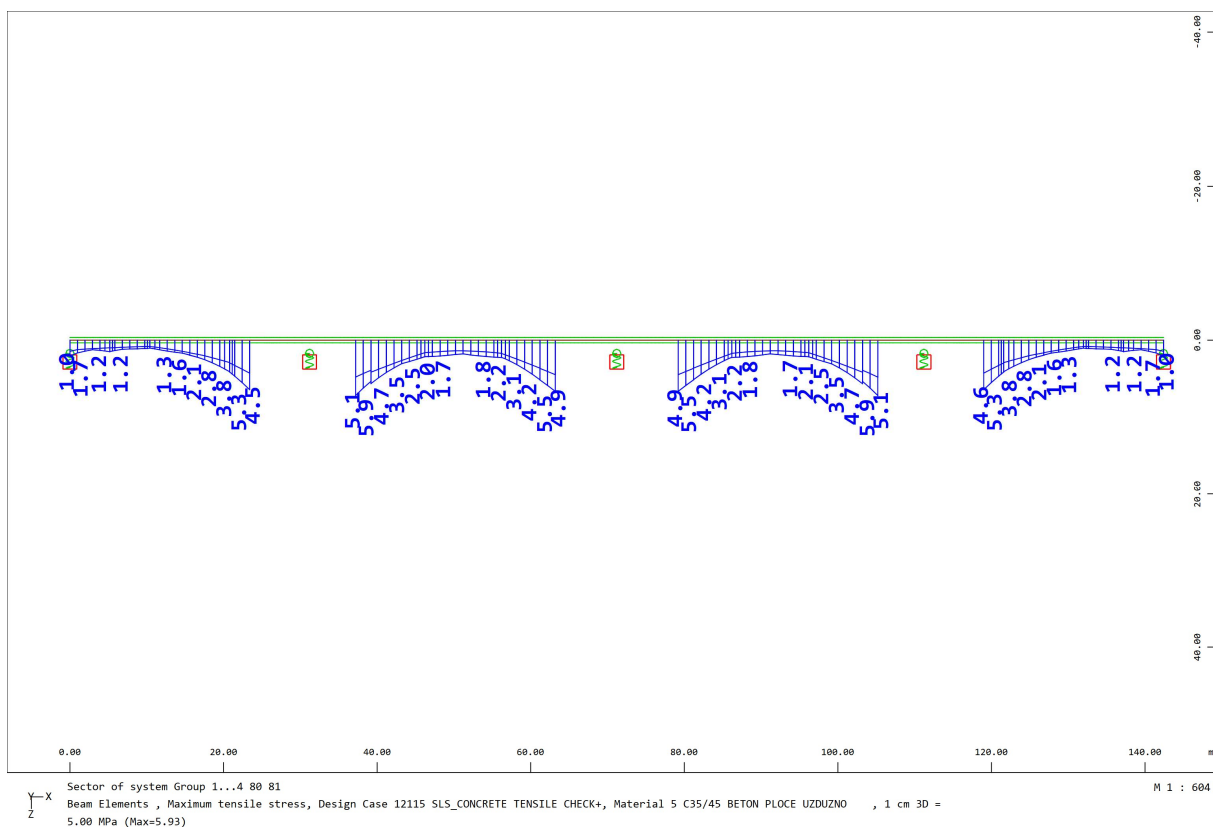
6.2.3.2.4 Hrbat u sredini raspona

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1660 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 149 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -246 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 20 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 114 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -227 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 30 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,30	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,26	ZADOVOLJAVA

6.3 Rezultati za kontinuirani nosač sa podupiranjem

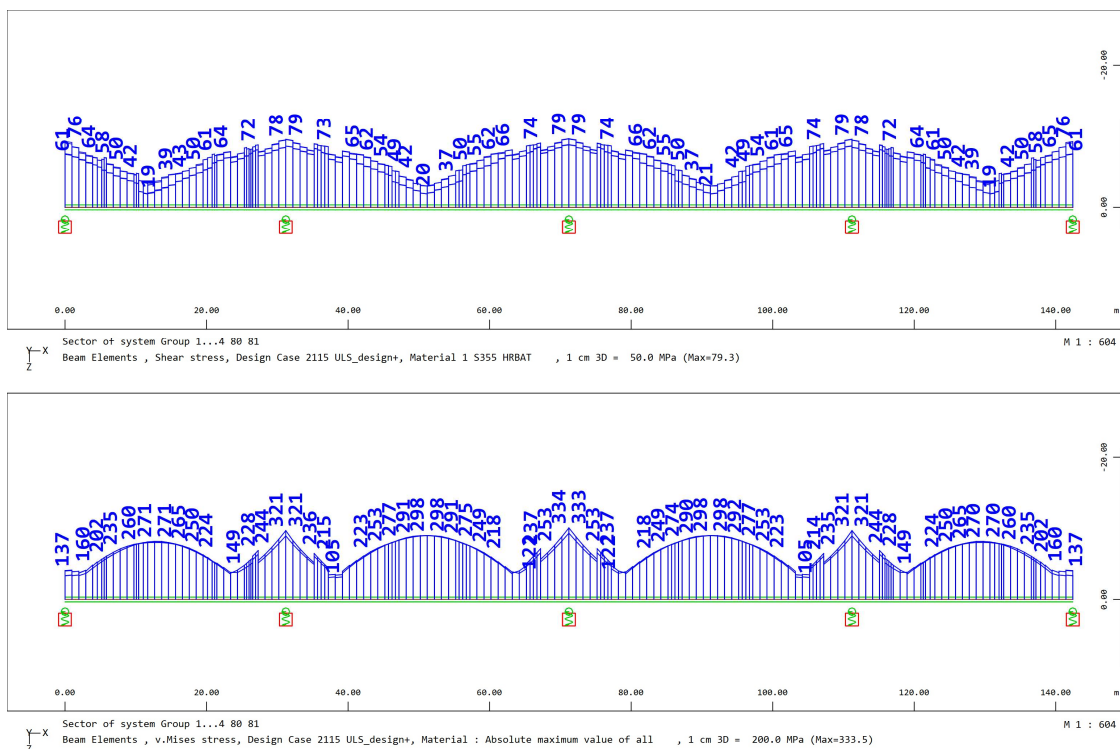
6.3.1 Naprezanja (vlak) u betonskoj ploči za rijetku kombinaciju

Ispisi najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za rijetku ili karakterističnu (RARE) kombinaciju (maximum tension stress LC 12115).

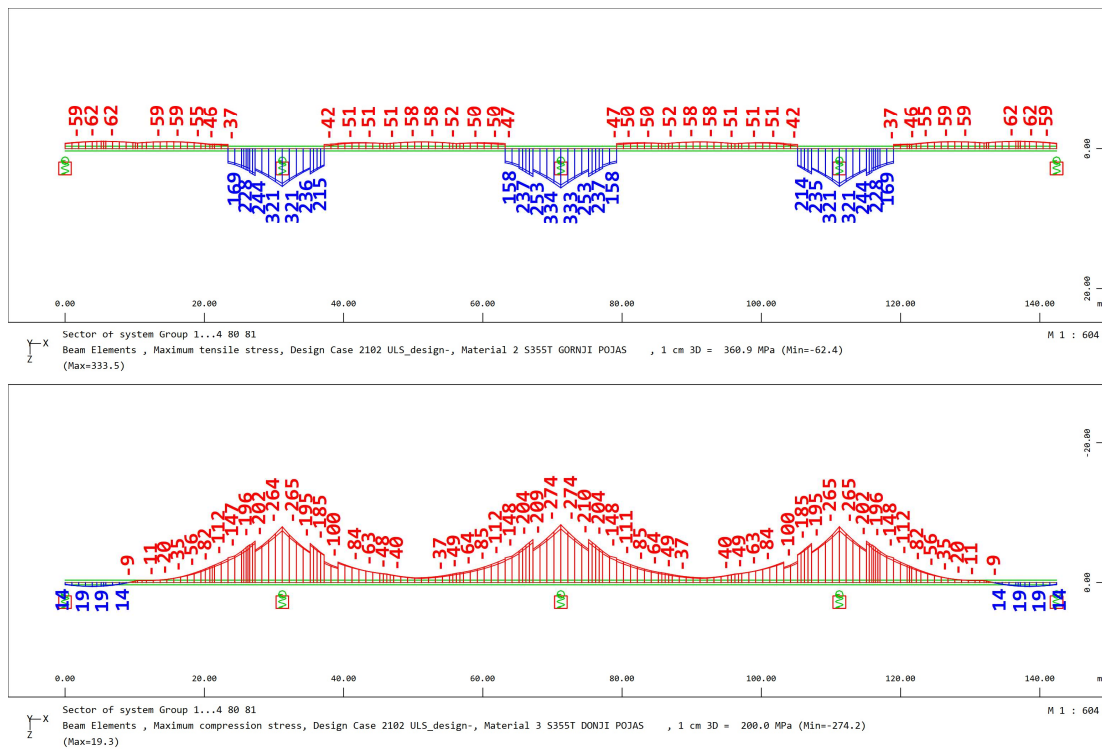


Slika 6.12. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči

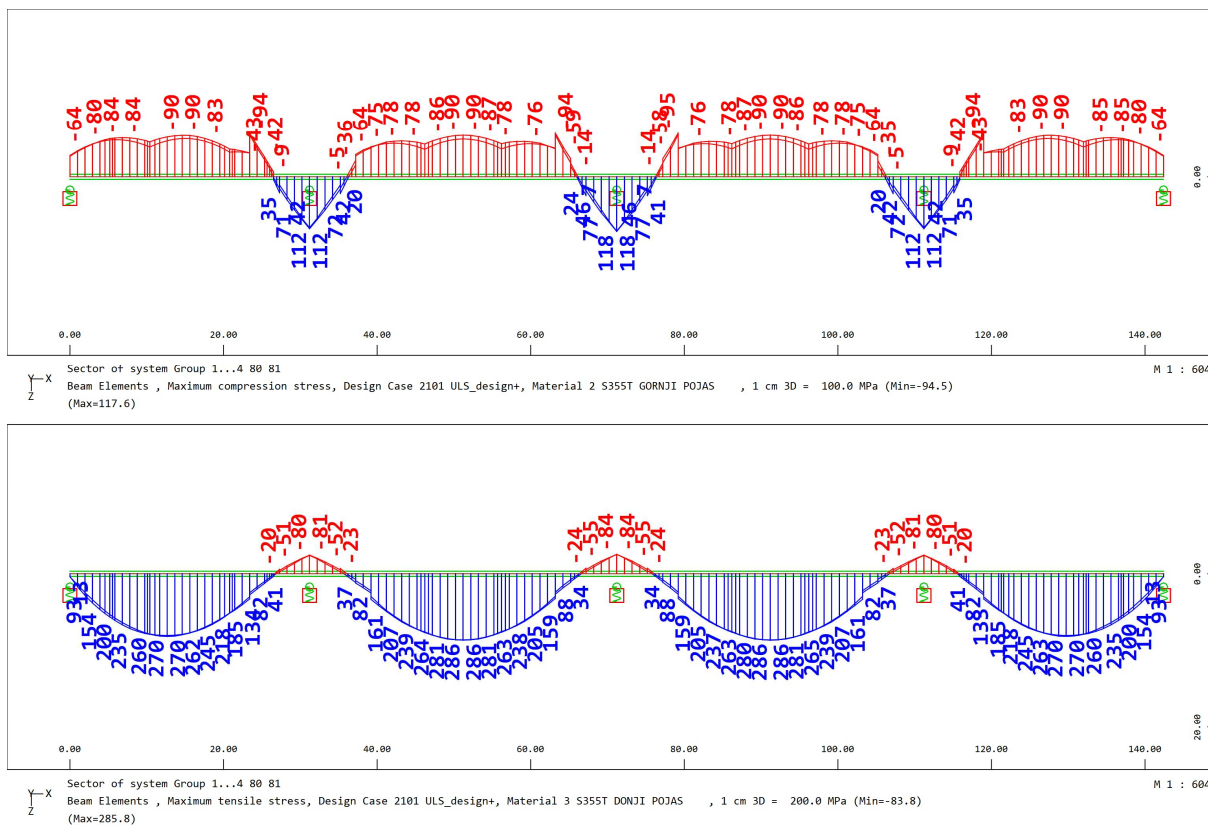
6.3.2 Rasponski sklop-naprezanja



Slika 6.13. Prikaz posmičnih naprezanja i V. Mises naprezanja u hrptu



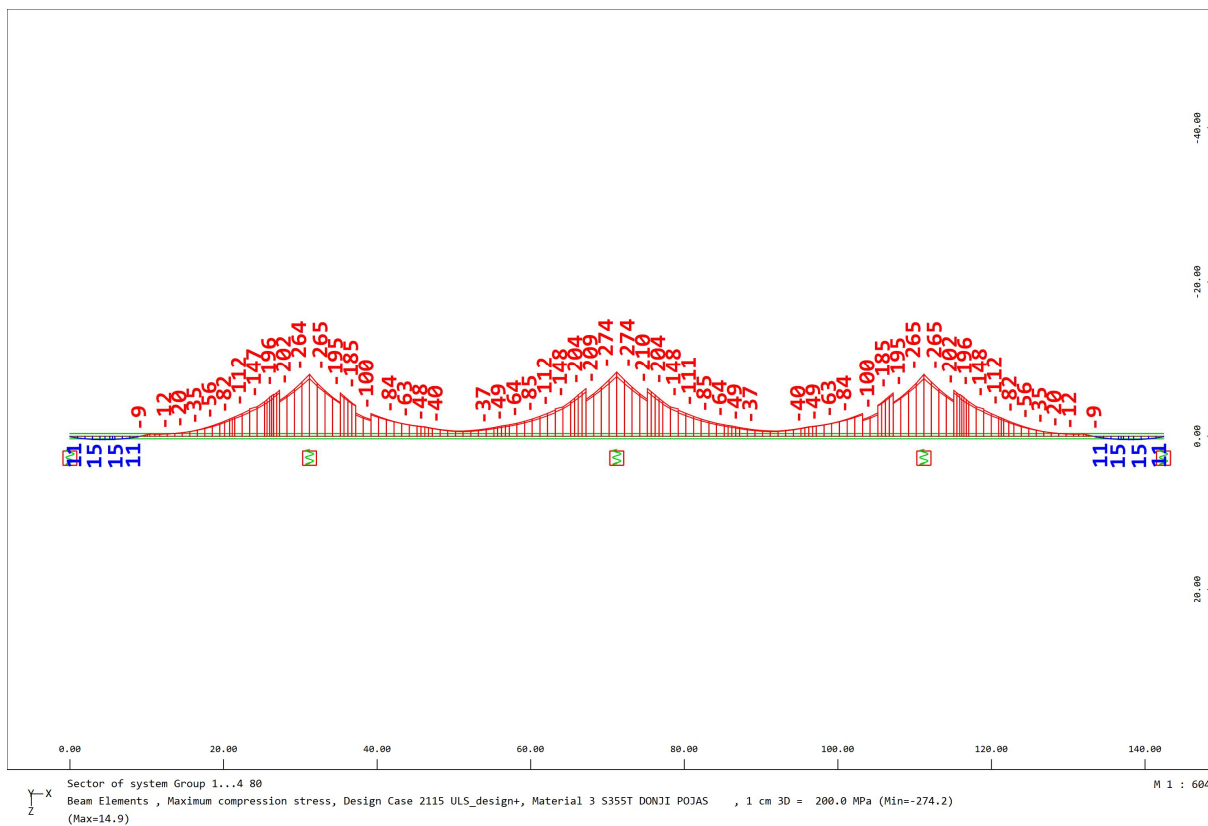
Slika 6.14. Najveće vlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće tlačno naprezanje donjeg pojasa



Slika 6.15. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa

6.3.3 Dokaz stabilnosti limova

6.3.3.1 Donji pojas u tlaku



Slika 6.16. Najveće tlačno naprezanje u donjem pojasu

Slučaj 1. debljina donjeg pojasa $t = 60 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{335}} = 0,84$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,84 = 11,73$$

$$\frac{c}{t} = \frac{292}{60} = 4,87$$

Presjek je u klasi 3.

Slučaj 2. debljina donjeg pojasa $t = 40$ mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,39$$

$$\frac{c}{t} = \frac{293}{40} = 7,33$$

Presjek je u klasi 3.

Slučaj 3. debljina donjeg pojasa $t = 20$ mm

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,39$$

$$\frac{c}{t} = \frac{294}{20} = 14,70$$

Presjek nije u klasi 3.

Donji pojas se nalazi u klasi 4 te je potrebno dokazati stabilnost.



Slika 6.17. Najveće tlačno naprezanje za provjeru stabilnosti pojasnice debljine 20 mm

$$\sigma_{x,Ed} = 117 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\psi = 1,00$$

$$k_{\sigma,x} = 0,43$$

$$b = c = 294 \text{ mm}$$

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{20}{294}\right)^2 = 878,34 \text{ N/mm}^2$$

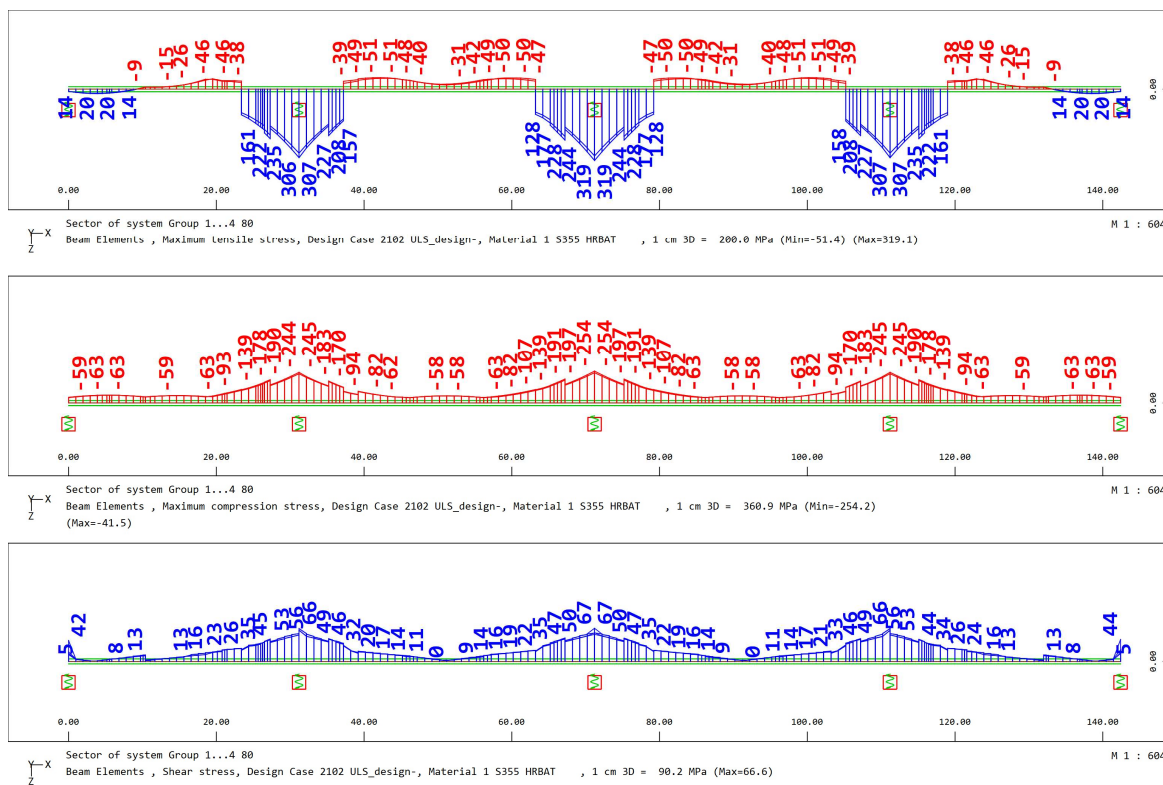
$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_y}{k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E}} = \sqrt{\frac{355}{0,43 \cdot 878,34}} = 0,970$$

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,005 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,970 - 0,005 \cdot (3 + 1)}{0,970^2} = 0,797$$

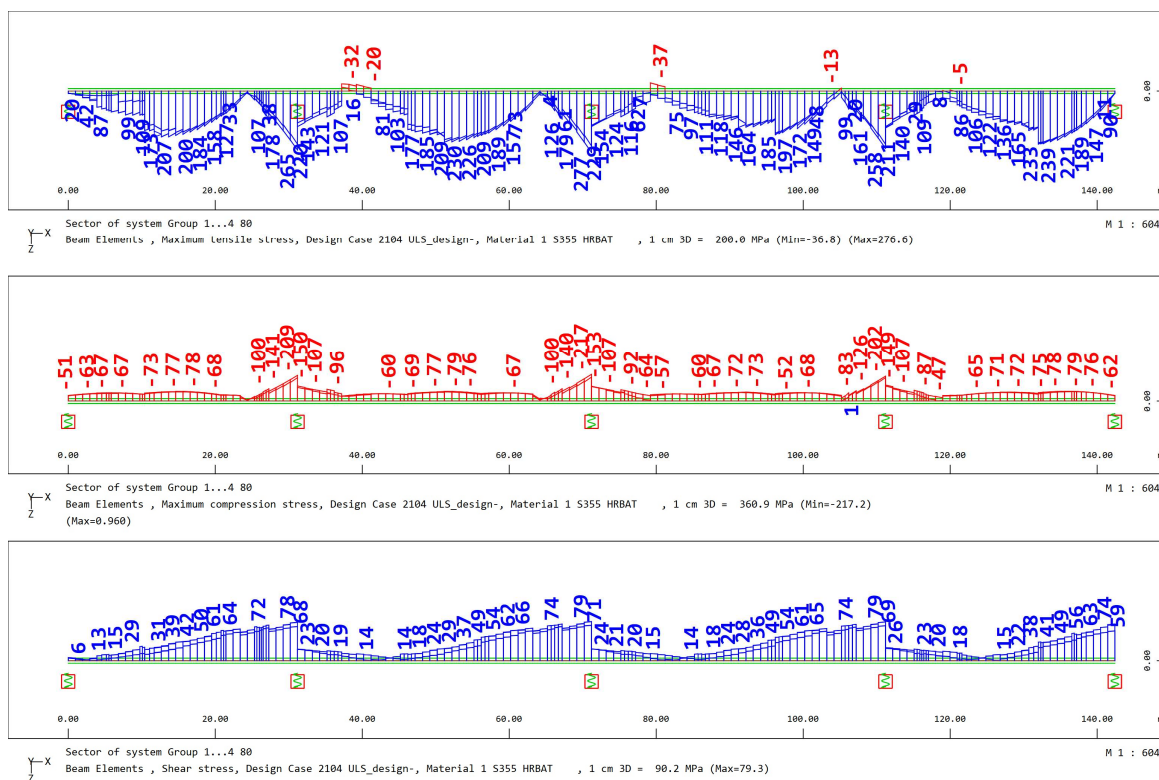
$$\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} = \frac{117}{0,797 \cdot 355 / 1,1} = 0,45 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen.

