

# Projektno rješenje biciklističko-pješačkog lučnog mosta preko rijeke Save

---

Žagar, Igor

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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:237:000947>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-09**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Igor Žagar**

**Zagreb, 2024.**





SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

## DIPLOMSKI RAD

Projektno rješenje biciklističko – pješačkog lučnog mosta  
preko rijeke Save

Igor Žagar

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

Zagreb, veljača 2024.

## **SAŽETAK**

Predmet ovog diplomskog rada je analiza biciklističko-pješačkog mosta preko rijeke Save između naselja Tišina Kaptolska i Tišina Erdedska. Opisani su specifičnosti prijelaza i lokacije izvedbe mosta. Odabrano projektno rješenje je čelični lučni most raspona 159,6 metara. U statičkom smislu most je luk s preuzetim potiskom. Model mosta izrađen je u programskom paketu SOFiSTiK i nanesena su proračunska djelovanja u ovisnosti o lokaciji i prometnim uvjetima. Proračunski model, analiza i dimenzioniranje provedeni su prema Eurocode-u.

Ključne riječi: lučni most, luk s preuzetim potiskom, pješački most

## **ABSTRACT**

The subject of this master's thesis is the analysis of the bicycle-pedestrian bridge over the Sava River between the settlements of Tišina Kaptolska and Tišina Erdedska. The specific features of the crossing and the location of the bridge are described. The chosen design solution is a steel arch bridge with a span of 159.6 meters. Statically, the bridge is a tied-arch bridge. The bridge model was created using the SOFiSTiK software package and actions were applied depending on the location and traffic conditions. The calculation model, analysis and design were carried out in accordance with the Eurocode.

Keywords: steel arch bridge, tied-arch bridge, pedestrian bridge

# Sadržaj

1.	PROJEKTNI ZADATAK .....	1
1.1.	Opis specifičnosti prijelaza, lokacije i krajolika .....	1
1.2.	Opis prometnih uvjeta (spoj na prometnice, prometne širine, niveleta, slobodni profil) .....	2
1.3.	Odabir i vrednovanje projektnog rješenja.....	4
2.	TEHNIČKI OPIS .....	6
2.1.	Opis mosta.....	6
2.2.	Gornji ustroj .....	6
2.3.	Donji ustroj mosta .....	7
2.4.	Oprema mosta.....	7
3.	STATIČKI PRORAČUN.....	9
3.1.	Analiza opterećenja .....	9
3.1.1.	Vlastita težina mosta – G.....	9
3.1.2.	Izračun težine jednog i svih nosača.....	9
3.1.3.	Izračun težine ortotropne ploče .....	10
3.1.4.	Dodatno stalno .....	11
3.1.5.	Prometno opterećenje.....	11
3.1.6.	Opterećenje vjetrom .....	14
3.1.7.	Temperatura.....	23
3.1.8.	Analiza potresnog opterećenja i odziva konstrukcije .....	31
3.2.	Statički model za globalni proračun .....	48
3.2.1.	Presjeci i sudjelujuće širine .....	48
3.2.2.	Određivanje sudjelujuće širine poprečnog nosača.....	50
3.3.	Dispozicija ležajeva .....	53
4.	IZRADA MODELA .....	54
4.1.	Opis rada u softwearu.....	54
4.2.	Vrsta modela.....	55
4.3.	Vrste poprečnih presjeka.....	55
4.4.	Vrste elemenata .....	71
4.5.	Geometrija modela.....	73
4.6.	Ležajevi i rubni uvjeti – način modeliranja .....	73
4.7.	Statički proračun.....	74
5.	ISPIS REZNIH SILA ZA OPTEREĆENJA.....	75
5.1.	Rezne sile za stalno opterećenje.....	77
5.2.	Rezne sile za prometno opterećenje.....	81

5.3.	Rezne sile za opterećenje vjetrom .....	99
5.4.	Rezne sile za opterećenje temperaturom .....	109
5.5.	Rezne sile za potresno opterećenje .....	113
5.6.	Rezne sile u vješaljka .....	119
6.	POMACI LEŽAJEVA .....	122
6.1.	Uzdužni pomaci ležajeva .....	123
7.	ISPIS REAKCIJA .....	127
7.1.	Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru .....	128
7.2.	Ležajne reakcije u poprečnom smjeru .....	129
7.3.	Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru .....	130
8.	FAKTORI I IZRAZI ZA KOMBINACIJE OPTEREĆENJA .....	133
9.	DIMENZIONIRANJE ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI .....	134
9.1.	Ukupna težina mosta .....	134
9.2.	Naprezanja u nosivim elementima mosta .....	136
9.3.	Naprezanja u vješaljka luka .....	151
9.4.	Naprezanja u ortotropnoj ploči .....	152
10.	DOKAZ STABILNOSTI LIMOVA .....	161
10.1.	Donji pojas u presjeku s najvećim tlačnim naprezanjem .....	161
10.2.	Hrbat u presjeku s najvećim tlačnim naprezanjem ( $t=12\text{mm}$ ) .....	163
10.2.1.	Najveći negativni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2110) .....	164
10.2.2.	Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2111) .....	167
11.	PROVJERA GLOBALNE STABILNOSTI LUKA .....	170
11.1.	Proračun u ravnini .....	170
11.2.	Proračun van ravnine (nelinearni proračun) .....	171
12.	DIMENZIONIRANJE LEŽAJEVA I PRIJELAZNIH NAPRAVA .....	175
12.1.	Odabir prijelaznih naprava .....	179
13.	PRILOZI (NACRTI) .....	180
14.	POPIS SLIKA .....	181
15.	POPIS TABLICA .....	187
16.	LITERATURA .....	188

# 1. PROJEKTNI ZADATAK

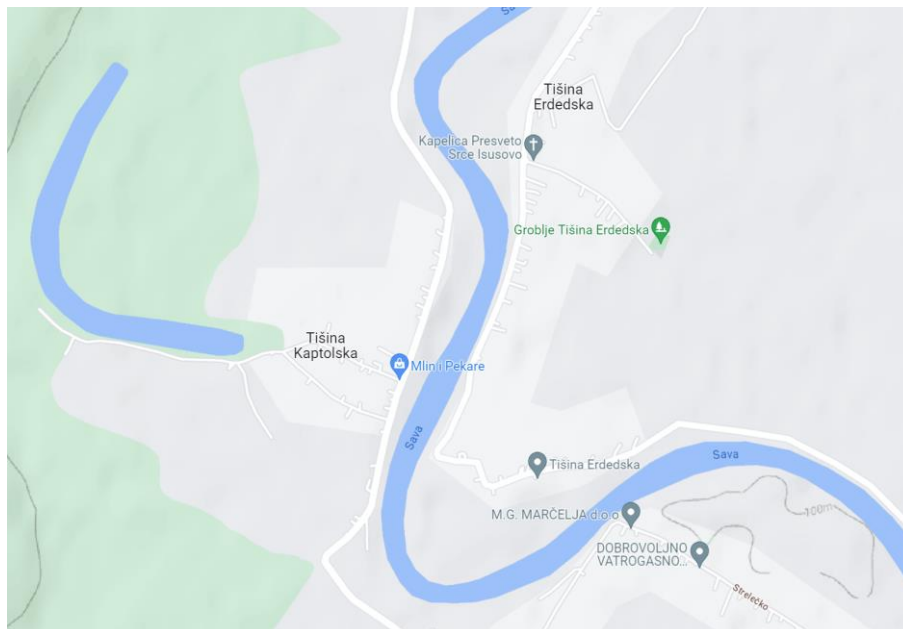
## 1.1. Opis specifičnosti prijelaza, lokacije i krajolika

U ovom diplomskom radu izrađuje se projekt biciklističko-pješačkog mosta preko rijeke Save između naselja Tišina Kaptolska (TK, desna obala) i Tišina Erdedska (TE, lijeva obala). Mjesta su trenutno povezana isključivo skelom na najužem dijelu toka rijeke Save na tom području, odnosno na mjestu na kojem su naselja najbliža. Navedena naselja nalaze se u općini Martinska Ves u Sisačko-moslavačkoj županiji. Pri izradi ovog projekta važno je što manje zadirati u okoliš, autentičnost lokacije i dosadašnji izgled naselja.

Promatrano korito Save je uređeno, izgrađeni su obrambeni nasipi i zidovi. Prosječna širina korita na ovom području je 96 metara, a prepreka koju je potrebno premostiti iznosi približno 195 m (mjereno od osi prometnice na jednoj strani do osi prometnice na drugoj strani). Obale su sačinjene od koherentnih materijala (gline i prahovi) u nagibu  $\approx 1:2$ .

S obzirom na vrlo mali investicijski potencijal područja na kojem se planira izvoditi most, zahtjeva se izvedba minimalnih troškova građenja. Zbog ekonomičnosti izabrana je lokacija najužeg prijelaza i najoptimalnijeg rješenja s obzirom na zadane uvjete.

Naselja Tišina Kaptolska i Tišina Erdedska su pretežno ravničarska područja, niske stope naseljenosti u kojima prevladavaju obiteljske kuće i gospodarski objekti za mala obiteljska gospodarstva.



Slika 1. Prikaz promatranih naselja i dijela rijeke Save na karti

## 1.2. Opis prometnih uvjeta (spoj na prometnice, prometne širine, niveleta, slobodni profil)

Most je potrebno izvesti s minimalnim zadiranjem u okoliš i minimalnim rekonstrukcijama postojećih cesta. Spoj mosta s postojećim prometnicama se radi pomoću rampi sa čvorištima cesta na oba upornjaka mosta. Prilikom odabira lokacije vodilo se računa o ekonomičnosti i jednostavnosti uz zadovoljavanje zadanih uvjeta.

Uvjeti se odnose na duljinu mosta, lokaciju s obzirom na duljinu prepreke, prilaze mostu, mogućnost pristupa lokaciji izgradnje, minimalnom utjecaju na trenutni izgled naselja i jednostavnost izvedbe. Postojalo je nekoliko mogućih rješenja mosta, no odbačena su zbog neekonomične izvedbe ili zbog prevelike udaljenosti od naselja. Most se treba izvoditi što bliže naseljima i da pristup mostu bude adekvatan.

Posljedica zahtjeva da most bude blizu naselja je odluka pozicioniranja mosta na mjestu dosadašnje skele koju su stanovnici do sada koristili za prelazak rijeke Save s jedne na drugu obalu. Upornjak mora biti izmaknut više od 1 metra od postojeće prometnice na desnoj obali, što je zadovoljeno odabranom lokacijom. Također, određeno je zadržavanje kapelice u blizini upornjaka U2 odnosno u mjestu Tišina Kaptolska.

Skela i prilazne makadamske ceste ostaju na mjestu na kojem su bile i do sada. Most je potrebno izmaknuti iz mjesta prilaza skeli kako bi se omogućilo nesmetano korištenje skele i nakon izgradnje mosta. Takva je odluka donesena jer će se most koristiti za biciklistički i pješački promet, a skela za prijevoz vozila.

Desna obalna cesta mora biti minimalno promijenjena jer se ne planira izgradnja nove prometnice u Tišini Kaptolskoj, a lijeva obalna cesta se može mijenjati jer se nakon izgradnje mosta planira i izgradnja nove prometnice u naselju Tišina Erdedska.

Za definiranje prometa usvaja se da most zadovoljava uvjete prema Pravilniku o biciklističkoj infrastrukturi. S obzirom da se planira podjela mosta na 2 biciklistička i 2 pješačka traka, udaljenost između bočnih ograda treba biti minimalno 4,5 m, pri čemu je usvojena širina za jedan biciklistički trak jednaka 1,25 m ( $B_b = 2,5$  m), a za jedan pješački trak jednaka je 1,0 m ( $B_p = 2,0$  m). Prometni trakovi su obilježeni horizontalnom signalizacijom i nisu denivelirani.

Visina prometnog profila na mostu iznosi 3 m. Na rubove mosta se ugrađuju ograde visine 1,30 m.

Slobodni profili su ostavljeni ispod mosta za nesmetano prometovanje vozila i ljudi i za potrebe prelaska rijeke skelom tijekom gradnje kao i nakon izgradnje ovog mosta. Visina slobodnog profila na desnoj obali odmah kod upornjaka gdje je i najkritičnije je 4,2 metra, dok je visina slobodnog profila ispod mosta na dijelu rijeke 12,90 metara, što omogućuje plovidbu ispod mosta.





*Slika 2. Pogled na lokaciju projekta iz mjesta Tišina Kaptolska*



*Slika 3. Pogled na prilaznu cestu rampi i mjesto upornjaka U2 na desnoj obali*



*Slika 4. Pogled na lokaciju projekta iz naselja Tišina Erdedska i prikaz postojeće skele*





Slika 5. prikaz postojeće skele i mjesta upornjaka U1 na lijevoj obali

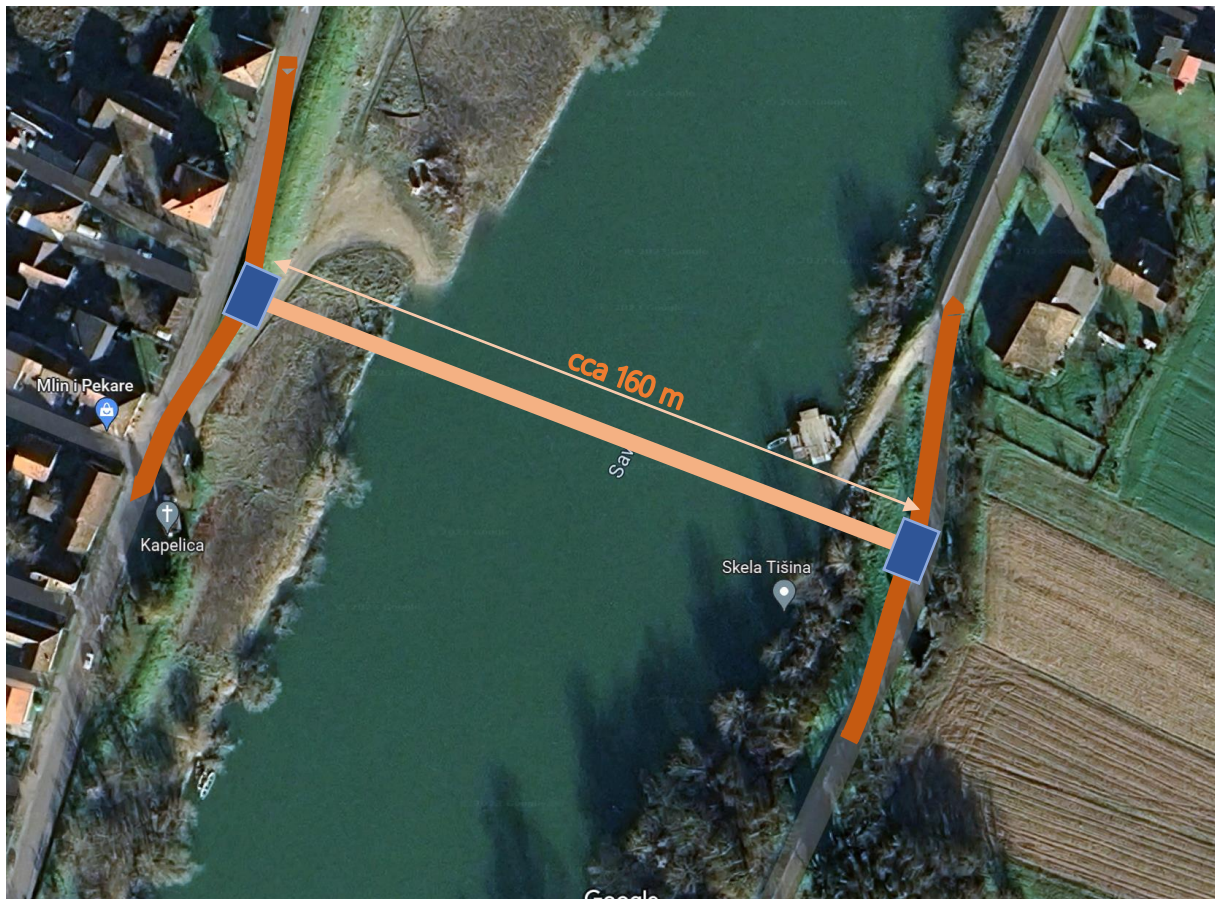
### 1.3. Odabir i vrednovanje projektnog rješenja

Lokacija mosta treba biti u skladu sa zahtjevima, treba se izvoditi u blizini postojeće skele koja se već koristi za prelazak i sa što manjom promjenom prometnice u naselju Tišina Kaptolska. Važno je voditi računa o očuvanju kapelice i nesmetanog pristupa parcelama i dvorištima u oba naselja.

Izvodit će se lučni čelični most s kosim vješaljka kao optimalno rješenje projektnog zadatka. S obzirom na to most će se sastojati od rasponske konstrukcije raspona 159,6 m oslonjene na 2 upornjaka. Raspon mosta bez stupova, omogućit će nesmetano kretanje pješaka, plovila, vozila i skele ispod konstrukcije mosta, što je jedan od uvjeta koji su trebali biti zadovoljeni ovim projektnim zadatkom.

Most koji spaja ova dva naselja vrlo je važan projekt za lokalno stanovništvo, kako bi nesmetano mogli prelaziti rijeku Savu neovisno o vremenskim uvjetima i vodostaju rijeke Save, o čemu je do sada ovisilo prometovanje skele. Ovo rješenje projektnog zadatka pokazalo se kao najjednostavnije i najekonomičnije rješenje.





Slika 6. Prikaz odabranog položaja projekta mosta sa približnim položajima osnovnih elemenata

## 2. TEHNIČKI OPIS

### 2.1. Opis mosta

Konstruktivni sustav mosta je simetrični luk s preuzetim potiskom. Most se sastoji od jednog raspona duljine 159,6 m. Rasponski sklop je preko ležajeva oslonjen na betonske upornjake U1 i U2.

Izvodi se čelična greda s dva čelična nagnuta luka od čeličnih cijevi i čeličnom grednom konstrukcijom. Gredna konstrukcija je ortotropna ploča s 2 glavna nosača na razmaku 5,2 m, poprečnih nosača na razmaku 3,8 m, lima debljine 14 mm i trapeznih rebara.

Materijal za most je čelik S355 i beton C30/37. Most se proizvodi segmentno radionički, nakon čega se segmenti dovoze na gradilište kamionima i na gradilištu se spajanje ostvaruje zavarivanjem.

Most prevodi prometnicu preko rijeke Save preko prepreke širine 185,3 m. Prepreka se sastoji od korita rijeke Save, širine 97,10 m na mjestu mosta i 2 prometnice koje povezuju postojeću cestu sa skelom koja se trenutno koristi za prelazak s jedne na drugu stranu rijeke Save. Ovakvim se sustavom osigurava dostatan protjecajni profil za visoke vode rijeke Save.

Ukupna širina mosta (duljina hrpta poprečnog nosača) je:  $B = 3,30 + 1,90 = 5,20$  m. Najmanja visina poprečnog hrpta je 0,917 m.

Vertikalni radijus nivelete je  $R = 1000,0$  m (u srednjem dijelu mosta,  $L_i = 99,84$  m). Na ovaj se radijus niveleta obostrano tangencijalno nastavlja u nagibu 5%. Kota nivelete u sredini mosta je +105,21, a na upornjacima je +102,47 m. Strelica nivelete je 2,74 m.

Kota sredine lukova je +126,61 m. Računska strelica lukova je  $f = 21,40$ , tako da je spljoštenost  $f/L_0 = 21,40/159,6 = 1,07/7,98$

### 2.2. Gornji ustroj

Gornji ustroj mosta se sastoji od ortotropne ploče koja spaja dva čelična "I" nosača. Na mjestima upornjaka, zbog prevelikih naprezanja, postavljeni su sandučasti presjeci čija se širina linearno smanjuje od 1000 mm do 100 mm na rasponu dva polja između poprečnih nosača odnosno 7,6 m. Glavni čelični nosači zbog nesimetričnog dvostrešnog nagiba od 2,5% različite visine, lijevi je visine 1000 mm, a desni 975 mm, širina gornje pojasnice, ovisi o sudjelujućoj širini i visine je 14 mm, donja pojasnica je širine 500 mm i visine 40 mm, a hrbat je visine 980 mm na lijevoj strani, 955 mm na desnoj i ostaje nepromijenjen po cijeloj dužini mosta. Debljina ortotropne ploče je 14 mm, a debljina hrpta glavnih nosača je 12 mm.

Lukovi s preuzetim potiskom su čelični cijevni profili presjeka  $\phi 1000/20$  mm. Lukovi su nagnuti prema osi mosta pod kutom od  $5^\circ$ . Čelična greda je s lukovima povezana kosim vješaljka od punog čeličnog presjeka promjera 30 mm. Na mjestu hvatišta vješaljki na lukovima postavljene su prečke luka od čeličnih cijevnih profila presjeka  $\phi 600/20$  mm.

Razmak poprečnih nosača je uvjetovan razmakom vješaljki koji iznosi 11,4 m, iz čega slijedi da je razmak poprečnih nosača jednak 3,8 m. Donja pojasnica je širine 400 mm i debljine 20 mm, gornja pojasnica ovisi o sudjelujućoj širini i iznosi 1140 mm. Hrbat je debljine 12 mm i promjenjive visine

zbog poprečnog nagiba od 2,5%, najviši je 983 mm, a najniži 900 mm. Visine hrpta su uvjetovanje zahtijevanom visinom cijelog nosača koja je najveća 1000 mm, a najmanja 917 mm. U osi mosta visina hrpta iznosi 918 mm zbog visine nosača u osi koja iznosi 935 mm. Poprečni nosač na mjestu upornjaka izvodi se kao jači nosač, donji pojas je širine 400 mm i visine 30 mm, hrbat debljine 16 mm i gornji pojas širine 1710 mm i visine 14 mm. Poprečni nosači se proizvode radionički, u jednom komadu dovoze na gradilište kamionima, a na gradilištu se zavarivanjem povezuje s glavnim nosačima.

### 2.3. Donji ustroj mosta

Donji ustroj mosta čine 2 upornjaka koja su djelomično ukopana u zemlju i na njih se preko ležajeva oslanja rasponska konstrukcija. Upornjaci na mostu su izvedeni od betona C30/37, a korišten je armaturni čelik B500B. Upornjaci se nisu dimenzionirali, a u modeliranju su označeni kao upeti krajevi mosta. Upornjaci su na mostu izvedeni kao masivni upornjaci debljine 180 cm. Na svakom upornjaku se na nalazi prijelazna naprava D80 i dva lončasta ležaja.

### 2.4. Oprema mosta

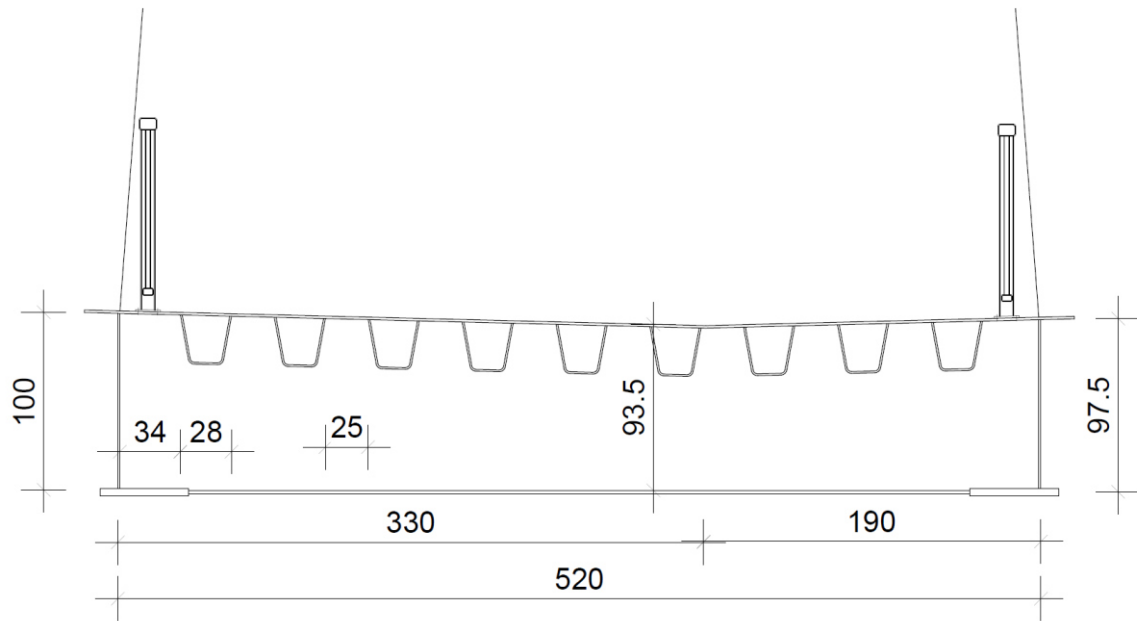
Rasponski sklop se na upornjake oslanja preko lončastih ležajeva. Na mostu su korišteni lončasti ležajevi proizvođača Mauer različitih dimenzija. Nad prvim upornjakom su postavljeni sve pomični i nepomični ležaj, a na drugom upornjaku je postavljen sve pomični ležaj i klizni ležaj pomičan u uzdužnom smjeru.

Na upornjaku na lijevoj obali su postavljeni ležajevi TGa3 i TF3, dok su na upornjaku na desnoj obali postavljeni ležajevi TGa3 i TGe3. Svi ležajevi zadovoljavaju vertikalnu silu. Zbog vrlo velike uzdužne reakcije u nepomičnom ležaju na upornjaku U1, potrebno je naručiti posebne ležajeve koji će zadovoljiti na uzdužnu silu.

Odvodnja se na mostu provodi kroz sustav cijevi. Pomoćne cijevi prolaze ispod kolničke konstrukcije i preuzimaju vodu te ju odvede u glavnu cijev koja ju vodi s mosta. Glavna cijev se vodi s unutarnje strane nosača i pričvršćena je za ortotropnu ploču te se proteže cijelim mostom. Sve gornje plohe mosta izvedene su pod nagibom od 2,5%, a odvodna cijev smještena je u najnižu točku na obje strane mosta. Otvori vertikalnih cijevi zaštićeni su rešetkama od otpada koji bi mogao zaštopati i oštetiti sustav odvodnje.

Uz bočne rubove mosta, postavljena je zaštitna ograda visine 130 cm čija je svrha sprječavanje pada pješaka i biciklista s mosta.

Na krajevima mosta, zbog uzdužne deformacije ostavljen je prostor te sklop nije monolitno povezan s upornjakom. Radi toga je potrebno postaviti prijelaznu napravu. Odabrana je naprava D80 na svakom kraju mosta.



Slika 7. Skica poprečnog presjeka u polju

### 3. STATIČKI PRORAČUN

#### 3.1. Analiza opterećenja

##### 3.1.1. Vlastita težina mosta – G

Nakon numeričke i shematske obrade, potrebno je i prikazati nanoseno opterećenje u modelu (export iz Wingrafa).