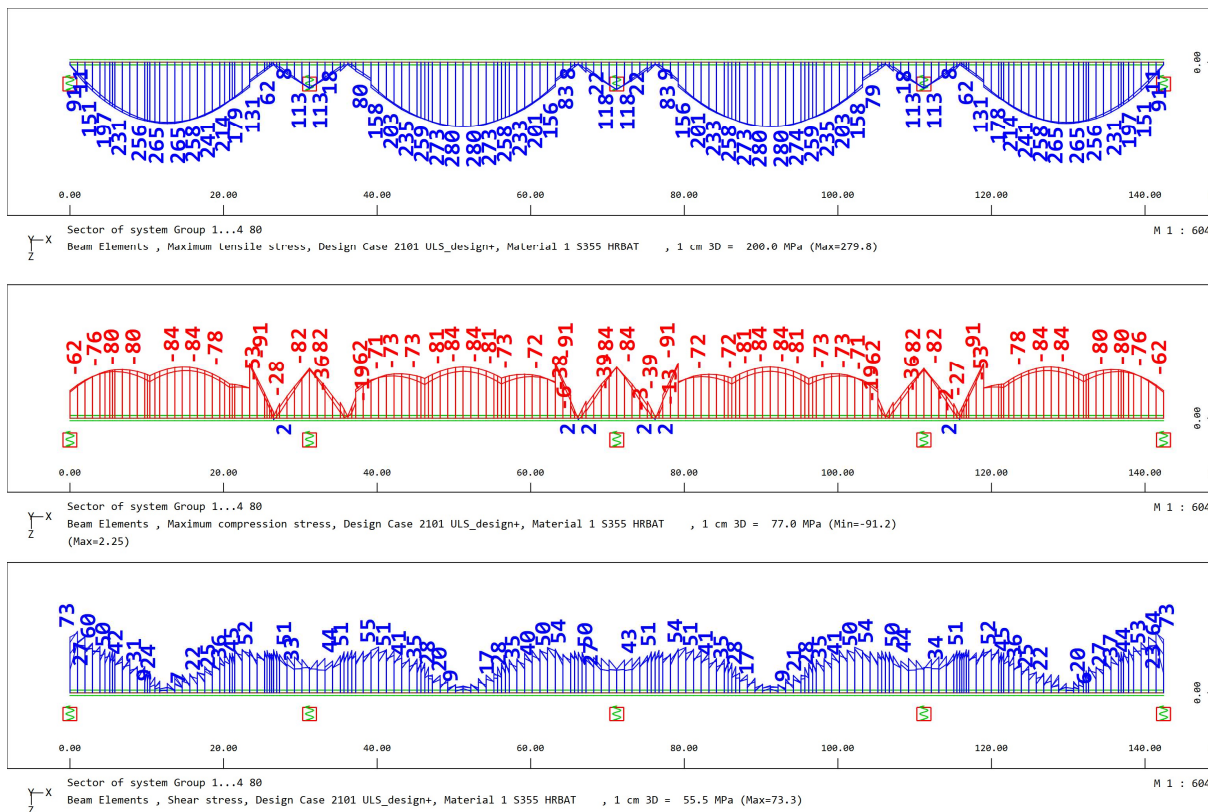
6.3.3.2 Dokaz stabilnosti hrpta



Slika 6.18. Najveći negativni moment i pripadajuća poprečna sila (LC 2102)



Slika 6.19. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2104)



Slika 6.20. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)

6.3.3.2.1 Dokaz stabilnosti hrpta nad osloncem

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1630 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 254 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -319 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 67 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2104	$\sigma_{1x,Ed} = 217 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -277 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 79 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,93	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,93	ZADOVOLJAVA

6.3.3.2.2 Dokaz stabilnosti hrpta u presjeku smanjenja debljine na $t=14$ mm

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200$ mm	
Visina hrpta:	$b = 1650$ mm	
Debljina hrpta:	$t = 14$ mm	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 191$ N/mm ²	
	$\sigma_{2x,Ed} = -228$ N/mm ²	
	$\tau_{Ed} = 47$ N/mm ²	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2104	$\sigma_{1x,Ed} = 100$ N/mm ²	
	$\sigma_{2x,Ed} = -126$ N/mm ²	
	$\tau_{Ed} = 74$ N/mm ²	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355$ N/mm ²	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1$ N/mm ²	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73$ N/mm ²	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,66	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,63	ZADOVOLJAVA

6.3.3.2.3 Hrbat u presjeku smanjenja debljine na $t=12\text{ mm}$

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200\text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1660\text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12\text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 107\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -112\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 22\text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2104	$\sigma_{1x,Ed} = 57\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -52\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 66\text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355\text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1\text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73\text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,26	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,54	ZADOVOLJAVA

6.3.3.2.4 Hrbat u sredini raspona

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5200 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1660 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2102	$\sigma_{1x,Ed} = 84 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -280 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 8 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 79 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -230 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 25 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,07	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,14	ZADOVOLJAVA

6.4 Usporedba

6.4.1 Usporedba dimenzija nosača

U ovom poglavlju napravljena je usporedba površina gornjih i donjih pojaseva u glavnim nosačima ovisno je li most nepoduprt ili poduprt tokom izgradnje. Isto tako napravljena je i usporedba debljina hrptova. Za raspone od 60 metara napravljene su dvije varijante, sa ili bez ukrute. Potrebno je naglasiti da se u slučajevima mostova sa rasponom od 60 metra za postizanje stabilnosti hrpta koristila ukruta TYP 250.

Kod mostova s četiri nosača uočavamo manje debljine gornjih i donjih pojasnica na ležaju za izvedbu s pomoćnim osloncima, dok kod presjeka s dva nosača su jednake.

Presjeci s 4 glavna nosača s podupiranjem imaju veće debljine hrpta u odnosu na one koje su građene bez podupiranja, ali su dimenzije gornjih i donjih pojasnica manje.

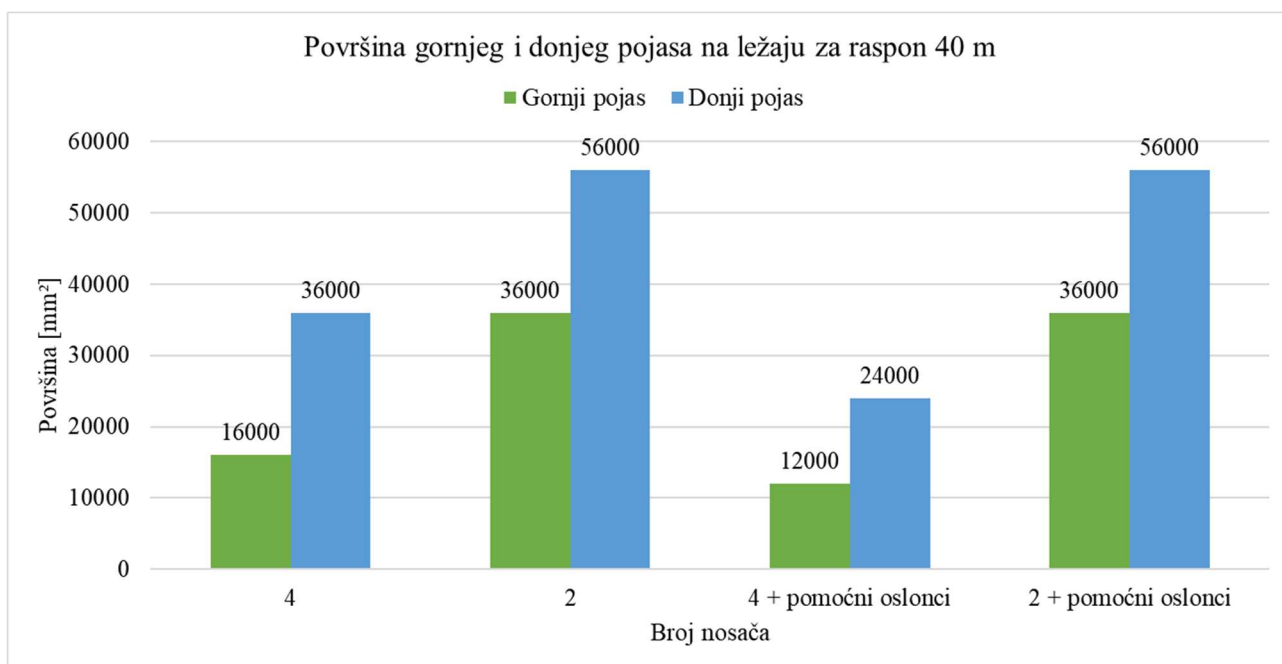
Presjeci s dva glavna nosača u području ležaja za gradnju bez podupiranja imaju veće debljine hrptova. Problem se također javljao i u sredini raspona. Kako su dimenzije pojasnica male, a uzdužna naprezanja od momenta savijanja i posmika od poprečne sile još veliko došlo je do potrebe za povećanjem u debljine hrpta s 12 na 16 mm.

Raspon [m] _ broj nosača	Širina gornje pojasnice [mm]	Debljina gornje pojasnice [mm]	Širina donje pojasnice [mm]	Debljina donje pojasnice [mm]	Visina hrpta [mm]	Debljina hrpta [mm]
40_4	400	40	600	60	1600	16
40_2	600	60	700	80	1560	20
40_4_s podupiranjem	400	30	600	40	1630	16
40_2_s podupiranjem	600	60	700	80	1560	20
50_4	600	40	700	80	2080	16
50_2	600	60	800	80	2060	24
50_4_s podupiranjem	600	40	700	60	2100	18
50_2_s podupiranjem	600	60	800	80	2060	22
60_4	600	40	700	80	2580	20
60_2	700	60	900	80	2560	25
60_4_s podupiranjem	600	40	700	60	2600	16
60_2_s podupiranjem	700	60	900	80	2560	25

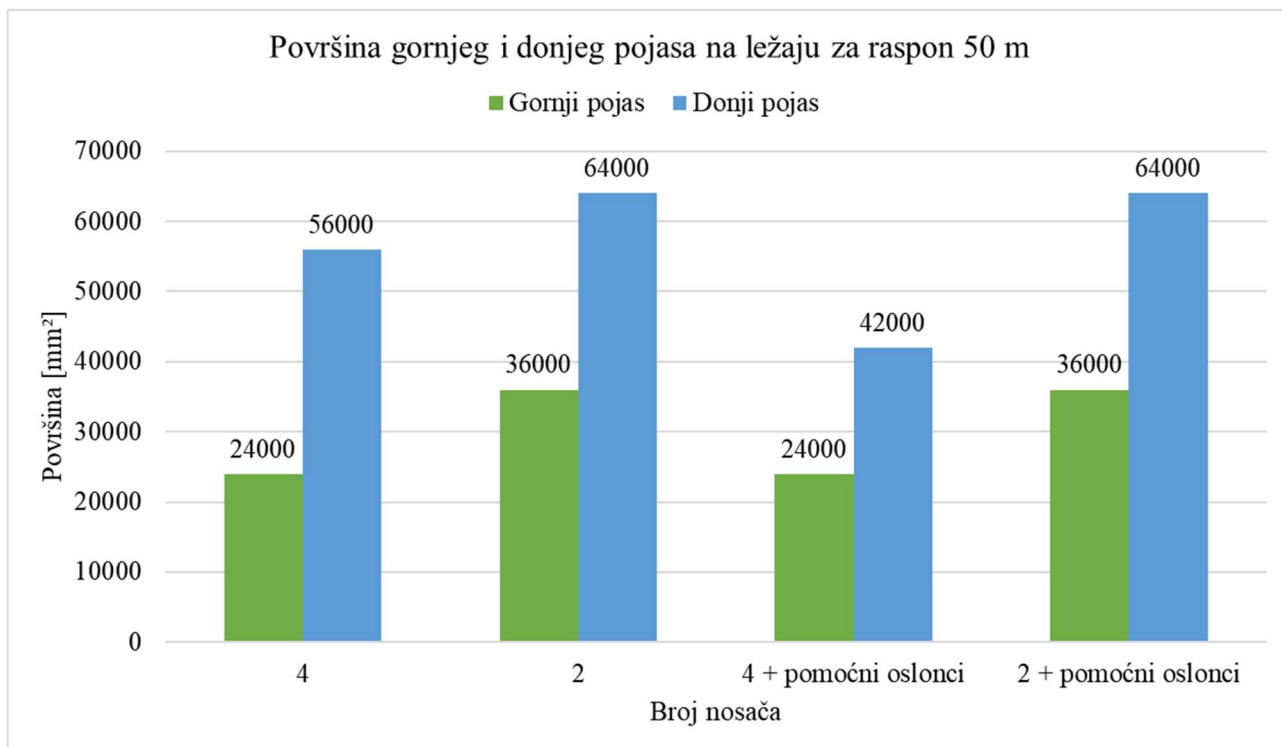
Slika 6.21. Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju kod kontinuiranog nosača

Raspon [m] _ broj nosača	Širina gornje pojasnice [mm]	Debljina gornje pojasnice [mm]	Širina donje pojasnice [mm]	Debljina donje pojasnice [mm]	Visina hrpta	Debljina hrpta
60_4_TYP250	600	40	700	60	2100	18
60_2_TYP250	600	60	800	80	2060	25
60_4_s podupiranjem_TYP250	600	30	700	60	2110	16
60_2_s podupiranjem_TYP250	600	60	800	80	2060	22
60_4	600	40	700	80	2580	20
60_2	700	60	900	80	2560	25
60_4_s podupiranjem	600	40	700	80	2580	18
60_2_s podupiranjem	700	60	900	80	2560	22

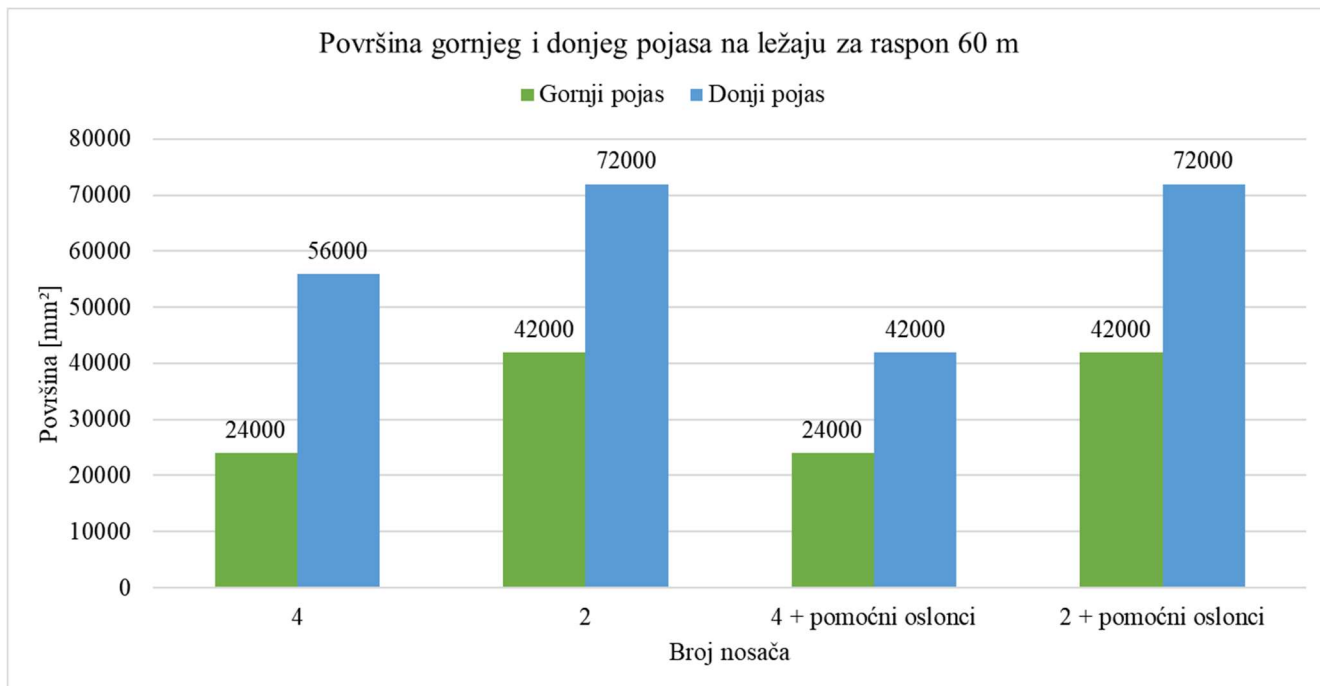
Slika 6.22. Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju sa ili bez ukrute za raspon 60 metara



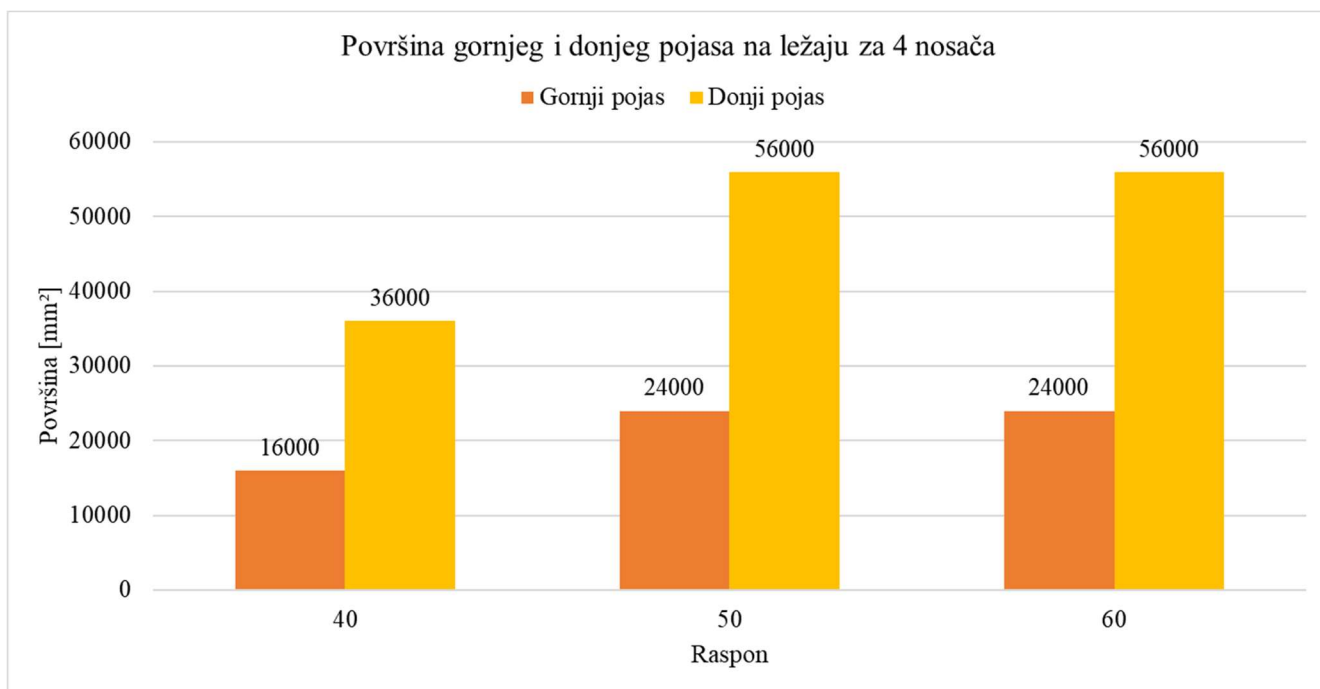
Slika 6.23. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 40 m



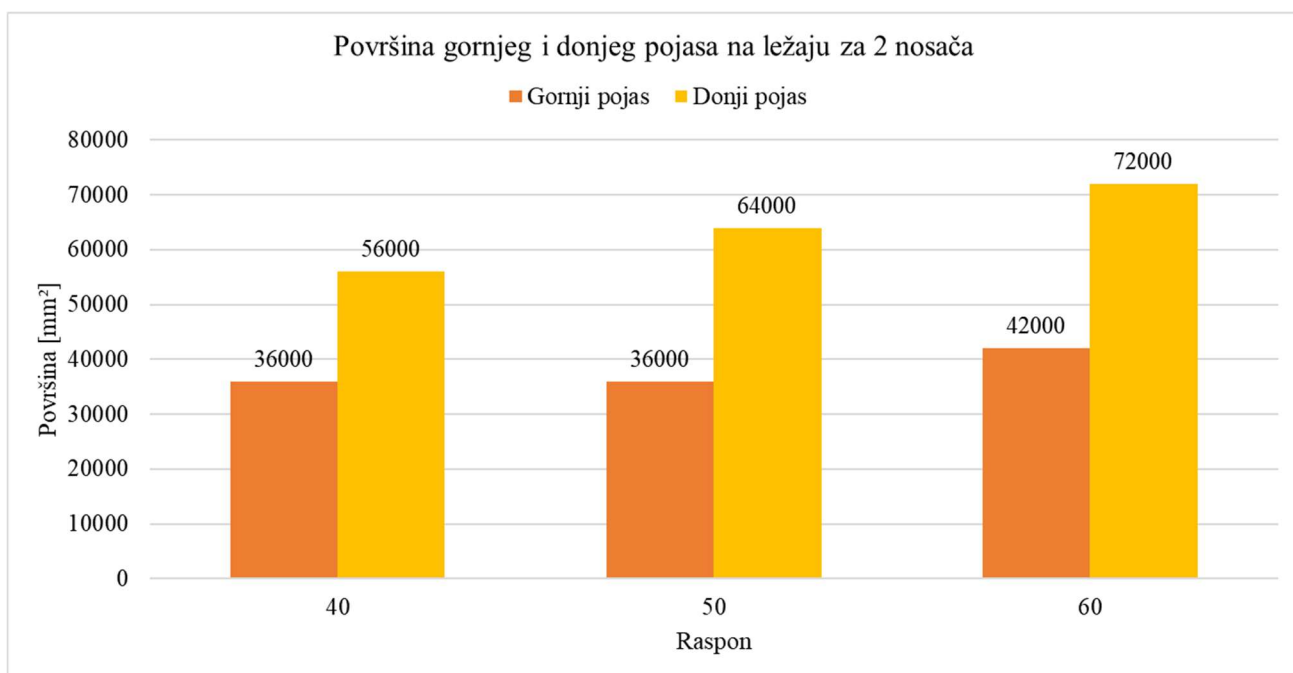
Slika 6.24. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 50 m



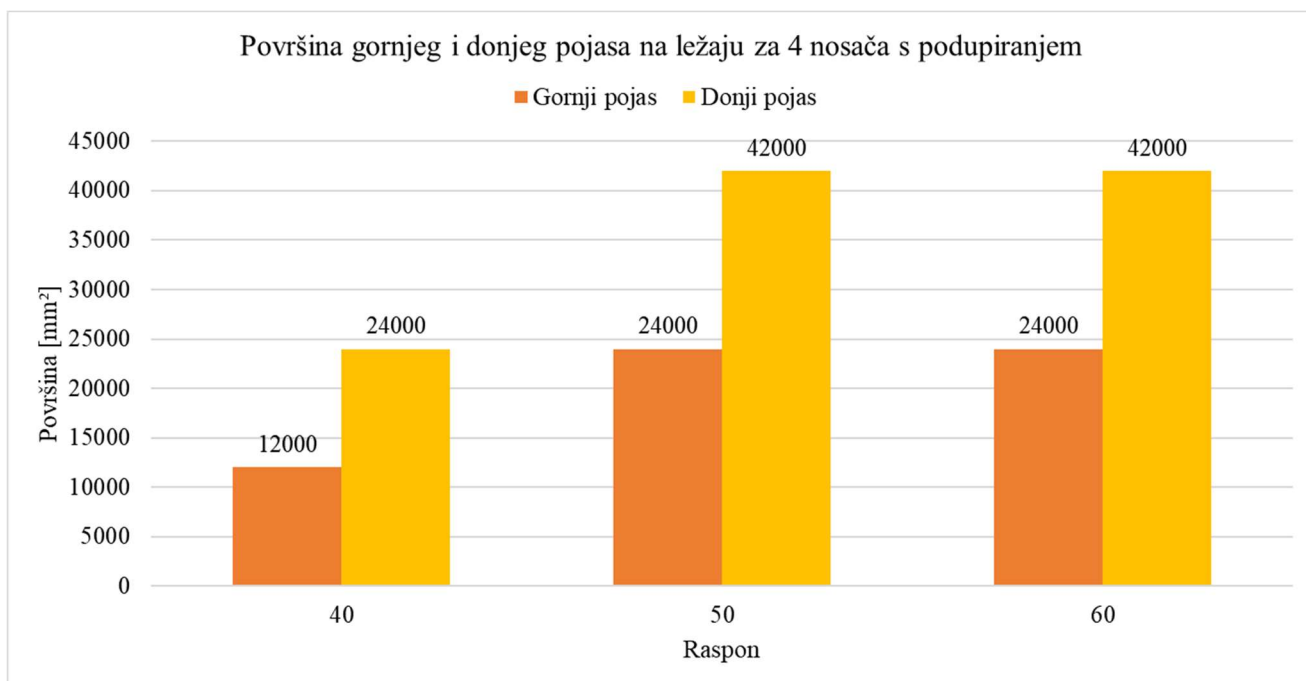
Slika 6.25. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 60 m



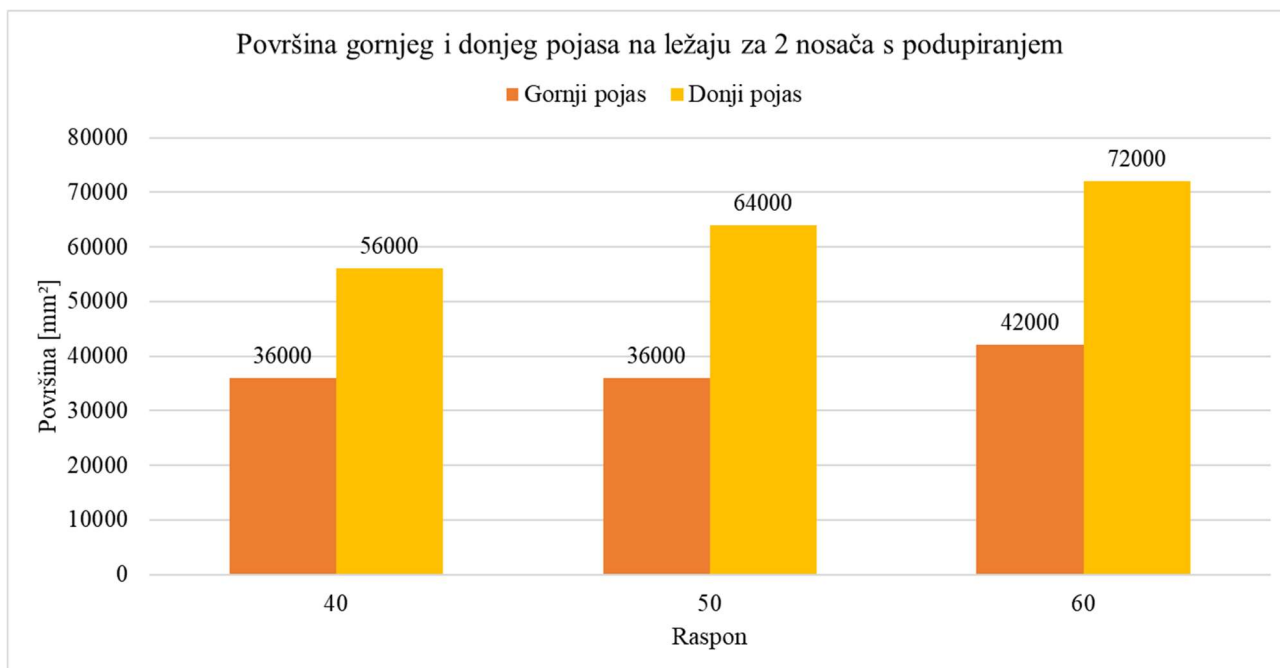
Slika 6.26. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača



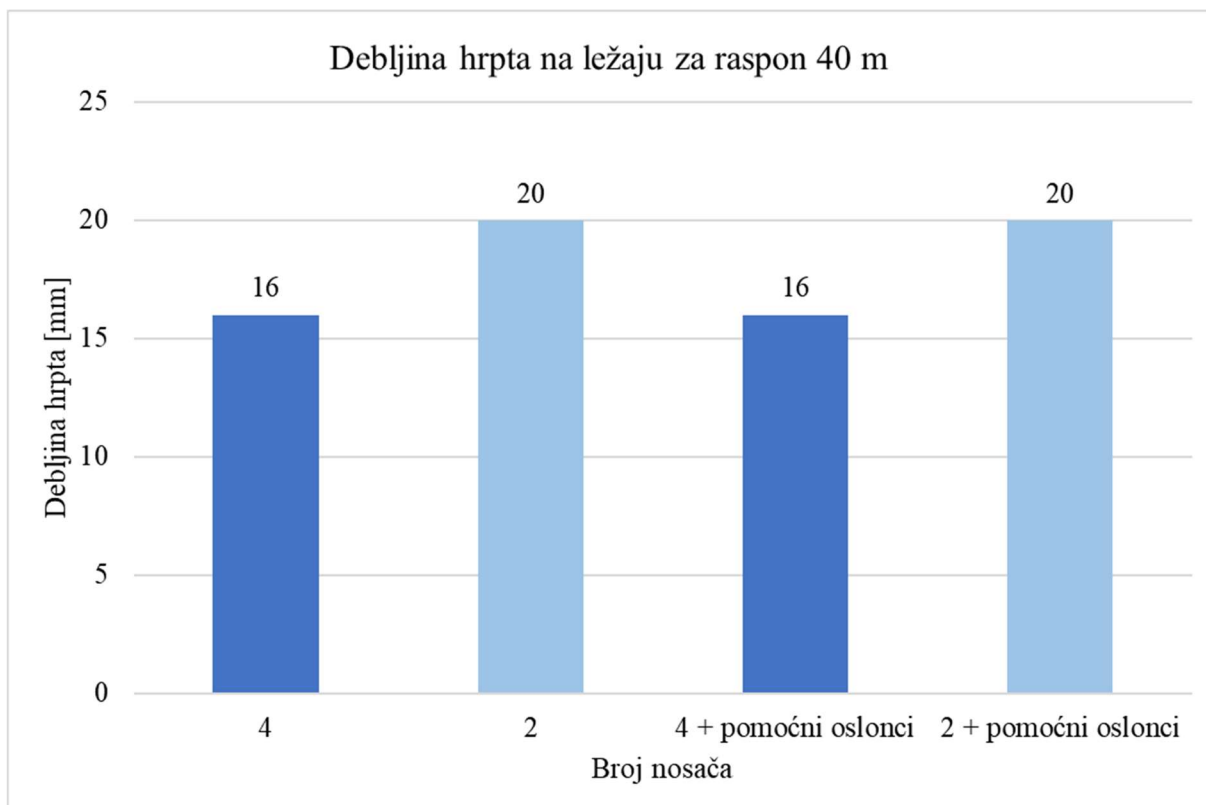
Slika 6.27. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača



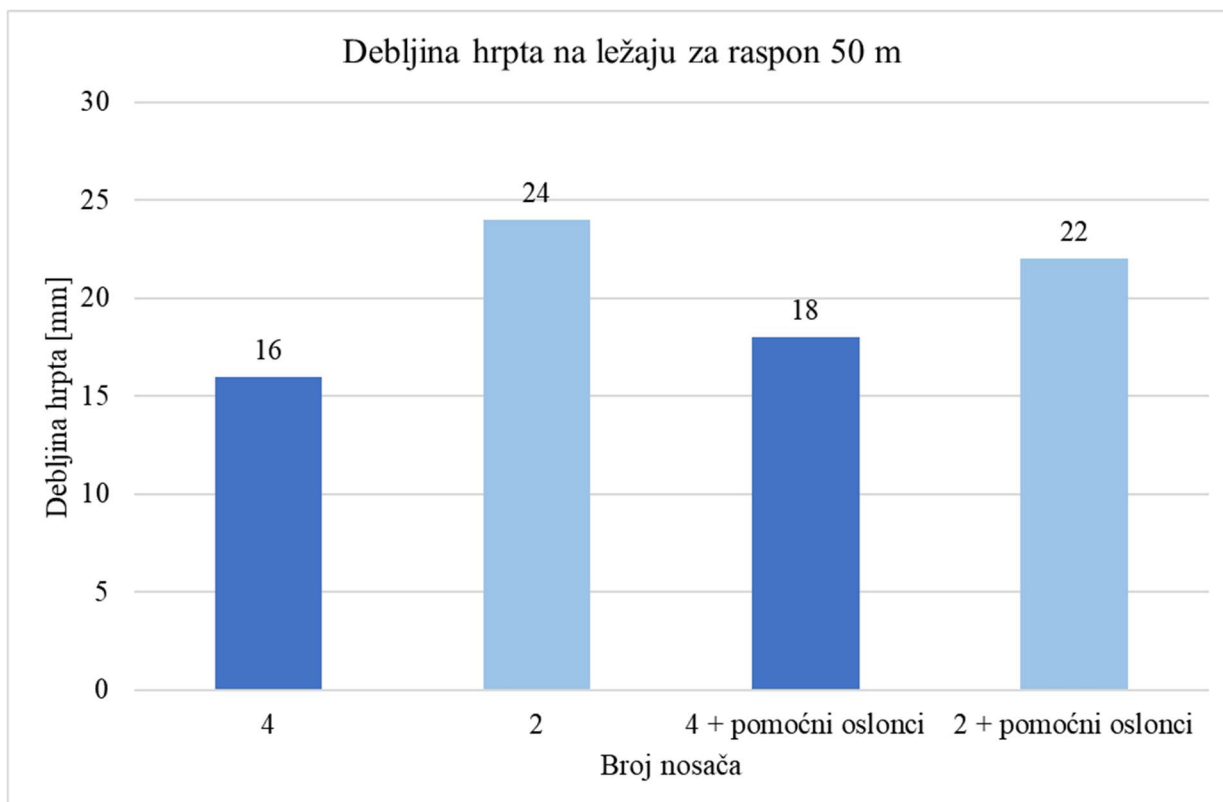
Slika 6.28. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača za način gradnje s pomoćnim osloncima



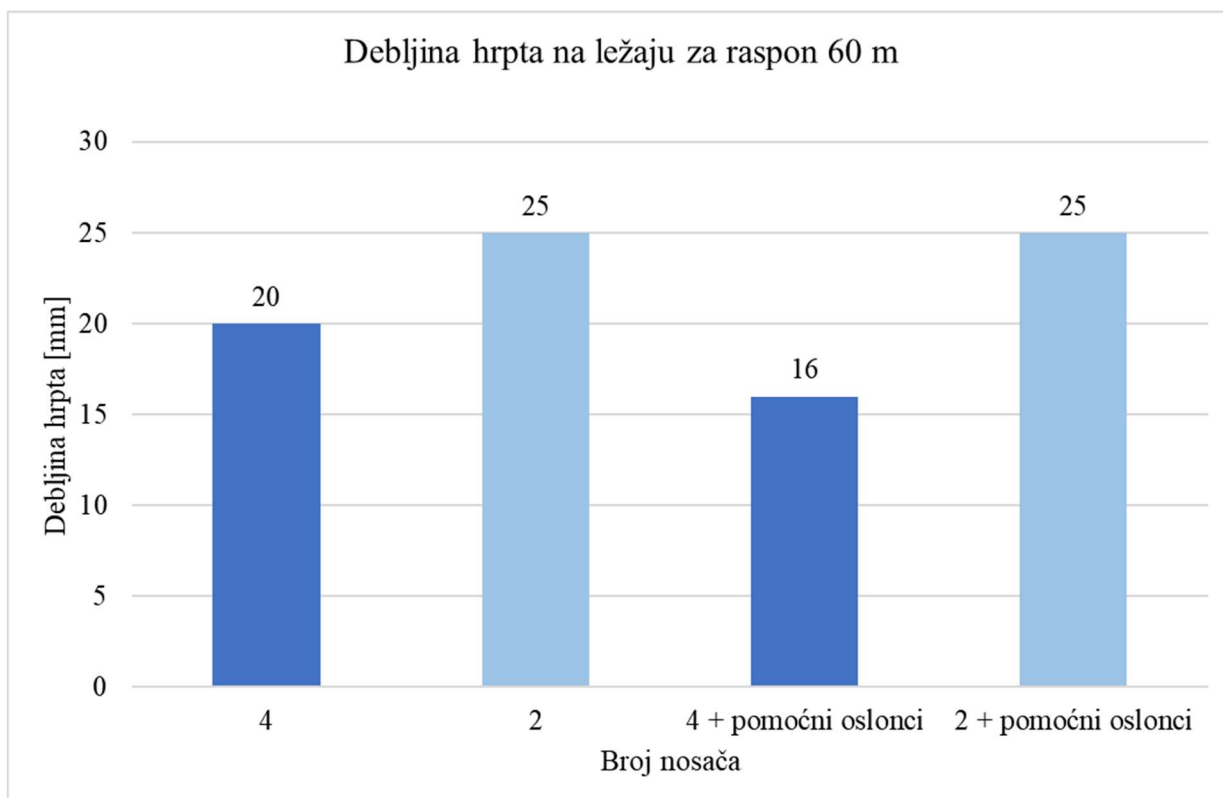
Slika 6.29. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača za način gradnje s pomoćnim osloncima



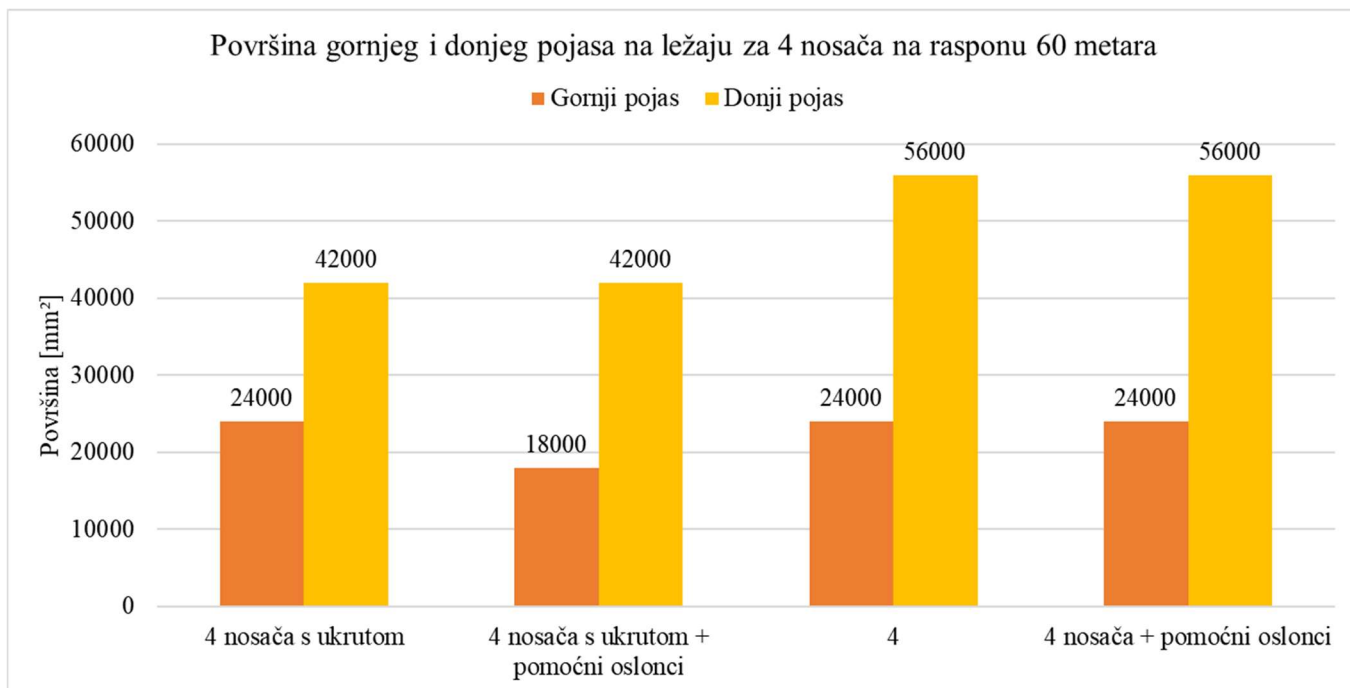
Slika 6.30. Debljina hrpta na ležaju za raspon 40 metara



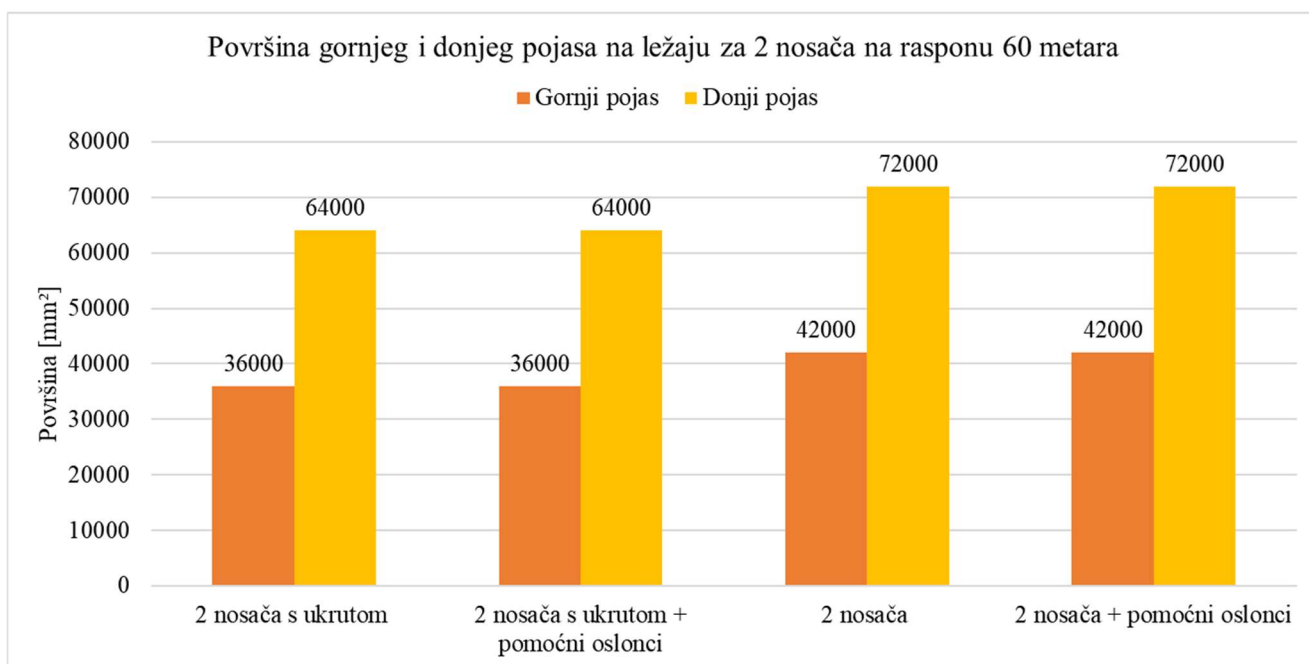
Slika 6.31. Debljina hrpta na ležaju za raspon 50 metara



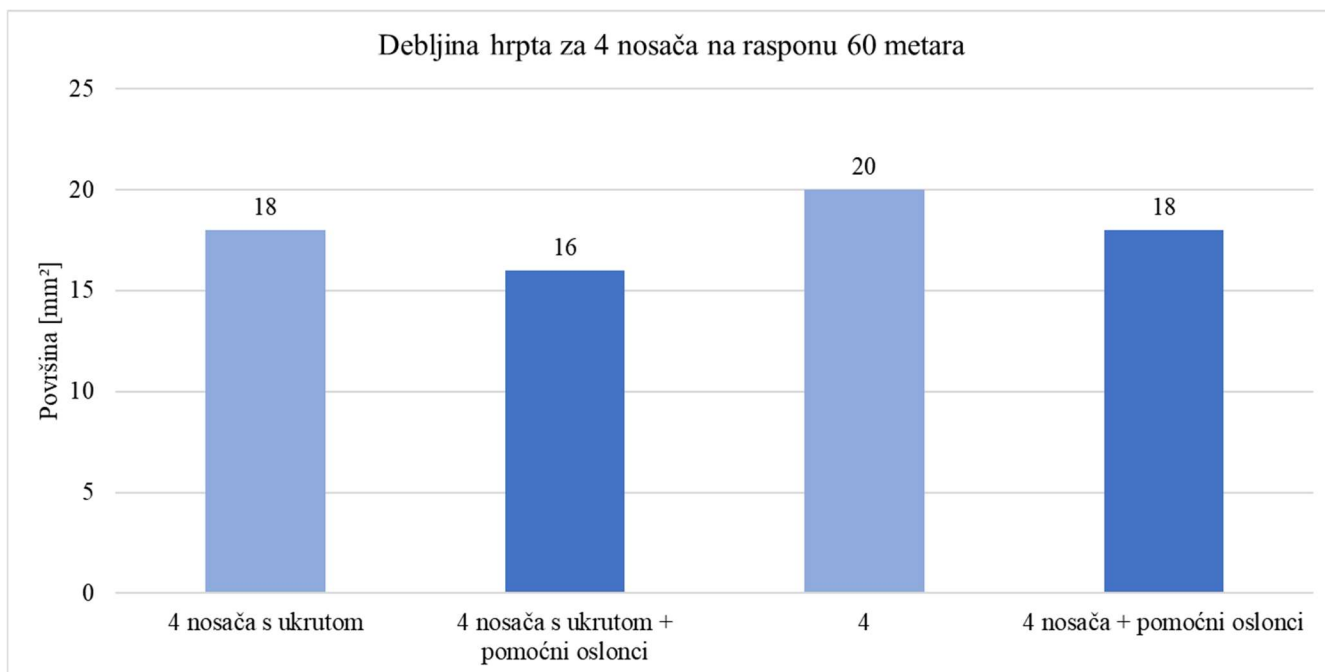
Slika 6.32. Debljina hrpta na ležaju za raspon 60 metara



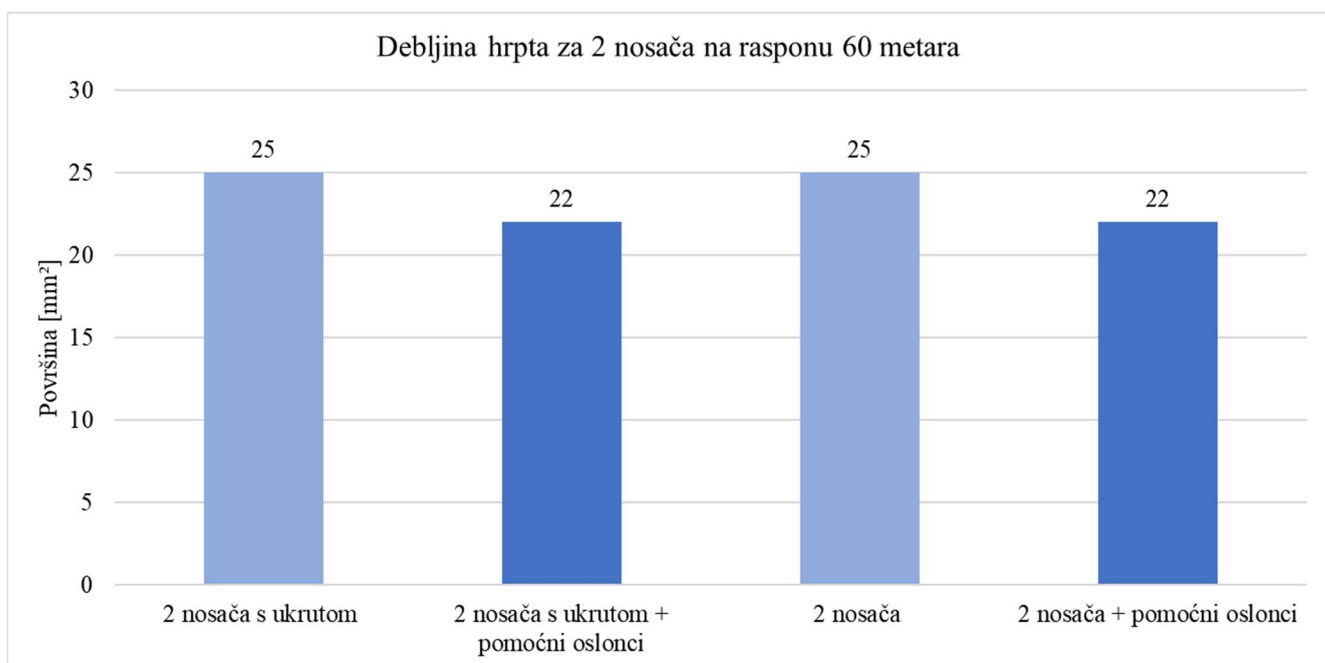
Slika 6.33. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara



Slika 6.34. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara



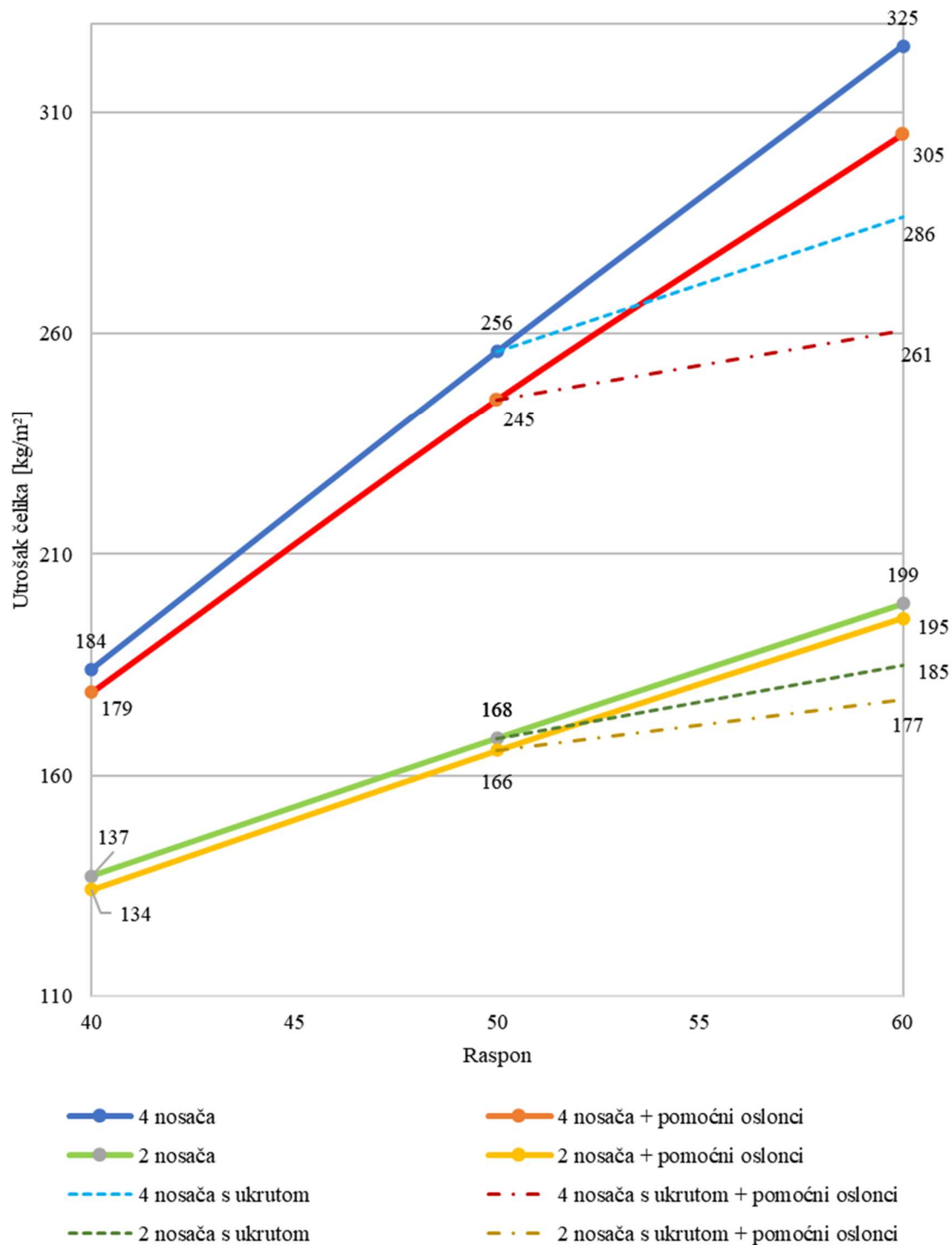
Slika 6.35. Debljina hrpta na ležaju za presjek sa 4 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara



Slika 6.36. Debljina hrpta na ležaju za presjek sa 2 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara

6.4.2 Usporedba utroška čelika

Količina utrošenog čelika za prostu gredu sa i bez podupiranja



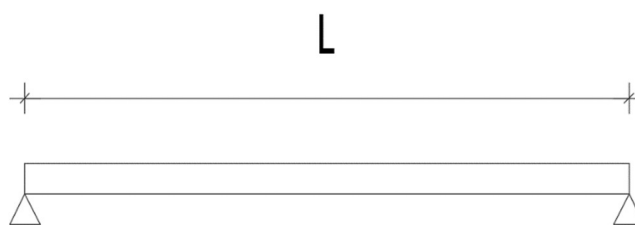
Slika 6.37. Količina materijala za kontinuirani nosač

7 PROSTA GREDA

7.1 Oblikovanje sustava proste grede s "I" nosačima

Kao i u poglavlju 3. biti će prikazani parametri koji su nam potrebni za izradu dispozicijskog rješenja i modela, te koji ostaju fiksni tokom cijelog dimenzioniranja.