Vlastita težina nosivih elemenata uzima se u proračunu prema fazama izvedbe. Software-ski je omogućeno automatski izračun vlastite težine, pod pretpostavkom da su svi presjeci i elementi zadani sa stvarnim dimenzijama, i da je specifična težina za pojedine materijale unesena ispravno.

$$\gamma_{\check{c},\text{ploča}} = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\check{c},\text{nosači}} = 78,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,05 = 82,4 \text{ kN/m}^3 \rightarrow 5\% \text{ uvećanje težine zbog zavara i ostalih spojnih sredstava}$$

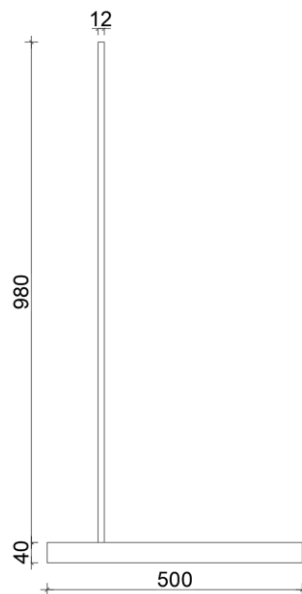
##### 3.1.2. Izračun težine jednog i svih nosača

$$A_{1 \text{ nosača}} [\text{m}^2] = 0,01182 + 0,020 = 0,03182 [\text{m}^2]$$

$$\rightarrow G_{1 \text{ nosača}} \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right] = A_{1 \text{ nosača}} \cdot \gamma_{\check{c}} = 0,03182 \cdot 82,4 = 2,62 \text{ kN/m}$$

$$A_{\text{svih nosača}} [\text{m}^2] = 2 \cdot 0,03182 = 0,06364 \text{ m}^2$$

$$\rightarrow G_{\text{svih nosača}} \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right] = A_{\text{svih nosača}} \cdot \gamma_{\check{c}} = 0,06364 \cdot 82,4 = 5,24 \text{ kN/m}$$

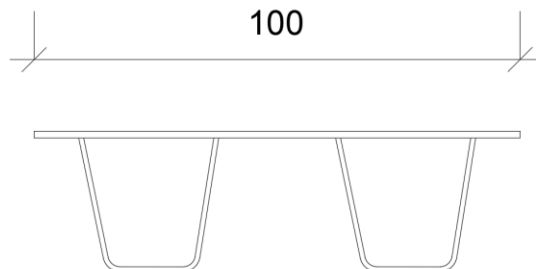


Slika 8. Skica glavnog nosača za proračun

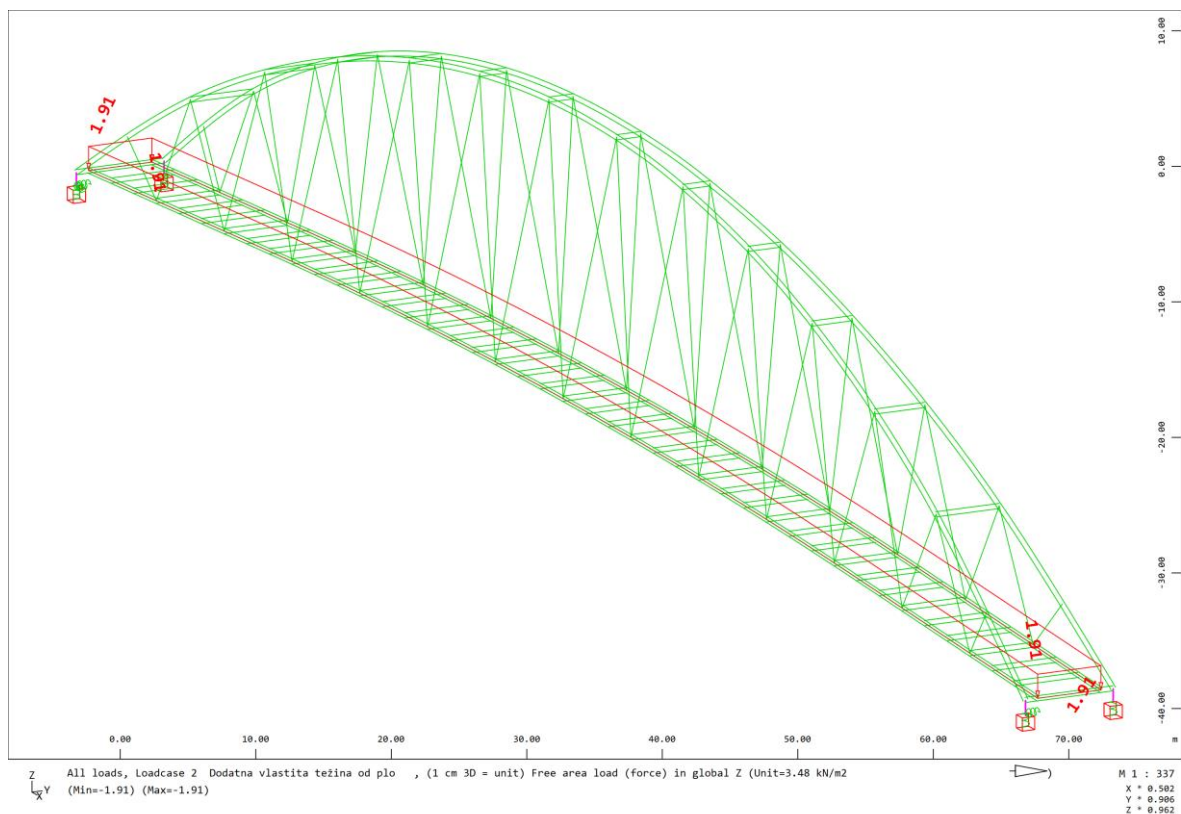
### 3.1.3. Izračun težine ortotropne ploče

Debljina ortotropne ploče iznosi 14 mm, a debljina stijenke uzdužnog rebra iznosi 8 mm, iz čega slijedi da je težina jednaka:

$$g_{ploča} = 0,014 \cdot 1 \cdot 78,5 + 2 \cdot 0,6453 \cdot 0,008 \cdot 78,5 = 1,91 \text{ kN/m}^2$$



Slika 9. Skica za proračun težine ortotropne ploče



Slika 10. Dodatna vlastita težina od ploče



### 3.1.4. Dodatno stalno

→ Za cijeli most:

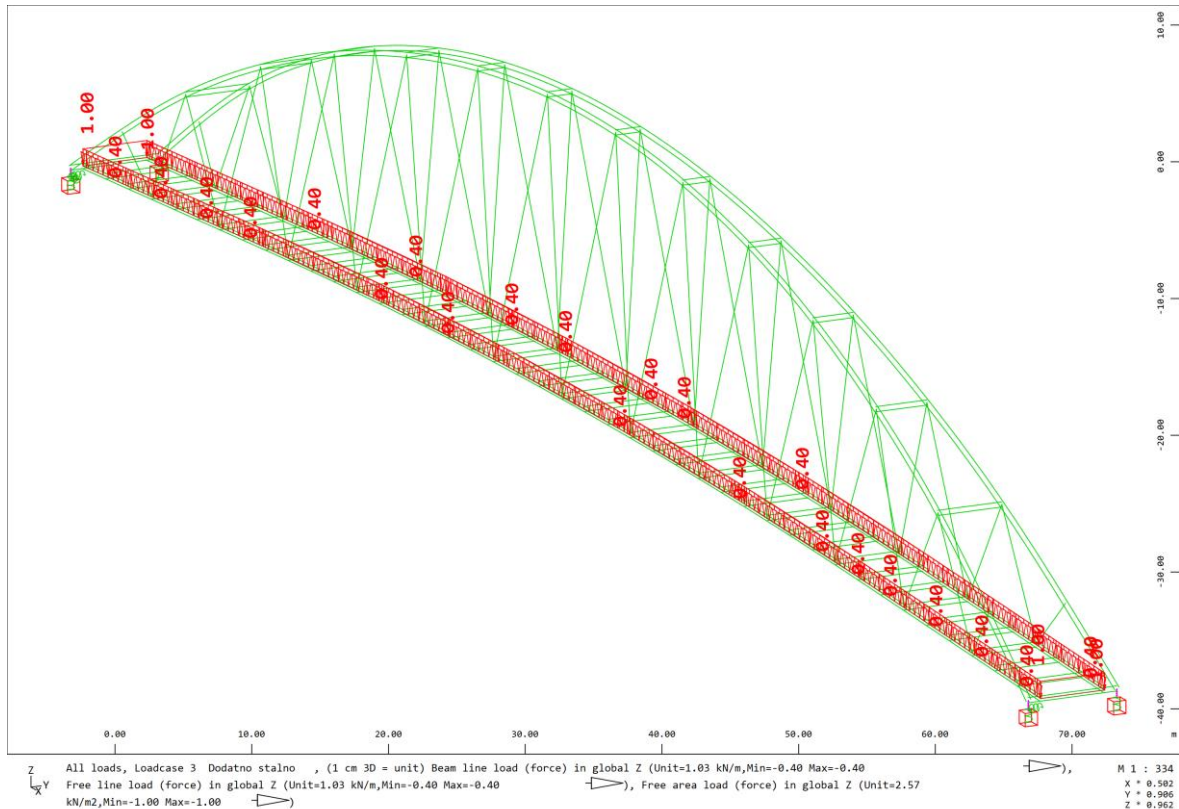
Hidroizolacija i premaz:  $(0,5 + 0,5) \text{ kN/m}^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Ograde:  $0,4 \text{ kN/m} \cdot 2 = 0,8 \text{ kN/m}$

→ Za jedan nosač:

Hidroizolacija i premaz:  $(0,5 + 0,5) \text{ kN/m}^2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Ograde:  $0,4 \text{ kN/m} \cdot 1 = 0,4 \text{ kN/m}$

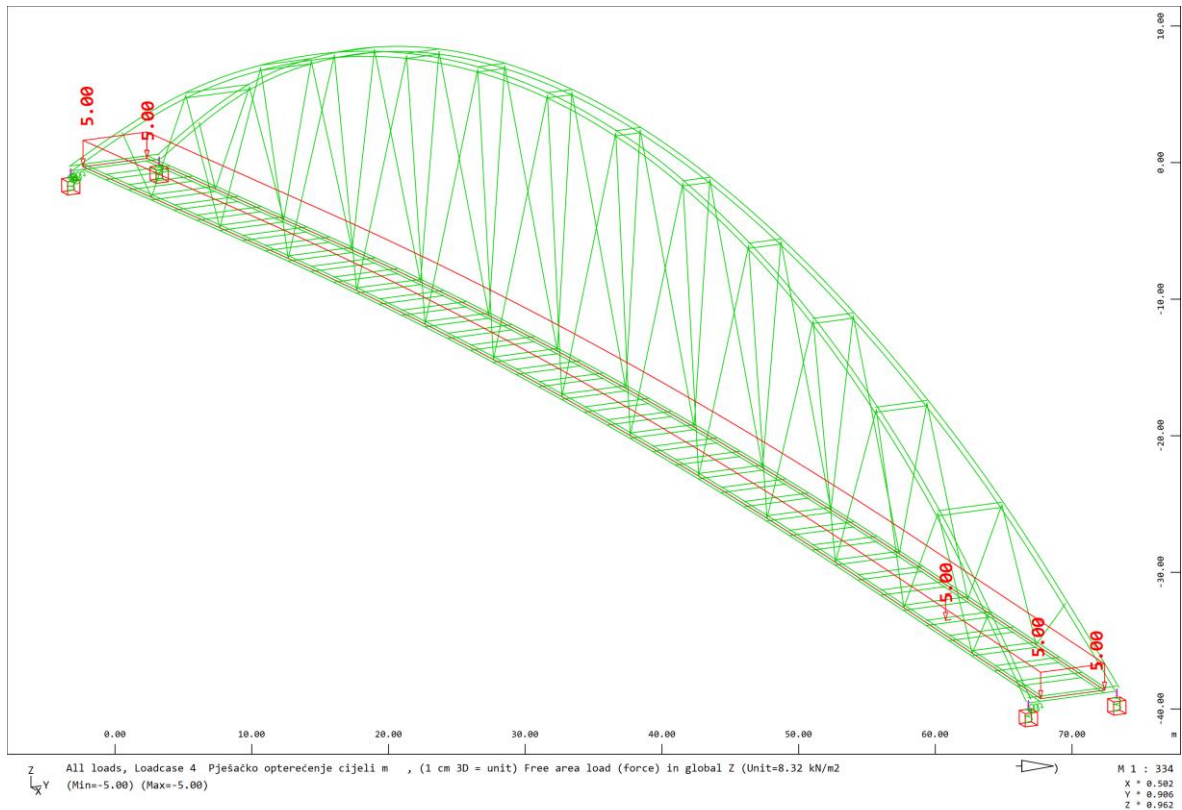


Slika 11. Dodatno stalno opterećenje

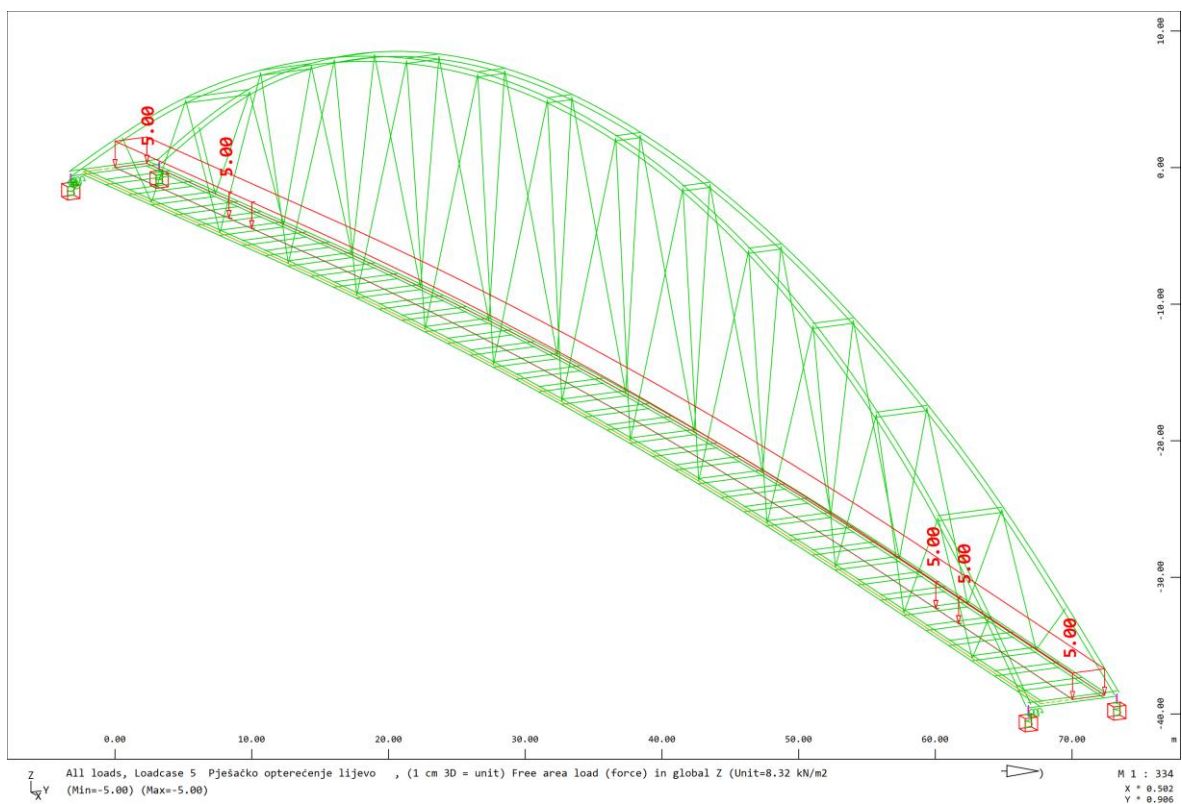
### 3.1.5. Prometno opterećenje

$$q_{fk} = 5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{pješačko opterećenje [1]}$$

Prikazani su slučajevi opterećenja mosta. Slika 14. i slika 15. prikazuju opterećenje mosta pješačkim opterećenjem u slučaju kada je most opterećen na polovici širine po cijeloj dužini mosta i kada je most opterećen cijelom širinom i na polovici dužine mosta. Ta dva slučaja opterećenja vrijede za obje polovice širine odnosno duljine mosta.

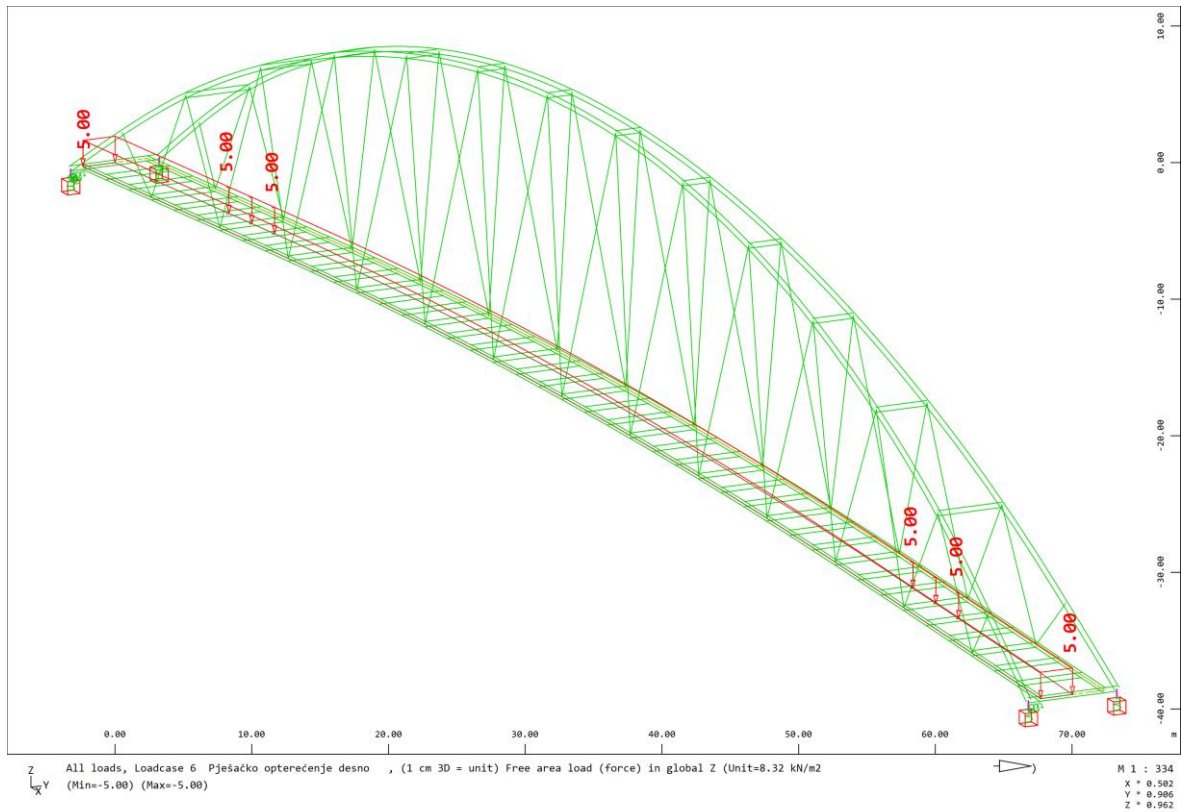


Slika 12. Pješačko opterećenje po cijeloj dužini mosta

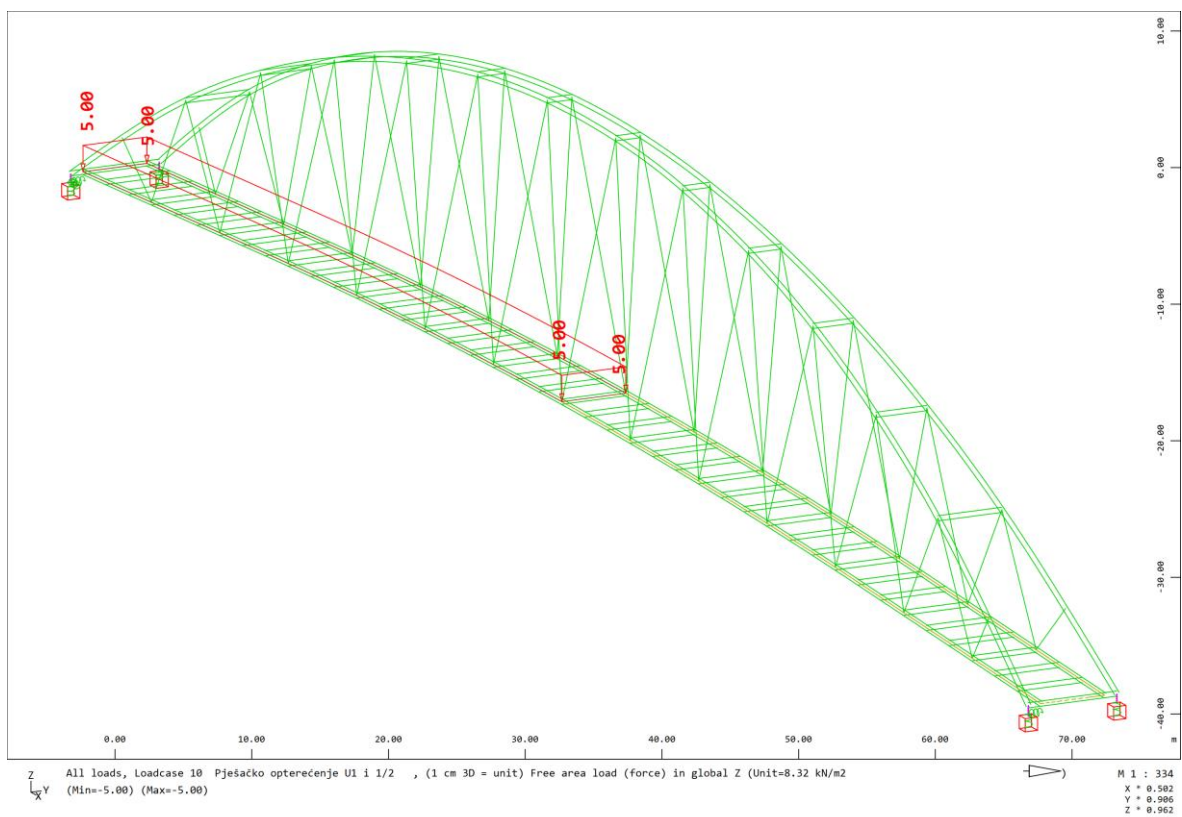


Slika 13. Pješačko opterećenje na lijevoj polovici mosta uzdužno

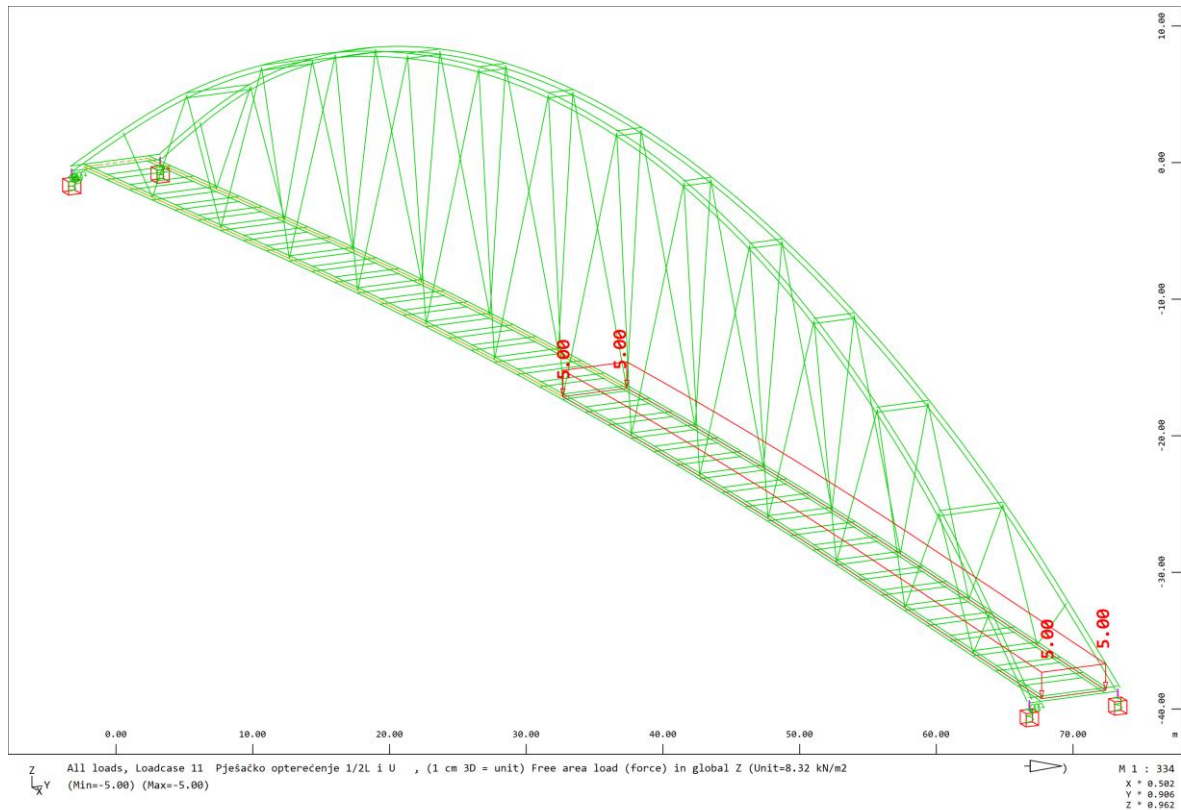




Slika 14. Pješačko opterećenje na desnoj polovici mosta uzdužno



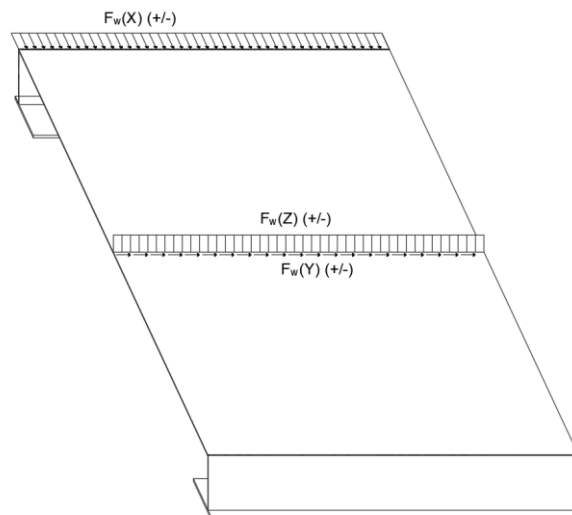
Slika 15. Prometno opterećenje na upornjaku U1 i polovici mosta



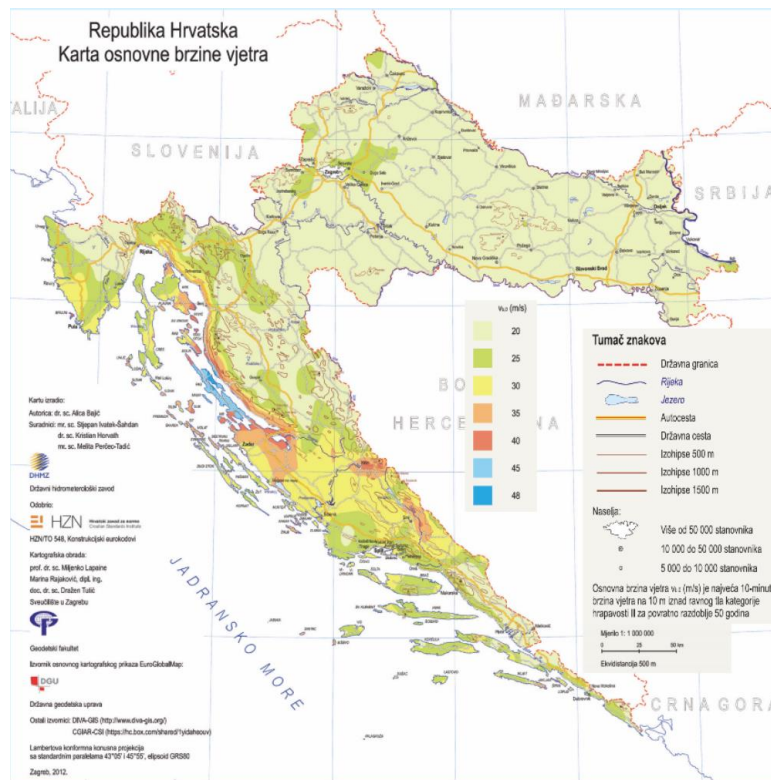
Slika 16. Prometno opterećenje na upornjaku U2 i polovici mosta

### 3.1.6. Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom proračunato je prema EN 1991-1-4. Također, korišteni su podaci iz separata za vježbe iz predmeta Mostovi 2 uz korekcije vezane za model. Nakon numeričke i shematske obrade, potrebno je i prikazati nanoseno opterećenje u modelu (export iz Wingrafa).