Analizirani su modeli s dva i četiri glavna nosača na rasponima od 40 i 50 metara. Širina mosta jednaka je kao i kod kontinuiranog nosača (slika 3.1).



Slika 7.1. Uzdužna dispozicija mosta

Razmak glavnih nosača jednak je kao i kod kontinuiranih nosača.

Visina glavnih nosača je konstantna po cijeloj dužini mosta te se određuje iz omjera $L/h=18$.

Tablica 7.1. Visine glavnih nosača

Raspon [m]	Visina glavnog nosača [mm]
40	1950
50	2500

Poprečni nosači postavljaju se na razmaku od 5 metara. Visina poprečnih nosača u polju uzeta je kao vrijednost $1/3$ visine glavnog nosača. Nad ležajem visina poprečnog nosača za poprečni presjek s 4 glavna nosača jednaka je visini glavnog nosača, dok kod poprečnog presjela s 2 glavna nosača ona iznosi $2/3$ visine glavnog nosača.

Tablica 7.2. Dimenzije poprečnih nosača u polju i nad ležajem

Raspon [m]	Poprečni nosači		
	Polje	Ležaj (visina poprečnog nosača) [mm]	
		4 nosača	2 nosača
40	HEA 650	1950	1300
50	HEA 800	2500	1700

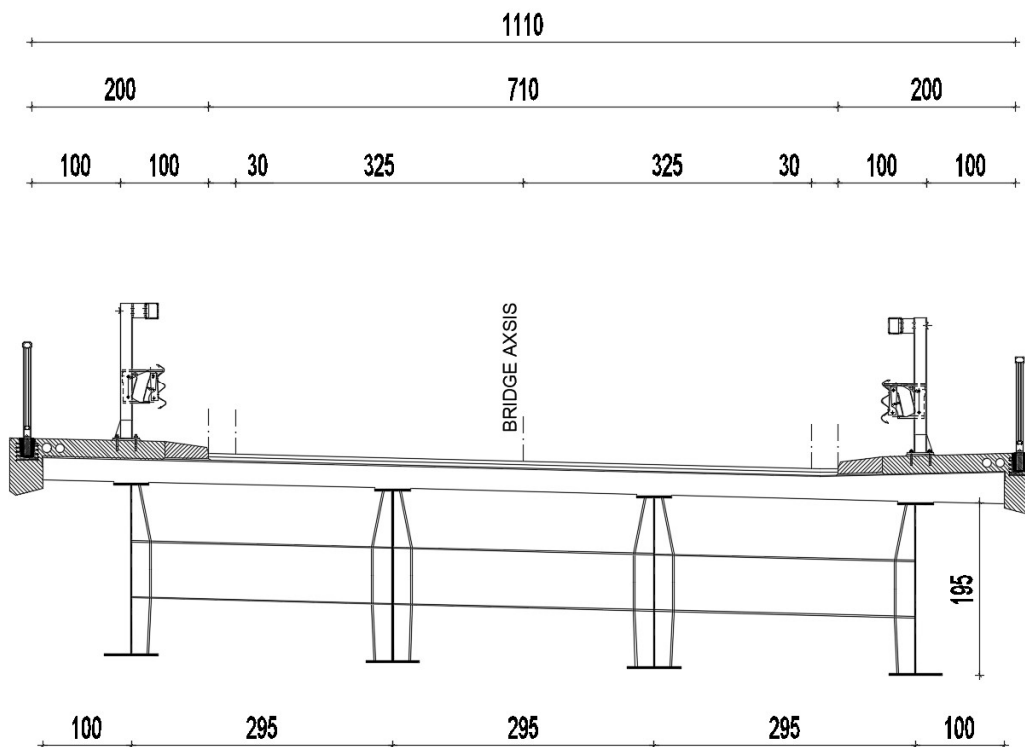
Preporučene vrijednosti debljina i širina gornjih i donjih pojasnica iste su kao i kod kontinuiranih nosača.

Kod sustava proste grede vrijede dane preporučene debljine gornjih i donjih pojasnica kao i u poglavlju 3.; (tablica 3.4.). Vrijednosti će se mijenjati prilikom dimenzioniranja i usvojene debljine biti će prikazane u poglavlju 7.5. Kao i kod kontinuiranih nosača preliminarne vrijednosti s kojima započinjemo modeliranje su 20 mm za debljine pojasnica, te 12 mm za debljine hrpta.

Tablica 7.3. Preporučene vrijednosti širina gornjih i donjih pojasnica, te prisutnost horizontalnog ukrućenja

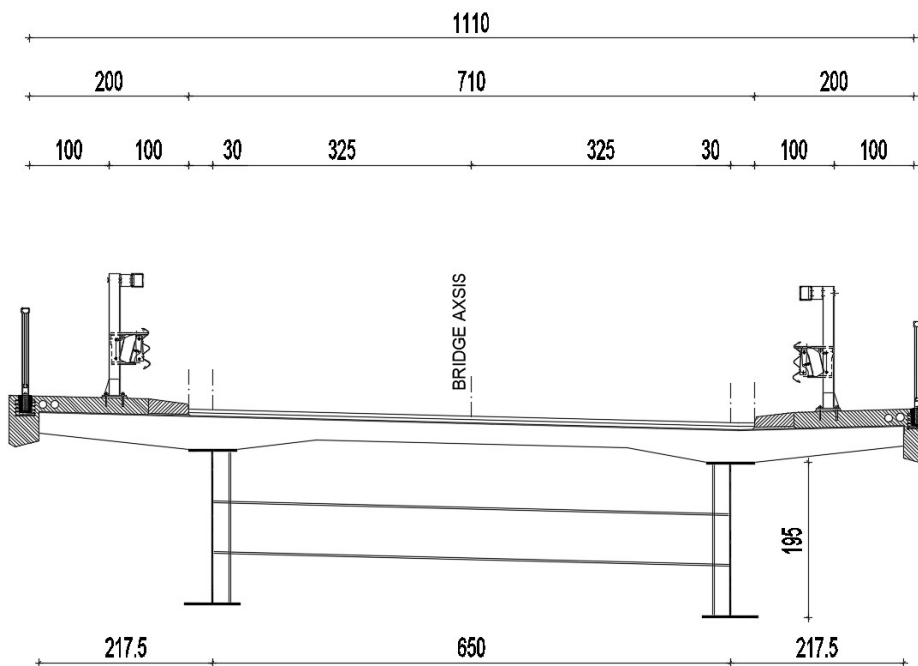
Raspon [m]	4 nosača		2 nosača		Horizontalno ukrućenje
	Širina gornje pojasnice b_g [mm]	Širina gornje pojasnice b_d [mm]	Širina gornje pojasnice b_g [mm]	Širina donje pojasnice b_d [mm]	
40	400	600	600	700	NE
50	600	700	600	800	NE

Horizontalna ukrućenja nisu se koristila kod sustava proste grede.



Slika 7.2. Poprečni presjek s četiri nosača na rasponu od 40 metara

$b_g=600$ mm, $b_q=700$ mm, poprečni HEA 650



Slika 7.3. Poprečni presjek s dva nosača na rasponu od 40 metara

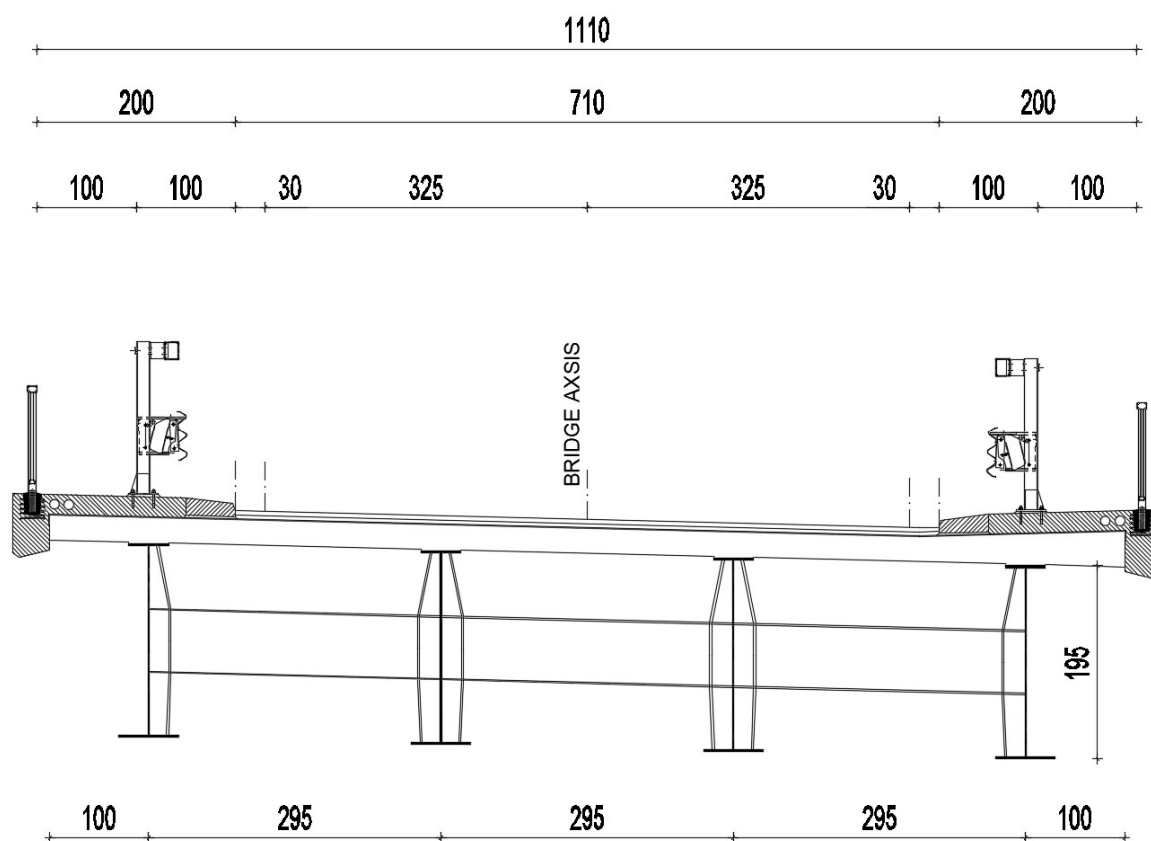
7.2 Analiza opterećenja

U analizi opterećenja potrebno je izračunati samo dodatnu vlastitu težinu.

Opterećenja poput opterećenja betonske ploče se ne mijenjaju zbog jednakog razmaka glavnih nosača, također dodatno stalno opterećenje i opterećenje prometom ostaje isto zbog iste širine kolnika. Nejednolika linearno promjenjiva temperatura ima fiksne vrijednosti neovisno o rasponu i širini mosta.

7.2.1 Vlastita težina mosta

Polje



Slika 7.4. Poprečni presjek u polju

Faza 1 – montaža čeličnih nosača

- a) Hrbat vertikalnog ukrućenja [kN]

$$A_{vert.ukruć.} \cdot 0,02 \cdot \gamma_{\xi} = (0,0862 + 0,1175) \cdot 0,02 \cdot 80 = 0,3 \text{ kN}$$

- b) Pojasevi vertikalnog ukrućenja i ukrućenja hrpta pop nosača [kN]

$$0,3 \cdot 0,02 \cdot (a + c) \cdot \gamma_{\xi} = 0,3 \cdot 0,02 \cdot (0,65 + 0,63) \cdot 80 = 0,6 \text{ kN}$$

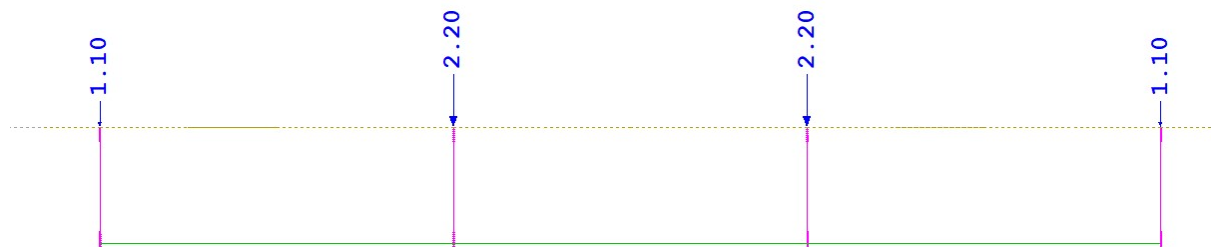
$$0,12 \cdot 0,03 \cdot b \cdot 2 \cdot \gamma_{\xi} = 0,12 \cdot 0,02 \cdot 0,62 \cdot 2 \cdot 80 = 0,2 \text{ kN}$$

Ukupno na mjestu rubnog poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma a + b = 0,3 + 0,6 + 0,2 = 1,1 \text{ kN}$$

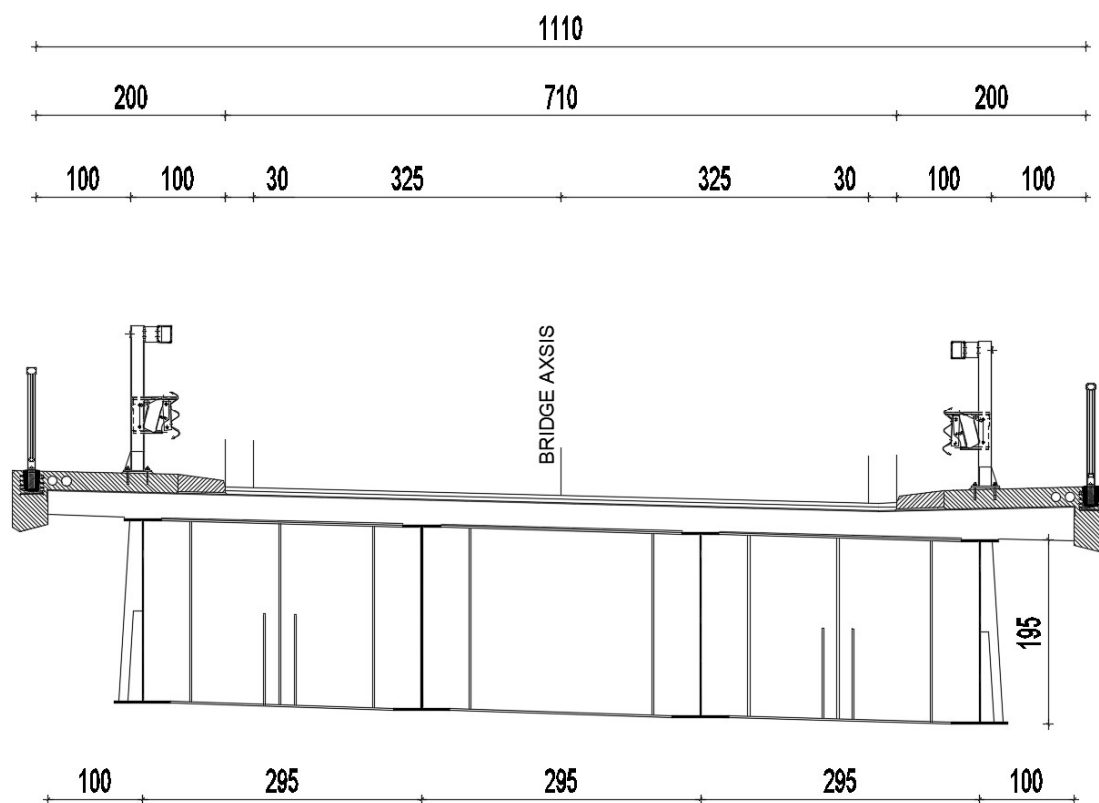
Ukupno na mjestu središnjeg poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma a + b = 2,2 \text{ kN}$$



Slika 7.5. Prikaz unosa dodatne vlastite težine u polju, Sofistik

Ležaj



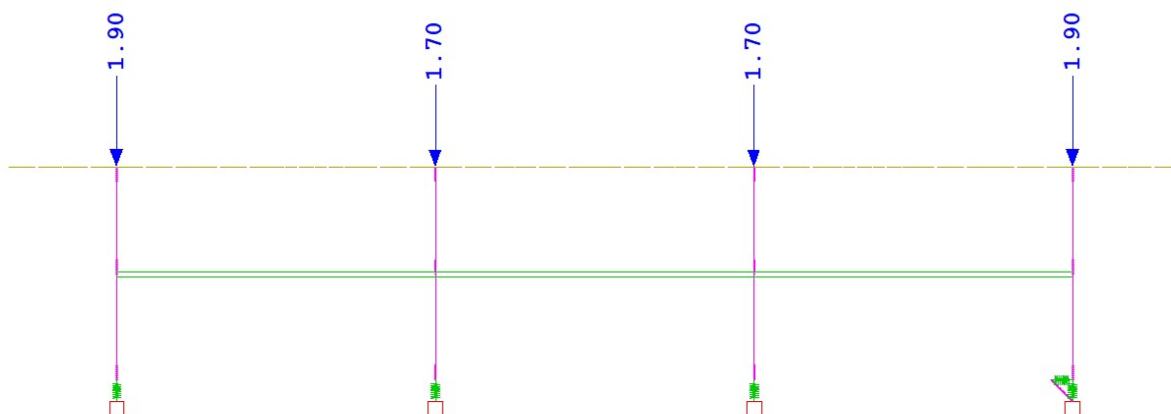
Slika 7.6. Poprečni presjek nad ležajem

Ukupno na mjestu rubnog poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma = 1,90 \text{ kN}$$

Ukupno na mjestu središnjeg poprečnog nosača (jedan gl. nosač):

$$\Sigma = 2,20 \text{ kN}$$



Slika 7.7. Prikaz unosa dodatne vlastite težine nad ležajem, Sofistik

Tablica 7.4. Iznosi dodatne vlastite težine

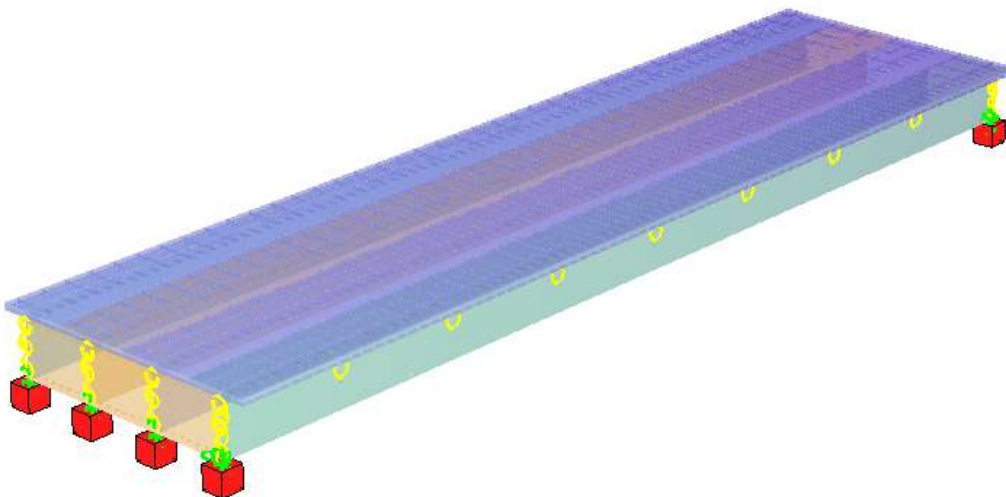
raspon	broj gl. nosača	4 nosača		2 nosača [kN]
		središnji [kN]	rubni [kN]	
40 [m]	polje	2,2	1,1	1,2
	ležaj	1,7	1,9	2,5
50 [m]	polje	3,3	1,6	1,6
	ležaj	2,2	2,6	3,4

7.3 Opis načina modeliranja i elementa modela

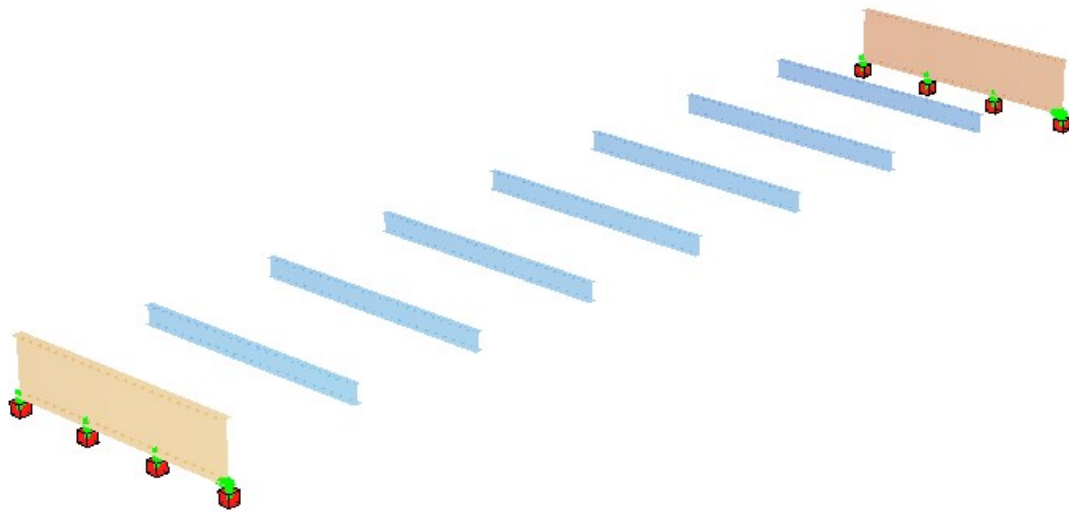
Razlika u modeliranju je kod modeliranja faze izvedbe – CSM. Kako se radi o jednom rasponu kod sustava s prostom gredom nemamo fazu betoniranja ležajeva i očvršćivanja ležajeva. Ostali koraci ostaju isti.