Slika 17. Smjerovi djelovanja vjetra na rasponski sklop



Slika 18. Karta osnovnih brzina vjetra  $v_{b,0}$  [2]

Očitana osnovna brzina vjetra za područje naselja Tišina Kaptolska i Tišina Erdedska iznosi:

$$v_b = 20 \text{ m/s}$$

### 3.1.6.1. Opterećenje vjetrom na rasponski sklop poprečno

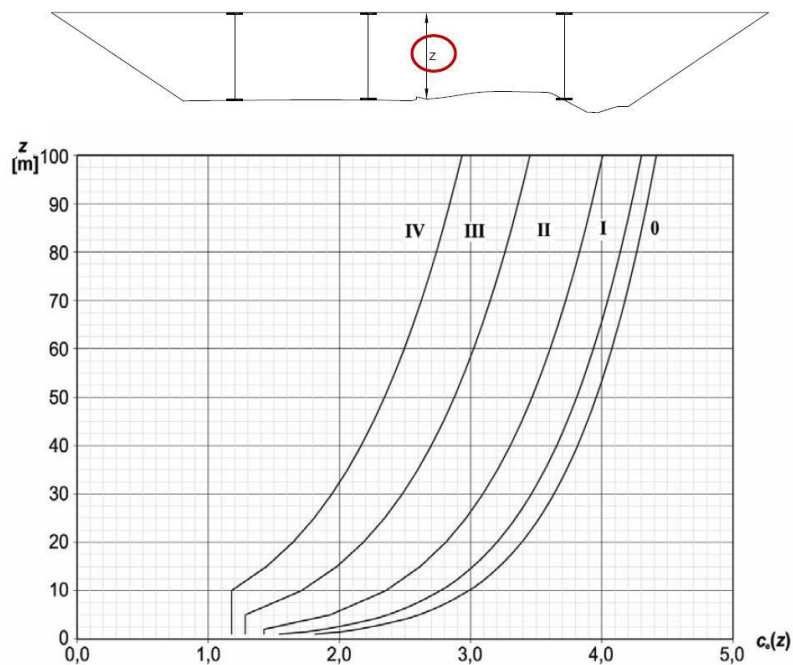
Postupak izračuna vjetra koji djeluje poprečno na rasponski sklop prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Postupak proračuna djelovanja vjetra na rasponski sklop [2]

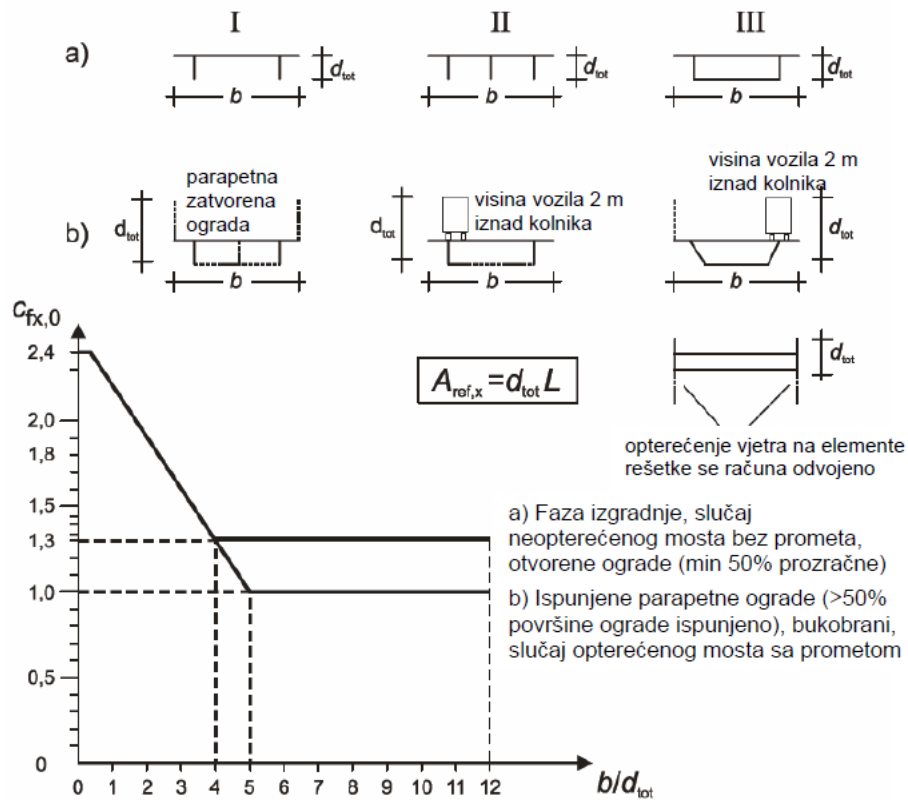
$F_{w(x)}$ [kN/m]	NEOPTEREĆEN MOST	OPTEREĆEN MOST
Proračunski izraz	$q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{fx,0} \cdot h_{ref}$	$q_p \cdot c_{fx,0} \cdot h_{ref}$
$q_b$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\frac{1,25}{2000} \cdot v_b^2$ ( $v_b$ – iz vjetrovne karte)	
$c_e(z)$	iz dijagrama prema kategoriji terena i visini sklopa iznad terena	
$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$q_b \cdot c_e(z)$	$\text{MIN} \{ 0,64 ; (q_b \cdot c_e(z)) \}$
$d_{tot}$ ; $b$		
$c_{fx,0}$	prema krivulji a) i odnosu $d_{tot}/b$	prema krivulji b) i odnosu $d_{tot}/b$
$h_{ref}$	$d_{tot} + 1,2 \text{ m}$	$d_{tot}$

Tablica 2. Kategorije terena za određivanje koeficijenta izloženosti [3]

Kategorije terena	
0	More i priobalna područja izložena moru
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke
IV	Područje s najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m



Slika 19. Dijagram za određivanje koeficijenta izloženosti [3]



Slika 20. Dijagram za određivanje koeficijenta oblika [3]

Tablica 3. Tablica za određivanje referentne visine [3]

Vrste zaštite prometa	Na jednoj strani	Na obje strane
Otvoreni parapet ili otvoreni zaštitni sustav	$d + 0,3$	$d + 0,6$
Puni parapet ili puni zaštitni sustav	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Otvoreni parapet i otvoreni zaštitni sustav	$d + 0,6$	$d + 1,2$

$$F_{w(x)} = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{fx,0} \cdot h_{ref}$$

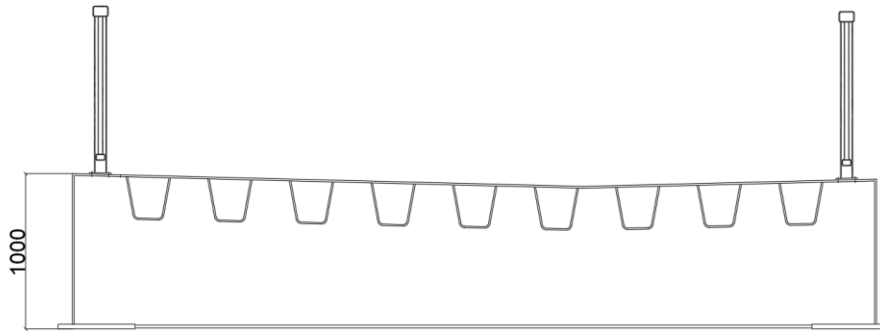
$$q_b = \frac{\delta}{2} \cdot v_b^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 20^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 20 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 20 \text{ m/s}$$

$$z = 14,43 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 2,6$$

Kategorija terena II

$$b/d_{tot} = 520/63,5 = 8,19 \rightarrow c_{fx,0} = 1,3$$



Slika 21. Skica poprečnog presjeka mosta za određivanje referentne visine

$$h_{ref} = d_{tot} + 0,6 = 1,0 + 0,6 = 1,60 \text{ m}$$

$$F_{w(x)} = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{fx,0} \cdot h_{ref} = 0,25 \cdot 2,6 \cdot 1,3 \cdot 1,60 = 1,35 \text{ kN/m}$$

### 3.1.6.2. Opterećenje vjetrom na rasponski sklop uzdužno

$$F_{w(y)} = 0,25 \cdot F_{w(x)} = 0,25 \cdot 1,35 = 0,34 \text{ kN/m}$$

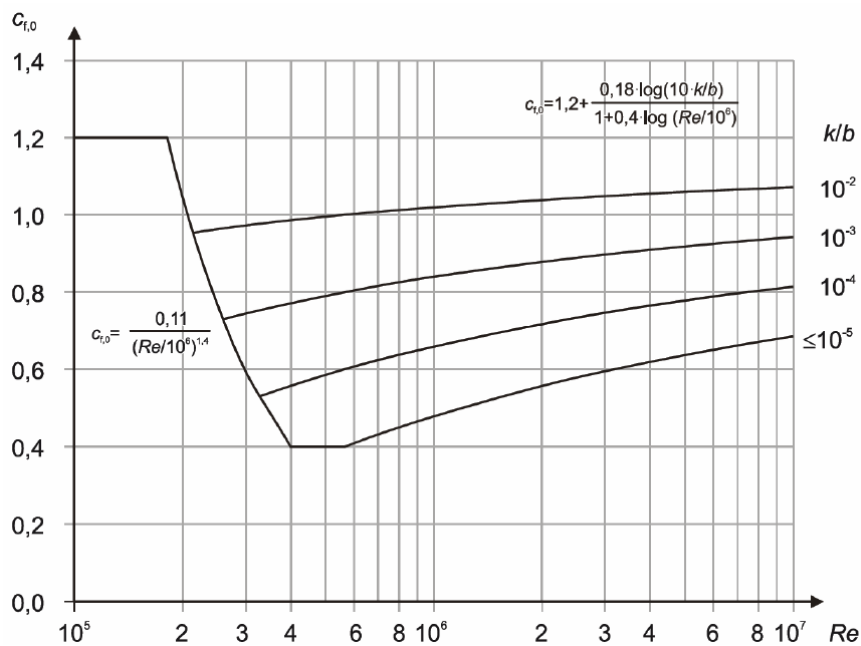
$$F_{w(y),1 \text{ nosač}} = \frac{F_{w(y)}}{2} = \frac{0,34}{2} = 0,17 \text{ kN/m}$$

### 3.1.6.3. Opterećenje vjetrom na rasponski sklop vertikalno

$$F_{w(x)} = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{fz} \cdot b = 0,25 \cdot 2,6 \cdot 0,9 \cdot 5,2 = 3,04 \text{ kN/m}$$

$$F_{w(x),1 \text{ nosač}} = \frac{F_{w(x)}}{2} = \frac{3,04}{2} = 1,52 \text{ kN/m}$$

### 3.1.6.4. Opterećenje vjetrom na luk poprečno



Slika 22. Dijagram za određivanje koeficijenta sile  $c_{f0}$  [3]

→ VRH LUKA:

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 37,06 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 3,35$$

$$c_s c_d = 1,0$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 3,35}{1,25}} = 36,61 \text{ m/s}$$

$$v = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{1,0 \cdot 36,61}{15 \cdot 10^{-6}} = 2440667$$

$$k/b = 0,2/1000 = 0,0002$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,78 \cdot 1,0 = 0,78$$

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,78 \cdot 0,25 \cdot 3,35 \cdot 1,0 = 0,65 \text{ kN/m}$$

→ DNO LUKA:

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 15,66 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 2,60$$

$$c_s c_d = 1,0$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 2,6}{1,25}} = 32,25 \text{ m/s}$$

$$v = 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{1,0 \cdot 32,25}{15 \cdot 10^{-6}} = 2150000$$

$$k/b = 0,2/1000 = 0,0002$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,76 \cdot 1,0 = 0,76$$

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,76 \cdot 0,25 \cdot 2,60 \cdot 1,0 = 0,49 \text{ kN/m}$$

### 3.1.6.5. Opterećenje vjetrom na luk uzdužno

→ VRH LUKA:

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 37,06 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 3,35$$

$$c_s c_d = 1,0$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 3,35}{1,25}} = 36,61 \text{ m/s}$$

$$v = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{1,0 \cdot 36,61}{15 \cdot 10^{-6}} = 2440667$$

$$k/b = 0,2/1000 = 0,0002$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,78 \cdot 1,0 = 0,78$$

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,78 \cdot 0,25 \cdot 3,35 \cdot 1,0 = 0,65 \text{ kN/m}$$

→ DNO LUKA:

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 15,66 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 2,60$$

$$c_s c_d = 1,0$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 2,6}{1,25}} = 32,25 \text{ m/s}$$

$$v = 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{1,0 \cdot 32,25}{15 \cdot 10^{-6}} = 2150000$$

$$k/b = 0,2/1000 = 0,0002$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,76 \cdot 1,0 = 0,76$$

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,76 \cdot 0,25 \cdot 2,60 \cdot 1,0 = 0,49 \text{ kN/m}$$

### 3.1.6.6. Opterećenje vjetrom na prečke luka uzdužno

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 37,06 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 3,35$$

$$c_s c_d = 1,0$$



$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 3,35}{1,25}} = 36,61 \text{ m/s}$$

$$v = 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{0,6 \cdot 36,61}{15 \cdot 10^{-6}} = 1464400$$

$$k/b = 0,2/600 = 0,00033$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,81 \cdot 1,0 = 0,81$$

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,81 \cdot 0,25 \cdot 3,35 \cdot 0,6 = 0,41 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.1.6.7. Opterećenje vjetrom na prečke luka vertikalno

$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b$$

$$z = 37,06 \text{ m} \rightarrow c_e(z) = 3,35$$

$$c_s c_d = 1,0$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 3,35}{1,25}} = 36,61 \text{ m/s}$$

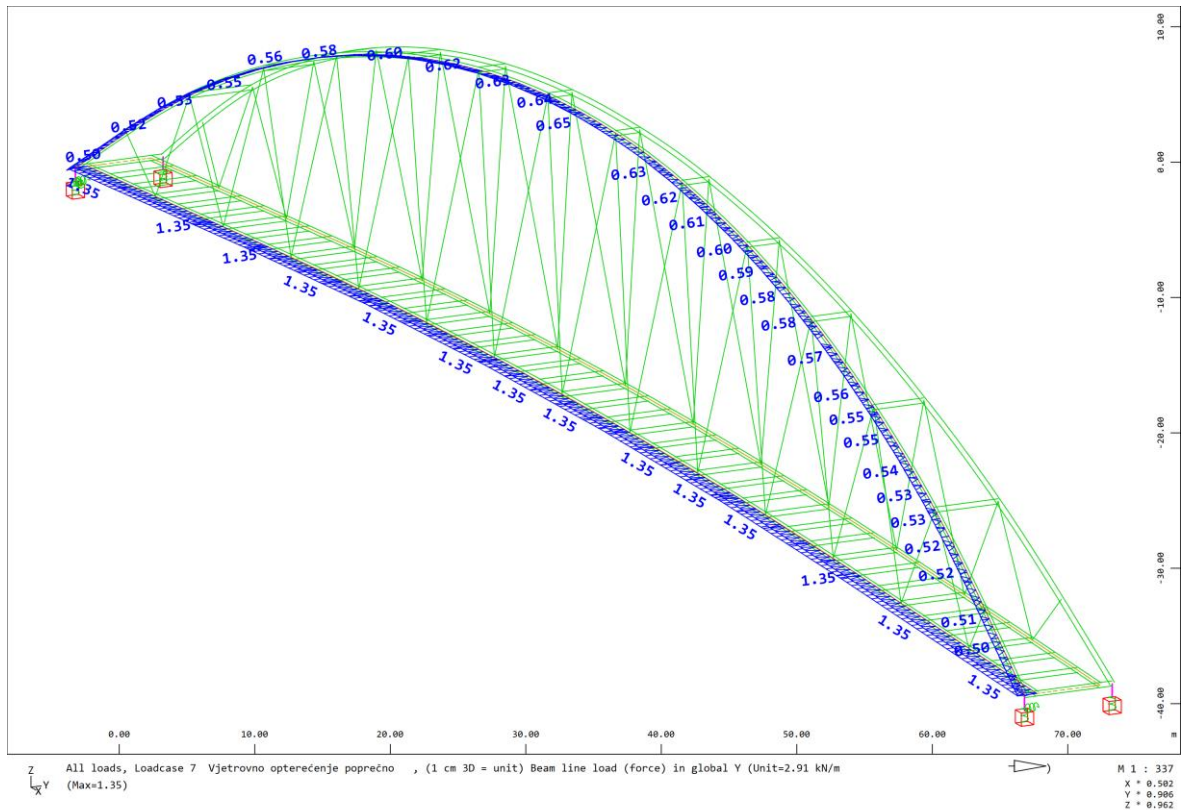
$$v = 15 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$R_e = \frac{b \cdot v(z_e)}{v} = \frac{0,6 \cdot 36,61}{15 \cdot 10^{-6}} = 1464400$$

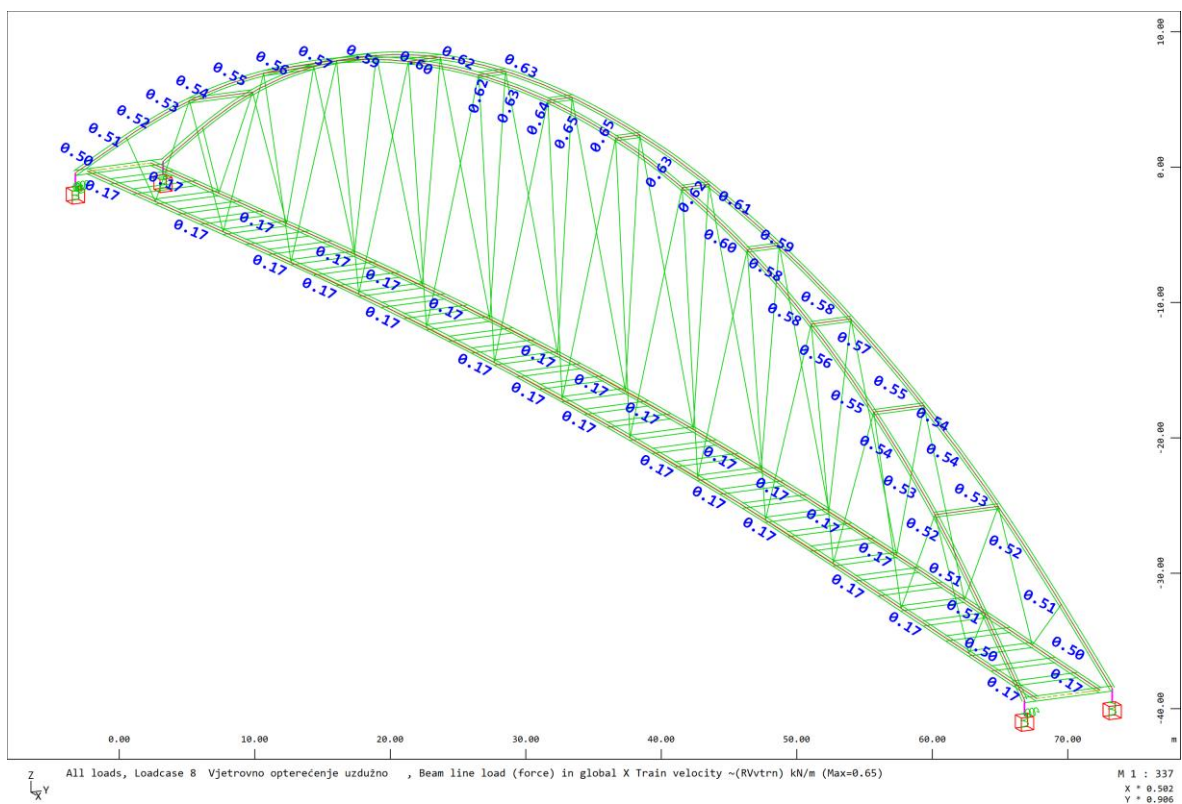
$$k/b = 0,2/600 = 0,00033$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,81 \cdot 1,0 = 0,81$$

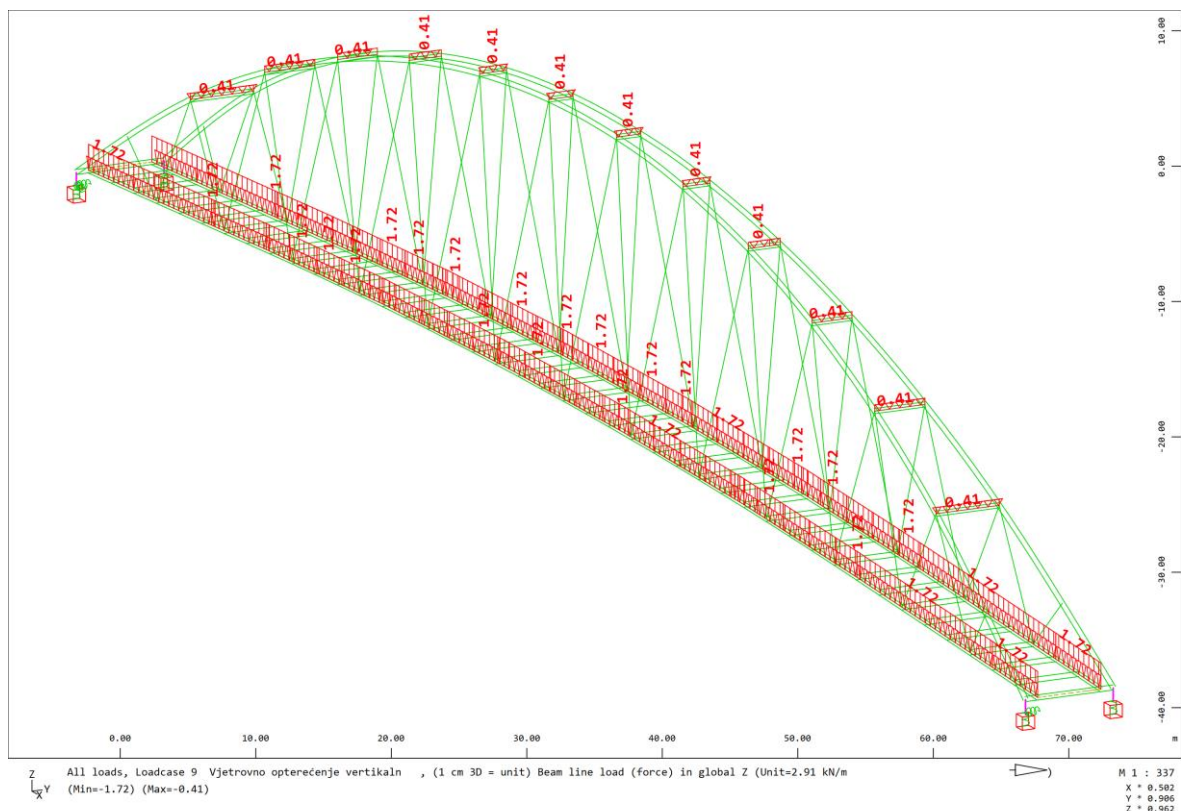
$$F_{w(x)} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot b = 1,0 \cdot 0,81 \cdot 0,25 \cdot 3,35 \cdot 0,6 = 0,41 \text{ kN/m}$$



Slika 23. Opterećenje vjetrom poprečno na most



Slika 24. Opterećenje vjetrom uzdužno na most



Slika 25. Opterećenje vjetrom vertikalno na most

### 3.1.7. Temperatura

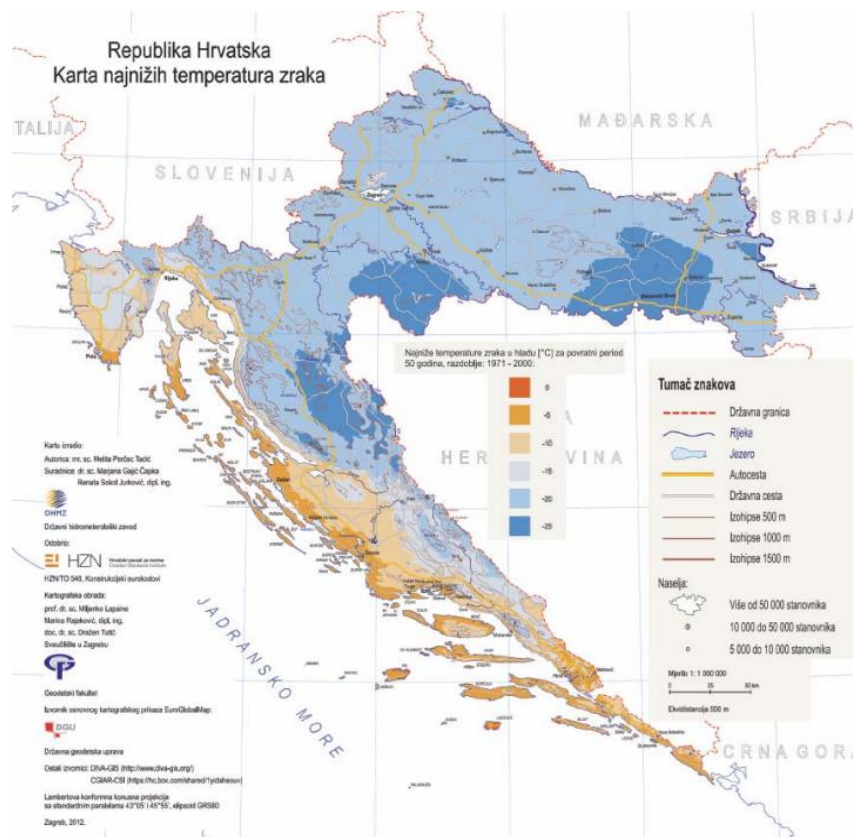
Opterećenje temperaturom proračunato je prema EN 1991-1-5. Nakon numeričke i shematske obrade, potrebno je i prikazati nanoseno opterećenje u modelu (export iz Wingrafa).

#### 3.1.7.1. Jednolika temperatura

Vrijednosti maksimalne i minimalne temperature očitane su iz karti najviših i najnižih temperatura zraka za Republiku Hrvatsku danih u nacionalnom dodatku za normu EN. Njihove vrijednosti napisane su ispod slike.



Slika 26. Karta najviših temperatura zraka [4]



Slika 27. Karta najnižih temperatura zraka [4]

$$T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$$

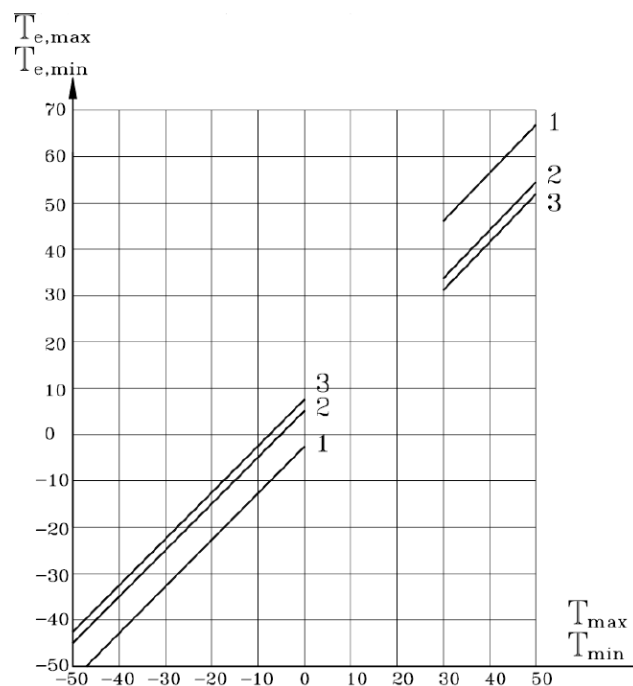
$$T_{min} = -20^{\circ}C$$

Korištenjem dijagrama i linije za vrstu nosača očitavaju se maksimalne i minimalne temperature mosta  $T_{e,max}$  i  $T_{e,min}$  sa danog dijagrama.

*Linija Type 1* – čelična kolnička ploča na čeličnim sandučastim nosačima, rešetkastom ili punostjenom nosaču

*Linija Type 2* – betonska kolnička ploča na čeličnim sandučastim ili rešetkastim nosačima ili na punostjenim nosačima

*Linija Type 3* – betonska ploča ili betonska kolnička ploča na betonskim gredama ili sandučastim nosačima



Slika 28. Dijagram za očitavanje  $T_{e,min}$  i  $T_{e,max}$  [4]

Kako se radi o ortotropnoj ploči koja se nalazi između glavnih čeličnih nosača, očitavamo  $T_{e,min}$  i  $T_{e,max}$  za liniju Type 1.

Očitano:

$$T_{e,min} = -22^{\circ}C$$

$$T_{e,max} = 56^{\circ}C$$

$T_0$  – vjerojatna računaska temperatura mosta u vrijeme kad je konstrukcija djelotvorno upeta. Može se definirati projektom, a obično iznosi 10-20 °C. U nedostatku točnih vrijednosti uzima se 15 °C.

$$T_0 = 15^{\circ}C$$

Najveća razlika negativne računske temperature:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 15 - (-22) = -37^{\circ}C$$

Najveća razlika pozitivne računске temperature:

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 56 - 15 = 41^{\circ}\text{C}$$

Za proračun pomaka prijelaznih naprava i ležajeva i reakcija ležajeva mjerodavne su ove vrijednosti temperatura sa još dodatnih 20 °C, dakle, mjerodavne temperature će biti:

$$\Delta T_{N,con,bear} = \Delta T_{N,con} - 20^{\circ}\text{C} = -37 - 20 = -57^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp,bear} = \Delta T_{N,exp} + 20^{\circ}\text{C} = 41 + 20 = 61^{\circ}\text{C}$$

### 3.1.7.2. Nejednolika linearno promjenjiva temperatura

Tablica 4. Preporučene vrijednosti komponente linearne temperaturne razlike [4]

Vrsta rasponskog sklopa	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje
	$\Delta T_{M,heat}[^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T_{M,cool}[^{\circ}\text{C}]$
čelični rasponski sklop	18	13
spregnuti rasponski sklop	15	18
betonski rasponski sklop		
- betonski sandučasti nosač	10	5
- betonska greda	15	8
- betonska ploča	15	8

Tablica 5. Preporučene vrijednosti faktora  $k_{sur}$  [4]

Cestovni, pješački i željeznički mostovi						
Debljina zastora kolnika	1. vrsta		2. vrsta		3. vrsta	
	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje	Gornja površina toplija od donje	Donja površina toplija od gornje
mm	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$
bez zastora	0,7	0,9	0,9	1	0,8	1,1
vodonepropusni	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1
50	1	1	1	1	1	1
100	0,7	1,2	1	1	0,7	1
150	0,7	1,2	1	1	0,5	1
Zastor (želj.) (750 mm)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1



Tip sklopa	Gornji dio nosača topliji od donjeg ( $\Delta T_{M,heat}$ ) [°C]	Donji dio nosača topliji od gornjeg ( $\Delta T_{M,cool}$ ) [°C]
1 (čelični nosač i ortotropna ploča)	18	13

### 3.1.7.3. Kombinacija jednolike i nejednolike linearno promjenjive temperature

Proračunava se osam kombinacija opterećenja temperaturom:

a) Jednolika temperaturna komponenta

i. Ljeto – gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat} = 41 + 0,75 \cdot 18 = 41^\circ\text{C} + 13,5^\circ\text{C}$$

ii. Ljeto – gornji rub konstrukcije se hladi

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,cool} = 41 + 0,75 \cdot 13 = 41^\circ\text{C} + 9,75^\circ\text{C}$$

iii. Zima – gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,heat} = 37 + 0,75 \cdot 18 = 37^\circ\text{C} + 13,5^\circ\text{C}$$

iv. Zima – gornji rub konstrukcije se hladi

$$\Delta T_{N,exp} + \omega_M \Delta T_{M,cool} = 37 + 0,75 \cdot 13 = 37^\circ\text{C} + 9,75^\circ\text{C}$$

b) Linearna temperaturna komponenta

i. Ljeto – gornji rub konstrukcije se zagrijava

$$\omega_N \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{M,heat} = 0,35 \cdot 41 + 18 = 14,35^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}$$

ii. Ljeto – gornji rub konstrukcije se hladi

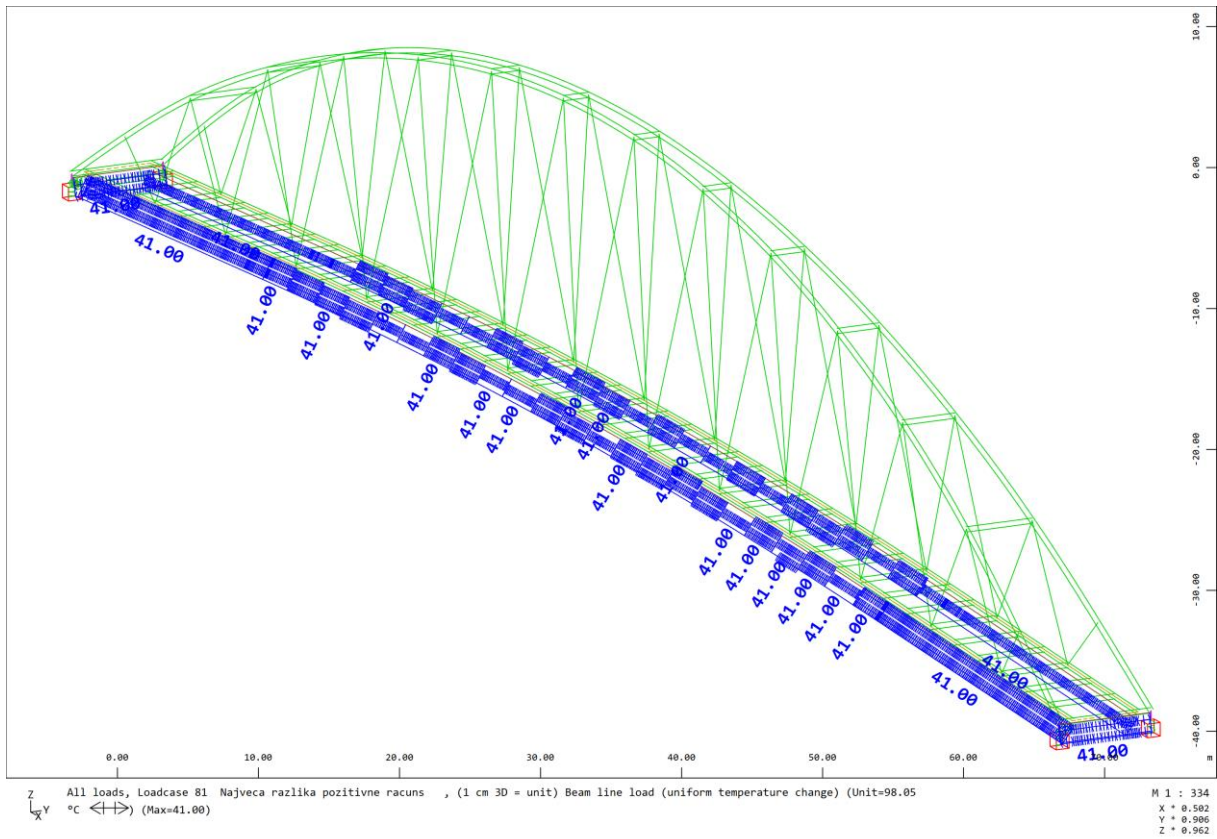
$$\omega_N \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{M,cool} = 0,35 \cdot 41 + 13 = 14,35^\circ\text{C} + 13^\circ\text{C}$$

iii. Zima – gornji rub konstrukcije se zagrijava

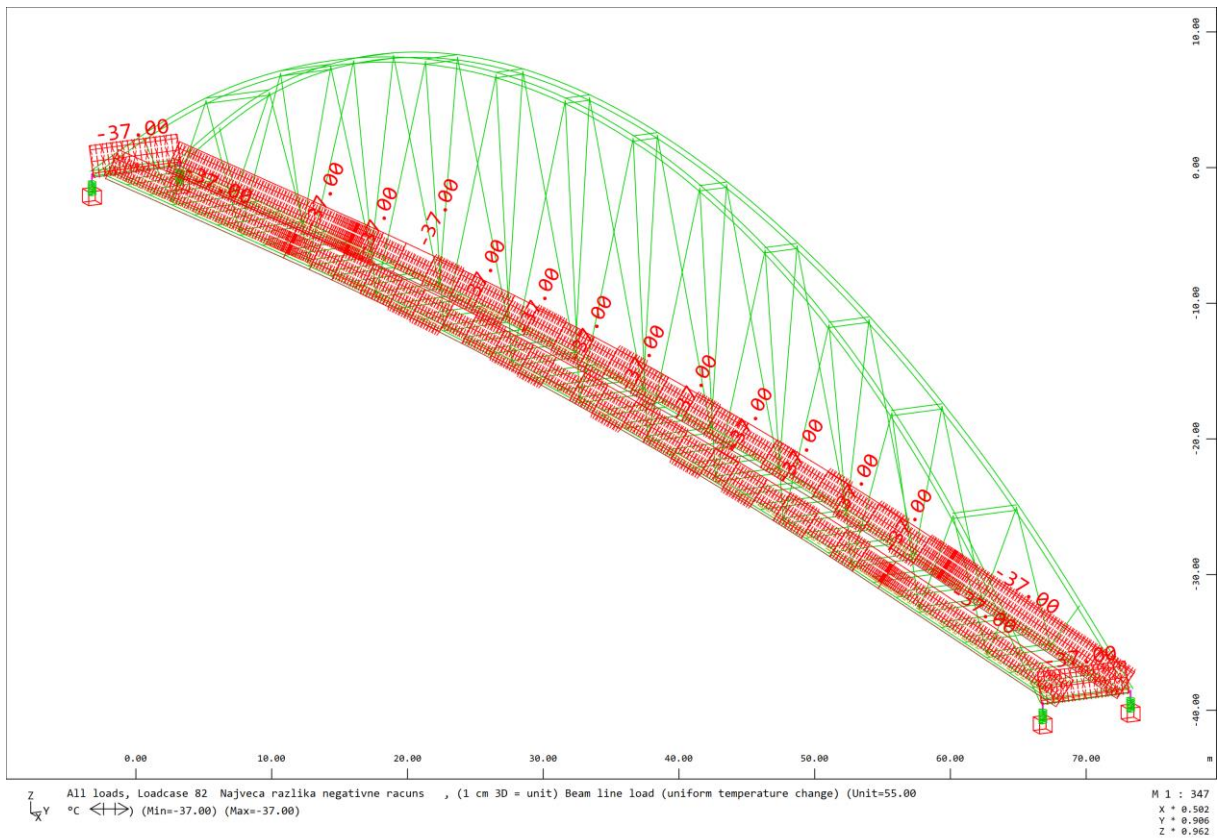
$$\omega_N \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{M,heat} = 0,35 \cdot 37 + 18 = 12,95^\circ\text{C} + 18^\circ\text{C}$$

iv. Zima – gornji rub konstrukcije se hladi

$$\omega_N \Delta T_{N,exp} + \Delta T_{M,cool} = 0,35 \cdot 37 + 13 = 12,95^\circ\text{C} + 13^\circ\text{C}$$

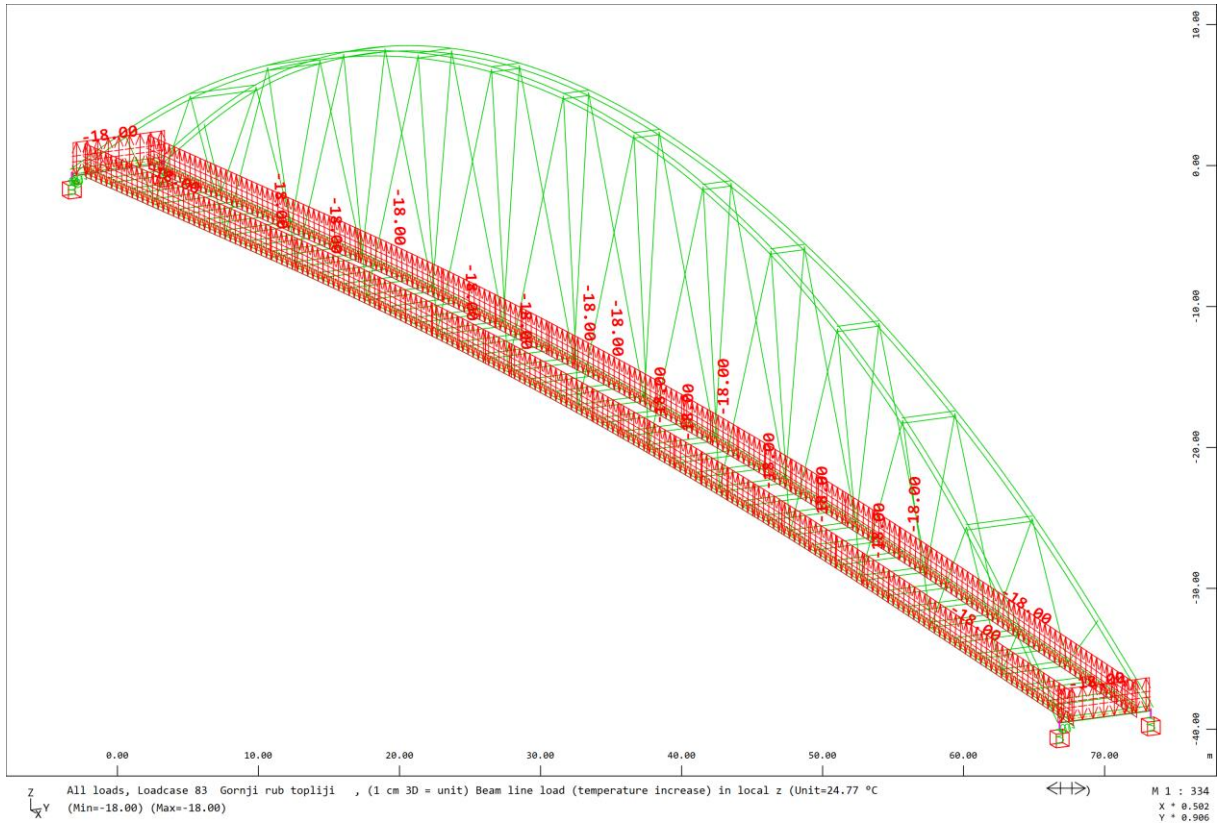


Slika 29. Najveća razlika pozitivne proračunske temperature

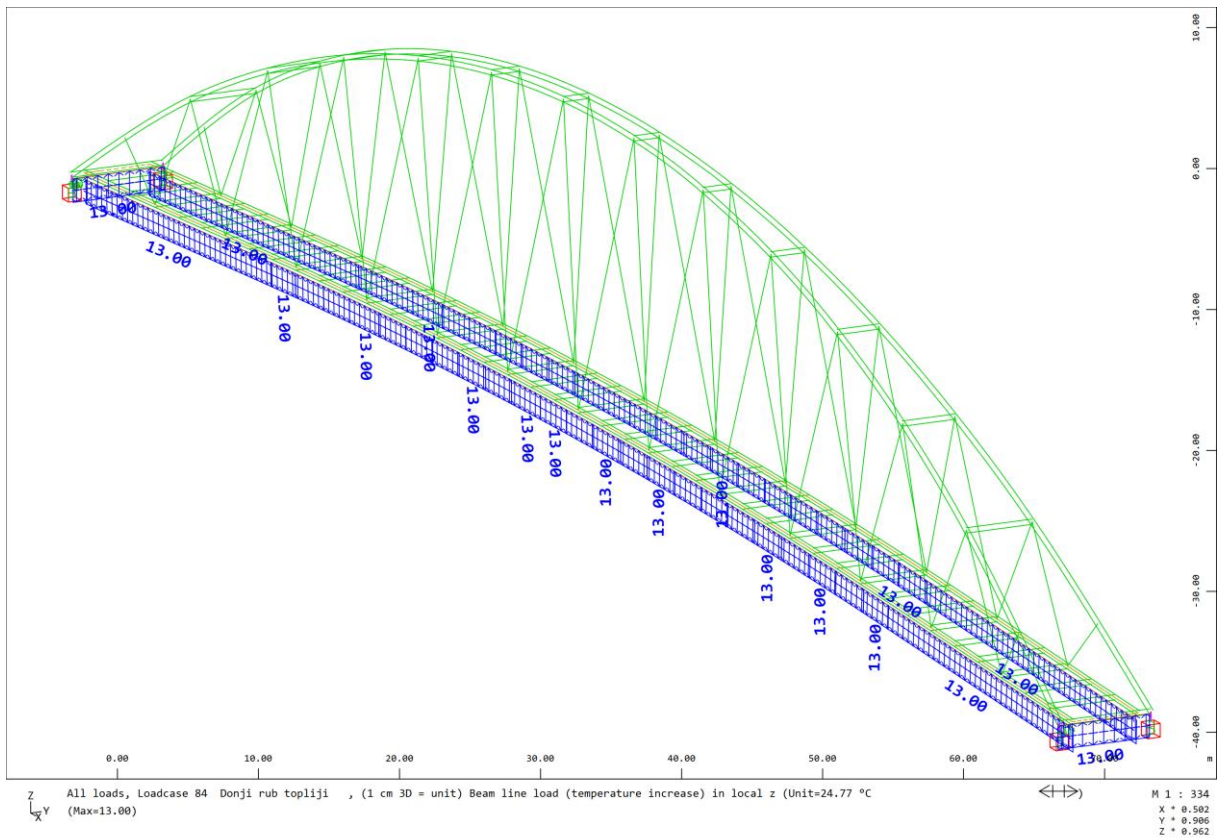


Slika 30. Najveća razlika negativne proračunske temperature



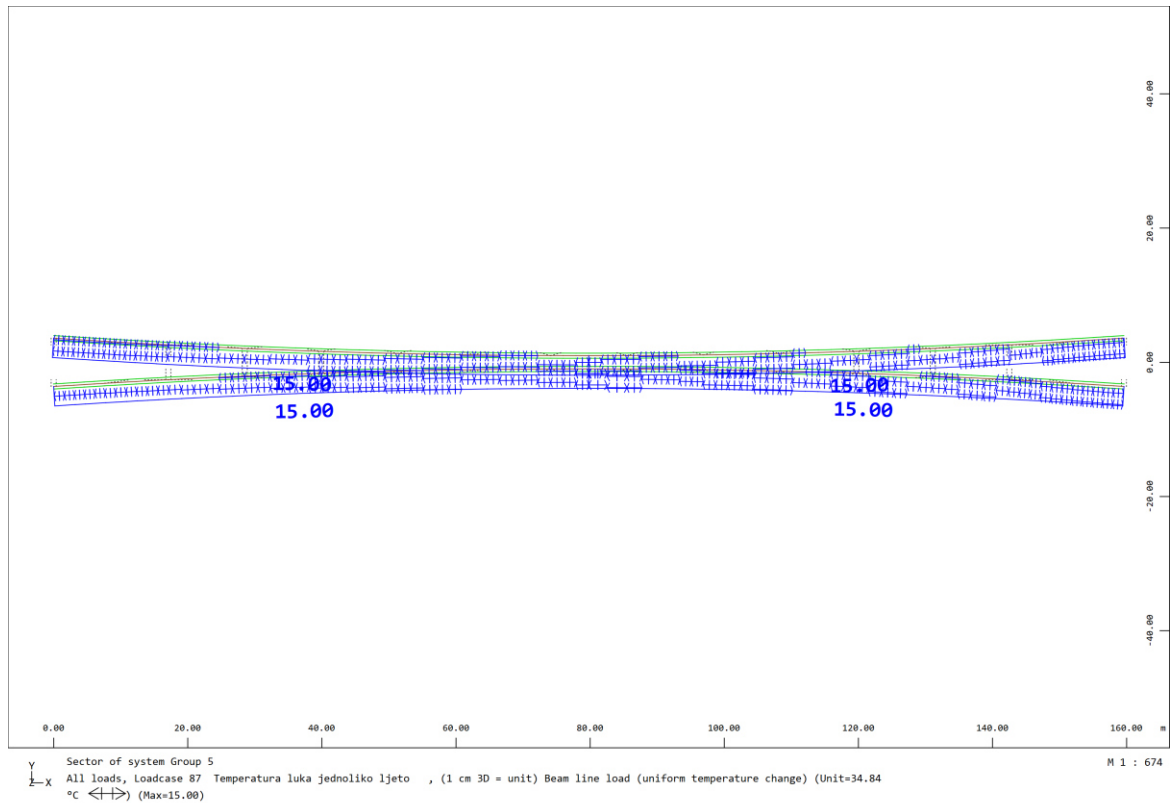


Slika 31. Gornji rub nosača topliji od donjeg

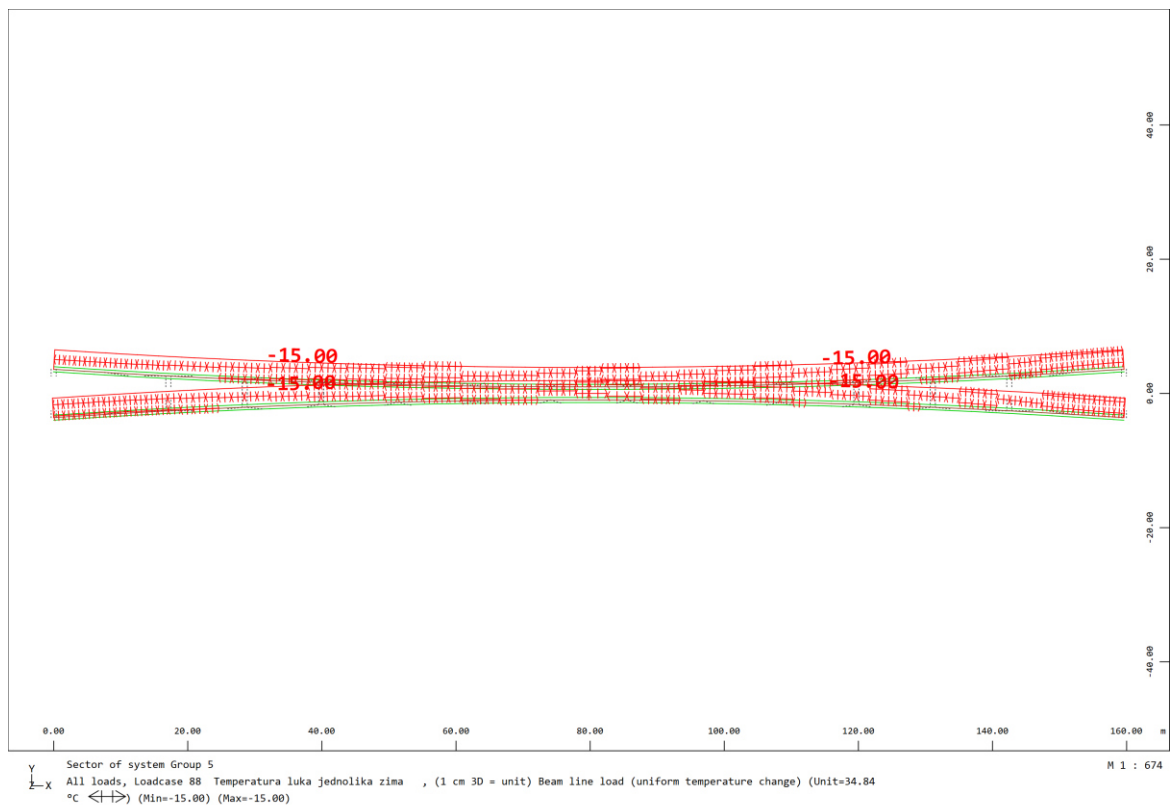


Slika 32. Donji rub nosača topliji od gornjeg

Prema EN1991-1-5 točka 6.1.6. zadaje se opterećenje jednolikom temperaturom na lukove u iznosu od  $\pm 15^\circ\text{C}$ , s obzirom na grijanje odnosno hlađenje luka uzrokovano temperaturom.



Slika 33. Temperatura luka jednoliko ljeto



Slika 34. Temperatura luka jednolika zima

### 3.1.8. Analiza potresnog opterećenja i odziva konstrukcije

Tablica 6. Kategorije tla [5]

Kategorije tla	
Stjenovita tla s najviše 5 m slabijeg materijala pri površini brzinom i brzinom širenja poprečnih valova $v_s > 800$ m/s	A
Naslage vrlo krutog pijeska, šljunka ili prekonsolidirane gline, debljine od nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom i brzinom širenja poprečnih valova $v_s = 360 - 800$ m/s	B
Duboke naslage zbijenog ili srednje zbijenog pijeska, šljunka ili krutih gline, debljine od nekoliko desetaka do nekoliko stotina metara, s $v_s = 180 - 360$ m/s.	C
Naslage rastresitog tla s mekim koherentnim slojevima ili bez njih s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m. Naslage s mekim do srednje krutim koherentnim tlima s $v_s \leq 180$ m/s u gornjih 20 m.	D
Profil tla A s površinskim aluvijalnim slojem s brzinama širenja poprečnih valova $v_s$ za tip C i D, i debljinom između 5 i 20 m, ispod kojeg je krući materijal sa $v_s > 800$ m/s.	E

Tablica 7. Parametri a horizontalni spektar [5]

Horizontalni spektar Tip 1	S	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,2	0,6	2,0
D	1,35	0,2	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tablica 8. Parametri za vertikalni sprektar [5]

Vertikalni spektar	$a_{vg}/a_g$	$T_B$	$T_C$	$T_D$	S
Sve kategorije tla	0,9	0,05	0,15	1,0	1,0

Proračunski horizontalni i vertikalni spektar određuju se prema gore iskazanim parametrima tla i akceleracije i prema slijedećim izrazima:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

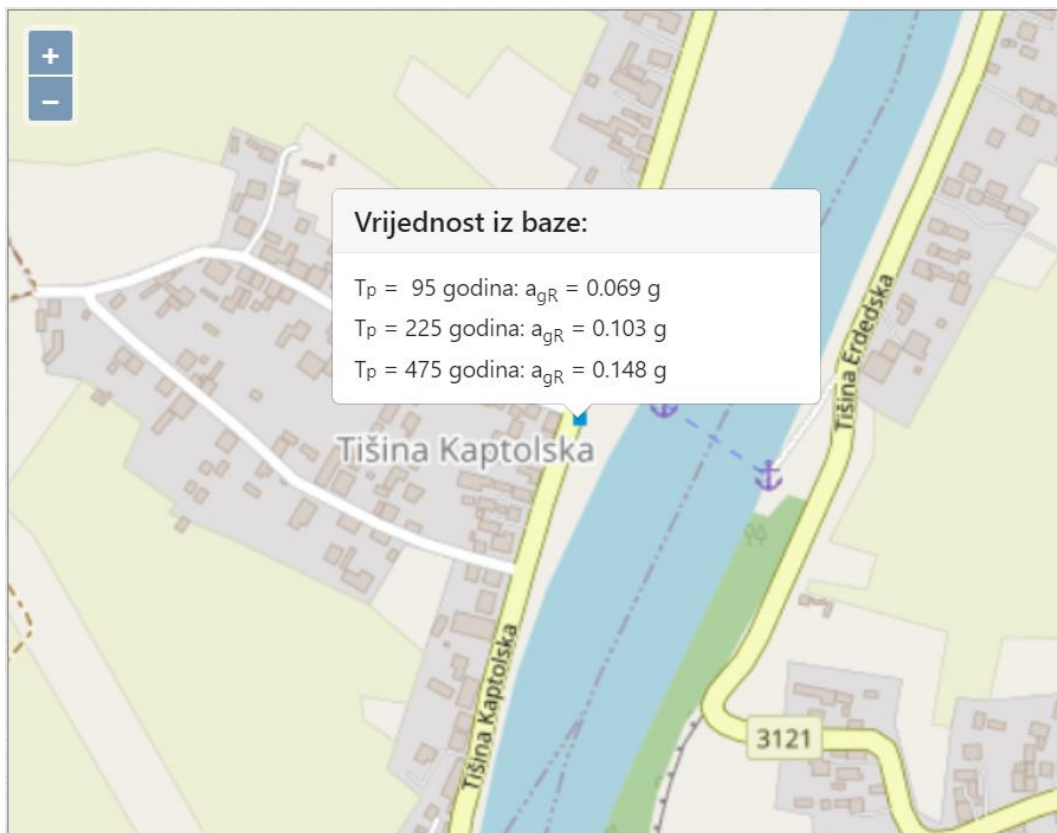
$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}, \beta = 0,2$$

Pretpostavit će se elastično ne duktilno ponašanje stupova (kratki i jaki stupovi sa velikom tlačnom silom) bez mogućnosti razvijanja plastičnih zglobova pa je u tom slučaju faktor ponašanja  $q = 1,0$ .

Prema gornjim izrazima treba tablično odrediti vrijednosti odziva  $S_d(T)$  za periode  $T < 0,4 \text{ sec}$  i grafički prikazati dijagram, i to za horizontalni i vertikalni proračunski spektar.

Most se na nalazi na lokaciji Tišina Kaptolska Tišina Erdedska → računsko ubrzanje tla  $a=0,148 \text{ g}$ , tlo kvalitete C (glina s brzinom posmičnih valova  $v_s = 180\text{--}360 \text{ m/s}$ )



Slika 35. Ubrzanje tla  $a_g$  za Tišinu Kaptolsku [6]



Slika 36. Ubrzanje tla  $a_g$  za Tišinu Erdedsku [6]

$$a_g = 0,148 \cdot 9,81 = 1,45 \frac{kN}{m}$$

Za promatrano područje u kojemu se most nalazi, odabrana je kategorija tla C za koju slijede parametri za definiciju spektra dani u tablicama iznad.