Tablica 7.5. Faze izvedbe za model bez podupiranja i za model sa podupiranjem

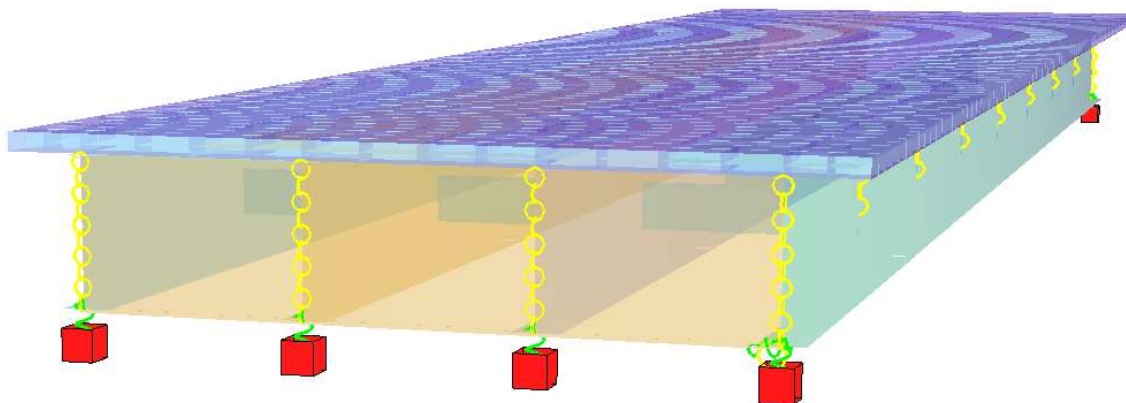
	Bez podupiranja	Sa podupiranjem
1.	Montaža čelika	Montaža čelika
2.	Betoniranje polja	Betoniranje polja
3.	Očvršćivanje polja	Očvršćivanje polja
4.		Uklanjanje pomoćnih oslonaca
7.	Postavljanje opreme mosta	Postavljanje opreme mosta
8.	Puštanje mosta u promet	Puštanje mosta u promet
9.	Kraj uporabnog vijeka mosta	Kraj uporabnog vijeka mosta



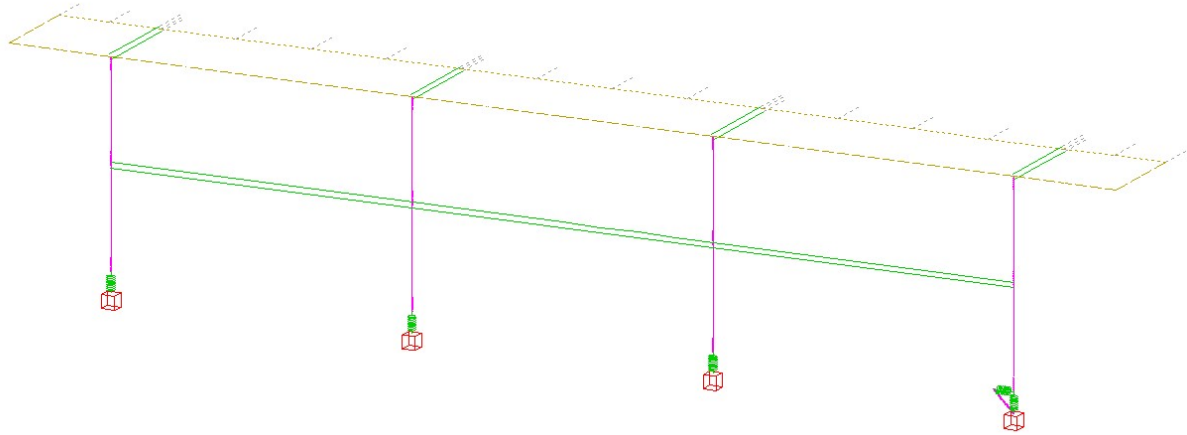
Slika 7.8. 3D prikaz modela, Sofistik



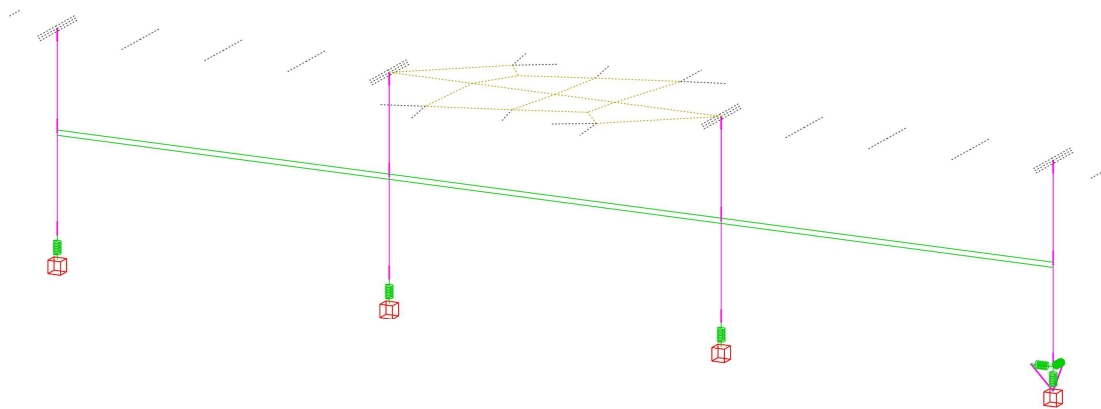
Slika 7.9. Raspored poprečnih nosača, Sofistik



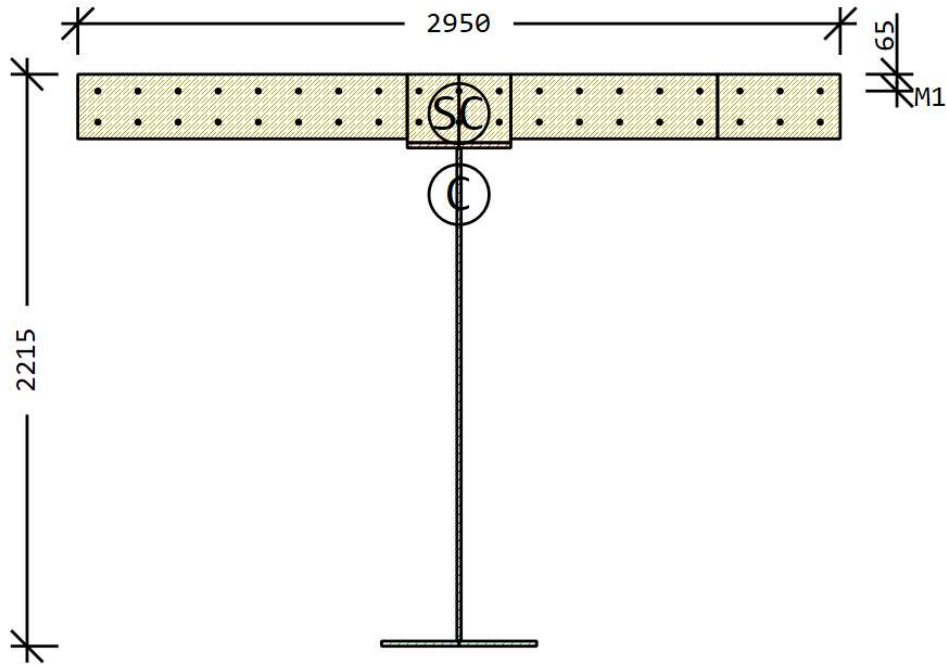
Slika 7.10. Pogled na rasponski sklop kod poprečnog nosača nad ležajem, Sofistik



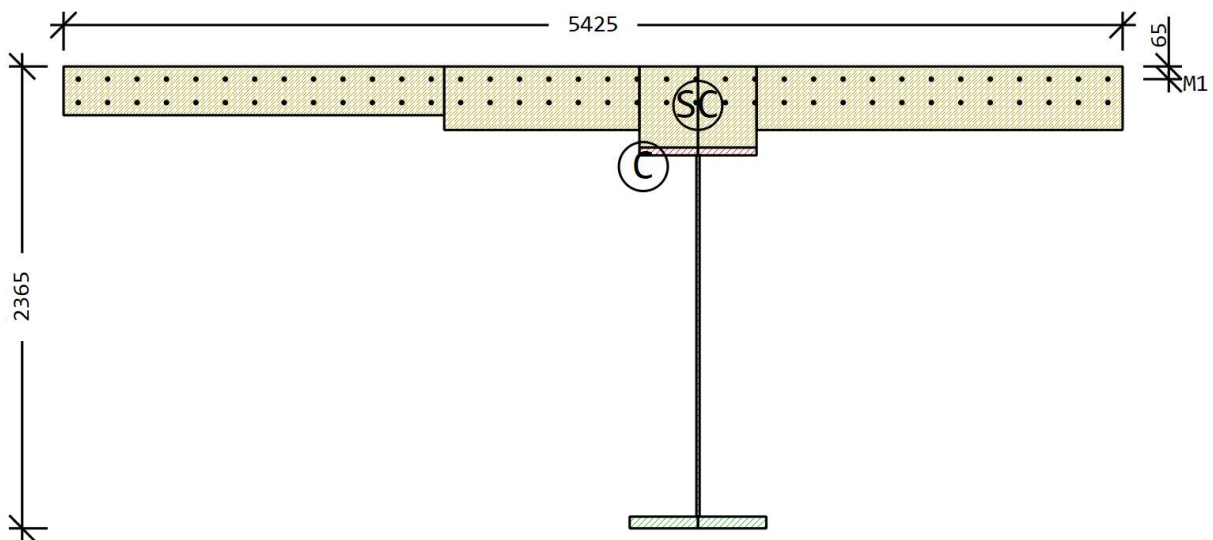
Slika 7.11. *Prikaz ležajeva na upornjaku, Sofistik*



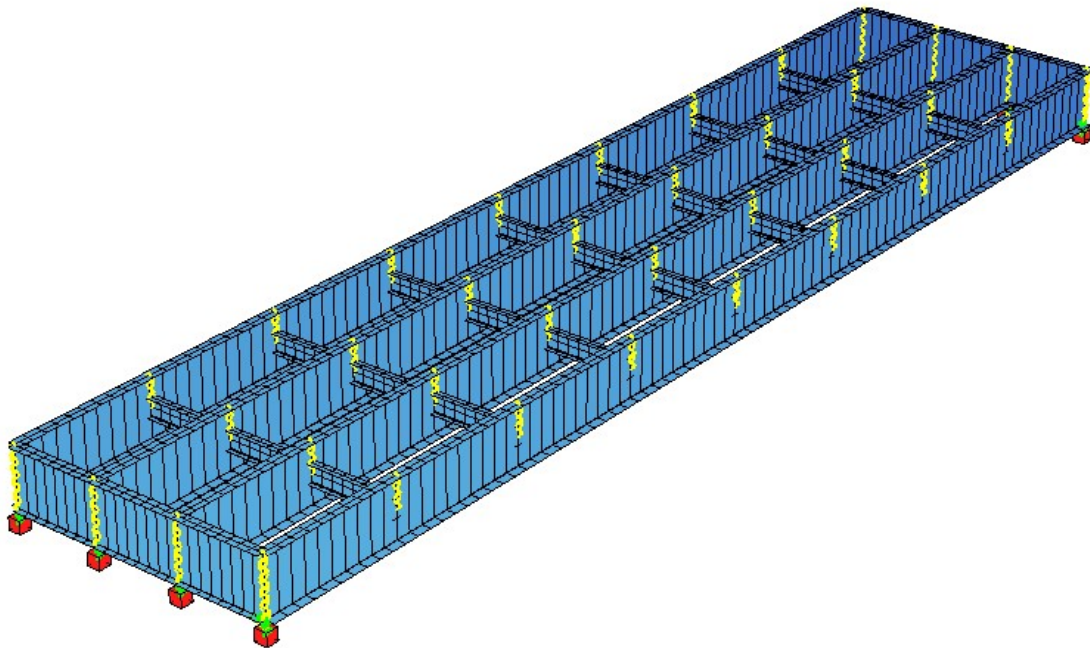
Slika 7.12. *Prikaz ležajeva (nepomični ležaj), Sofistik*



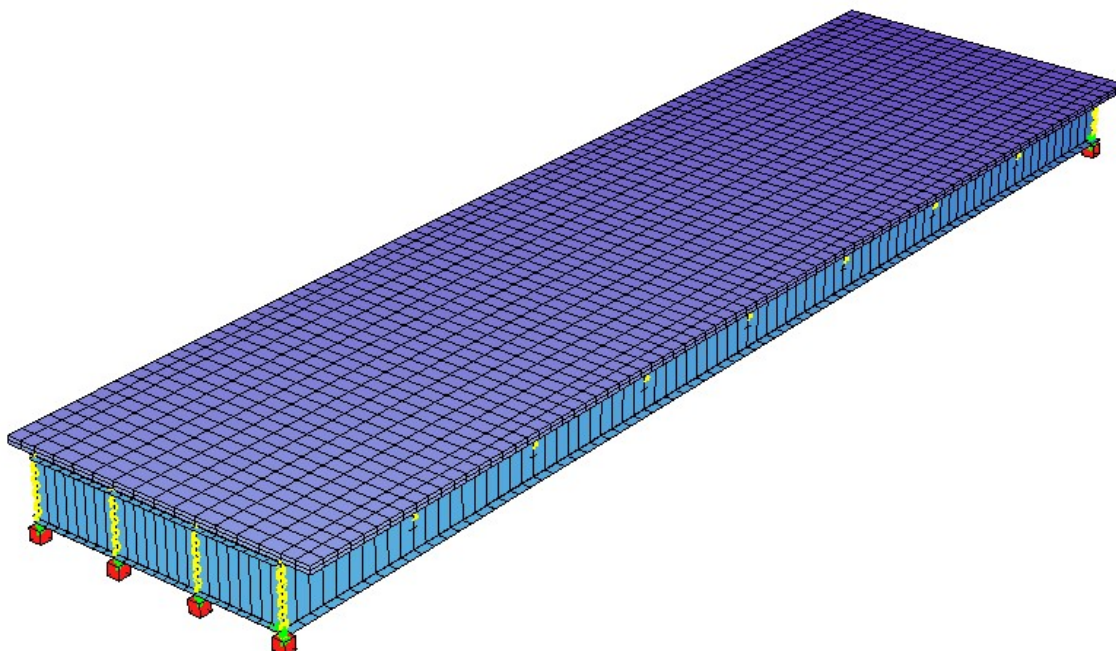
Slika 7.13. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 2,95 metara



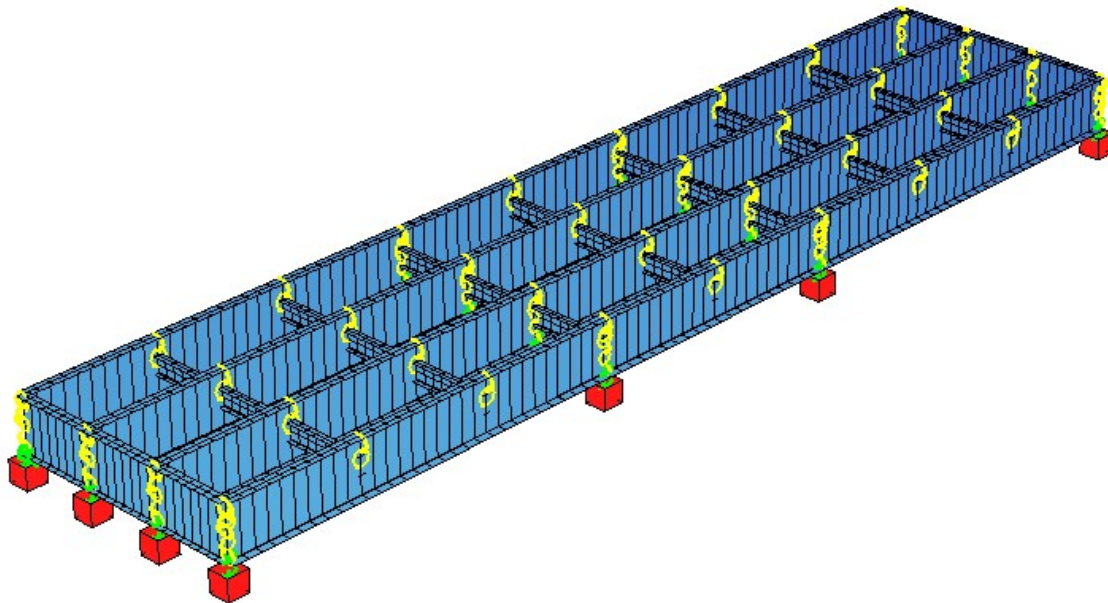
Slika 7.14. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 6,5 metara



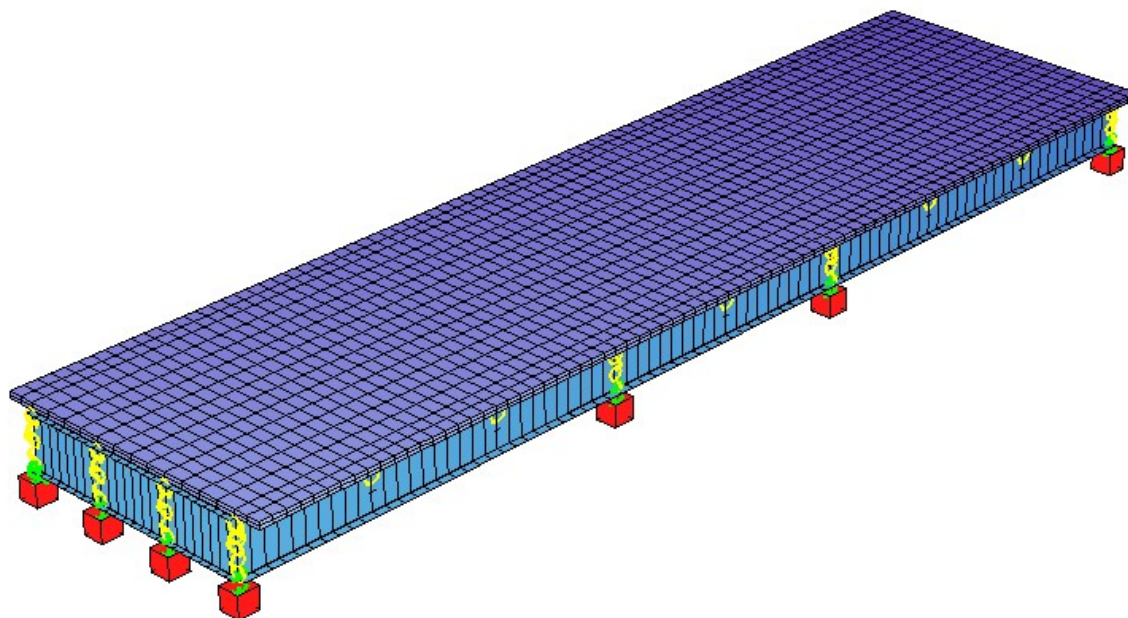
Slika 7.15. *Montaža čelika kod proste grede bez podupiranja, Sofistik*



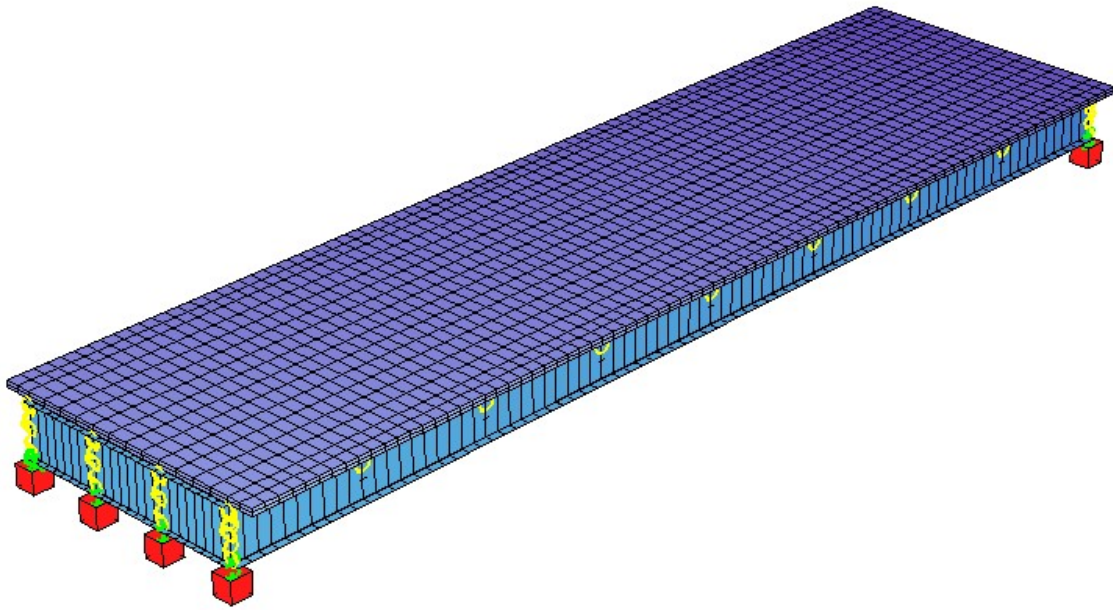
Slika 7.16. *Betoniranje polja kod proste grede bez podupiranja, Sofistik*



Slika 7.17. Montaža čelika kod proste grede s podupiranjem, Sofistik



Slika 7.18. Betoniranje polja kod proste grede s podupiranjem, Sofistik



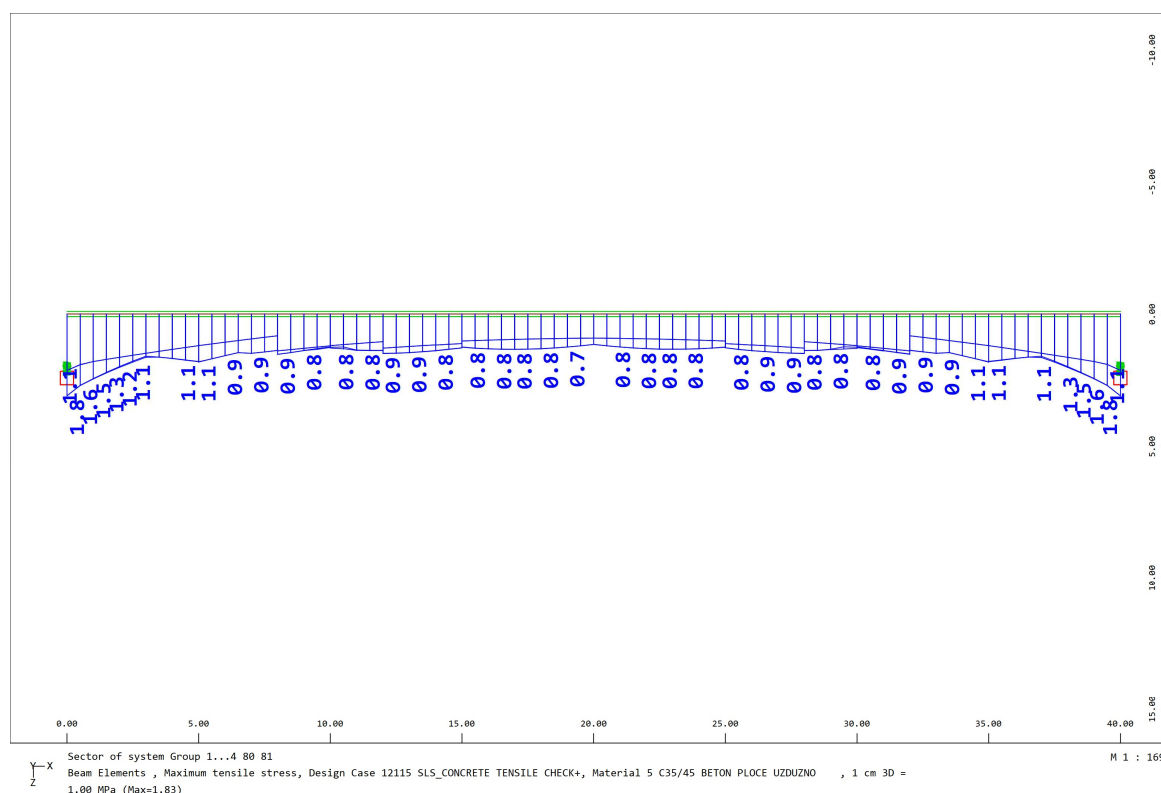
Slika 7.19. Uklanjanje pomoćnih oslonaca, Sofistik

7.4 Dimenzioniranje proste grede

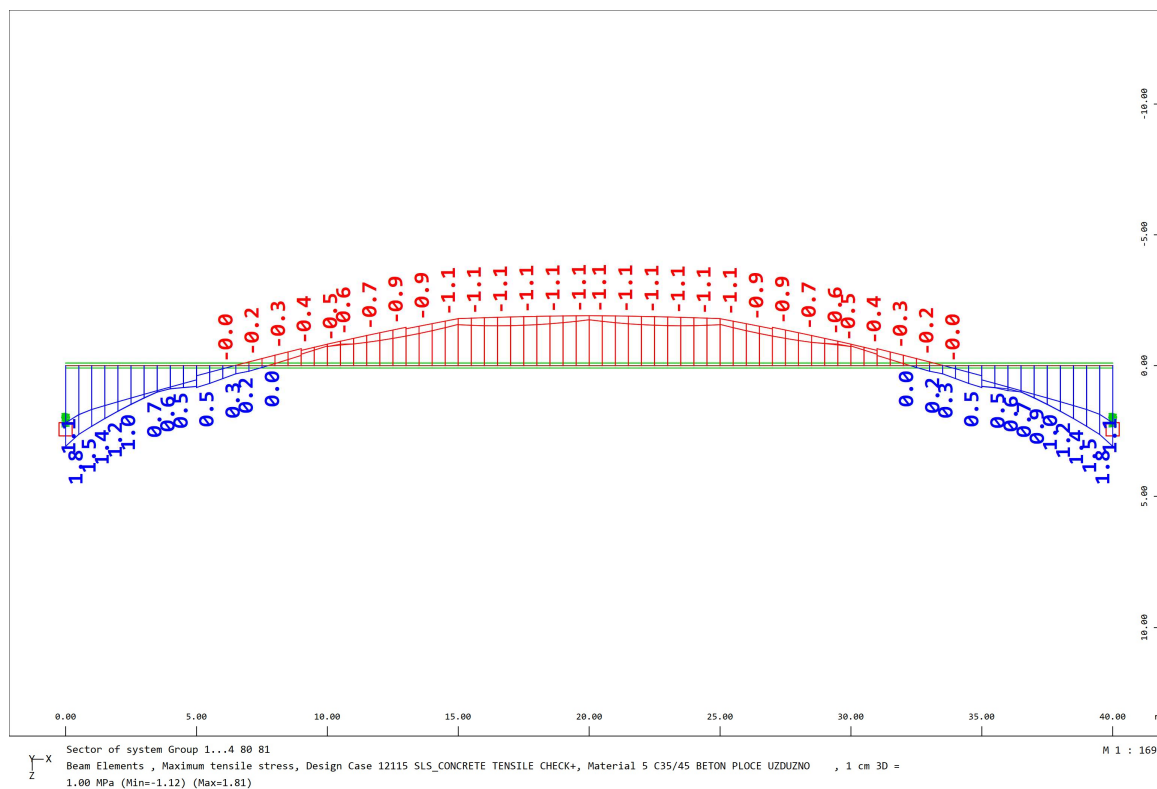
U ovom poglavlju ukazati ćemo na postupak dimenzioniranja, tj. koje su glavne razlike u dimenzioniranju proste grede i kontinuiranog nosača. Zatim ćemo prikazati rezultate dimenzioniranja za dva modela s 4 glavna nosača na rasponu od 40 metara u varijanti bez i sa podupiranjem. Ostali modeli su dimenzionirani na isti način.