→ HORIZONTALNI ELASTIČNI SPEKTAR:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] = 1,45 \cdot 1,15 \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{0,2} \cdot \left( \frac{2,5}{1} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$= 1,68 \cdot \left[ \frac{2}{3} + 9,17 \cdot T \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 1,45 \cdot 1,15 \cdot \frac{2,5}{1} = 4,169$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} = 1,45 \cdot 1,15 \cdot \frac{2,5}{1} \cdot \frac{0,6}{T} = \frac{2,501}{T} \\ \geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 1,45 = 0,29 \end{cases}$$

$$T_D \leq T: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} = 1,45 \cdot 1,15 \cdot \frac{2,5}{1} \cdot \frac{0,6 \cdot 2,0}{T^2} = \frac{5,01}{T^2} \\ \geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 1,45 = 0,29 \end{cases}$$

Tablica 9. Prikaz elastičnog spektra

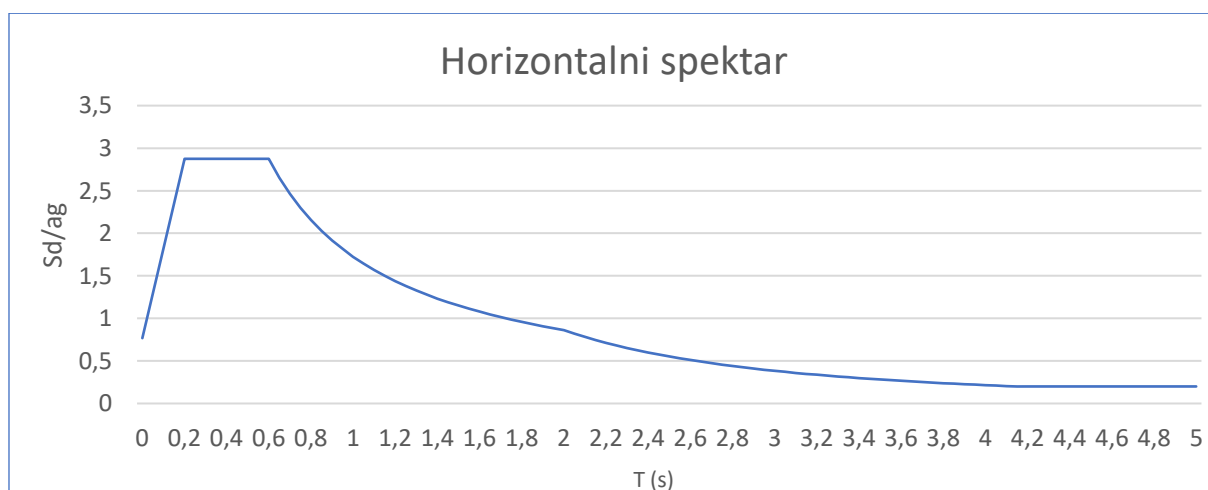
T[s]	Sd,hor	Sd,vert	Sd,hor/ag	Sd,vert/ag
0	1,11311	0,87113	0,76667	0,66667
0,05	1,87837	3,26673	1,29375	2,5
0,1	2,64363	3,26673	1,82083	2,5
0,15	3,40889	3,26673	2,34792	2,5
0,2	4,17416	2,45005	2,875	1,875
0,25	4,17416	1,96004	2,875	1,5
0,3	4,17416	1,63337	2,875	1,25
0,35	4,17416	1,40003	2,875	1,07143
0,4	4,17416	1,22502	2,875	0,9375
0,45	4,17416	1,08891	2,875	0,83333
0,5	4,17416	0,98002	2,875	0,75
0,55	4,17416	0,89093	2,875	0,68182
0,6	4,17416	0,81668	2,875	0,625
0,65	3,85307	0,75386	2,65385	0,57692
0,7	3,57785	0,70001	2,46429	0,53571
0,75	3,33932	0,65335	2,3	0,5
0,8	3,13062	0,61251	2,15625	0,46875
0,85	2,94646	0,57648	2,02941	0,44118
0,9	2,78277	0,54446	1,91667	0,41667
0,95	2,63631	0,5158	1,81579	0,39474
1	2,50449	0,49001	1,725	0,375
1,05	2,38523	0,44445	1,64286	0,34014
1,1	2,27681	0,40497	1,56818	0,30992
1,15	2,17782	0,37052	1,5	0,28355
1,2	2,08708	0,34028	1,4375	0,26042
1,25	2,00359	0,31361	1,38	0,24
1,3	1,92653	0,28995	1,32692	0,22189



1,35	1,85518	0,26887	1,27778	0,20576
1,4	1,78892	0,26134	1,23214	0,2
1,45	1,72724	0,26134	1,18966	0,2
1,5	1,66966	0,26134	1,15	0,2
1,55	1,6158	0,26134	1,1129	0,2
1,6	1,56531	0,26134	1,07813	0,2
1,65	1,51787	0,26134	1,04545	0,2
1,7	1,47323	0,26134	1,01471	0,2
1,75	1,43114	0,26134	0,98571	0,2
1,8	1,39139	0,26134	0,95833	0,2
1,85	1,35378	0,26134	0,93243	0,2
1,9	1,31815	0,26134	0,90789	0,2
1,95	1,28436	0,26134	0,88462	0,2
2	1,25225	0,26134	0,8625	0,2
2,05	1,19191	0,26134	0,82094	0,2
2,1	1,13582	0,26134	0,78231	0,2
2,15	1,08361	0,26134	0,74635	0,2
2,2	1,03491	0,26134	0,71281	0,2
2,25	0,98943	0,26134	0,68148	0,2
2,3	0,94688	0,26134	0,65217	0,2
2,35	0,90701	0,26134	0,62472	0,2
2,4	0,86962	0,26134	0,59896	0,2
2,45	0,83448	0,26134	0,57476	0,2
2,5	0,80144	0,26134	0,552	0,2
2,55	0,77032	0,26134	0,53057	0,2
2,6	0,74097	0,26134	0,51036	0,2
2,65	0,71328	0,26134	0,49128	0,2
2,7	0,6871	0,26134	0,47325	0,2
2,75	0,66235	0,26134	0,4562	0,2

2,8	0,6389	0,26134	0,44005	0,2
2,85	0,61668	0,26134	0,42475	0,2
2,9	0,5956	0,26134	0,41023	0,2
2,95	0,57558	0,26134	0,39644	0,2
3	0,55655	0,26134	0,38333	0,2
3,05	0,53846	0,26134	0,37087	0,2
3,1	0,52123	0,26134	0,359	0,2
3,15	0,50481	0,26134	0,34769	0,2
3,2	0,48916	0,26134	0,33691	0,2
3,25	0,47422	0,26134	0,32663	0,2
3,3	0,45996	0,26134	0,3168	0,2
3,35	0,44633	0,26134	0,30742	0,2
3,4	0,4333	0,26134	0,29844	0,2
3,45	0,42083	0,26134	0,28986	0,2
3,5	0,4089	0,26134	0,28163	0,2
3,55	0,39746	0,26134	0,27376	0,2
3,6	0,3865	0,26134	0,2662	0,2
3,65	0,37598	0,26134	0,25896	0,2
3,7	0,36589	0,26134	0,25201	0,2
3,75	0,35619	0,26134	0,24533	0,2
3,8	0,34688	0,26134	0,23892	0,2
3,85	0,33793	0,26134	0,23275	0,2
3,9	0,32932	0,26134	0,22682	0,2
3,95	0,32104	0,26134	0,22112	0,2
4	0,31306	0,26134	0,21563	0,2
4,05	0,30538	0,26134	0,21033	0,2
4,1	0,29798	0,26134	0,20523	0,2
4,15	0,2908	0,26134	0,20032	0,2
4,2	0,2904	0,26134	0,2	0,2

4,25	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,3	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,35	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,4	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,45	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,5	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,55	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,6	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,65	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,7	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,75	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,8	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,85	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,9	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,95	0,29038	0,26134	0,2	0,2
5	0,29038	0,26134	0,2	0,2



Slika 37. Elastični horizontalni spektar

VERTIKALNI ELASTIČNI SPKTAR:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] = 1,31 \cdot 1,0 \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{0,05} \cdot \left( \frac{2,5}{1} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$= 1,31 \cdot \left[ \frac{2}{3} + 9,17 \cdot T \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 1,31 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{1} = 3,275$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} = 1,31 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{1} \cdot \frac{0,15}{T} = \frac{0,491}{T} \\ \geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 1,31 = 0,262 \end{cases}$$

$$T_D \leq T: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} = 1,31 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{1} \cdot \frac{0,15 \cdot 1,0}{T^2} = \frac{0,491}{T^2} \\ \geq \beta \cdot a_g = 0,2 \cdot 1,31 = 0,262 \end{cases}$$

Tablica 10. prikaz elastičnog spektra

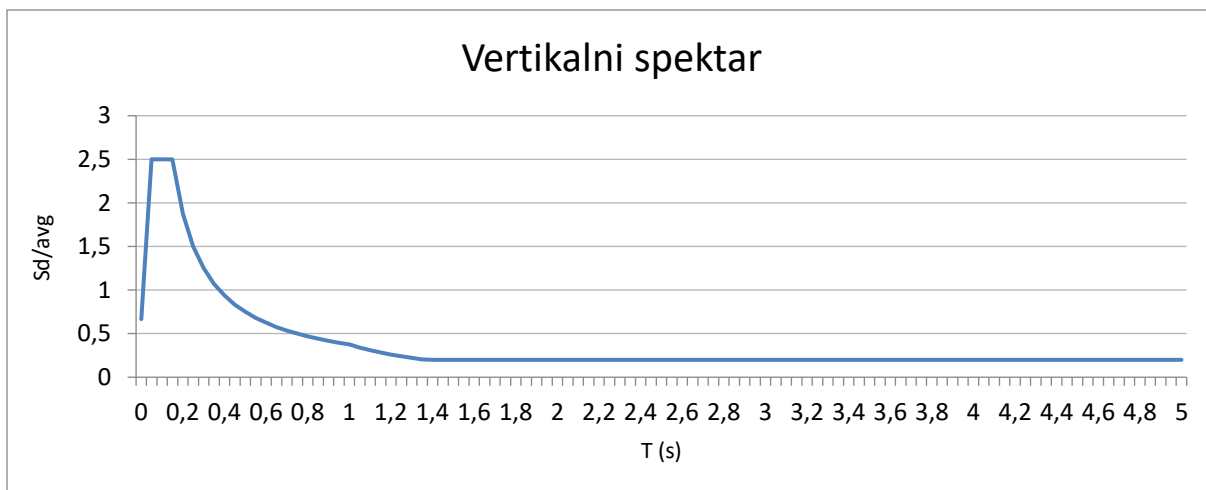
T[s]	Sd,hor	Sd,vert	Sd,hor/ag	Sd,vert/ag
0	1,11311	0,87113	0,76667	0,66667
0,05	1,87837	3,26673	1,29375	2,5
0,1	2,64363	3,26673	1,82083	2,5
0,15	3,40889	3,26673	2,34792	2,5
0,2	4,17416	2,45005	2,875	1,875
0,25	4,17416	1,96004	2,875	1,5
0,3	4,17416	1,63337	2,875	1,25
0,35	4,17416	1,40003	2,875	1,07143
0,4	4,17416	1,22502	2,875	0,9375
0,45	4,17416	1,08891	2,875	0,83333
0,5	4,17416	0,98002	2,875	0,75
0,55	4,17416	0,89093	2,875	0,68182
0,6	4,17416	0,81668	2,875	0,625
0,65	3,85307	0,75386	2,65385	0,57692
0,7	3,57785	0,70001	2,46429	0,53571
0,75	3,33932	0,65335	2,3	0,5
0,8	3,13062	0,61251	2,15625	0,46875
0,85	2,94646	0,57648	2,02941	0,44118

0,9	2,78277	0,54446	1,91667	0,41667
0,95	2,63631	0,5158	1,81579	0,39474
1	2,50449	0,49001	1,725	0,375
1,05	2,38523	0,44445	1,64286	0,34014
1,1	2,27681	0,40497	1,56818	0,30992
1,15	2,17782	0,37052	1,5	0,28355
1,2	2,08708	0,34028	1,4375	0,26042
1,25	2,00359	0,31361	1,38	0,24
1,3	1,92653	0,28995	1,32692	0,22189
1,35	1,85518	0,26887	1,27778	0,20576
1,4	1,78892	0,26134	1,23214	0,2
1,45	1,72724	0,26134	1,18966	0,2
1,5	1,66966	0,26134	1,15	0,2
1,55	1,6158	0,26134	1,1129	0,2
1,6	1,56531	0,26134	1,07813	0,2
1,65	1,51787	0,26134	1,04545	0,2
1,7	1,47323	0,26134	1,01471	0,2
1,75	1,43114	0,26134	0,98571	0,2
1,8	1,39139	0,26134	0,95833	0,2
1,85	1,35378	0,26134	0,93243	0,2
1,9	1,31815	0,26134	0,90789	0,2
1,95	1,28436	0,26134	0,88462	0,2
2	1,25225	0,26134	0,8625	0,2
2,05	1,19191	0,26134	0,82094	0,2
2,1	1,13582	0,26134	0,78231	0,2
2,15	1,08361	0,26134	0,74635	0,2
2,2	1,03491	0,26134	0,71281	0,2
2,25	0,98943	0,26134	0,68148	0,2
2,3	0,94688	0,26134	0,65217	0,2

2,35	0,90701	0,26134	0,62472	0,2
2,4	0,86962	0,26134	0,59896	0,2
2,45	0,83448	0,26134	0,57476	0,2
2,5	0,80144	0,26134	0,552	0,2
2,55	0,77032	0,26134	0,53057	0,2
2,6	0,74097	0,26134	0,51036	0,2
2,65	0,71328	0,26134	0,49128	0,2
2,7	0,6871	0,26134	0,47325	0,2
2,75	0,66235	0,26134	0,4562	0,2
2,8	0,6389	0,26134	0,44005	0,2
2,85	0,61668	0,26134	0,42475	0,2
2,9	0,5956	0,26134	0,41023	0,2
2,95	0,57558	0,26134	0,39644	0,2
3	0,55655	0,26134	0,38333	0,2
3,05	0,53846	0,26134	0,37087	0,2
3,1	0,52123	0,26134	0,359	0,2
3,15	0,50481	0,26134	0,34769	0,2
3,2	0,48916	0,26134	0,33691	0,2
3,25	0,47422	0,26134	0,32663	0,2
3,3	0,45996	0,26134	0,3168	0,2
3,35	0,44633	0,26134	0,30742	0,2
3,4	0,4333	0,26134	0,29844	0,2
3,45	0,42083	0,26134	0,28986	0,2
3,5	0,4089	0,26134	0,28163	0,2
3,55	0,39746	0,26134	0,27376	0,2
3,6	0,3865	0,26134	0,2662	0,2
3,65	0,37598	0,26134	0,25896	0,2
3,7	0,36589	0,26134	0,25201	0,2
3,75	0,35619	0,26134	0,24533	0,2



3,8	0,34688	0,26134	0,23892	0,2
3,85	0,33793	0,26134	0,23275	0,2
3,9	0,32932	0,26134	0,22682	0,2
3,95	0,32104	0,26134	0,22112	0,2
4	0,31306	0,26134	0,21563	0,2
4,05	0,30538	0,26134	0,21033	0,2
4,1	0,29798	0,26134	0,20523	0,2
4,15	0,2908	0,26134	0,20032	0,2
4,2	0,2904	0,26134	0,2	0,2
4,25	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,3	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,35	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,4	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,45	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,5	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,55	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,6	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,65	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,7	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,75	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,8	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,85	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,9	0,29038	0,26134	0,2	0,2
4,95	0,29038	0,26134	0,2	0,2
5	0,29038	0,26134	0,2	0,2



Slika 38. Elastični vertikalni sprektar

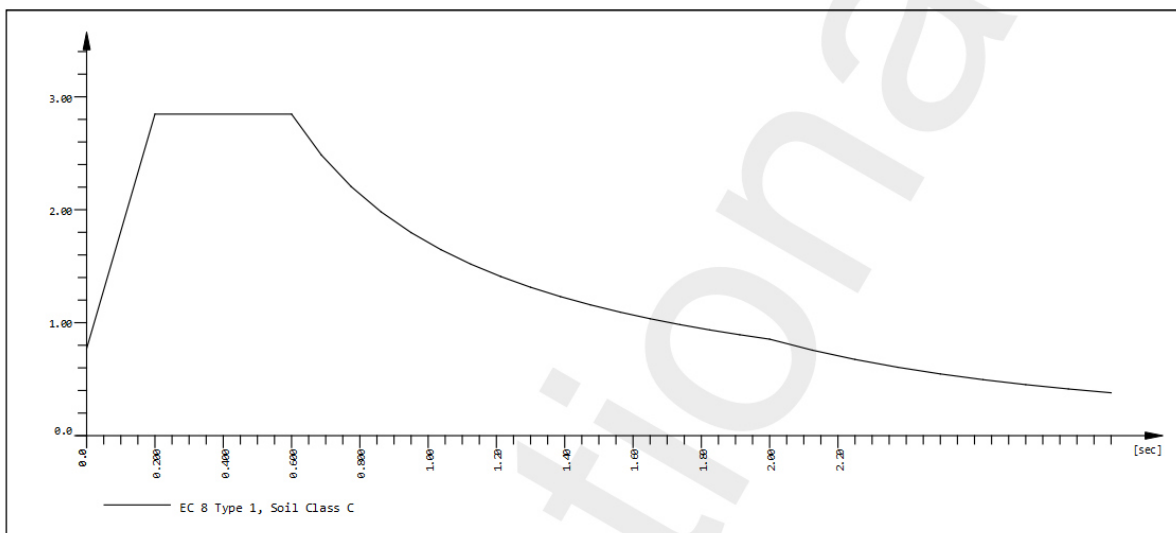
U nastavku se dolaze podaci o spektru (dijagrami spektra iz Report Browsera) , masi sustava, tonovima osciliranja i aktiviranoj masi (pdf export tekstualnog dijela izlaza iz Report Browsera)

**Load Case 901**

Factor forces and moments 1.000

**Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class C**

D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] TB[sec] TC[sec] TD[sec] TE[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec2]  
 1.0100 0.771 2.847 0.200 0.200 0.600 2.000 0.000 1.000 2.000 1.45  
 Zone = ah =\* 1.000 av =\* 0.000



**Loads acting on Nodes**

Node	A-X [m/sec2]	A-Y [m/sec2]	A-Z [m/sec2]	A-XX [1/sec2]	A-YY [1/sec2]	A-ZZ [1/sec2]	ref-X [m]	ref-Y [m]	ref-Z [m]
Origin	1.45						0.000	0.000	0.000
Node	PX[kN]	PY[kN]	PZ[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]	MB[kNm2]		
sum	-784.4				-0.02	0.00	79.800	0.003	6.327

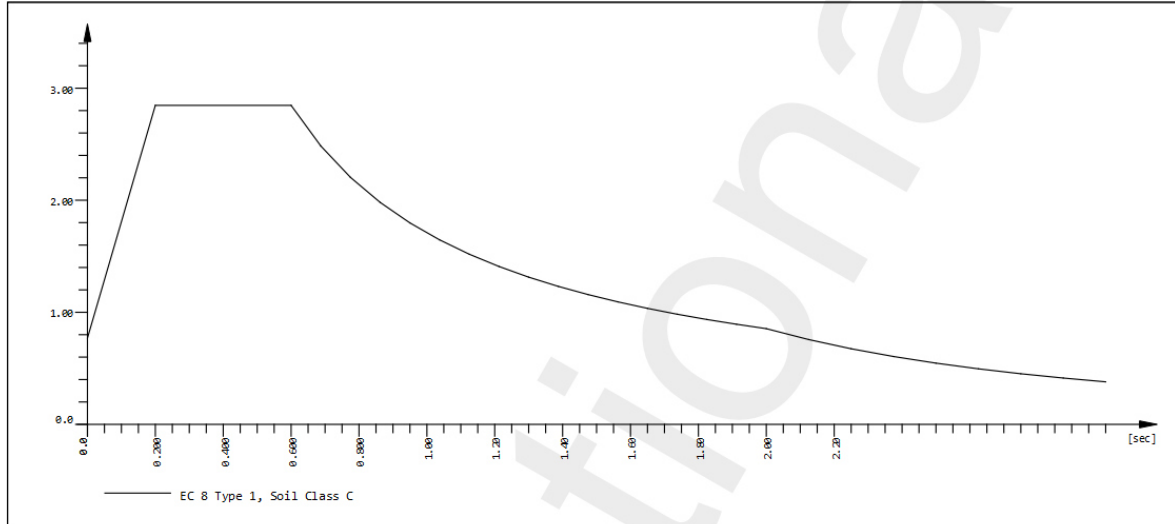
Slika 39. Spektar za x-smjer

**Load Case 904**

Factor forces and moments 1.000

**Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class C**

D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] TB[sec] TC[sec] TD[sec] TE[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec<sup>2</sup>]  
 1.0100 0.771 2.847 0.200 0.200 0.600 2.000 0.000 1.000 2.000 1.45  
 Zone = ah =\* 1.000 av =\* 0.000



**Loads acting on Nodes**

Node	A-X [m/sec <sup>2</sup> ]	A-Y [m/sec <sup>2</sup> ]	A-Z [m/sec <sup>2</sup> ]	A-XX [1/sec <sup>2</sup> ]	A-YY [1/sec <sup>2</sup> ]	A-ZZ [1/sec <sup>2</sup> ]	ref-X [m]	ref-Y [m]	ref-Z [m]
Origin		1.45					0.000	0.000	0.000
Node	PX[kN]	PY[kN]	PZ[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]	MB[kNm <sup>2</sup> ]		
sum		-784.4		0.02		-0.21	79.800	0.003	6.327

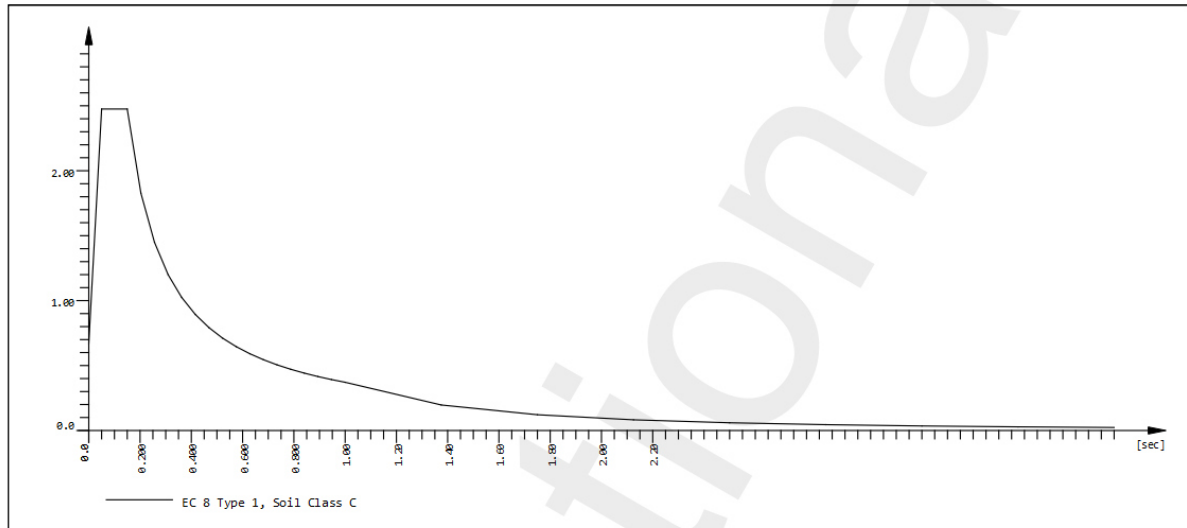
Slika 40. Spektar za y-smjer

**Load Case 909**

Factor forces and moments 1.000

**Response spectra EC 8 Type 1, Soil Class C**

D[-] SA[-] SB[-] MIN[-] TB[sec] TC[sec] TD[sec] TE[sec] K1[-] K2[-] A[m/sec<sup>2</sup>]  
 1.0100 0.670 2.475 0.000 0.050 0.150 1.000 4.000 1.000 2.000 1.45  
 Zone = ah =\* 0.000 av =\* 1.000



**Loads acting on Nodes**

Node	A-X [m/sec <sup>2</sup> ]	A-Y [m/sec <sup>2</sup> ]	A-Z [m/sec <sup>2</sup> ]	A-XX [1/sec <sup>2</sup> ]	A-YY [1/sec <sup>2</sup> ]	A-ZZ [1/sec <sup>2</sup> ]	ref-X [m]	ref-Y [m]	ref-Z [m]
Origin			1.45				0.000	0.000	0.000
Node	PX[kN]	PY[kN]	PZ[kN]	MX[kNm]	MY[kNm]	MZ[kNm]	MB[kNm <sup>2</sup> ]		
sum			-784.4	0.00	0.21		79.800	0.003	6.327

Slika 41. Spektar za z-smjer

NAPOMENA: Grafički prikaz spektra iskazan je podijeljen sa ag.

Prikaz prvih 6 vlastitih oblika titranja konstrukcije (animator LC 701-706):

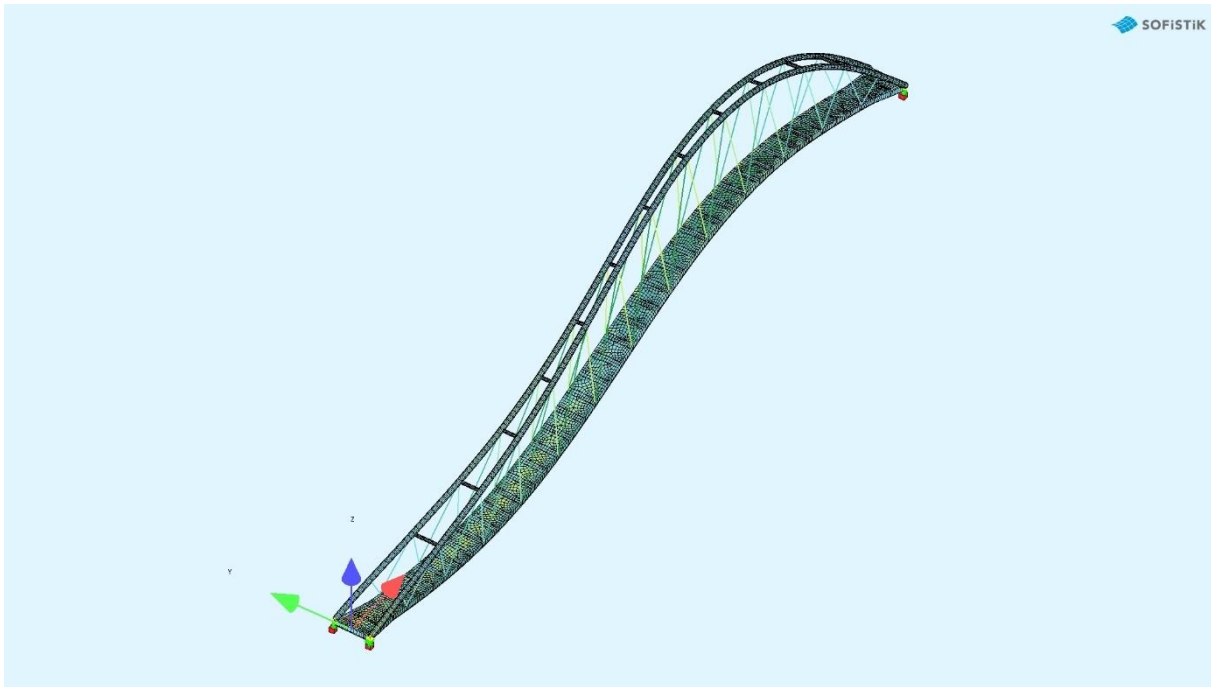
### 3.1.8.1. Prikaz prvih 6 vlastitih oblika titranja konstrukcije (animator LC 701-706)



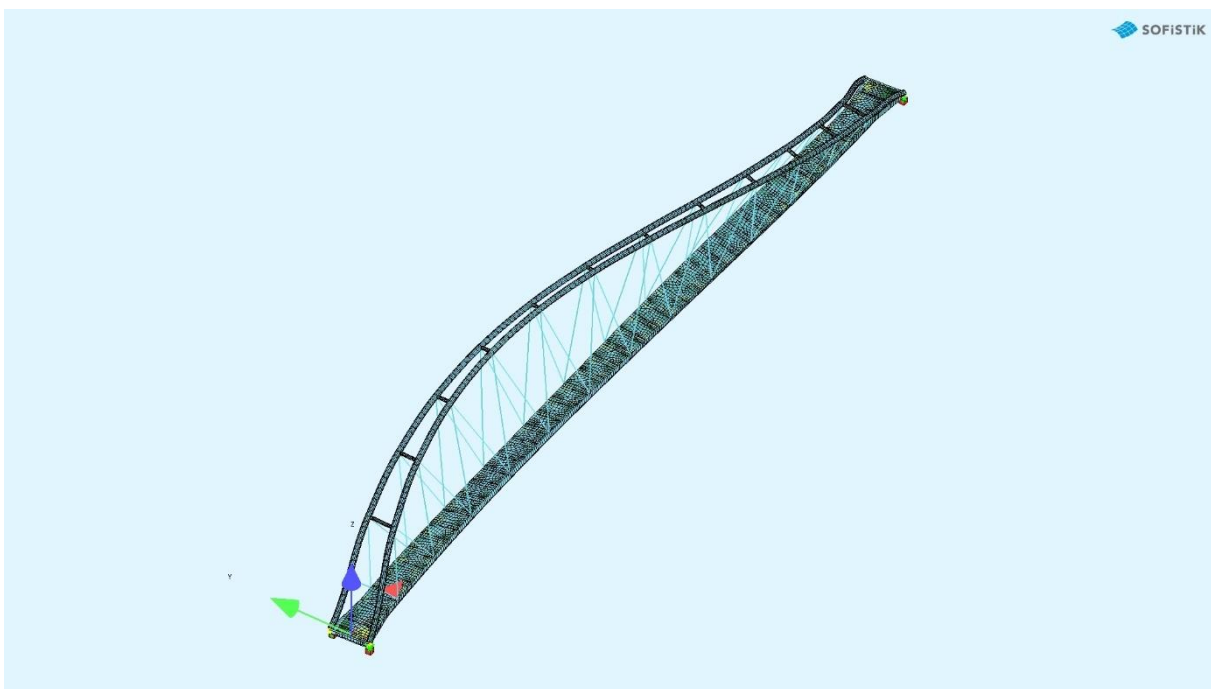
Slika 42. Prvi mod izvijanja; vlastita frekvencija za prvi mod:  $f = 0,34$  Hz, period za prvi mod:  $T = 2,94$  s