7.4.1 Razlike u postupku dimenzioniranja u odnosu na kontinuirani nosač

U sustavima s prostom gredom nemamo središnjih oslonaca, te nema ni pojave negativnih momenata nad osloncima. Kroz čitav raspon betonska ploča je u tlaku stoga nije potrebno provjeravati učinak raspucavanja kao kod kontinuiranih nosača.



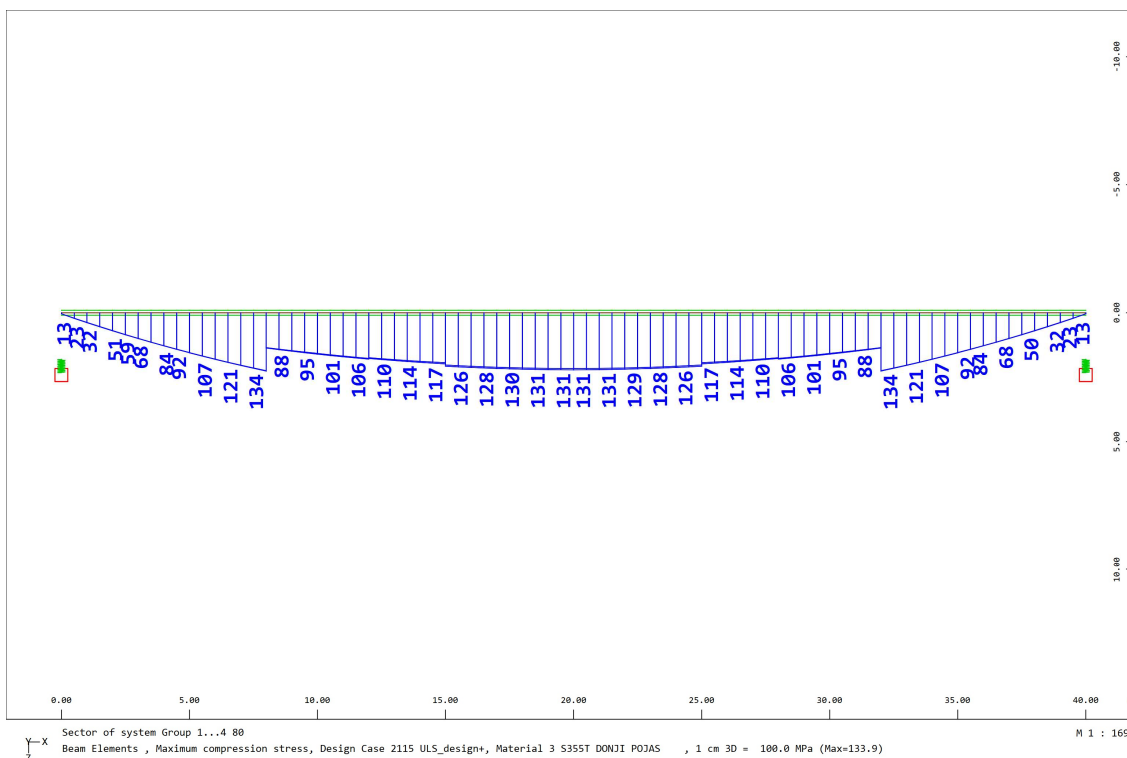
Slika 7.20. Prikaz najvećih vlačnih napreznja u betonskoj ploči za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja



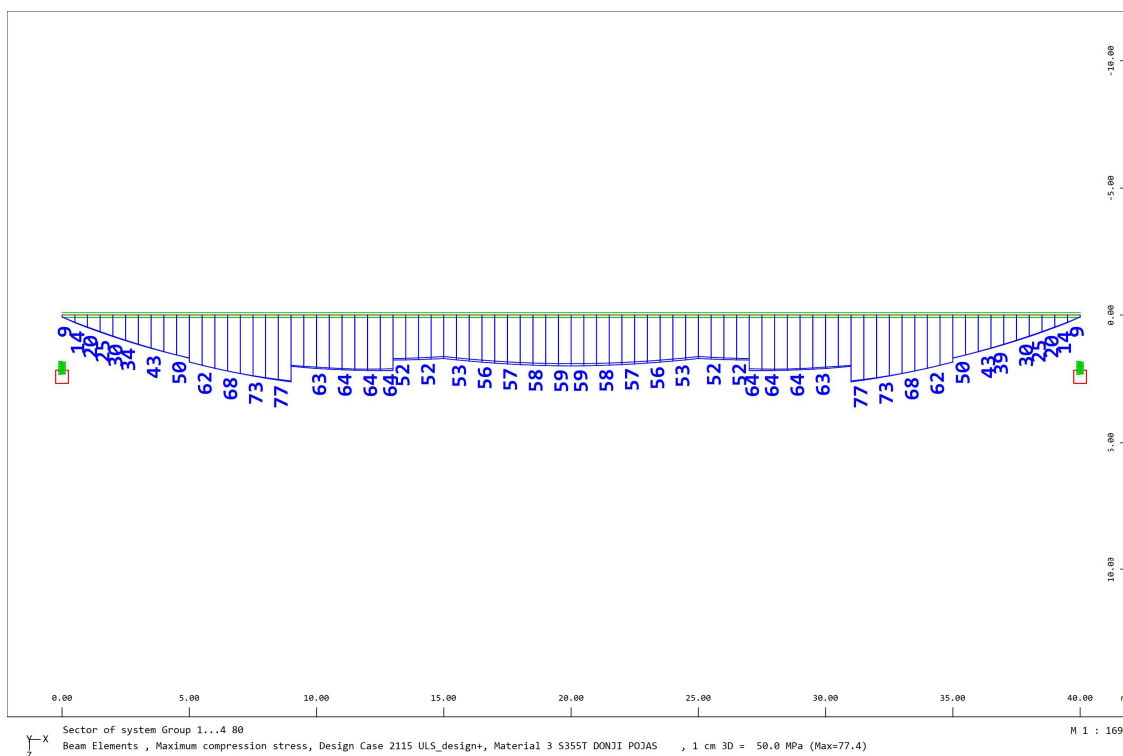
Slika 7.21. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m s podupiranjem

Gračna naprezanja prema gračnom stanju nosivosti određuju se kao i kod kontinuiranih nosača.

Nemamo provjere donjeg pojasa u tlaku jer se kroz čitav raspon donja pojasnica nalazi u čistom vlaku.



Slika 7.22. Najveće naprezanje u donjem pojasu za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja



Slika 7.23. Najveće naprezanje u donjem pojasu za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja

Dokaz stabilnosti hrpta provodi se na isti način kao i kod kontinuiranih nosača.

Naprezanja za hrbat uzimaju se za dvije kombinacije:

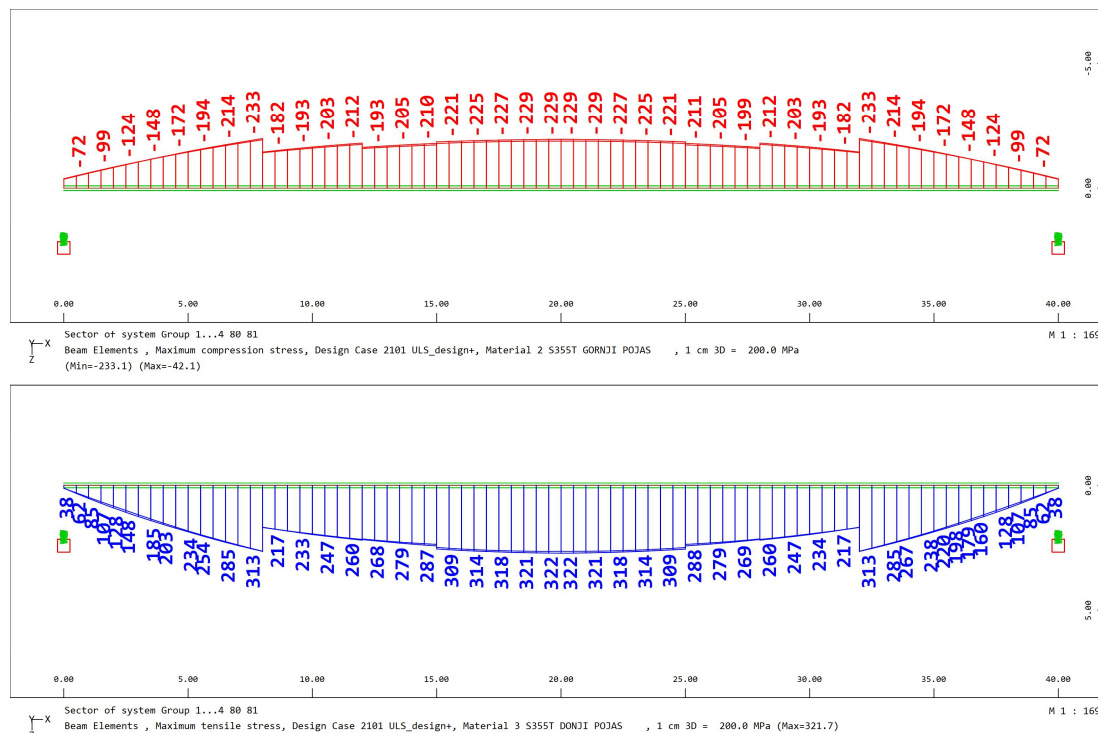
1. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)
2. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103 ili LC 2104)

7.4.2 Rezultati za prostu gredu bez podupiranja

7.4.2.1 Rasponski sklop napreznaja



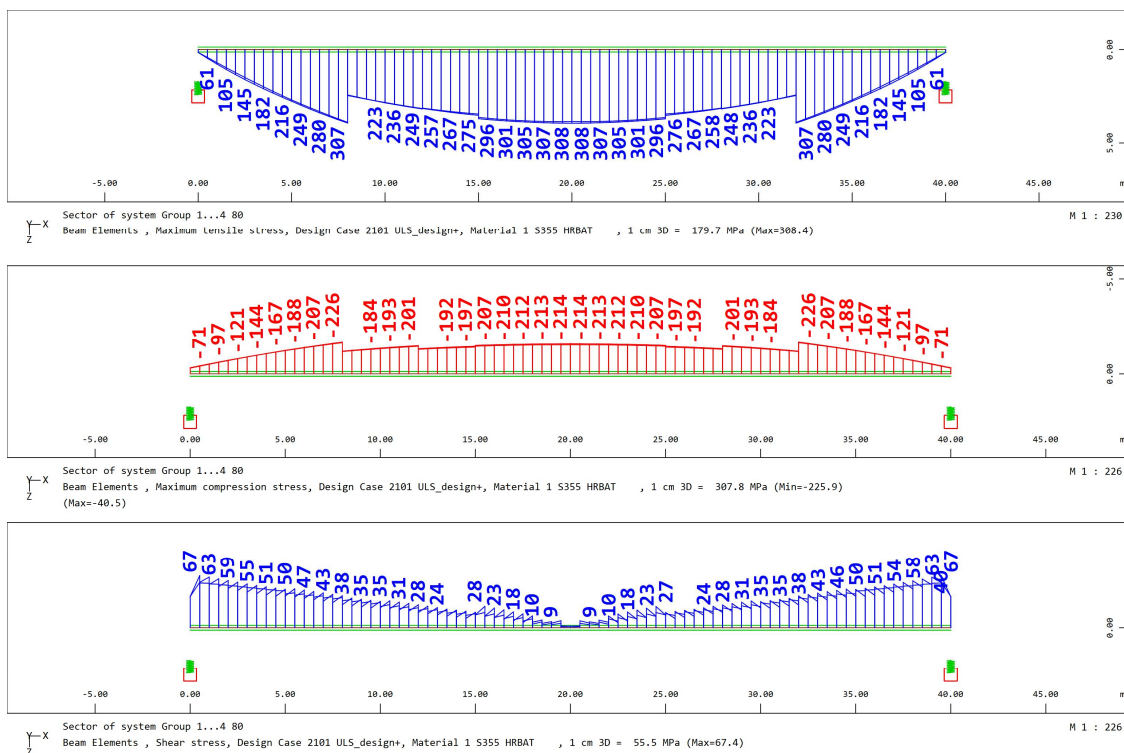
Slika 7.24. Prikaz posmičnih napreznaja i V. Mises napreznaja u hrptu



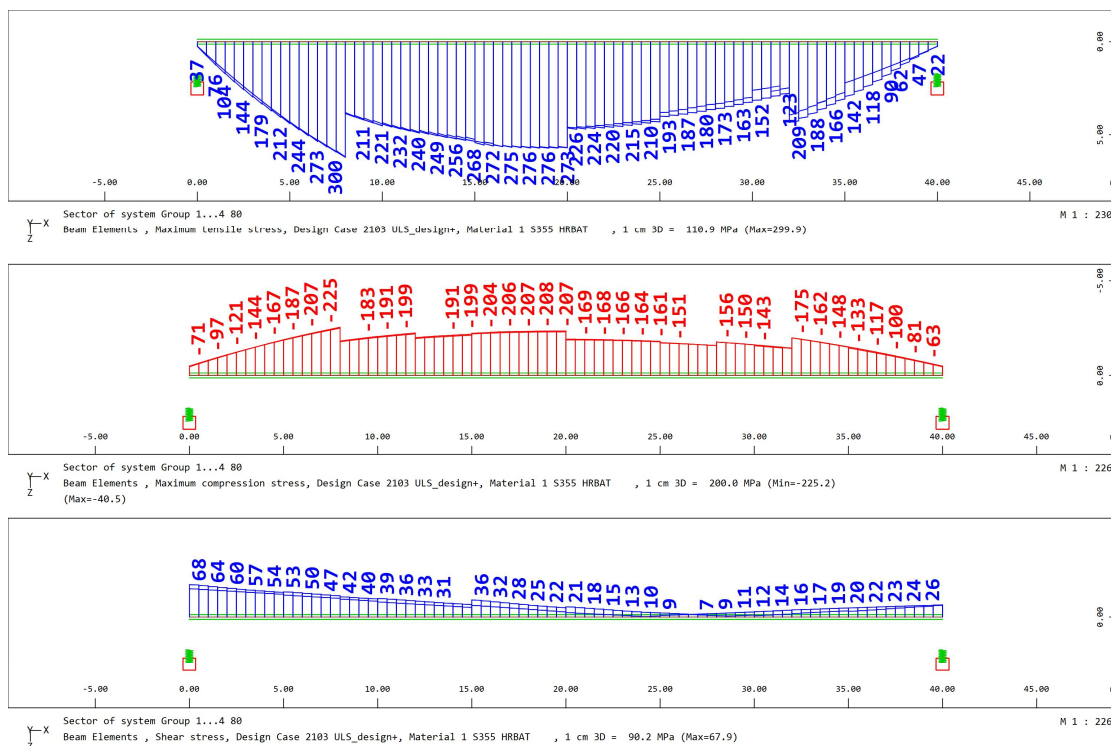
Slika 7.25. Najveće tlačno napreznaje gornjeg pojasa i najveće vlačno napreznaje donjeg pojasa

7.4.2.2 Dokaz stabilnosti limova

7.4.2.2.1 Dokaz stabilnosti hrpta



Slika 7.26. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)



Slika 7.27. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103)

7.4.2.2.1.1 Dokaz stabilnosti hrpta nad ležajem

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 44 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -12 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 67 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 44 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -12 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 68 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,44	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,45	ZADOVOLJAVA

7.4.2.2.1.2 Dokaz stabilnosti hrpta u sredini

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1860 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 214 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -308 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 2 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 208 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -275 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 21 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,65	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,78	ZADOVOLJAVA

7.4.2.2 Hrbat u presjeku smanjenja debljine g. pojasnice sa 50 na 40 mm

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1870 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 201 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -247 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 30 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 199 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -237 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 34 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,53	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,56	ZADOVOLJAVA

7.4.2.2.3 Hrbat u presjeku smanjenja debljine g. pojasnice sa 40 mm na 20 mm

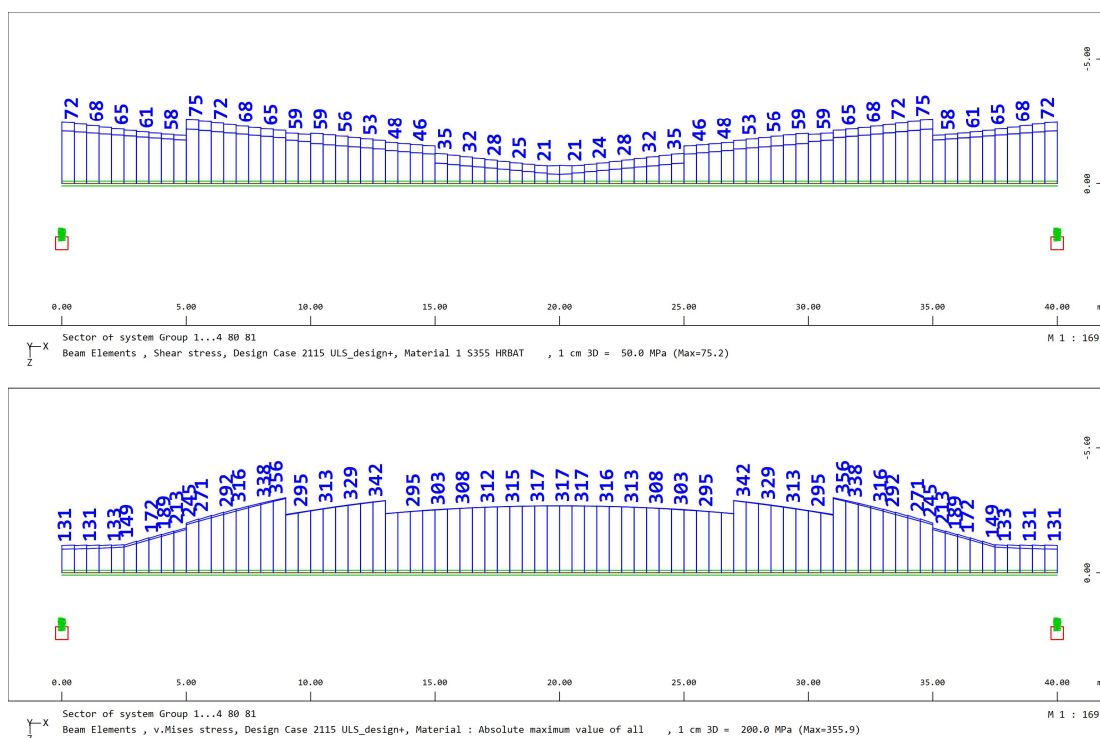
Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 226 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -307 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 41 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 225 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -300 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 45 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,71	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,75	ZADOVOLJAVA

7.4.2.2.4 Hrbat u presjeku smanjenja debljine na $t=12\text{ mm}$

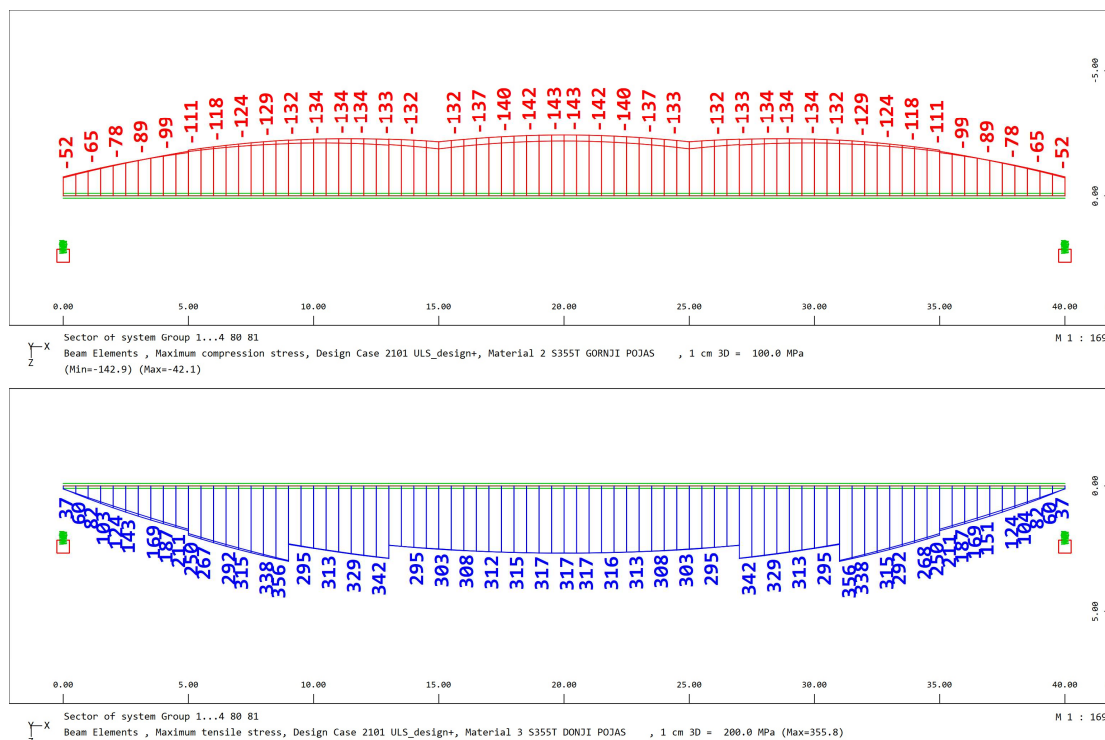
Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000\text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1860\text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12\text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 203\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -289\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 20\text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 197\text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -262\text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 36\text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355\text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1\text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73\text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,69	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,87	ZADOVOLJAVA

7.4.3 Rezultati za prostu gredu sa podupiranjem

7.4.3.1 Rasponski sklop naprezanja



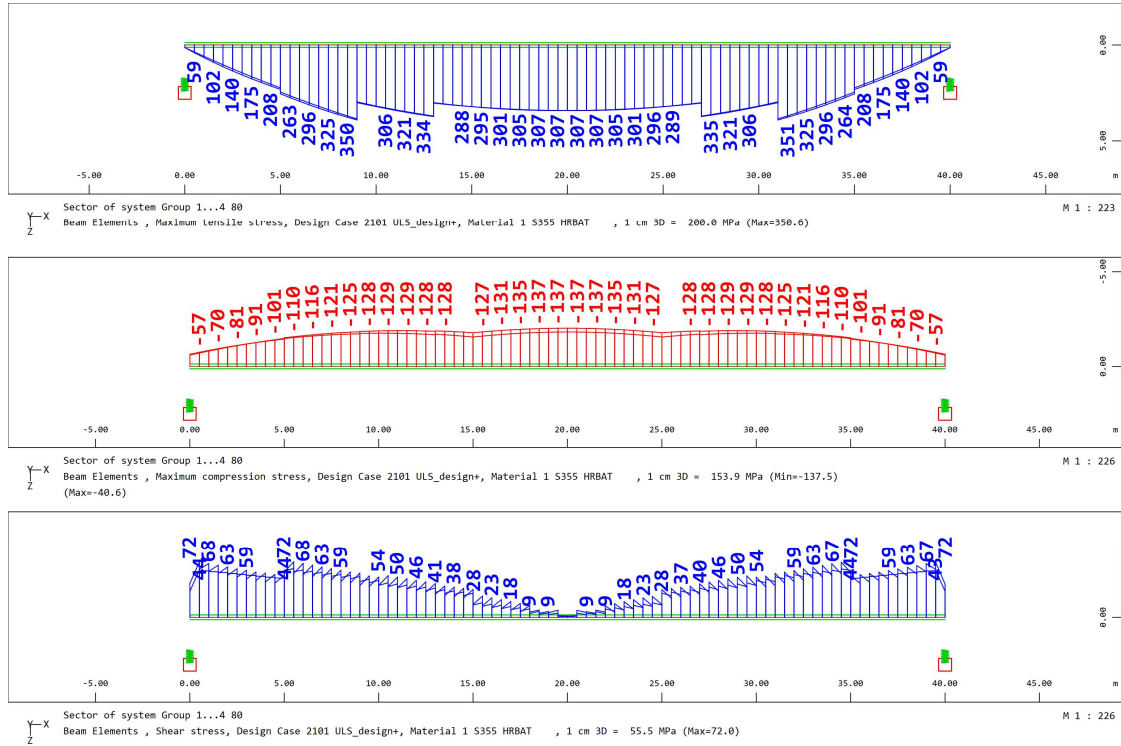
Slika 7.28. Prikaz posmičnih naprezanja i *V. Mises* naprezanja u hrptu