Slika 43. Drugi mod izvijanja; vlastita frekvencija za drugi mod:  $f = 0,82$  Hz, period za drugi mod:  $T = 1,22$  s



Slika 44. Treći mod izvijanja; vlastita frekvencija za treći mod:  $f = 0,98$  Hz, period za treći mod:  $T = 1,02$  s

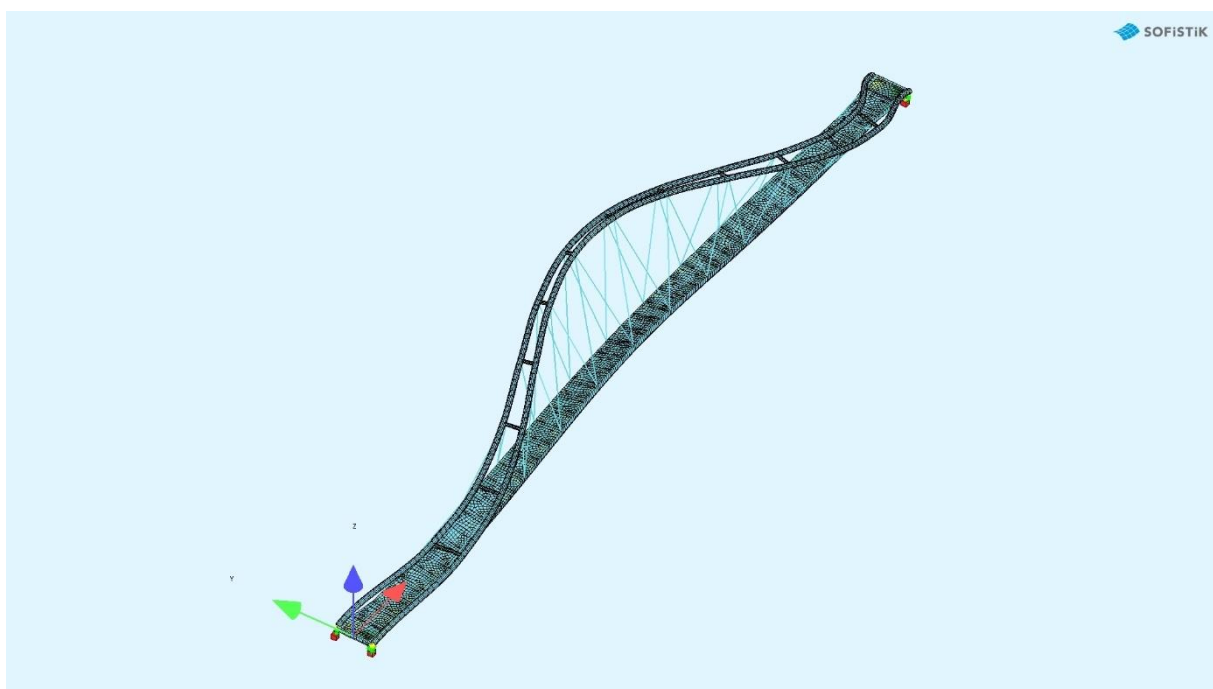


Slika 45. Četvrti mod izvijanja; vlastita frekvencija za četvrti mod:  $f = 1,06$  Hz, period za prvi mod:  $T = 0,94$  s





Slika 46. Peti mod izvijanja; vlastita frekvencija za peti mod:  $f = 1,31$  Hz, period za peti mod:  $T = 0,76$  s



Slika 47. Šesti mod izvijanja; vlastita frekvencija za šesti mod:  $f = 1,81$  Hz, period za šesti mod:  $T = 0,55$  s

Aktivirana masa pri potresu iznosi:

- BS x smjer: 98,66%
- BS z smjer: 94,12%
- BS z smjer: 93,45%

## 3.2. Statički model za globalni proračun

### 3.2.1. Presjeci i sudjelujuće širine

Sudjelujuća širina se definira sljedećim izrazom:

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0$$

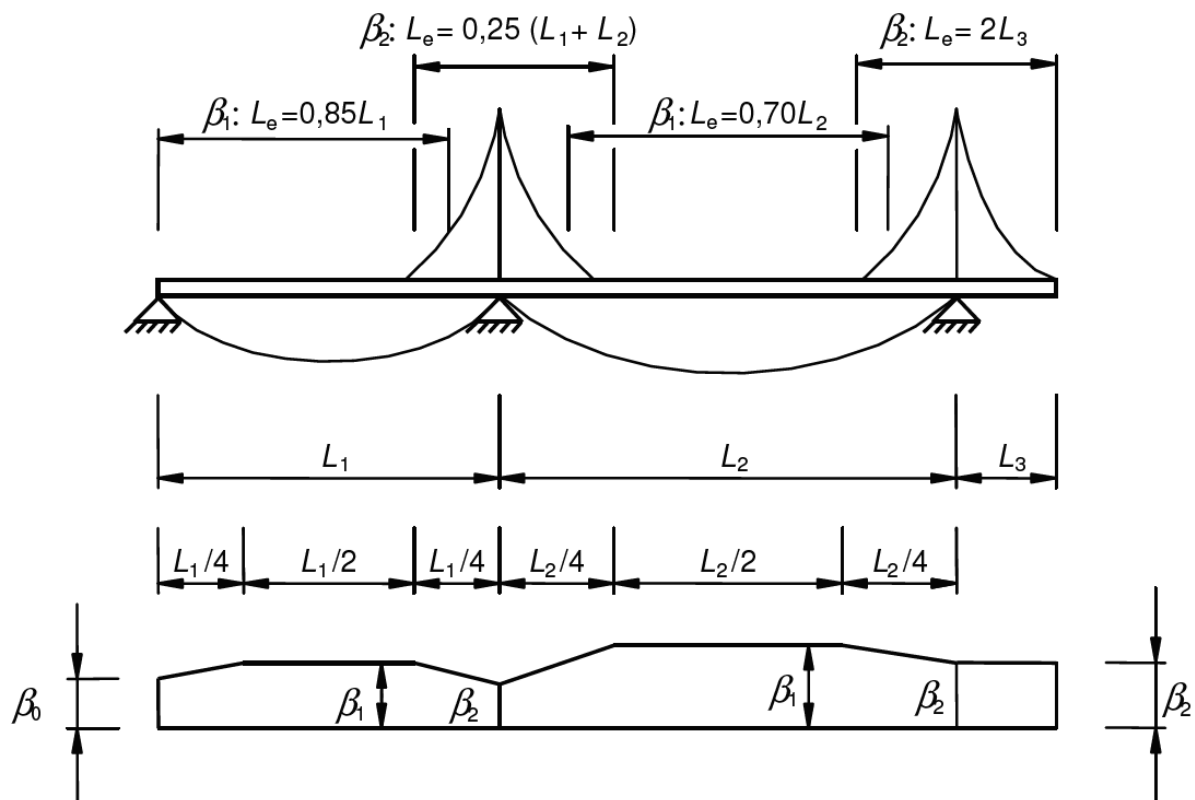
Koeficijent redukcije  $\beta$  definiran je u tablici sa sljedećim ulaznim vrijednostima za K:

$$K = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e$$

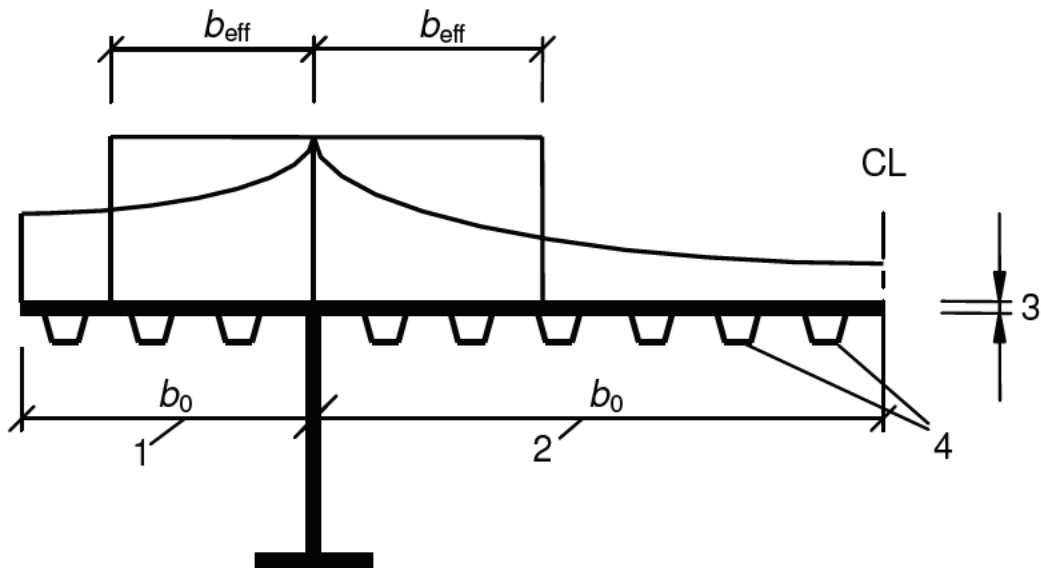
$$\alpha_0 = \sqrt{(1 + A_{s1}/b_0 \cdot t)}$$

$A_{s1}$  = površina svih ukruta na širini  $b_0$

Ostali simboli iskazani su na slici. Ako su svi rasponi manji od susjednog raspona i ako se konzole kraće od polovine susjednog polja, efektivna duljina  $L_e$  može se usvojiti prema slici. Za ostale slučajeve  $L_e$  se izračunava kao udaljenost između nul-točaka momentnog dijagrama.



Slika 48. Efektivna duljina  $L_e$  za kontinuirane nosače i raspodjela sudjelujuće širine [7]

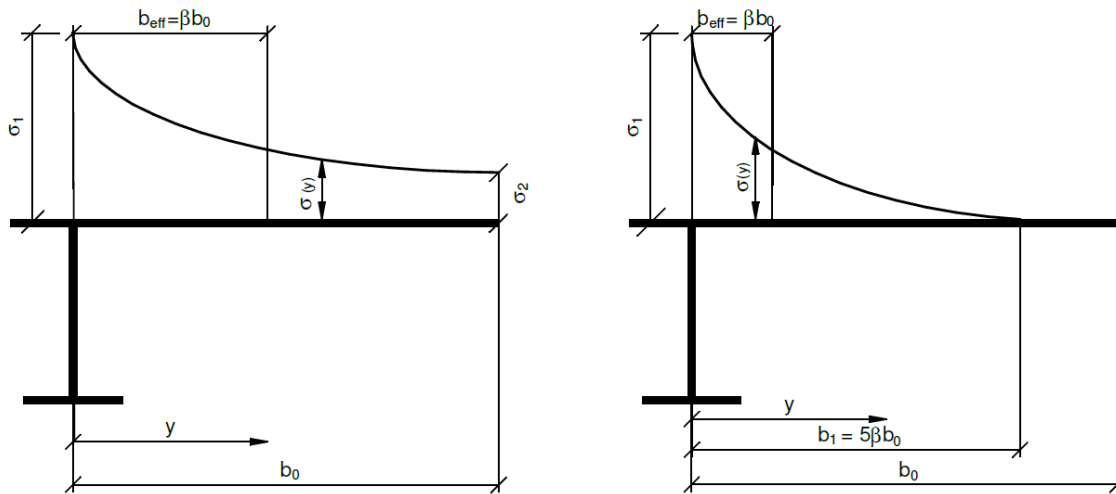


Slika 49. Sudjelujuća širina nosača [7]

Tablica 11. Koeficijent redukcije  $\beta$  za sudjelujuću širinu [7]

$\kappa$	Mjesto dokaza	Vrijednost $\beta$
$\leq 0,02$		$\beta = 1,0$
0,02 – 0,70	Moment u polju	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2}$
	Moment na ležaju	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{1 + 6,0 \left( \kappa - \frac{1}{2500\kappa} \right) + 1,6\kappa^2}$
$> 0,7$	Moment u polju	$\beta = \beta_1 = \frac{1}{5,9\kappa}$
	Moment na ležaju	$\beta = \beta_2 = \frac{1}{8,6\kappa}$
svi $\kappa$	Krajnji ležaj	$\beta_0 = (0,55 + 0,025/\kappa) \beta_1$ , ali $\beta_0 < \beta_1$
svi $\kappa$	Konzola	$\beta = \beta_2$ na ležaju, $\beta_2$ na kraju

Raspodjela normalnih naprezanja po širini ploče uz uzimanje u obzir posmičnih deformacija definirana je na slici.



Slika 50. Raspodjela normalnih naprezanja po širini ploče [7]

$$\beta > 0,20$$

$$\sigma_2 = 1,25 \cdot (\beta - 0,20) \cdot \sigma_1$$

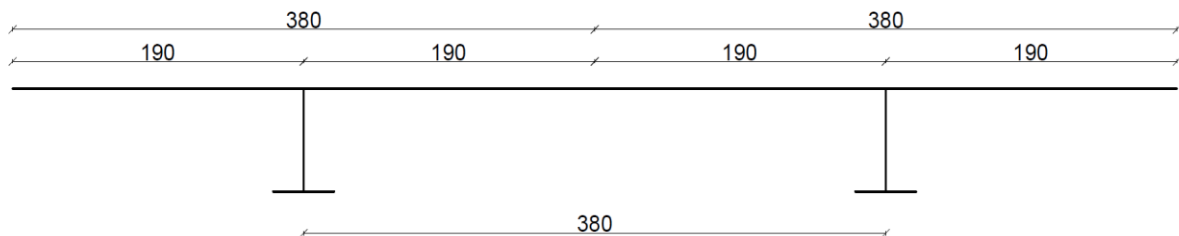
$$\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot (1 - y/b_0)^4$$

$$\beta > 0,20$$

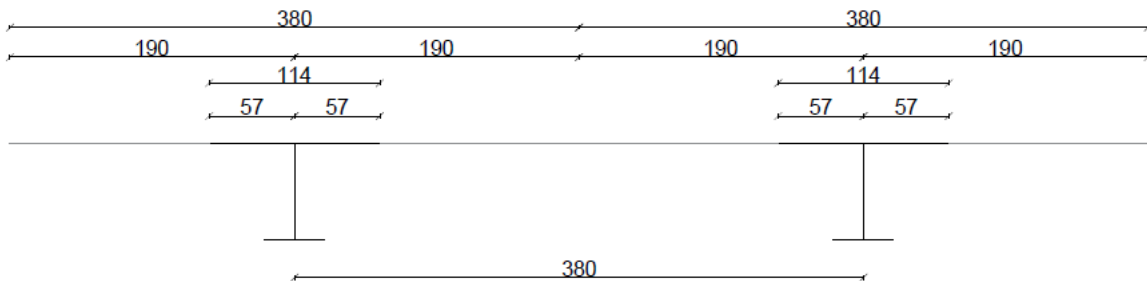
$$\sigma_2 = 1,25 \cdot (\beta - 0,20) \cdot \sigma_1$$

$$\sigma(y) = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot (1 - y/b_0)^4$$

### 3.2.2. Određivanje sudjelujuće širine poprečnog nosača



Slika 51. Poprečni presjek poprečnog nosača



Slika 52. Poprečni presjek poprečnog nosača sa efektivnim širinama

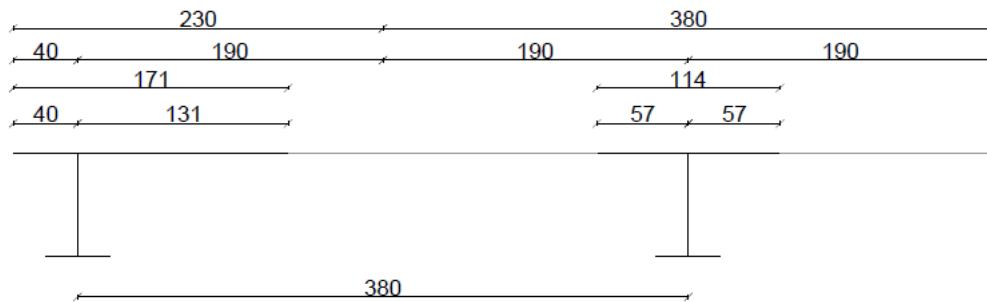
Razmak poprečnih nosača 3,8 m  $\rightarrow b_0=1,9$  m

- Polje

$$K = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e = 1,0 \cdot 1,9 / 5,2 = 0,365$$

$$\beta = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot K^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,365^2} = 0,30$$

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0 = 0,30 \cdot 1,90 = 0,57 \text{ m}$$



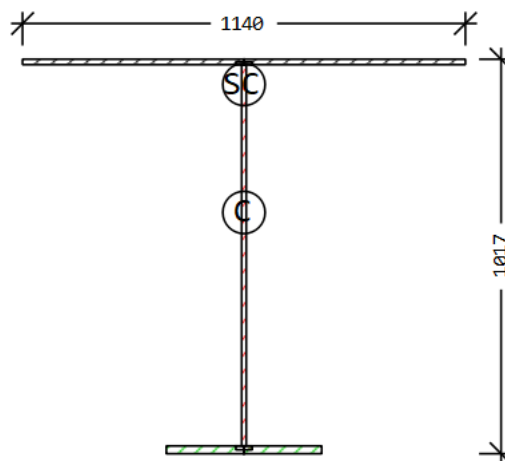
Slika 53. Poprečni presjek poprečnog nosača nad upornjakom sa sudjelujućim širinama

- Upornjak

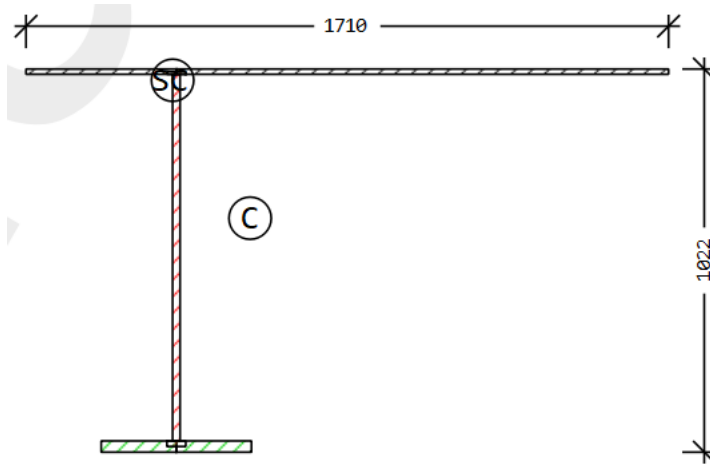
$$K = \alpha_0 \cdot b_0 / L_e = 1,0 \cdot 1,9 / 7,2 = 0,264$$

$$\beta = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot K^2} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot 0,264^2} = 0,69$$

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0 = 0,69 \cdot 1,90 = 1,31 \text{ m}$$



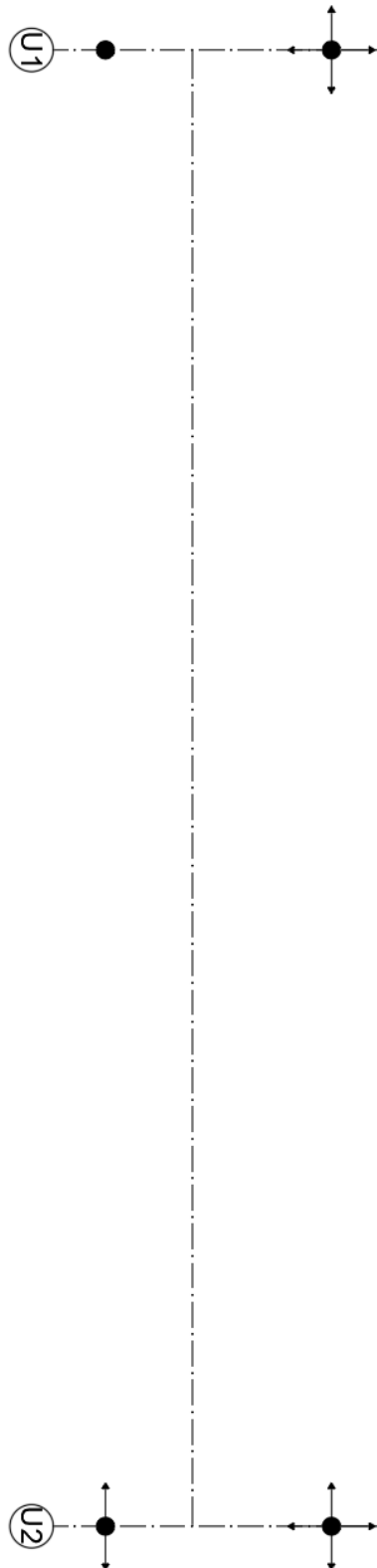
Slika 54. Poprečni presjek poprečnog nosača u polju



Slika 55. Poprečni presjek poprečnog nosača na upornjaku



### 3.3. Dispozicija ležajeva



Slika 56. Dispozicija ležajeva

## 4. IZRADA MODELA

### 4.1. Opis rada u softwareu

Modeliranja mosta zadanog projektnim zadatkom obavlja se putem programskog paketa SOFiSTiK 2024. Izrada modela započinje u SOFiPLUS-u, a vizualizacija i zadavanje dodatnih opterećenja, kao što su temperaturno opterećenje ili potresno opterećenje, u SSD-u.

Prikaz zadanih opterećenja, reznih sila i deformacija unutar modela omogućen je SOFiSTiK Graphicom ili WinGrafom.

Programski paket modeliranja dijeli na dijelove koji definiraju različite aspekte konstrukcije koji se nazivaju modulima.

Norme korištene za proračun i modeliranje su:

- HRN EN 1990                      osnove proračuna
- HRN EN 1991-1-4               vjetrovno opterećenje
- HRN EN 1991-1-5               temperaturno opterećenje
- HRN EN 1991-2                 mostovi
- HRN EN 1993-1-5               pravila za pločaste čelične elemente
- HRN EN 1998-2                 pravila za mostove izložene potresu

Materijali korišteni u modelu:

Materials	
Mat	Classification
1	Gornji pojas S 355 (EN 1993)
2	Hrbat S 355 (EN 1993)
3	Donji pojas S 355 (EN 1993)
4	Ploča S 355 (EN 1993)
5	Luk S 355 (EN 1993)
6	Prečke luka S 355 (EN 1993)
7	Vješaljke Y 1770 A (EN 1992)
8	Veza čelik - čelik S 355 (EN 1993)

Slika 57. Materijali korišteni u modelu

Pri zadavanju materijala važno je voditi računa o vrsti materijala koja se koristi za određeni element, podjeli materijala prema dijelu elementa na koji se ugrađuje i o specifičnoj težini materijala.

Pregled mehaničkih svojstava i geometrije poprečnih presjeka elemenata modela, popis i svojstva materijala i ostalih informacija vezanih uz model prikazuje se putem SOFiSTiK Reportsa.

## 4.2. Vrsta modela

Cijeli model se modelira kao roštiljni sustav sastavljen od štapnih BEAM i pločnih QUAD elemenata. Štapni se elementi postavljaju tako da tvore roštilji sustav, a zatim se na njih postavljaju plošni elementi preko kojih se ostvaruje prijenos i raspodjela opterećenja na štapne elemente.

Prvo se postavljaju glavni nosači na vanjske osi model, zatim poprečni nosači na razmaku 3,8 metara i na njih kolnička ploča debljine 14 milimetara zadana kao AREA ELEMENT.

Zbog pojednostavljenja, između glavnih nosača je postavljena ortotropna ploča koja ima ulogu gornjeg pojasa glavnih nosača i kolničke ploče. Ploča se zadaje sa specifičnom vlastitom težinom 0 i opterećenje od ortotropne ploče se zadaje ručno u SOFiPLUSU, dobivenim rezultatima putem proračuna.

Ortotropna ploča ima različite krutosti u uzdužnom i poprečnom smjeru zbog zatvorenih rebara u uzdužnom smjeru. Razlika krutosti u uzdužnom i poprečnom smjeru se u modelu ostvaruje proračunom i zadavanjem fiktivnih debljina ploče u lokalnom sustavu.

U statičkom smislu most je modeliran kao luk s preuzetim potiskom.

## 4.3. Vrste poprečnih presjeka

Poprečni presjeci elemenata zadaju se u SOFiPLUSU.

Glavni i poprečni nosači su definirani kao tankostijeni nosači. Povezivanje gornjeg pojasa, hrpta i donjeg pojasa ostvareno je varenjem čeličnih limova i modelirano je naredbom WELD.

Glavni nosači su pojednostavljeni i modelirani su tako da imaju istu visinu kao i poprečni nosač. Gornji pojas nije definiran u poprečnom presjeku nego je zamijenjen ortotropnom pločom koja se zadaje naknadno. Hrbat je debljine 12 mm i visine 980 mm, a donji pojas visine 40 mm i širine 500 mm. Glavni nosači ostaju nepromijenjeni duž cijelog raspona mosta.

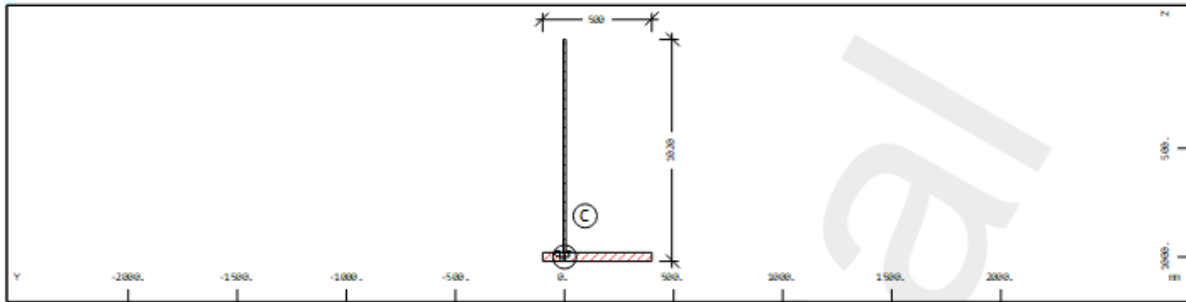
Poprečni nosači se imaju različite geometrijske karakteristike i mehanička svojstva ovisno o tome nalaze li se u polju ili nad upornjakom. Nosač u polju je manjih mehaničkih svojstava s obzirom na dimenzije, gornji pojas je širine 1140 mm i visine 14 mm, hrbat debljine 12 mm i visine 983 mm i donji pojas širine 400 mm i visine 20 mm. Nosač nad upornjakom je većih mehaničkih i geometrijskih karakteristika, gornji pojas je širine 1710 mm i visine 14 mm, hrbat debljine 16 mm i visine 983 mm i donji pojas širine 400 mm i visine 30 mm.

Sanduk luka modeliran je kao čelični cijevni profil dimenzija  $\phi 1000/20$  mm.

Prečke luka su također modelirane kao čelični cijevni profili dimenzija  $\phi 600/20$  mm.

Vješaljke su modelirane kao CABLE elementi dimenzije  $\phi 30$  mm.

Cross section No. 1 - Glavni nosač lijevi



Cross section No. 1 - Glavni nosač lijevi

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
2	3.1760E-02	1.461E-02	2.867E-03	94.5	0.0	210000	249.3	3.000E-03
	1.123E-05	1.065E-02	5.833E-04	811.2	1000.0	80769	(BEAM)	4.505E-04
			5.665E-04					-13.19

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
MRf reinforcement material number  
It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-194.5	-811.2	252.5	1.600E-02		3.562E+03	7.632E+01
	305.5	208.8	586.9				1.117E+02

α-T[1/K] Elongation coefficient  
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
hymin[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
MRs transverse reinforcements material number  
1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Section values for warping

Wmin[m <sup>2</sup> ]	Wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
0.0000	0.0000	1.881E-11	0.000	1.420E-08	6.978E-08	15.9	-763.1

Wmin[m<sup>2</sup>],Wmax[m<sup>2</sup>] unit warping  
CM[m<sup>6</sup>] warping resistance  
CMS[m<sup>4</sup>] warping shear resistance  
ASwyy[m<sup>6</sup>],ASwzz[m<sup>6</sup>] warping sectional value  
ry[mm],rz[mm] sectional distance

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
2	1.1760E-02	1.438E-03	9.412E-04	0.0	210000	92.3	
	5.645E-07	1.057E-02	0.000E+00	490.0	80769		
3	2.0000E-02	1.317E-02	0.000E+00	150.0	210000	157.0	4.167E-04
	1.067E-05	8.406E-05	4.167E-04	1000.0	80769		0.000E+00
			-4.337E-19				90.00

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
g[kg/m] mass per length  
I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes

Design values of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
2 <sup>1</sup>	2.8873E-02	1.328E-02	2.607E-03	94.5	190909	249.3	2.727E-03
	1.021E-05	9.682E-03	5.303E-04	811.2	73426		4.095E-04
			5.150E-04				-13.19

<sup>1</sup> Material safety γ-M, Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ],I-2[m <sup>4</sup> ],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus

Design forces and moments

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
P <sup>1,2</sup>	11274.8	4099.19	2582.49	100.06		0.00	2175.60	1206.99	5.9	988.2	-, b, c
P <sup>1,2</sup>	4363.7						2802.99	0.00	0.0	811.2	COMB <sup>3</sup>
P <sup>1,2</sup>	2597.4						0.00	1325.65	94.5	0.0	COMB <sup>3</sup>
E <sup>4</sup>	11274.8	2685.54	1835.22	57.55		0.27	1143.41	623.84	94.5	811.2	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety γ-M0 for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	warping moment
Vy[kN],Vz[kN]	shear force	My[kNm],Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm],z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

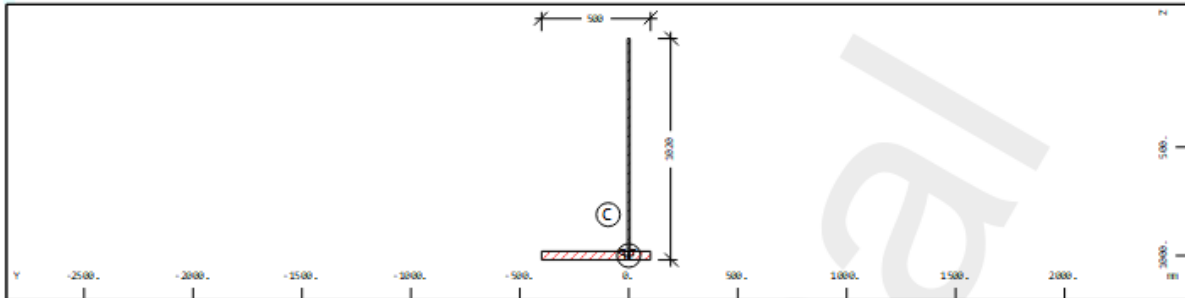
Additional design data

Mat	periphery-0/-I [m <sup>2</sup> /m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-y [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-z [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-yz [kgm <sup>2</sup> /m]	yg [mm]	zg [mm]
	2.960		12.0	40.0	27.088	22.509	4.579	4.447	94.5	811.2
2	1.960	12.0	12.0	12.0	7.388	7.388			0.0	490.0
3	1.000	40.0	40.0	40.0	3.271		3.271	0.000	150.0	1000.0

Mat	material number	t-min,t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg,zg	ordinate of the mass centre

Slika 58. Poprečni presjek lijevog glavnog nosača s karakteristikama presjeka

Cross section No. 2 - Glavni nosač desni



Cross section No. 2 - Glavni nosač desni

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]	(BEAM)	I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
2	3.1760E-02	1.461E-02	2.867E-03	-94.5	0.0	210000	249.3	3.000E-03
	1.123E-05	1.065E-02	5.833E-04	811.2	1000.0	80769		4.505E-04
			-5.665E-04					13.19

Mat	material number	yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area	ysc[mm],zsc[mm]	ordinate of shear centre
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area	E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia	g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ],I-2[m <sup>4</sup> ],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes		
MRf	reinforcement material number		
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia		
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus		

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-305.5	-811.2	252.5	1.600E-02		3.562E+03	7.632E+01
	194.5	208.8	586.9				1.117E+02

α-T[1/K]	Elongation coefficient
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm]	extreme coordinates relative to centroid
hymin[mm],hzmin[mm]	minimum value for internal lever
AK[m <sup>2</sup> ]	torsional equivalent area (Bredt)
MRs	transverse reinforcements material number
1/WT[1/m <sup>3</sup> ],1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	torsional resistance
1/WVy[1/m <sup>2</sup> ],1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]	shear force resistance
AB[m <sup>2</sup> ]	gross concrete area

Section values for warping

wmin[m <sup>2</sup> ]	wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
-0.0000	-0.0000	1.881E-11	0.000	-1.420E-08	-6.979E-08	-15.9	-763.1

wmin[m <sup>2</sup> ],wmax[m <sup>2</sup> ]	unit warping	ASwyy[m <sup>6</sup> ],ASwzz[m <sup>6</sup> ]	warping sectional value
CM[m <sup>6</sup> ]	warping resistance	ry[mm],rz[mm]	sectional distance
CMS[m <sup>4</sup> ]	warping shear resistance		

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
2	1.1760E-02	1.438E-03	9.412E-04	0.0	210000	92.3	
	5.645E-07	1.057E-02	0.000E+00	490.0	80769		
3	2.0000E-02	1.317E-02	0.000E+00	-150.0	210000	157.0	4.167E-04
	1.067E-05	8.406E-05	4.167E-04	1000.0	80769		0.000E+00
			4.337E-19				-90.00

Mat	material number
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ],I-2[m <sup>4</sup> ],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes

**Design values of cross section**

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
2 <sup>1</sup>	2.8873E-02	1.328E-02	2.607E-03	-94.5	190909	249.3	2.727E-03
	1.021E-05	9.682E-03	5.303E-04	811.2	73426		4.095E-04
			-5.150E-04				13.19

<sup>1</sup> Material safety γ-M, Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ],I-2[m <sup>4</sup> ],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus

**Design forces and moments**

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
P <sup>1,2</sup>	11274.8	4099.19	2582.49	100.06		0.00	2175.60	1206.99	-5.9	988.2	-, b, c
P <sup>1,2</sup>	4363.7						2802.99	0.00	0.0	811.2	COMB <sup>3</sup>
P <sup>1,2</sup>	-2597.4						0.00	1325.65	-94.5	0.0	COMB <sup>3</sup>
E <sup>4</sup>	11274.8	2685.54	1835.23	57.55		0.27	1143.40	623.84	-94.5	811.2	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety γ-M0 for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	warping moment
Vy[kN],Vz[kN]	shear force	My[kNm],Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm],z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

**Additional design data**

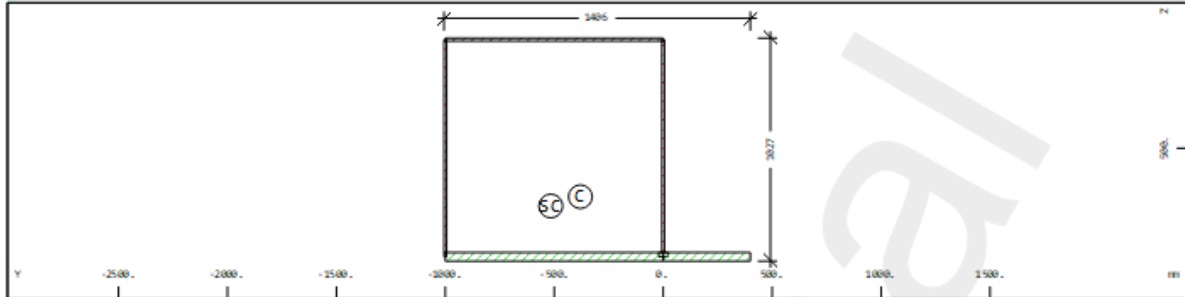
Mat	periphery-0/-I [m <sup>2</sup> /m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-y [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-z [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-yz [kgm <sup>2</sup> /m]	yg [mm]	zg [mm]
	2.960		12.0	40.0	27.088	22.509	4.579	-4.447	-94.5	811.2
2	1.960	12.0	12.0	12.0	7.388	7.388			0.0	490.0
3	1.000	40.0	40.0	40.0	3.271		3.271	0.000	-150.0	1000.0

Mat	material number	t-min,t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg,zg	ordinate of the mass centre

Slika 59. Poprečni presjek desnog glavnog nosača s karakteristikama presjeka



Cross section No. 8 - Glavni nosač upornjak lijevo 1



Cross section No. 8 - Glavni nosač upornjak lijevo 1

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
1	9.3352E-02	5.553E-02	1.469E-02	-380.0	-515.8	210000	732.8	1.918E-02
	1.530E-02	2.178E-02	1.705E-02	723.3	766.0	80769	(BEAM)	1.255E-02
			3.099E-03					-55.42

Mat material number  
 A[m<sup>2</sup>] sectional area  
 Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
 Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
 I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
 MRf reinforcement material number  
 It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
 G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
 yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
 ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
 E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
 g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymn[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-626.0	-730.3	930.6	1.002E+00		4.236E+01	1.992E+01
	780.0	296.7	867.4			1.871E+02	4.919E+01

α-T[1/K] Elongation coefficient  
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
 hymn[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
 AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
 MRs transverse reinforcements material number  
 1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
 1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
 AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Section values for warping

wmin[m <sup>2</sup> ]	wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
-0.1081	0.1124	2.068E-04	0.001	3.834E-04	1.770E-05	197.3	-456.0

wmin[m<sup>2</sup>],wmax[m<sup>2</sup>] unit warping  
 CM[m<sup>6</sup>] warping resistance  
 CMS[m<sup>4</sup>] warping shear resistance  
 ASwyy[m<sup>6</sup>],ASwzz[m<sup>6</sup>] warping sectional value  
 ry[mm],rz[mm] sectional distance

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
1	1.4000E-02	1.322E-02	0.000E+00	-500.0	210000	109.9	1.167E-03
	4.166E-03	1.408E-03	1.167E-03	0.0	80769		0.000E+00
2	2.3352E-02	5.429E-03	1.842E-03	-500.0	210000	183.3	5.838E-03
	9.458E-03	1.961E-02	5.838E-03	493.5	80769		1.842E-03
			5.301E-11				-90.00
3	5.6000E-02	3.688E-02	0.000E+00	-300.0	210000	439.6	9.147E-03
	1.488E-03	7.643E-04	9.147E-03	1000.0	80769		0.000E+00

Mat material number  
 A[m<sup>2</sup>] sectional area  
 Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
 Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
 yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid

E[N/mm2]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m4],I-2[m4],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m4]	torsional moment of inertia
G[N/mm2]	Shear modulus

**Design values of cross section**

Mat	A[m2]	Ay[m2]	Iy[m4]	yc[mm]	E[N/mm2]	g[kg/m]	I-1[m4]
MRf	It[m4]	Az[m2]	Iz[m4]	zc[mm]	G[N/mm2]		I-2[m4]
		Ayz[m2]	Iyz[m4]				α[°]
1 <sup>1</sup>	8.4866E-02	5.048E-02	1.335E-02	-380.0	190909	732.8	1.744E-02
	1.374E-02	1.980E-02	1.550E-02	723.3	73426		1.141E-02
			2.817E-03				-55.42

<sup>1</sup> Material safety γ-M, Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m2]	sectional area
Ay[m2],Az[m2],Ayz[m2]	transverse shear deformation area
Iy[m4],Iz[m4],Iyz[m4]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm2]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m4],I-2[m4],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m4]	torsional moment of inertia
G[N/mm2]	Shear modulus

**Design forces and moments**

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm2]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
P <sup>1,2</sup>	33140.0	14347.18	5042.00	4972.38	640.86	3382.57	9279.25	12492.75	-352.	986.7	-, b, c
P <sup>1,2</sup>	10993.7						11561.76	0.00	0.0	723.3	COMB <sup>3</sup>
P <sup>1,2</sup>	-1080.1						0.00	12507.96	-380.	0.0	COMB <sup>3</sup>
E <sup>4,2</sup>	33140.0	10291.21	4166.54	4838.07	1095.63	652.89	6327.65	8064.58	-380.	723.3	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety γ-M0 for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm2]	warping moment
Vy[kN],Vz[kN]	shear force	My[kNm],Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm],z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

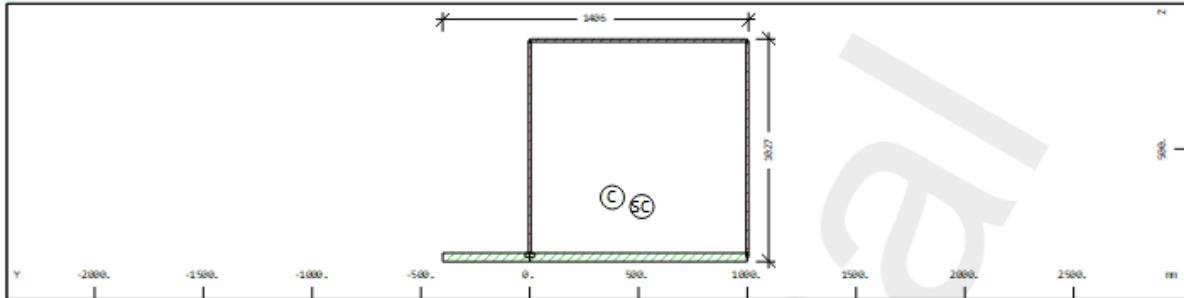
**Additional design data**

Mat	periphery-0/-I	deff	t-min	t-max	thet-p	thet-y	thet-z	thet-yz	yg	zg
	[m2/m]	[m2/m]	[mm]	[mm]	[kgm2/m]	[kgm2/m]	[kgm2/m]	[kgm2/m]	[mm]	[mm]
	8.692		12.0	40.0	249.119	115.296	133.824	24.325	-380.0	723.3
1	2.000	14.0	14.0	14.0	9.158		9.158		-500.0	0.0
2	3.892	12.0	12.0	12.0	60.291	14.462	45.828	0.000	-500.0	493.5
3	2.800	40.0	40.0	40.0	71.801		71.801		-300.0	1000.0

Mat	material number	t-min,t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg,zg	ordinate of the mass centre

Slika 60. Poprečni presjek lijevog glavnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka

Cross section No. 11 - Glavni nosač upornjak desno 1



Cross section No. 11 - Glavni nosač upornjak desno 1

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
1	9.3352E-02	5.553E-02	1.469E-02	380.0	515.8	210000	732.8	1.918E-02
	1.530E-02	2.178E-02	1.705E-02	723.3	766.0	80769	(BEAM)	1.255E-02
			-3.099E-03					55.42

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
MRf reinforcement material number  
It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-780.0	-730.3	930.6	1.002E+00		4.236E+01	1.992E+01
	626.0	296.7	867.4			1.871E+02	4.919E+01

α-T[1/K] Elongation coefficient  
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
hymin[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
MRs transverse reinforcements material number  
1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Section values for warping

Wmin[m <sup>2</sup> ]	Wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
-0.1124	0.1081	2.068E-04	0.001	-3.834E-04	-1.770E-05	-197.3	-456.0

Wmin[m<sup>2</sup>],Wmax[m<sup>2</sup>] unit warping  
CM[m<sup>6</sup>] warping resistance  
CMS[m<sup>4</sup>] warping shear resistance  
ASwyy[m<sup>6</sup>],ASwzz[m<sup>6</sup>] warping sectional value  
ry[mm],rz[mm] sectional distance

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
1	1.4000E-02	1.322E-02	0.000E+00	500.0	210000	109.9	1.167E-03
	4.166E-03	1.408E-03	1.167E-03	0.0	80769		0.000E+00
2	2.3352E-02	5.429E-03	1.842E-03	500.0	210000	183.3	5.838E-03
	9.458E-03	1.961E-02	5.838E-03	493.5	80769		1.842E-03
			-5.301E-11				90.00
3	5.6000E-02	3.688E-02	0.000E+00	300.0	210000	439.6	9.147E-03
	1.488E-03	7.643E-04	9.147E-03	1000.0	80769		0.000E+00

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid

E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ], I-2[m <sup>4</sup> ], α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus

**Design values of cross section**

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
1 <sup>2</sup>	8.4866E-02	5.048E-02	1.335E-02	380.0	190909	732.8	1.744E-02
	1.374E-02	1.980E-02	1.550E-02	723.3	73426		1.141E-02
			-2.817E-03				55.42

<sup>1</sup> Material safety γ-M, Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area
Ay[m <sup>2</sup> ], Az[m <sup>2</sup> ], Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area
Iy[m <sup>4</sup> ], Iz[m <sup>4</sup> ], Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia
yc[mm], zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ], I-2[m <sup>4</sup> ], α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus

**Design forces and moments**

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
P <sup>1,2</sup>	33140.0	14347.18	5042.00	4972.38	640.86	3382.57	9279.25	12492.75	351.9	986.7	-, b, c
P <sup>1,2</sup>	10993.7						11561.76	0.00	0.0	723.3	COMB <sup>3</sup>
P <sup>1,2</sup>	1080.1						0.00	12507.96	380.0	0.0	COMB <sup>3</sup>
E <sup>4</sup>	33140.0	10291.21	4166.54	4838.07	1095.63	652.89	6327.65	8064.58	380.0	723.3	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety γ-M0 for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	warping moment
Vy[kN], Vz[kN]	shear force	My[kNm], Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm], z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

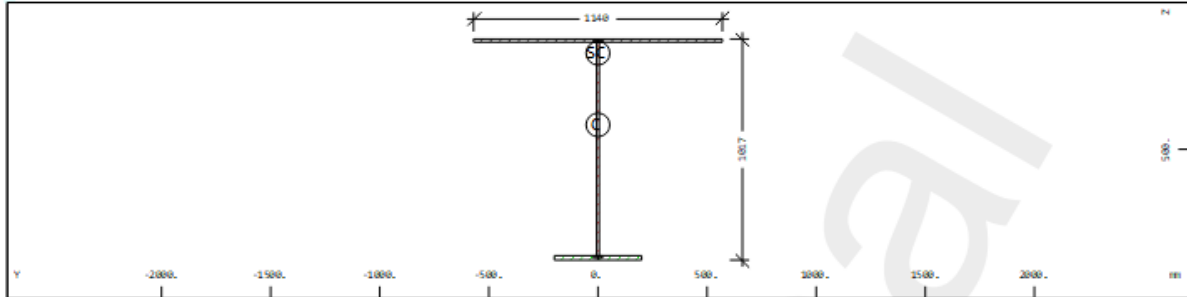
**Additional design data**

Mat	periphery-0/-I [m <sup>2</sup> /m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-y [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-z [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-yz [kgm <sup>2</sup> /m]	yg [mm]	zg [mm]
	8.692		12.0	40.0	249.119	115.296	133.824	-24.325	380.0	723.3
1	2.000	14.0	14.0	14.0	9.158		9.158		500.0	0.0
2	3.892	12.0	12.0	12.0	60.291	14.462	45.828	0.000	500.0	493.5
3	2.800	40.0	40.0	40.0	71.801		71.801		300.0	1000.0

Mat	material number	t-min, t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p, thet-y, thet-z, thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg, zg	ordinate of the mass centre

Slika 61. Poprečni presjek desnih glavnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka

Cross section No. 3 - Poprečni nosač polje



Cross section No. 3 - Poprečni nosač polje

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
1	3.5756E-02	1.488E-02	6.493E-03	0.0	0.0	210000	280.7	
	2.676E-06	1.109E-02	1.835E-03	388.2	58.1	80769	(BEAM)	

Mat material number  
 A[m<sup>2</sup>] sectional area  
 Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
 Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
 I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
 MRf reinforcement material number  
 It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
 G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
 yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
 ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
 E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
 g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	yymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-570.0	-395.2	686.2	1.793E-02		7.475E+03	8.852E+01
	570.0	621.8	918.7			1.875E+02	9.071E+01

α-T[1/K] Elongation coefficient  
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
 hymin[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
 AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
 MRs transverse reinforcements material number  
 1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
 1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
 AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Section values for warping

Wmin[m <sup>2</sup> ]	Wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
-0.1884	0.1884	1.005E-04	0.004	0.000E+00	0.000E+00	0.0	756.1

Wmin[m<sup>2</sup>],Wmax[m<sup>2</sup>] unit warping  
 CM[m<sup>6</sup>] warping resistance  
 CMS[m<sup>4</sup>] warping shear resistance  
 ASwyy[m<sup>6</sup>],ASwzz[m<sup>6</sup>] warping sectional value  
 ry[mm],rz[mm] sectional distance

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
1	1.5960E-02	1.477E-02	0.000E+00	0.0	210000	125.3	1.728E-03
	1.043E-06	7.603E-04	1.728E-03	0.0	80769		0.000E+00
2	1.1796E-02		9.499E-04	0.0	210000	92.6	
	5.662E-07	1.022E-02	0.000E+00	498.5	80769		
3	8.0000E-03	1.122E-04	0.000E+00	0.0	210000	62.8	1.067E-04
	1.067E-06	1.165E-04	1.067E-04	1000.0	80769		0.000E+00

Mat material number  
 A[m<sup>2</sup>] sectional area  
 Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
 Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
 yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
 E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
 g[kg/m] mass per length  
 I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes

**Design values of cross section**

Mat	A[m2]	Ay[m2]	Iy[m4]	yc[mm]	E[N/mm2]	g[kg/m]	I-1[m4]
MRf	It[m4]	Az[m2]	Iz[m4]	zc[mm]	G[N/mm2]		I-2[m4]
		Ayz[m2]	Iyz[m4]				a[°]
1 <sup>1</sup>	3.2505E-02	1.353E-02	5.903E-03	0.0	190909	280.7	
	2.432E-06	1.008E-02	1.668E-03	388.2	73426		

<sup>1</sup> Material safety  $\gamma_M$ , Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m2]	sectional area
Ay[m2],Az[m2],Ayz[m2]	transverse shear deformation area
Iy[m4],Iz[m4],Iyz[m4]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm2]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1[m4],I-2[m4],a[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m4]	torsional moment of inertia
G[N/mm2]	Shear modulus

**Design forces and moments**

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm2]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
p <sup>12</sup>	12693.4	4910.83	2564.04	56.87		361.35	4809.15	1911.32	0.0	166.9	-, b, c
p <sup>12</sup>	-1886.0						5017.89	0.00	0.0	388.2	COMB <sup>3</sup>
E <sup>42</sup>	12693.4	2315.35	2259.57	27.42	1093.12	189.33	3767.52	1142.93	0.0	388.2	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety  $\gamma_{M0}$  for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm2]	warping moment
Vy[kN],Vz[kN]	shear force	My[kNm],Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm],z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

**Additional design data**

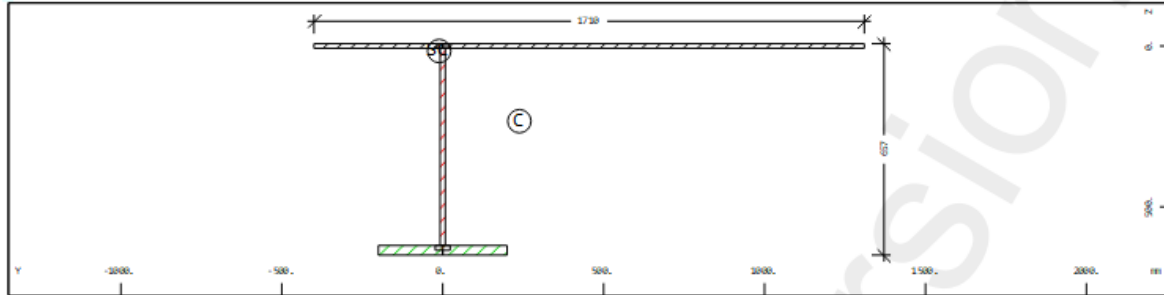
Mat	periphery-0/-I [m2/m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm2/m]	thet-y [kgm2/m]	thet-z [kgm2/m]	thet-yz [kgm2/m]	yg [mm]	zg [mm]
1	5.046		12.0	20.0	65.375	50.969	14.406		0.0	388.2
2	2.280	14.0	14.0	14.0	13.568		13.568		0.0	0.0
3	1.966	12.0	12.0	12.0	7.456	7.456			0.0	498.5
	0.800	20.0	20.0	20.0	0.837		0.837		0.0	1000.0

Mat	material number	t-min,t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg,zg	ordinate of the mass centre

Slika 62. Poprečni presjek poprečnog nosača u polju s karakteristikama presjeka



Cross section No. 4 - Poprečni nosač upornjak



Cross section No. 4 - Poprečni nosač upornjak

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRF	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
1	4.5748E-02	2.026E-02	3.610E-03	238.1	-10.9	210000	359.1	9.464E-03
	6.001E-06	9.106E-03	8.356E-03	233.8	15.5	80769	(BEAM)	2.502E-03
			-2.546E-03					66.49

Mat	material number	yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area	ysc[mm],zsc[mm]	ordinate of shear centre
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area	E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia	g[kg/m]	mass per length
I-1[m <sup>4</sup> ],I-2[m <sup>4</sup> ],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes		
MRF	reinforcement material number		
It[m <sup>4</sup> ]	torsional moment of inertia		
G[N/mm <sup>2</sup> ]	Shear modulus		

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRS	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-638.1	-240.8	815.6	2.294E-02		4.999E+03	6.270E+01
	1071.9	416.2	471.6			2.054E+02	1.044E+02

α-T[1/K]	Elongation coefficient
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm]	extreme coordinates relative to centroid
hymin[mm],hzmin[mm]	minimum value for internal lever
AK[m <sup>2</sup> ]	torsional equivalent area (Bredt)
MRS	transverse reinforcements material number
1/WT[1/m <sup>3</sup> ],1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	torsional resistance
1/WVy[1/m <sup>2</sup> ],1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]	shear force resistance
AB[m <sup>2</sup> ]	gross concrete area

Section values for warping

wmin[m <sup>2</sup> ]	wmax[m <sup>2</sup> ]	CM[m <sup>6</sup> ]	CMS[m <sup>4</sup> ]	ASwyy[m <sup>6</sup> ]	ASwzz[m <sup>6</sup> ]	ry[mm]	rz[mm]
-0.1268	0.1210	6.317E-05	0.002	-1.095E-04	-9.871E-06	901.0	243.2

wmin[m <sup>2</sup> ],wmax[m <sup>2</sup> ]	unit warping	ASwyy[m <sup>6</sup> ],ASwzz[m <sup>6</sup> ]	warping sectional value
CM[m <sup>6</sup> ]	warping resistance	ry[mm],rz[mm]	sectional distance
CMS[m <sup>4</sup> ]	warping shear resistance		

Partial cross sections

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRF	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]				α[°]
1	2.3940E-02	2.013E-02	0.000E+00	455.0	210000	187.9	5.834E-03
	1.564E-06	9.635E-04	5.834E-03	0.0	80769		0.000E+00
2	9.8080E-03	1.060E-04	3.071E-04	0.0	210000	77.0	
	8.369E-07	7.961E-03	0.000E+00	313.5	80769		
3	1.2000E-02	2.751E-05	0.000E+00	0.0	210000	94.2	1.600E-04
	3.600E-06	1.809E-04	1.600E-04	635.0	80769		0.000E+00

Mat	material number
A[m <sup>2</sup> ]	sectional area
Ay[m <sup>2</sup> ],Az[m <sup>2</sup> ],Ayz[m <sup>2</sup> ]	transverse shear deformation area
Iy[m <sup>4</sup> ],Iz[m <sup>4</sup> ],Iyz[m <sup>4</sup> ]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm <sup>2</sup> ]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length



I-1[m4],I-2[m4],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m4]	torsional moment of inertia
G[N/mm2]	Shear modulus

**Design values of cross section**

Mat	A[m2]	Ay[m2]	Iy[m4]	yc [mm]	E[N/mm2]	g [kg/m]	I-1 [m4]
MRf	It [m4]	Az [m2]	Iz [m4]	zc [mm]	G[N/mm2]		I-2 [m4]
		Ayz [m2]	Iyz [m4]				α [°]
1 <sup>1</sup>	4.1589E-02	1.842E-02	3.281E-03	238.1	190909	359.1	8.603E-03
	5.455E-06	8.278E-03	7.597E-03	233.8	73426		2.274E-03
			-2.315E-03				66.49

<sup>1</sup> Material safety γ-M, Structural steel = 1.10

Mat	material number
A[m2]	sectional area
Ay[m2],Az[m2],Ayz[m2]	transverse shear deformation area
Iy[m4],Iz[m4],Iyz[m4]	bending moment of inertia
yc[mm],zc[mm]	ordinate of elastic centroid
E[N/mm2]	Young's modulus
g[kg/m]	mass per length
I-1 [m4],I-2[m4],α[°]	principal moments of inertia and angle of the principal axes
MRf	reinforcement material number
It[m4]	torsional moment of inertia
G[N/mm2]	Shear modulus