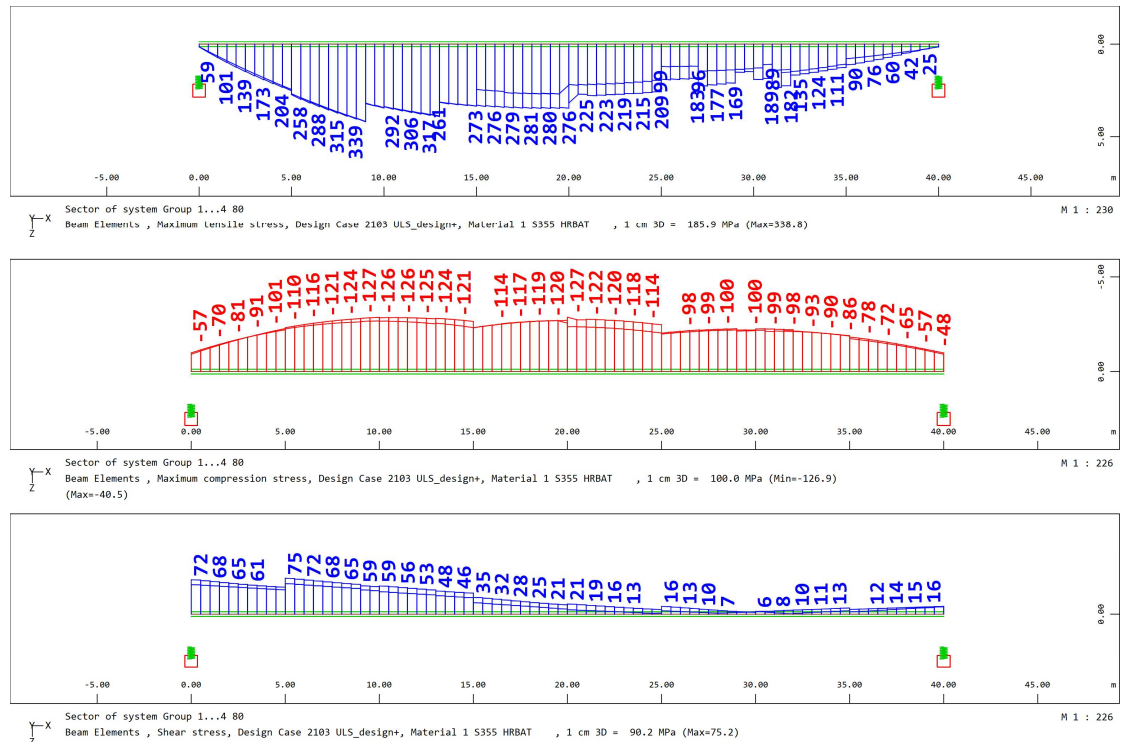
Slika 7.29. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa

7.4.3.2 Dokaz stabilnosti limova

7.4.3.2.1 Dokaz stabilnosti hrpta



Slika 7.30. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)



Slika 7.31. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103)

7.4.3.2.1.1 Dokaz stabilnosti hrpta nad ležajem

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 16 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 44 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -12 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 72 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 41 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -12 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 72 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,50	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,49	ZADOVOLJAVA

7.4.3.2.1.2 Dokaz stabilnosti hrpta u sredini raspona

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1890 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 137 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -307 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 2 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 127 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -280 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 21 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,18	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,25	ZADOVOLJAVA

7.4.3.2.1.3 Dokaz stabilnosti hrpta u prvoj četvrtini raspona

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 121 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -325 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 61 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 121 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -315 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 66 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,75	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,84	ZADOVOLJAVA

7.4.3.2.2 Hrbat u presjeku smanjenja debljine d . pojasnice sa 40 mm na 30 mm

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1900 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 128 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -334 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 44 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 124 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -317 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 51 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,51	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,60	ZADOVOLJAVA

7.4.3.2.3 Hrbat u presjeku smanjenja debljine d pojasnice sa 30 mm na 20 mm

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 126 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -350 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 57 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 124 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -339 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 63 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,70	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,79	ZADOVOLJAVA

7.4.3.2.4 Hrbat u presjeku smanjenja debljine na 12 mm

Ulazni podatci:		
Razmak dijafragmi:	$a = 5000 \text{ mm}$	
Visina hrpta:	$b = 1910 \text{ mm}$	
Debljina hrpta:	$t = 12 \text{ mm}$	
Naprezanja za najveći moment savijanja LC 2101	$\sigma_{1x,Ed} = 103 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -229 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 61 \text{ N/mm}^2$	
Naprezanja za najveću poprečnu silu, LC 2103	$\sigma_{1x,Ed} = 103 \text{ N/mm}^2$	
	$\sigma_{2x,Ed} = -221 \text{ N/mm}^2$	
	$\tau_{Ed} = 75 \text{ N/mm}^2$	
Granica popuštanja čelika:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
Koeficijent sigurnosti za čelik u tlaku:	$\gamma_{M1} = 1,1 \text{ N/mm}^2$	
Proračunska granica popuštanja čelika:	$f_{yd} = 322,73 \text{ N/mm}^2$	
Proračun bez ukrućenja za najveći negativni moment savijanja	0,70	ZADOVOLJAVA
Proračun bez ukrućenja za najveću poprečnu silu	0,95	ZADOVOLJAVA

7.5 Usporedba

7.5.1 Usporedba dimenzija nosača

Isto kao i u poglavlju 6.4.1 prikazane su dimenzije gornjih i donjih pojasnica s obzirom na način gradnje, te usporedba hrptova. Kod sustava proste grede nismo koristili ukrute.

U slučaju za način bez podupiranja za oba raspona i oba poprečna presjeka u sredini raspona bilo je potrebno povećati debljine gornjih pojasnica zbog pojave tlačnog naprezanja izvan graničnih vrijednosti.

U svim slučajevima povećavao se donji pojas kako bi se vlačna naprezanja ograničila unutar graničnih vrijednosti. Za presjeke s dva nosača bez podupiranja bilo je potrebno povećati i debljinu hrpta u sredini zbog znatnih uzdužnih naprezanja i posmika koji se naglo povećava od sredine raspona prema ležaju.

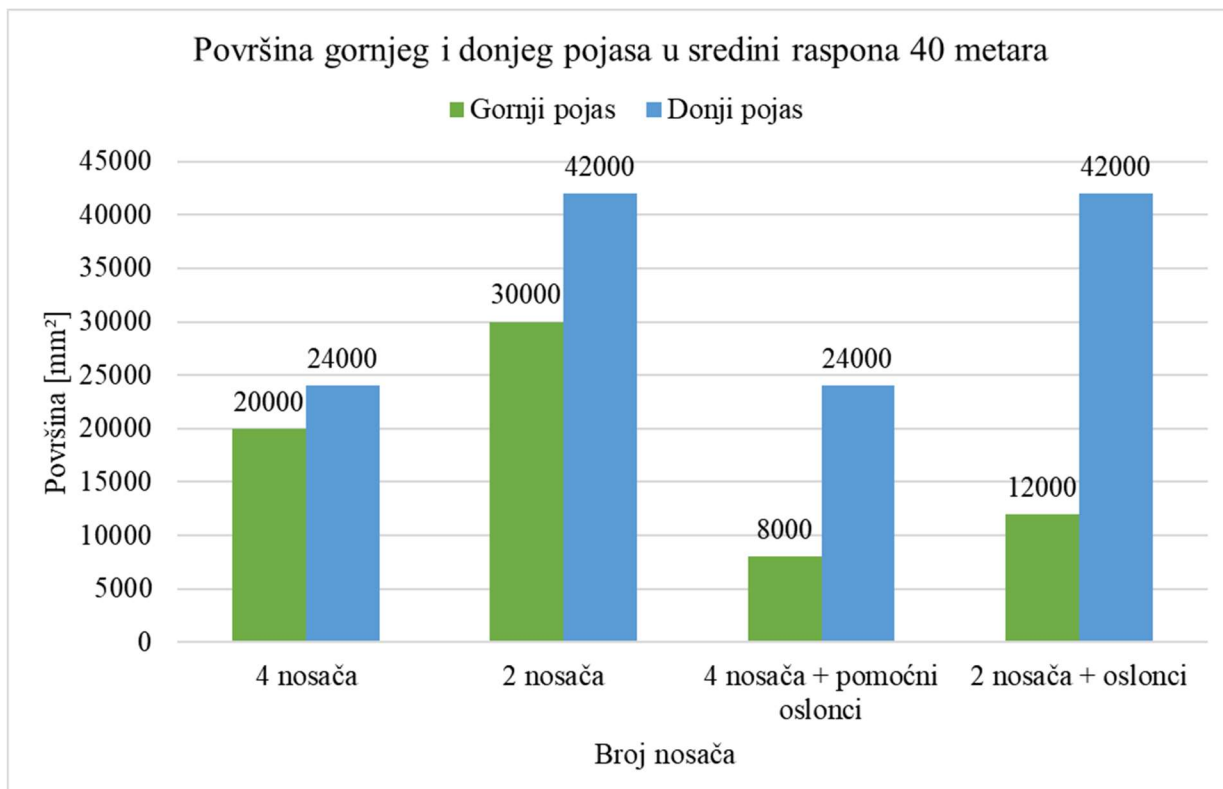
Na ležaju debljine pojasnica su minimalne, a hrpat se povećavao zbog velikih vrijednosti posmika od poprečne sile.

Raspon [m] _ broj nosača	Širina gornje pojasnice [mm]	Debljina gornje pojasnice [mm]	Širina donje pojasnice [mm]	Debljina donje pojasnice [mm]	Visina hrpta [mm]	Debljina hrpta [mm]
40_4	400	50	600	40	1860	12
40_2	600	50	700	60	1850	14
40_4 s podupiranjem	400	20	600	40	1890	12
40_2 s podupiranjem	600	20	700	60	1870	12
50_4	600	60	700	40	2400	12
50_2	600	60	800	60	2380	16
50_4 s podupiranjem	600	20	700	40	2440	12
50_2 s podupiranjem	600	20	800	70	2410	12

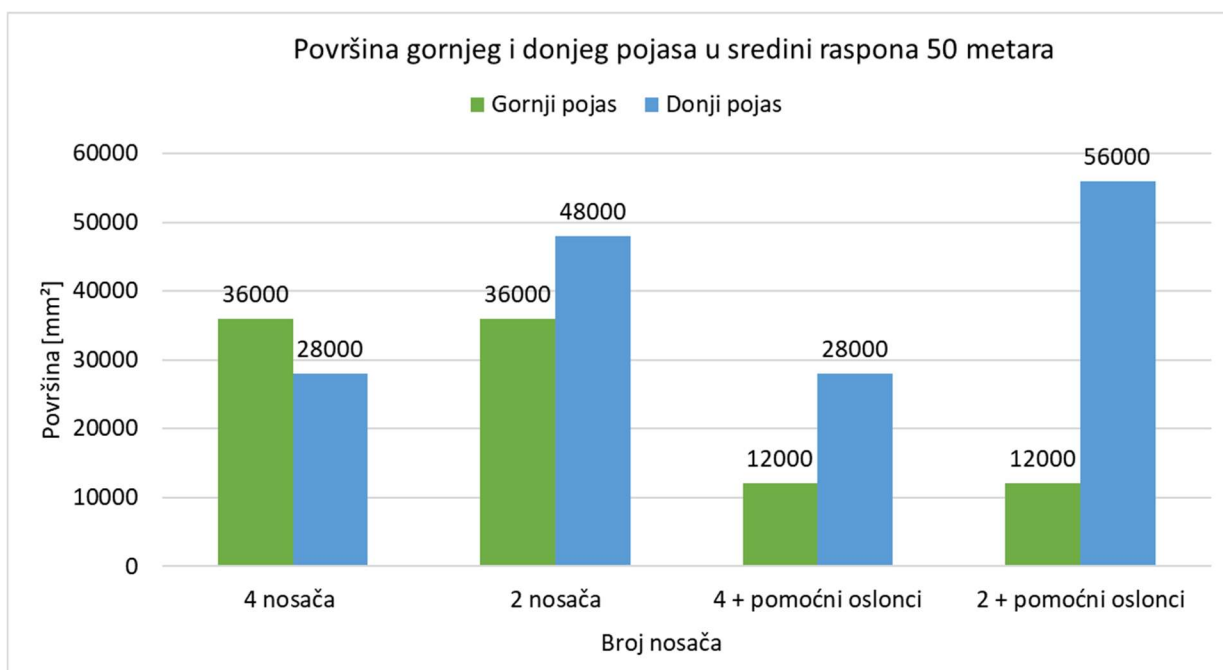
Slika 7.32. Prikaz dimenzija glavnog nosača u sredini raspona kod proste grede

Raspon [m] _ broj nosača	Širina gornje pojasnice [mm]	Debljina gornje pojasnice [mm]	Širina donje pojasnice [mm]	Debljina donje pojasnice [mm]	Visina hrpta [mm]	Debljina hrpta [mm]
40_4	400	20	600	20	1910	16
40_2	600	20	700	20	1910	18
40_4 s podupiranjem	400	20	600	20	1910	16
40_2 s podupiranjem	600	20	700	20	1910	20
50_4	600	20	700	20	2460	16
50_2	600	20	800	20	2460	20
50_4 s podupiranjem	600	20	700	20	2460	16
50_2 s podupiranjem	600	20	800	20	2460	20

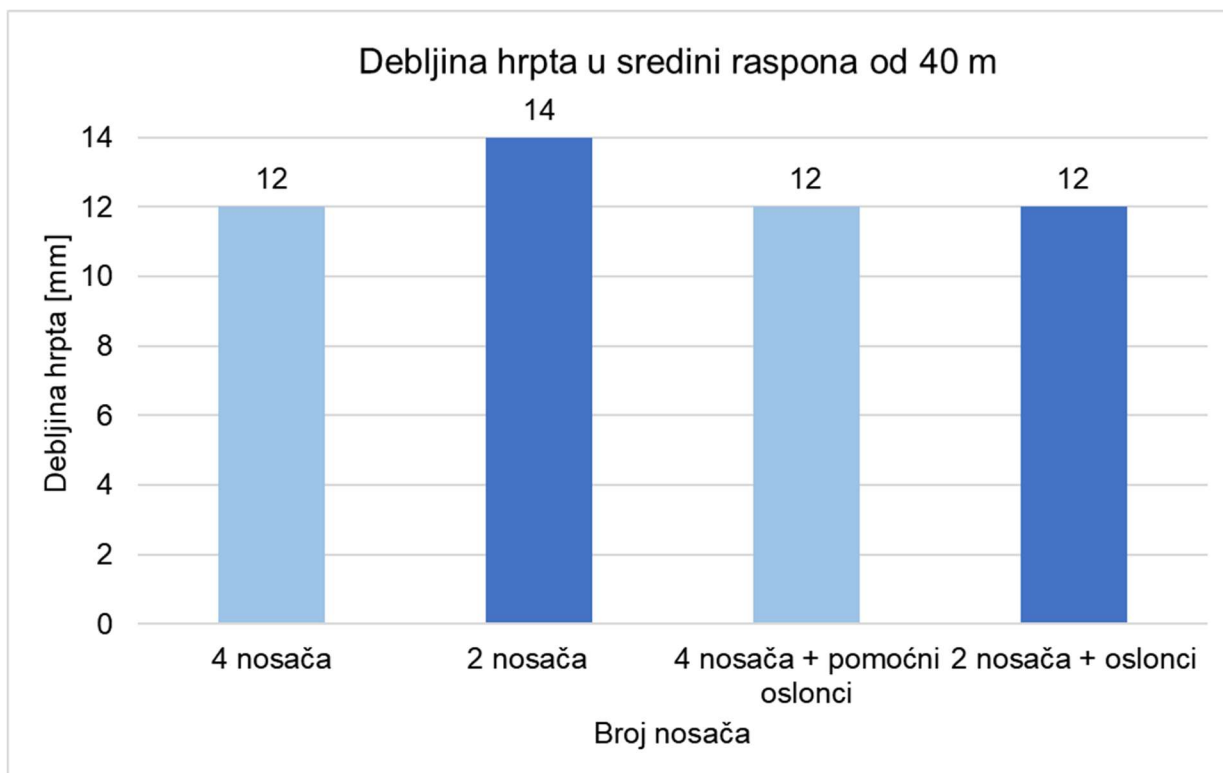
Slika 7.33. Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju kod proste grede



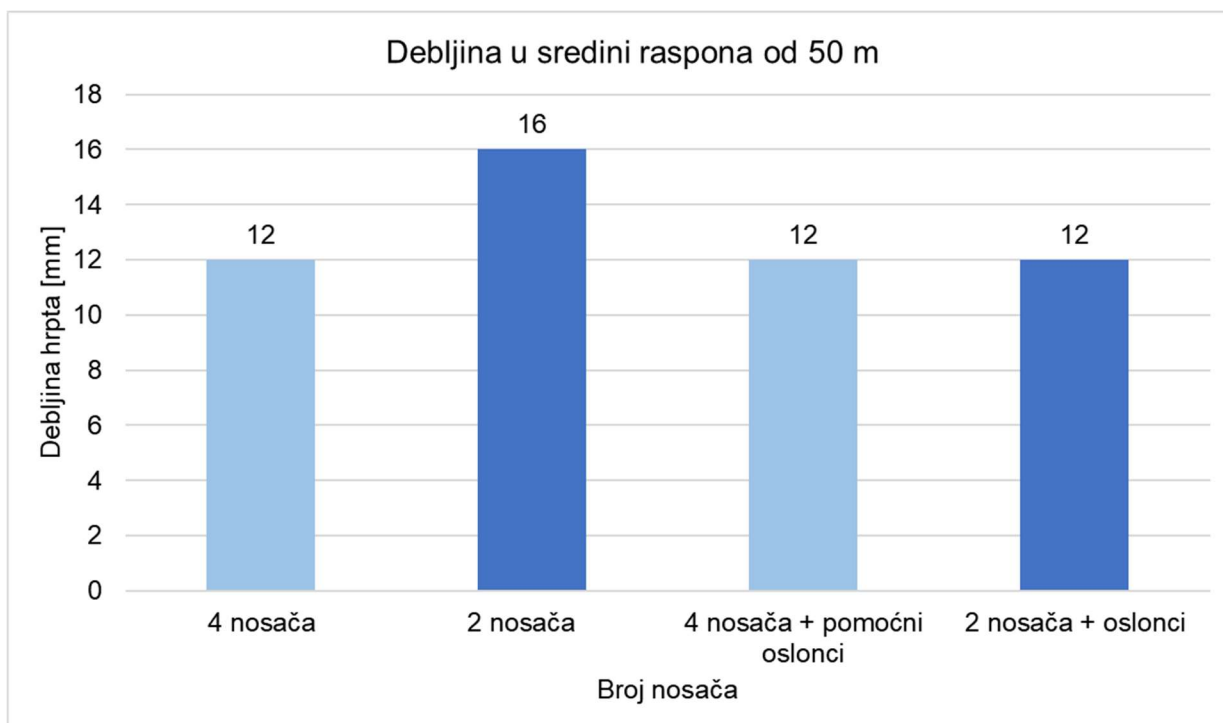
Slika 7.34. Površina gornjeg i donjeg pojasa u sredini za raspon 40 metara



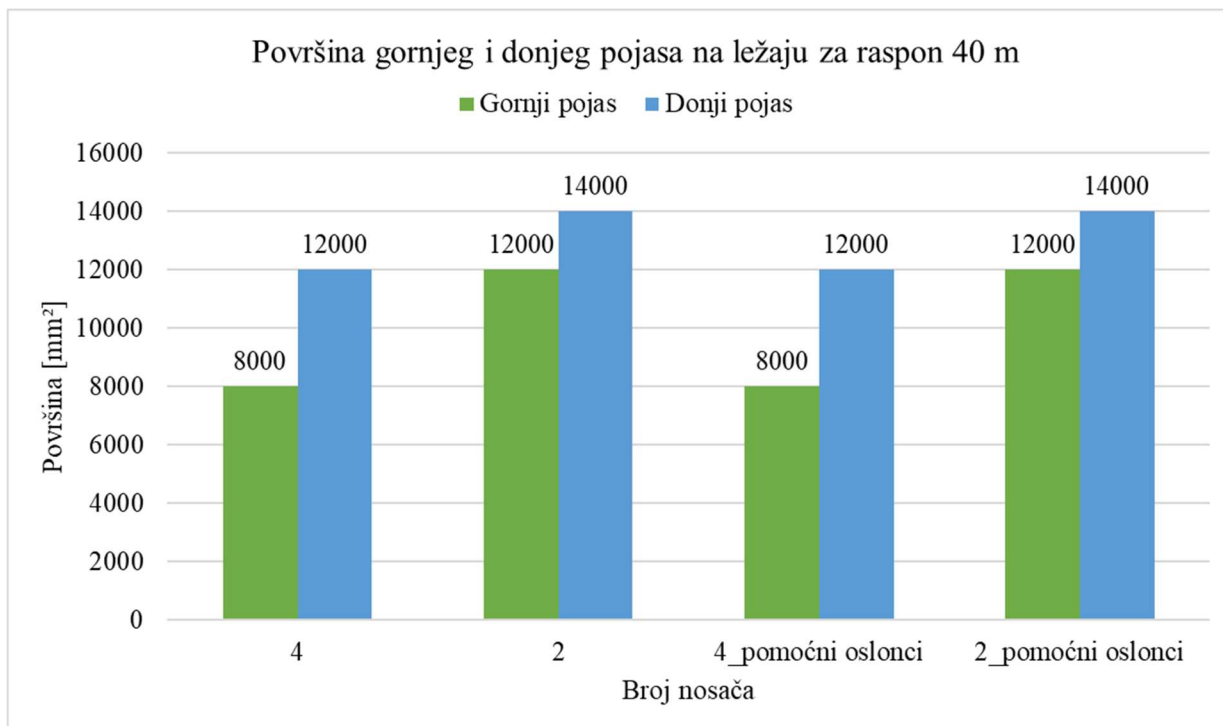
Slika 7.35. Površina gornjeg i donjeg pojasa u sredini za raspon 50 metara



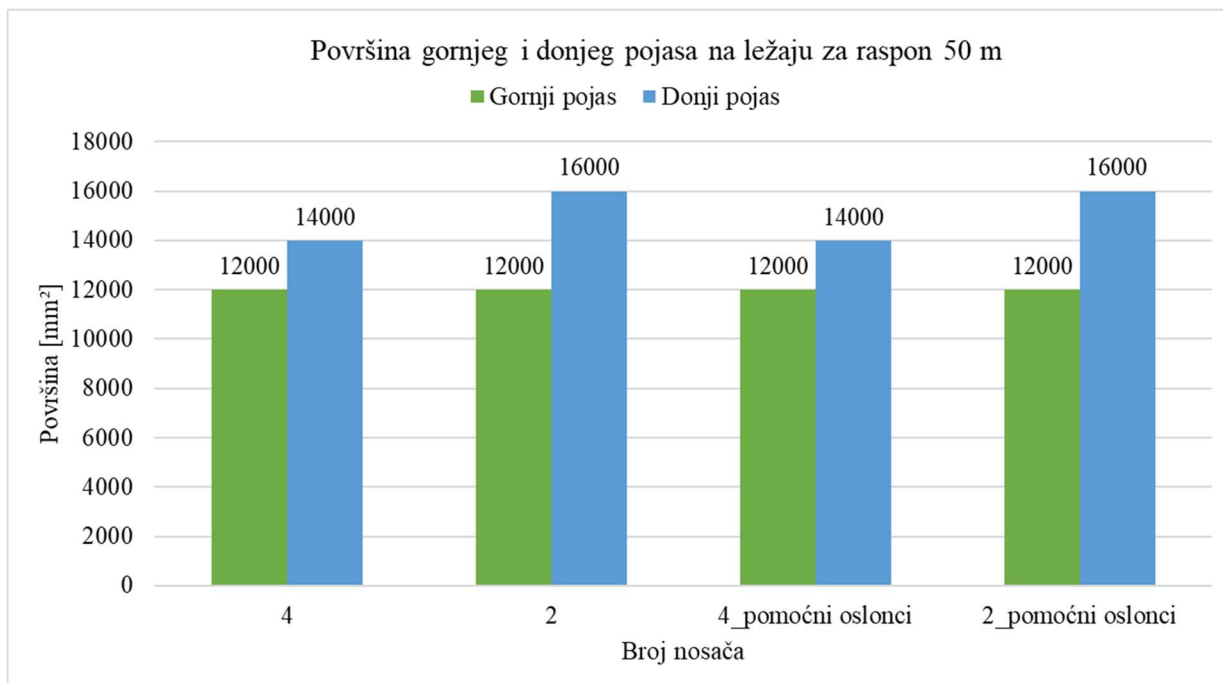
Slika 7.36. Debljina hrpta u sredini za raspon 40 metara



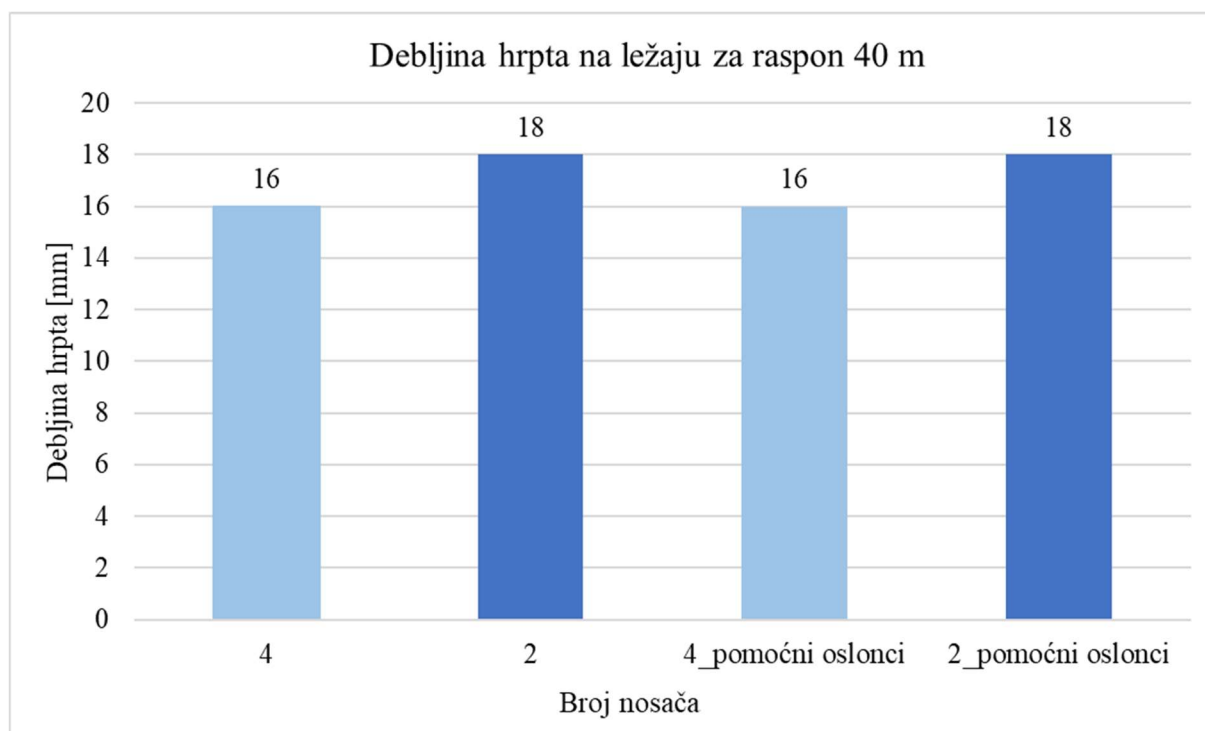
Slika 7.37. Debljina hrpta u sredini za raspon 50 metara



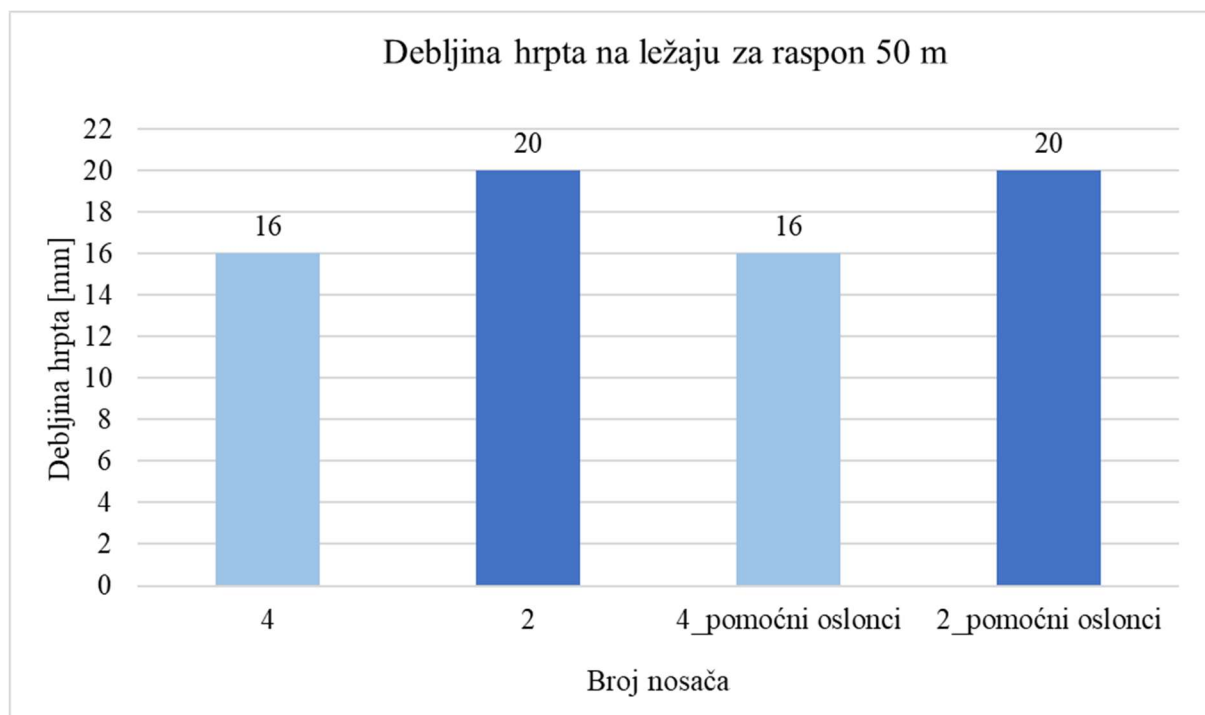
Slika 7.38. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 40 metara



Slika 7.39. Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 50 metara



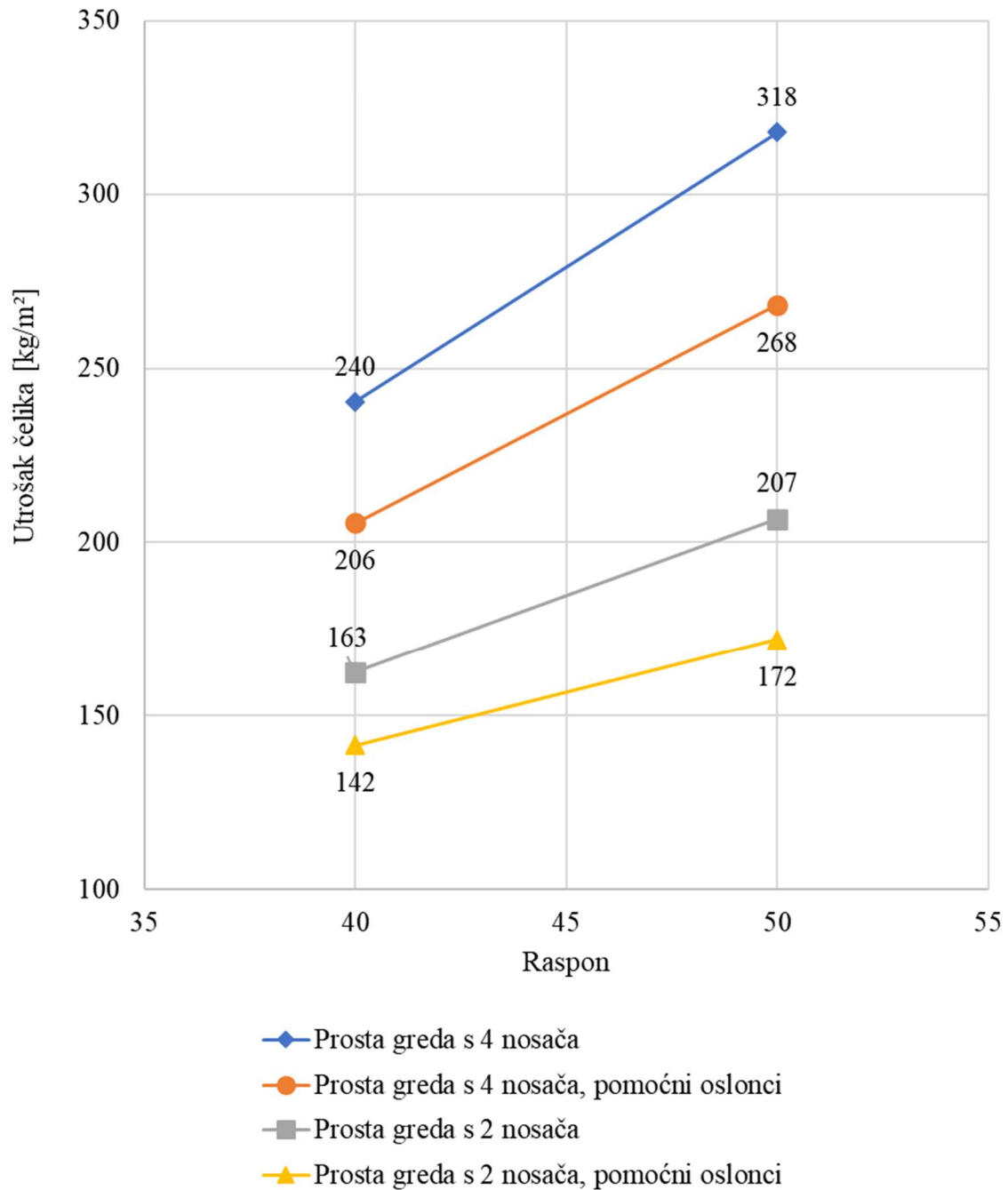
Slika 7.40. Debljina hrpta na ležaju za raspon 40 metara



Slika 7.41. Debljina hrpta na ležaju za raspon 50 metara

7.5.2 Usporedba utroška čelika

Količina utrošenog čelika za prostu gredu sa i bez podupiranja



Slika 7.42. Količina materijala za kontinuirani nosač

8 ZAKLJUČAK

U radu je prikazan utrošak čelika za spregnute profile prema statičkom sustavu ,broju nosača i rasponu s obzirom na način izgradnje. Koristile su se dvije metode načina izvedbe bez pomoćnih oslonaca i sa pomoćnim osloncima.

Korištenje pomoćnih oslonaca tokom izgradnje omogućuje nam da se opterećenja nakon očvršćivanja betonske ploče prenose spregnutim presjekom što rezultira manjim naponima, tj. manjim izmjerama čelika. Kod nepoduprtog načina težinu betona i samog nosača preuzima čelični nosač. Na taj način dolazi do povećanja napona u samom čeličnom nosaču tokom betoniranja što za posljedicu ima i veće dimenzije nosača.

Način izgradnje s pomoćnim osloncima pokazuje kod sustava s četiri glavna nosača kontinuiranog sustava manji utrošak čelika povećanjem raspona. Kod sustava s dva glavna nosača utrošak čelika sa i bez podupiranja ne uočavamo veliku razliku.

U sustavima s prostom gredom uočava se značajno manje potrošnje čelika gradnjom pomoćnim osloncima u odnosu na onu bez.

Način gradnje bez pomoćnih oslonaca pokazuje manji utrošak čelika za sustav s dva glavna nosača za raspone između 40 do 60 metara. Sustavi s dva glavna nosača pokazuju veću ekonomičnost na većim rasponima. Razlika bi bila posebice vidljiva povećanjem širine mosta gdje onda dolazi i do povećanja broja glavni nosača, a samim time dolazi i do povećanje težine. Stoga možemo zaključiti kako se sustavi s četiri glavna nosača preporučuju za raspone do 50 metara, dok iznad tih vrijednosti potrebno je razmatrati sustave s dva glavna nosača.

Uzdužna ukrućenja pokazuju uštedu u količini čelika, te se na rasponu do 60 metara može raditi i bez njih. Povećanjem raspona ona postaju obavezna. Ako uzdužna ukrućenja ne pokazuju znatnu uštedu u količini čelika preporučuje se njihov izostanak zbog vremena izrade u radionici, tj. kako bi se ubrzala sama izgradnja.



U konačnici možemo reći kako sustav s podupiranjem pokazuje manju potrošnju čelika, ali je i potrebno uzeti u obzir i druge faktore pri odabiru varijantnog rješenja poput nemogućnosti gradnje pomoćnim osloncima zbog nepristupačnosti terena ili nekih drugih uvjeta. Zatim, korištenje pomoćnih oslonaca otežava samu izvedbu, potrebna je oprema za postavljanje i otpuštanje oslonaca, te se produžuje vrijeme gradnje.

POPIS LITERATURE

- [1] Separati i prezentacije iz kolegija Mostovi 2, Građevinski fakultet u Zagrebu
- [2] B. Androić, M. Čaušević, D. Dujmović, I. Džeba, D. Markulak and B. Peroš, Čelični i spregnuti mostovi, Zagreb: IA PROJEKTIRANJE, 2006.
- [3] Separati i prezentacije iz kolegija Mostovi 3, Građevinski fakultet u Zagrebu
- [4] Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija, HZN, 2011
- [5] Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije, HZN, 2012.
- [6] Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – 2. dio: Prometna opterećenja mostova, HZN, 2012.
- [7] Eurokod 1: Djelovanja na konstrukciju – 2. dio: Prometna opterećenja mostova – Nacionalni dodatak, HZN, 2012
- [8] Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija, HZN, 2008.
- [9] Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija, HZN, 2013.
- [10] Eurokod 4: Projektiranje spregnutih čelično-betonskih konstrukcija – 2. dio: Opća pravila i pravila za mostove, HZN, 2012.
- [11] A. Vlašić, M. Srbić, G.Hrelja Kovačević, Comparative analysis and applicability of optimal composite sections for small to middle span girder bridges, 2019.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. <i>Faze betoniranja ploče</i>	4
Slika 2.2. <i>Momenti savijanja i naprezanja od vlastite težine za različite postupke gradnje</i>	5
Slika 3.1. <i>Širina mosta za projektnu brzinu 80 km/h</i>	6
Slika 3.2. <i>Uzdužna dispozicija mosta</i>	7
Slika 3.3. <i>Preliminarne dimenzije glavnog nosača</i>	8
Slika 3.4. <i>a) Položaj ukrućenja u odnosu na visinu hrpta ;b) Ukrućenje TYP 250</i>	9
Slika 3.5. <i>Poprečni presjek s četiri nosača</i>	10
Slika 3.6. <i>Poprečni presjek s dva nosača</i>	10
Slika 4.1. <i>Poprečni presjek u polju</i>	11
Slika 4.2. <i>Prikaz unosa dodatne vlastite težine u polju, Sofistik</i>	12
Slika 4.3. <i>Poprečni presjek nad ležajem</i>	13
Slika 4.4. <i>Prikaz unosa dodatne vlastite težine nad ležajem, Sofistik</i>	13
Slika 4.5. <i>Prikaz unosa opterećenja betonske ploče za polje, Sofistik</i>	15
Slika 4.6. <i>Prikaz unosa opterećenja betonske ploče nad ležaj, Sofistik</i>	15
Slika 4.7. <i>Prikaz dodatnog stalnog opterećenja</i>	16
Slika 4.8. <i>Prikaz unosa dodatnog stalnog opterećenja, Sofistik</i>	17
Slika 4.9. <i>Sheme prometnog opterećenja</i>	19
Slika 4.10. <i>Tandem vozila, LMI, Sofistik</i>	20
Slika 4.11. <i>Tandem vozila, LMI, Sofistik</i>	20
Slika 4.12. <i>Kontinuirano opterećenje, LMI, Sofistik</i>	21
Slika 4.13. <i>Kontinuirano opterećenje hodnika, LMI, Sofistik</i>	21
Slika 4.14. <i>Vrijednosti nejednolike temperature ovisno o tipu mosta i gornjem i donjem nosaču [1]</i>	22
Slika 4.15. <i>Prikaz nejednolike temperature mosta (donji dio nosača topliji), Sofistik</i>	23
Slika 4.16. <i>Prikaz nejednolike temperature mosta (gornji dio nosača topliji), Sofistik</i>	23
Slika 5.1. <i>3D prikaz modela, Sofistik</i>	27
Slika 5.2. <i>Raspored poprečnih nosača, Sofistik</i>	27
Slika 5.3. <i>Pogled na rasponski sklop kod poprečnog nosača nad ležajem, Sofistik</i>	28
Slika 5.4. <i>Prikaz ležajeva na upornjaku, Sofistik</i>	28
Slika 5.5. <i>Prikaz ležajeva (nepomični ležaj), Sofistik</i>	28

Slika 5.6. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i	29
Slika 5.7. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 6,5 metara.....	29
Slika 5.8. Montaža čelika kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik.....	30
Slika 5.9. Betoniranje polja kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik	30
Slika 5.10. Betoniranje ležajeva kod kontinuiranog mosta bez podupiranja, Sofistik	31
Slika 5.11. Montaža čelika kod kontinuiranog mosta s podupiranjem, Sofistik	31
Slika 5.12. Betoniranje polja kod kontinuiranog mosta s podupiranjem, Sofistik	32
Slika 5.13. Uklanjanje pomoćnih oslonaca, Sofistik	32
Slika 6.1. Najveći omjeri širine i debljine za tlačne dijelove [8]	35
Slika 6.2. Istaknuti tlačni elementi [8]	39
Slika 6.3. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči	44
Slika 6.4. Prikaz posmičnih naprezanja i V. Mises naprezanja u hrptu.....	45
Slika 6.5. Najveće vlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće tlačno naprezanje donjeg pojasa	45
Slika 6.6. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa	46
Slika 6.7. Najveće tlačno naprezanje u donjem pojasu	47
Slika 6.8. Najveće tlačno naprezanje za provjeru stabilnosti pojasnice debljine 20 mm.....	49
Slika 6.9. Najveći negativni moment i pripadajuća poprečna sila (LC 2102)	50
Slika 6.10. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2104).....	50
Slika 6.11. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101).....	51
Slika 6.12. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči	60
Slika 6.13. Prikaz posmičnih naprezanja i V. Mises naprezanja u hrptu.....	61
Slika 6.14. Najveće vlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće tlačno naprezanje donjeg pojasa	61
Slika 6.15. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa	62
Slika 6.16. Najveće tlačno naprezanje u donjem pojasu	63
Slika 6.17. Najveće tlačno naprezanje za provjeru stabilnosti pojasnice debljine 20 mm.....	65
Slika 6.18. Najveći negativni moment i pripadajuća poprečna sila (LC 2102)	66
Slika 6.19. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2104).....	66
Slika 6.20. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101)	67

Slika 6.21. <i>Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju kod kontinuiranog nosača.....</i>	73
Slika 6.22. <i>Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju sa ili bez ukrute za raspon 60 metara</i>	73
Slika 6.23. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 40 m.....</i>	74
Slika 6.24. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 50 m.....</i>	74
Slika 6.25. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 60 m.....</i>	75
Slika 6.26. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača</i>	75
Slika 6.27. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača</i>	76
Slika 6.28. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača za način gradnje s pomoćnim osloncima</i>	76
Slika 6.29. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača za način gradnje s pomoćnim osloncima</i>	77
Slika 6.30. <i>Debljina hrpta na ležaju za raspon 40 metara</i>	77
Slika 6.31. <i>Debljina hrpta na ležaju za raspon 50 metara</i>	78
Slika 6.32. <i>Debljina hrpta na ležaju za raspon 60 metara</i>	78
Slika 6.33. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 4 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara</i>	79
Slika 6.34. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za presjek sa 2 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara</i>	79
Slika 6.35. <i>Debljina hrpta na ležaju za presjek sa 4 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara</i>	80
Slika 6.36. <i>Debljina hrpta na ležaju za presjek sa 2 nosača sa ili bez ukrute TYP 250 na rasponu 60 metara</i>	80
Slika 6.37. <i>Količina materijala za kontinuirani nosač</i>	81
Slika 7.1. <i>Uzdužna dispozicija mosta</i>	82
Slika 7.2. <i>Poprečni presjek s četiri nosača na rasponu od 40 metara</i>	84
Slika 7.3. <i>Poprečni presjek s dva nosača na rasponu od 40 metara</i>	84
Slika 7.4. <i>Poprečni presjek u polju</i>	85
Slika 7.5. <i>Prikaz unosa dodatne vlastite težine u polju, Sofistik</i>	86
Slika 7.6. <i>Poprečni presjek nad ležajem</i>	87
Slika 7.7. <i>Prikaz unosa dodatne vlastite težine nad ležajem, Sofistik</i>	88
Slika 7.8. <i>3D prikaz modela, Sofistik.....</i>	89
Slika 7.9. <i>Raspored poprečnih nosača, Sofistik.....</i>	90

Slika 7.10. Pogled na rasponski sklop kod poprečnog nosača nad ležajem, Sofistik.....	90
Slika 7.11. Prikaz ležajeva na upornjaku, Sofistik	91
Slika 7.12. Prikaz ležajeva (nepomični ležaj), Sofistik	91
Slika 7.13. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 2,95 metara.....	92
Slika 7.14. Karakteristični poprečni presjek spregnutog nosača mosta raspona 40 m i razmakom glavnih nosača 6,5 metara.....	92
Slika 7.15. Montaža čelika kod proste grede bez podupiranja, Sofistik.....	93
Slika 7.16. Betoniranje polja kod proste grede bez podupiranja, Sofistik	93
Slika 7.17. Montaža čelika kod proste grede s podupiranjem, Sofistik.....	94
Slika 7.18. Betoniranje polja kod proste grede s podupiranjem, Sofistik	94
Slika 7.19. Uklanjanje pomoćnih oslonaca, Sofistik	95
Slika 7.20. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja.....	96
Slika 7.21. Prikaz najvećih vlačnih naprezanja u betonskoj ploči za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m s podupiranjem.....	97
Slika 7.22. Najveće naprezanje u donjem pojasu za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja.....	98
Slika 7.23. Najveće naprezanje u donjem pojasu za model s 4 glavna nosača na rasponu 40 m bez podupiranja.....	98
Slika 7.24. Prikaz posmičnih naprezanja i V. Mises naprezanja u hrptu.....	100
Slika 7.25. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa	100
Slika 7.26. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101).....	101
Slika 7.27. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103).....	101
Slika 7.28. Prikaz posmičnih naprezanja i V. Mises naprezanja u hrptu.....	107
Slika 7.29. Najveće tlačno naprezanje gornjeg pojasa i najveće vlačno naprezanje donjeg pojasa	107
Slika 7.30. Najveći pozitivni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2101).....	108
Slika 7.31. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2103).....	108
Slika 7.32. Prikaz dimenzija glavnog nosača u sredini raspona kod proste grede.....	115
Slika 7.33. Prikaz dimenzija glavnog nosača na ležaju kod proste grede.....	115
Slika 7.34. Površina gornjeg i donjeg pojasa u sredini za raspon 40 metara.....	116

Slika 7.35. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa u sredini za raspon 50 metara.....</i>	116
Slika 7.36. <i>Debljina hrpta u sredini za raspon 40 metara</i>	117
Slika 7.37. <i>Debljina hrpta u sredini za raspon 50 metara</i>	117
Slika 7.38. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 40 metara</i>	118
Slika 7.39. <i>Površina gornjeg i donjeg pojasa na ležaju za raspon 50 metara</i>	118
Slika 7.40. <i>Debljina hrpta na ležaju za raspon 40 metara</i>	119
Slika 7.41. <i>Debljina hrpta na ležaju za raspon 50 metara</i>	119
Slika 7.42. <i>Količina materijala za kontinuirani nosač</i>	120

POPIS TABLICA

Tablica 3.1. <i>Dimenzije raspona</i>	7
Tablica 3.2. <i>Visine glavnih nosača</i>	7
Tablica 3.3. <i>Dimenzije poprečnih nosača u polju i nad ležajem</i>	8
Tablica 3.4. <i>Preporučene vrijednosti debljina pojasnica</i>	9
Tablica 3.5. <i>Preporučene vrijednosti širina gornjih i donjih pojasnica, te prisutnost horizontalnog ukrućenja</i>	9
Tablica 4.1. <i>Iznosi dodatne vlastite težine za sve modele</i>	14
Tablica 5.1. <i>Faze izvedbe za model bez podupiranja i za model sa podupiranjem</i>	26
Tablica 7.1. <i>Visine glavnih nosača</i>	82
Tablica 7.2. <i>Dimenzije poprečnih nosača u polju i nad ležajem</i>	83
Tablica 7.3. <i>Preporučene vrijednosti širina gornjih i donjih pojasnica, te prisutnost horizontalnog ukrućenja</i>	83
Tablica 7.4. <i>Iznosi dodatne vlastite težine</i>	88
Tablica 7.5. <i>Faze izvedbe za model bez podupiranja i za model sa podupiranjem</i>	89



POPIS PRILOGA

1. Poprečni presjeci kontinuiranog nosača
2. Poprečni presjeci proste grede

Poprečni presjeci kontinuiranog nosača

		Raspon = 40 m				Raspon = 50 m				Raspon = 60 m			
		Bez podupiranja		Sa podupiranjem		Bez podupiranja		Sa podupiranjem		Bez ukrute		Sa ukutom TYP 250	
		b _y =400 mm, b _z =600 mm, poprečni HEA 600		b _y =400 mm, b _z =600 mm, poprečni HEA 600		b _y =600 mm, b _z =700 mm, poprečni HEA 750		b _y =600 mm, b _z =700 mm, poprečni HEA 750		b _y =600 mm, b _z =700 mm, poprečni HEA 900		b _y =600 mm, b _z =700 mm, poprečni HEA 900	
Razmak glavnig nosača = 2.95 m	POLJE												
	LEŽAJ												
Razmak glavnig nosača = 6.5 m	POLJE												
	LEŽAJ												

Poprečni presjeci proste grede

Raspon = 40 m

Raspon = 50 m

Bez podupiranja	Razmak glavnig nosača = 2.95 m	<p>$b_g=400\text{ mm}, b_d=600\text{ mm}$, poprečni HEA 650</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=700\text{ mm}$, poprečni HEA 800</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>
	Razmak glavnig nosača = 6.5 m	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=700\text{ mm}$, poprečni HEA 650</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=800\text{ mm}$, poprečni HEA 800</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>
Sa podupiranjem	Razmak glavnig nosača = 2.95 m	<p>$b_g=400\text{ mm}, b_d=600\text{ mm}$, poprečni HEA 650</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=700\text{ mm}$, poprečni HEA 800</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>
	Razmak glavnig nosača = 6.5 m	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=700\text{ mm}$, poprečni HEA 650</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>	<p>$b_g=600\text{ mm}, b_d=800\text{ mm}$, poprečni HEA 800</p> <p>POLJE</p> <p>LEŽAJ</p>