**Design forces and moments**

	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mt [kNm]	Mt2 [kNm]	Mb [kNm2]	My [kNm]	Mz [kNm]	y [mm]	z [mm]	BUCK
p <sup>1,2</sup>	16240.5	7366.24	2217.66	92.09	992.92	326.82	3801.72	5070.77	33.3	6.4	-, b, b
p <sup>1,2</sup>	-3333.0						4265.70	0.00	0.0	233.8	COMB <sup>3</sup>
p <sup>1,2</sup>	5585.9						0.00	5710.36	238.1	0.0	COMB <sup>3</sup>
E <sup>4,2</sup>	16240.5	3268.83	1964.11	41.00	998.06	176.83	2349.01	2567.55	238.1	233.8	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)

<sup>2</sup> Material safety γ-M0 for structural steel = 1.00

<sup>3</sup> Maximum moment (defining point D in interaction diagram)

<sup>4</sup> E = elastic design values (stress limit reached)

N[kN]	normal force	Mb[kNm2]	warping moment
Vy[kN],Vz[kN]	shear force	My[kNm],Mz[kNm]	bending moment
Mt[kNm]	primary torsional moment	y[mm],z[mm]	ordinate of plastic centre
Mt2[kNm]	secondary torsional moment	BUCK	buckling curve (LTB, y-y, z-z)

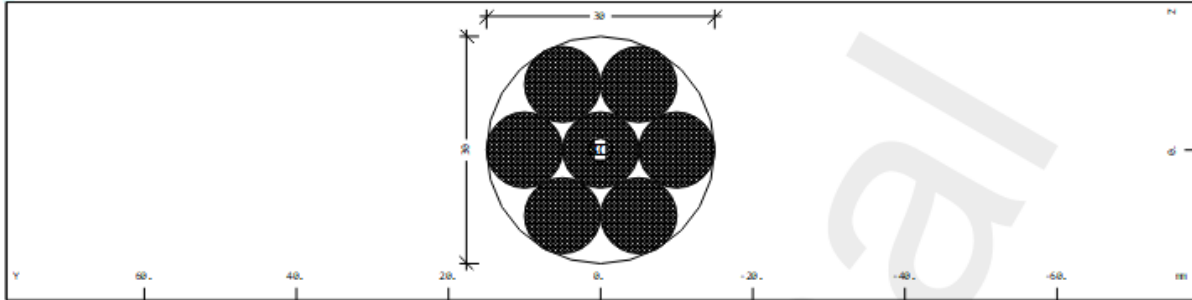
**Additional design data**

Mat	periphery-0/-I [m2/m]	periphery-0/-I [m2/m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm2/m]	thet-y [kgm2/m]	thet-z [kgm2/m]	thet-yz [kgm2/m]	yg [mm]	zg [mm]
	5.446			14.0	30.0	93.931	28.335	65.596	-19.990	238.1	233.8
1	3.420		14.0	14.0	14.0	45.794		45.794		455.0	0.0
2	1.226		16.0	16.0	16.0	2.411	2.411			0.0	313.5
3	0.800		30.0	30.0	30.0	1.256		1.256		0.0	635.0

Mat	material number	t-min,t-max	thickness
periphery-0/-I	peripheral area per length	thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz	rotational mass
deff	effective depth	yg,zg	ordinate of the mass centre

Slika 63. Poprečni presjek poprečnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka

Cross section No. 5 - Vješaljka



Cross section No. 5 - Vješaljka

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
7	5.4428E-04		3.062E-08	0.0	0.0	195000	4.5	
	0.000E+00		3.062E-08	0.0	0.0	75000	(CABLE)	

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
MRf reinforcement material number  
It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymn[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-15.0	-15.0	13.6			2.450E+05	2.450E+03
	15.0	15.0	13.6				2.450E+03

α-T[1/K] Elongation coefficient  
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
hymn[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
MRs transverse reinforcements material number  
1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Cable

D[mm]	Type	strands	W*100[kg/m <sup>2</sup> mm <sup>2</sup> ]	C[-]	K[-]	ke[-]	Fuk[kN]	Frd[kN]	g[kg/m]
		wires						γ-R[-]	
30.0	1X7	1	0.5019	0.6048	0.5443	1.0000	867.0	578.0	4.52
		7						1.00	

D[mm] diameter  
W\*100[kg/m<sup>2</sup>mm<sup>2</sup>],C[-],K[-],ke[-] cable factors according EN 12385-4  
Fuk[kN],Frd[kN] rupture force  
g[kg/m] weight  
γ-R[-] partial factor minimise bending stresses (EN 1993-1-11, table 6.2)

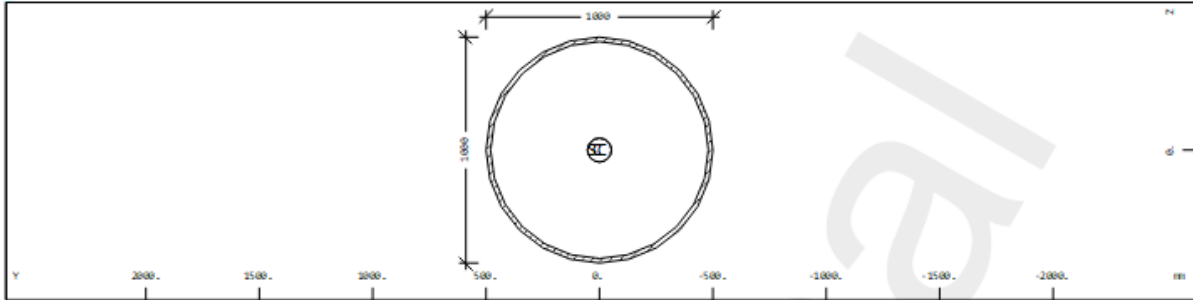
Design forces and moments

	N[kN]	Vy[kN]	Vz[kN]	Mt[kNm]	Mt2[kNm]	Mb[kNm <sup>2</sup> ]	My[kNm]	Mz[kNm]	y[mm]	z[mm]	BUCK
p <sup>1,2</sup>	578.0						0.00	0.00	0.0	0.0	

<sup>1</sup> P = plastic design values (ultimate bearing capacity)  
<sup>2</sup> Material safety γ-M, Prestressing steel = 1.50  
N[kN] normal force  
Vy[kN],Vz[kN] shear force  
Mt[kNm] primary torsional moment  
Mt2[kNm] secondary torsional moment  
Mb[kNm<sup>2</sup>] warping moment  
My[kNm],Mz[kNm] bending moment  
y[mm],z[mm] ordinate of plastic centre  
BUCK buckling curve (LTB, y-y, z-z)

Slika 64. Poprečni presjek vješaljki s karakteristikama presjeka

Cross section No. 6 - Luk



Cross section No. 6 - Luk

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
5	6.1575E-02	3.129E-02	7.395E-03	0.0	0.0	210000	483.4	
	1.479E-02	3.129E-02	7.395E-03	0.0	0.0	80769	(COMPR)	

Mat material number  
A[m<sup>2</sup>] sectional area  
Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
MRf reinforcement material number  
It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRs	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-500.0	-500.0	769.9	6.362E-01		3.381E+01	3.247E+01
	500.0	500.0	769.9				3.247E+01

α-T[1/K] Elongation coefficient  
ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
hymin[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
MRs transverse reinforcements material number  
1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Circular/annular cross section

Ra[mm]	Ri[mm]	Rsa[mm]	Rsi[mm]	Asa[cm <sup>2</sup> ]	Asi[cm <sup>2</sup> ]	D[mm]	a[mm]	Ass[cm <sup>2</sup> /m]
500.0	480.0	450.0	540.0			12		

Ra[mm],Ri[mm] radius  
Rsa[mm],Rsi[mm] radius of reinforcement  
Asa[cm<sup>2</sup>],Asi[cm<sup>2</sup>] reinforcement area  
D[mm] bar diameter  
a[mm] distance of bars  
Ass[cm<sup>2</sup>/m] area of transverse reinforcements

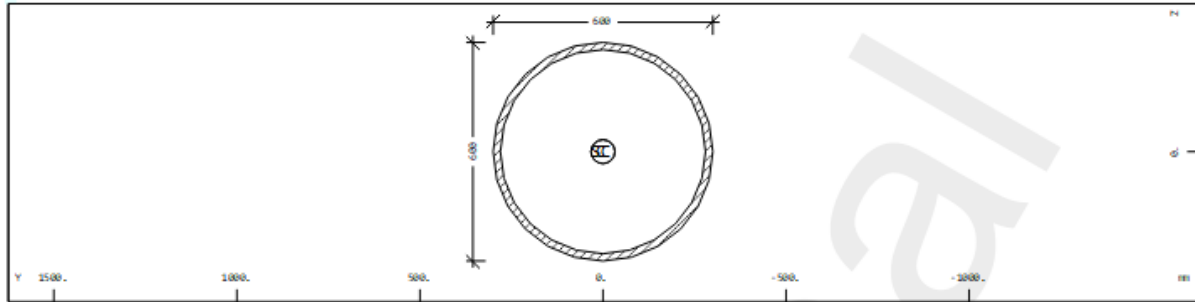
Additional design data

Mat	periphery-O/-I	deff	t-min	t-max	thet-p	thet-y	thet-z	thet-yz	yg	zg
	[m <sup>2</sup> /m]	[m <sup>2</sup> /m]	[mm]	[mm]	[kgm <sup>2</sup> /m]	[kgm <sup>2</sup> /m]	[kgm <sup>2</sup> /m]	[kgm <sup>2</sup> /m]	[mm]	[mm]
	3.142	3.016	20.0	20.0	116.104	58.052	58.052		0.0	0.0

Mat material number  
periphery-O/-I peripheral area per length  
deff effective depth  
t-min,t-max thickness  
thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz rotational mass  
yg,zg ordinate of the mass centre

Slika 65. Poprečni presjek luka s karakteristikama presjeka

Cross section No. 7 - Prečke luka



Cross section No. 7 - Prečke luka

Static properties of cross section

Mat	A[m <sup>2</sup> ]	Ay[m <sup>2</sup> ]	Iy[m <sup>4</sup> ]	yc[mm]	ysc[mm]	E[N/mm <sup>2</sup> ]	g[kg/m]	I-1[m <sup>4</sup> ]
MRf	It[m <sup>4</sup> ]	Az[m <sup>2</sup> ]	Iz[m <sup>4</sup> ]	zc[mm]	zsc[mm]	G[N/mm <sup>2</sup> ]		I-2[m <sup>4</sup> ]
		Ayz[m <sup>2</sup> ]	Iyz[m <sup>4</sup> ]					α[°]
6	3.6442E-02	1.872E-02	1.534E-03	0.0	0.0	210000	286.1	
	3.068E-03	1.872E-02	1.534E-03	0.0	0.0	80769	(COMPR)	

Mat material number  
 A[m<sup>2</sup>] sectional area  
 Ay[m<sup>2</sup>],Az[m<sup>2</sup>],Ayz[m<sup>2</sup>] transverse shear deformation area  
 Iy[m<sup>4</sup>],Iz[m<sup>4</sup>],Iyz[m<sup>4</sup>] bending moment of inertia  
 I-1[m<sup>4</sup>],I-2[m<sup>4</sup>],α[°] principal moments of inertia and angle of the principal axes  
 MRf reinforcement material number  
 It[m<sup>4</sup>] torsional moment of inertia  
 G[N/mm<sup>2</sup>] Shear modulus  
 yc[mm],zc[mm] ordinate of elastic centroid  
 ysc[mm],zsc[mm] ordinate of shear centre  
 E[N/mm<sup>2</sup>] Young's modulus  
 g[kg/m] mass per length

Additional static properties of cross section

α-T[1/K]	ymin[mm]	zmin[mm]	hymin[mm]	AK[m <sup>2</sup> ]	MRS	1/WT[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVy[1/m <sup>2</sup> ]
	ymax[mm]	zmax[mm]	hzmin[mm]	AB[m <sup>2</sup> ]		1/WT2[1/m <sup>3</sup> ]	1/WVz[1/m <sup>2</sup> ]
1.2E-05	-300.0	-300.0	455.9	1.963E-01		9.777E+01	5.484E+01
	300.0	300.0	455.9				5.484E+01

α-T[1/K] Elongation coefficient  
 ymin[mm],zmin[mm],ymax[mm],zmax[mm] extreme coordinates relative to centroid  
 hymin[mm],hzmin[mm] minimum value for internal lever  
 AK[m<sup>2</sup>] torsional equivalent area (Bredt)  
 MRS transverse reinforcements material number  
 1/WT[1/m<sup>3</sup>],1/WT2[1/m<sup>3</sup>] torsional resistance  
 1/WVy[1/m<sup>2</sup>],1/WVz[1/m<sup>2</sup>] shear force resistance  
 AB[m<sup>2</sup>] gross concrete area

Circular/annular cross section

Ra[mm]	Ri[mm]	Rsa[mm]	Rsi[mm]	Asa[cm <sup>2</sup> ]	Asi[cm <sup>2</sup> ]	D[mm]	a[mm]	Ass[cm <sup>2</sup> /m]
300.0	280.0	250.0	305.0			12		

Ra[mm],Ri[mm] radius  
 Rsa[mm],Rsi[mm] radius of reinforcement  
 Asa[cm<sup>2</sup>],Asi[cm<sup>2</sup>] reinforcement area  
 D[mm] bar diameter  
 a[mm] distance of bars  
 Ass[cm<sup>2</sup>/m] area of transverse reinforcements

Additional design data

Mat	periphery-0/-I [m <sup>2</sup> /m]	deff [mm]	t-min [mm]	t-max [mm]	thet-p [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-y [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-z [kgm <sup>2</sup> /m]	thet-yz [kgm <sup>2</sup> /m]	yg [mm]	zg [mm]
	1.885	1.759	20.0	20.0	24.087	12.044	12.044		0.0	0.0

Mat material number  
 periphery-0/-I peripheral area per length  
 deff effective depth  
 t-min,t-max thickness  
 thet-p,thet-y,thet-z,thet-yz rotational mass  
 yg,zg ordinate of the mass centre

Slika 66. Poprečni presjek prečki luka s karakteristikama presjeka

#### 4.4. Vrste elemenata

U modelu su korišteni već ranije navedeni štapni BEAM i plošni QUAD elementi, SPRI ležajni i CABL kabelski elementi. BEAM elementi su elementi koji se zadaju kao štapni elementi i mogu preuzimati poprečne, uzdužne sile i momente. QUAD elementi su elementi koji se zadaju s određenom površinom naredbom AREA. Preuzimaju plošna opterećenja na mostu i sudjeluju u prijenosu istih do glavnih i poprečnih nosača, a time i do upornjaka. CABL elementi su elementi koji prenose isključivo uzdužne vlačne sile i njima se zadaju vješaljke. SPRI elementi su elementi kojima se zadaju ležajevi. To su elementi koji preuzimaju sile samo u aksijalnom smjeru, smanjuju vibracije i dopuštaju kontrolirane pomake konstrukcije.

Glavni i poprečni nosači, luk i prečke luka definirani su štapno. Ortotropna ploča je definirana plošno. Ležajevi su definirani u obliku opruga kao SPRI elementi, a vješaljke u obliku užadi koje prenose samo vlačnu uzdužnu silu.

U projektu ovog mosta je ortotropna ploča sa zatvorenim rebrima. Ortotropna ploča je zadana sa različitim debljinama u uzdužnom i poprečnom smjeru. Debljina ploče je u poprečnom smjeru 14 mm koliko i je u stvarnosti, jer u poprečnom smjeru ne postoji ukruta nego samo čelični lim debljine 14 mm. U uzdužnom smjeru debljina ploče je modificirana zbog ukruta koje su postavljene uzdužno i to na način da se izračuna moment tromosti ploče sa rebrom debljine 14 mm, rebra su na razmaku od 560 mm. Proračunom je dobiveno da na svakih 1 metar ploče idu 1,89 rebra i s tim brojem se množi moment tromosti jednog rebra. Izjednačuju se momenti tromosti ploče s rebrom širine 1 metar i ploče bez rebara iz čega je dobivena debljina ploče jednaka 157,5 mm. S obzirom na to da ploča sa zatvorenim rebrima ima torzijsku krutost, proračunava se debljina ploče na isti način kao i prethodno, iz čega se dobiva da je debljina ploče za torziju jednaka 50,1 mm. Izračun zamjenske debljine ploče je prikazan u nastavku.

Moment inercije za ploči s rebrom (očitano iz AutoCAD-a):

$$I_y = 17232 \text{ cm}^4$$

Odnos duljina ukrute i ploče:

$$\frac{1000 \text{ mm}}{530 \text{ mm}} = 1,89$$

Moment tromosti za ploču s rebrom u dužini od 1 metra:

$$I_y = 17232 \cdot 1,89 = 32568 \text{ cm}^4/\text{m}'$$

Ploča bez ukrućenja:

$$I_y = \frac{b \cdot t^3}{12} \rightarrow t' = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_y}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot 32568}{100}} = 15,75 \text{ cm} = 157,5 \text{ mm}$$

Torzijski moment tromosti ploče bez rebra:

$$I_T = \frac{b \cdot t^3}{12}$$

Torzijski moment tromosti ploče sa zatvorenim rebrom:

$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{GI_T}{EI_0} \frac{a^3}{12 \cdot (a+e)^2} \left(\frac{\pi}{s_2}\right) \left[ \left[ \left(\frac{e}{a}\right)^3 + \left(\frac{e-b}{a+b} + \lambda\right)^2 + \frac{\lambda}{\kappa} \left(\frac{b}{a}\right)^3 \right] + \left[ \frac{24 h'}{\kappa a} \left( c_1^2 + c_1 c_2 + \frac{c_2^2}{3} \right) \right] \right]$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{2,1 \cdot 10^4}{2(1+0,3)} = 8076,92 \text{ N/mm}^2$$

$$GI_T = G \frac{4A_m^2}{\sum \frac{u}{\bar{t}}} = 8076,92 \cdot \frac{4 \cdot 576,10^2}{\frac{28}{1,4} + (17 + 2 \cdot 27,95) \cdot \frac{1}{0,8}} = 9,649 \cdot 10^7 \text{ kNcm}^2$$

$$EI_0 = \frac{Et_p^3}{10,92} = \frac{2,1 \cdot 10^4 \cdot 1,4^3}{10,92} = 5,28 \cdot 10^3 \text{ kNcm}$$

$$\kappa = \left(\frac{t}{t_p}\right)^3 = \left(\frac{0,8}{1,4}\right)^3 = 0,187$$

$$s_2 = 0,81 \cdot s = 0,81 \cdot 380 = 307,8 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{(2a+b)(a+e)bh' - \kappa a^3(e-b)}{(a+b)[2h'(a^2+ab+b^2) + b^3 + \kappa a^3]} = \frac{(2 \cdot 28 + 17) \cdot (28 + 25) \cdot 17 \cdot 27,5 - 0,187 \cdot 28^3 \cdot (25 - 17)}{(28 + 17) \cdot [2 \cdot 27,5 \cdot (28^2 + 28 \cdot 17 + 17^2) + 17^3 + 0,187 \cdot 28^3]} = 0,420$$

$$c_1 = \frac{\lambda b}{2a} = \frac{0,420 \cdot 17}{2 \cdot 28} = 0,128$$

$$c_2 = \frac{\lambda a - b}{2} - \frac{a+e}{a+b} \frac{b}{2a} = \frac{0,420 \cdot 28 - 17}{2} - \frac{28+25}{28+17} \cdot \frac{17}{2 \cdot 28} = -0,275$$

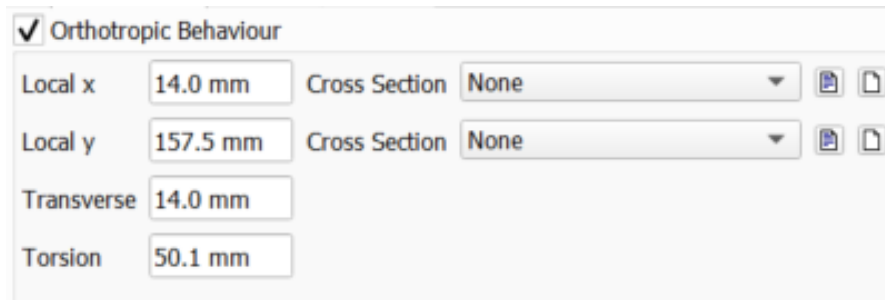
$$\frac{1}{\mu} = 1 + \frac{9,649 \cdot 10^7}{5,28 \cdot 10^3} \cdot \frac{28^3}{17 \cdot (28+25)^2} \cdot \left(\frac{\pi}{307,8}\right)^2 \cdot \left[ \left[ \left(\frac{25}{28}\right)^3 + \left(\frac{25-17}{28+17} + 0,420\right)^2 + \frac{0,420}{0,187} \left(\frac{17}{28}\right)^3 \right] + \left[ \frac{24}{0,187} \cdot \frac{27,5}{28} \left( 0,128^2 + 0,128 \cdot (-0,275) + \frac{(-0,275)^2}{3} \right) \right] \right] = 5,367$$

$$\mu = 0,18632$$

$$\mu \cdot I_T = 0,18632 \cdot 1,19 \cdot 10^4 = 2,22 \cdot 10^3$$

$$t' = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \mu \cdot I_T}{b}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 2,22 \cdot 10^3}{53}} = 5,01 \text{ cm} = 50,1 \text{ mm}$$

Ovakvo ponašanje ploče se zadaje u SOFiPLUSU pri zadavanju QUAD elemenata, naredbom Orthotropic Behaviour.



Slika 67. Modificirane debljine ploče

#### 4.5. Geometrija modela

Geometrija modela definirana je položajem važnih točaka u modelu. Geometrija nivelete je zadana kružnicom radijusa 1000 metara u sredini raspona ( $L_e=99,84\text{m}$ ) i tangencionalno se nastavlja u nagibu od 5% sve do prijelaznih naprava s obje strane.

Geometrija glavnih nosača, koji su postavljeni na udaljenosti 5,2 metra, prati oblik nivelete, a između vanjskih glavnih nosača su postavljeni poprečni nosači na međusobnoj udaljenosti 3,8 metara.

Geometrija lukova je definirana kao trodimenzionalna krivulja višeg reda, maksimalna osna visina luka je 21,4 metra, razmak lukova u petama iznosi 6,3 metra, a u tjemenu 1,995 metara. Lukovi su ukrućeni poprečnim cijevnim profilima na razmaku 11,4 metra, a čija je udaljenost uvjetovana razmakom hvatišta vješaljki.

Geometrija vješaljki se mijenja od peta luka do tjemena. Postavljene su ukoso u obliku V ukrućenja zbog ravnomjernijeg prijenosa opterećenja od rasponskog sklopa do lukova.

#### 4.6. Ležajevi i rubni uvjeti – način modeliranja

Svi ležajevi definirani su naredbom SPRI. Ležajevi su definirani za rasponski sklop i stupove mosta. Za sustav proste grede, korišteni su upeti i pomični ležajevi. Na upornjaku U1 zadani su lončasti ležajevi naredbom SPRI u obliku opruge tako da je omogućen pomak u smjerovima gdje opruga nije zadana, a na upornjaku se nalazi jedan nepomičan ležaj koji ne dopušta nikakve pomake i jedan sve pomični ležaj koji dopušta pomake u uzdužnom i u poprečnom smjeru. Na upornjaku U2 postavljen jedan nepomični ležaj kod kojeg su spriječeni pomaci i jedan sve pomični ležaj.

Osim opruga, korištene su i KF veze (naredba  $\text{FIX}=\text{KF}$ ) kojima je omogućeno povezivanje svih opruga u jedan ležaj, odnosno povezivanje razdvojenih štapnih elemenata kako bi se postigao njihov zajednički učinak odnosno odgovor na zadana djelovanja.



#### 4.7. Statički proračun

Proračun je proveden uz pomoć programskog paketa SOFiSTiK. Djelovanje nosivog sustava je modelirano pomoću roštiljnog modela, gdje su glavni uzdužni čelični nosači zajedno s poprečnima zamijenjeni štapnim elementom ekvivalentnih statičkih karakteristika, a ortotropna ploča je modelirana roštiljno. Ortotropna ploča je modelirana sa zamjenskom debljinom koja je dobivena kao omjer ploče bez ukrućenja i ploča sa ukrućenjima i tako uneseno u program.

U tako formiranom modelu zadana su opterećenja prema Eurocode-u. Program sam računa težinu nosivih elemenata i dodatno se ručno dodaje vlastita težina ortotropne ploče.

Opterećenje prometom provodi se prema normi EN 1991-2 koja se odnosi na opterećenje pješacima. Za mjerodavno se uzima opterećenje navalom ljudi u karakterističnom iznosu od  $5 \text{ kN/m}^2$ .

Opterećenja vjetrom uzeta su za sva tri smjera (dva horizontalna i jedan vertikalni smjer) prema normi EN 1991-1-4, a zbog namjene kao pješačko-biciklističkog mosta promatra se samo situacija neopterećenog mosta. U modelu je opterećenje izraženo linijskim po dužini mosta, a opterećuju se glavni nosači, luk i prečke luka.

Temperatura je sukladno lokaciji i uvjetima koji su postavljeni na izvedbu mosta izračunata i nanesena u model. Pri nanošenju opterećenja na model razmatrala se jednolika i nejednolika temperatura, kao i njihova kombinacija. Za utjecaj djelovanja temperature na ležajeve i prijelazne naprave potrebno je uvećanje/smanjenje temperature u iznosu od  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Prema EN 1991-1-5 djelovanje temperature na lukove je jednoliko u iznosu  $\pm 15^\circ\text{C}$ .

Potres je proračunat korištenjem više modalne spektralne analize. Za te je potrebe očitana vrijednost ubrzanja tla za lokaciju mosta i karakteristike tla. Program SOFiSTiK je na temelju podataka o konstrukciji proračunao modalne mase i krutosti, a zatim proveo dinamički proračun. Kao rezultat dobiveni su oblici osciliranja, a zatim je korištena CQC metoda da se kombiniraju pojedini oblici. Potrebno je aktivirati približno 90% mase što je i učinjeno.

Za proračun učinaka djelovanja korištene su kombinacije za GSN i GSU, a korištena je i potresna kombinacija. Izračun kombinacija izvršen je pomoću programa SOFiSTiK.

Program može ispisati unutarnje sile i naprezanja za zadane kombinacije djelovanja što je i učinjeno, a provjerena su naprezanja u svim elementima za GSN i GSU. Izvršena je provjera uzdužnih naprezanja u donjem pojasu čeličnog nosača te provjera posmičnih naprezanja u hrptu. Provjerena su naprezanja u luku i vješaljka luka. U čeličnim limovima javljaju se tlačna naprezanja, a poprečni nosači su vitki, KLASA 3. Tako da je potrebno napraviti i provjeru stabilnosti donje pojasnice i hrpta, dodatna ukrućenja prema proračunu nisu bila potrebna.

## 5. ISPIS REZNIH SILA ZA OPTEREĆENJA

Tablica 12. Popis ispisanih reznih sila

Vrsta opterećenja	Dio konstrukcije	Opterećenja	Rezne sile
Stalno opterećenje	Rasponski sklop	LC 4250	My, Nx, Vz
	Luk	LC 4250	Nx, My, Mz, Vz
Prometno opterećenje	Rasponski sklop	LC 4, LC 5, LC 6, LC 10, LC 11	My, Nx, Vz
	Luk	LC 4, LC 5, LC 6, LC 10, LC 11	Nx, My, Mz, Vz
Opterećenje vjetrom	Rasponski sklop	LC 7, LC 8, LC 9	My, Nx, Vz
	Luk	LC 7, LC 8, LC 9	Nx, My, Vz Nx, My, Vz, Mz
Opterećenje temperaturom	Rasponski sklop	LC 92, LC 93	My, Nx, Vz
	Luk	LC 87, LC 88	Nx
Potresno opterećenje	Rasponski sklop	X – smjer LC 9011 LC 9013 LC 9016	Nx Vz My
		Y – smjer LC 9311 LC 9313 LC 9316	Nx Vz My
	Luk	X – smjer LC 9011 LC 9016 LC 9017	Nx My Mz
		Y – smjer LC 9311 LC 9316 LC 9317	Nx My Mz
Uzdužne sile	Vješaljke	LC 4250, LC 4, LC 9, LC 9020, LC 9320, LC 2133	Nx

### OPIS OPTEREĆENJA:

LC 4 – prometno opterećenje na cijelom mostu

LC 5 – prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta

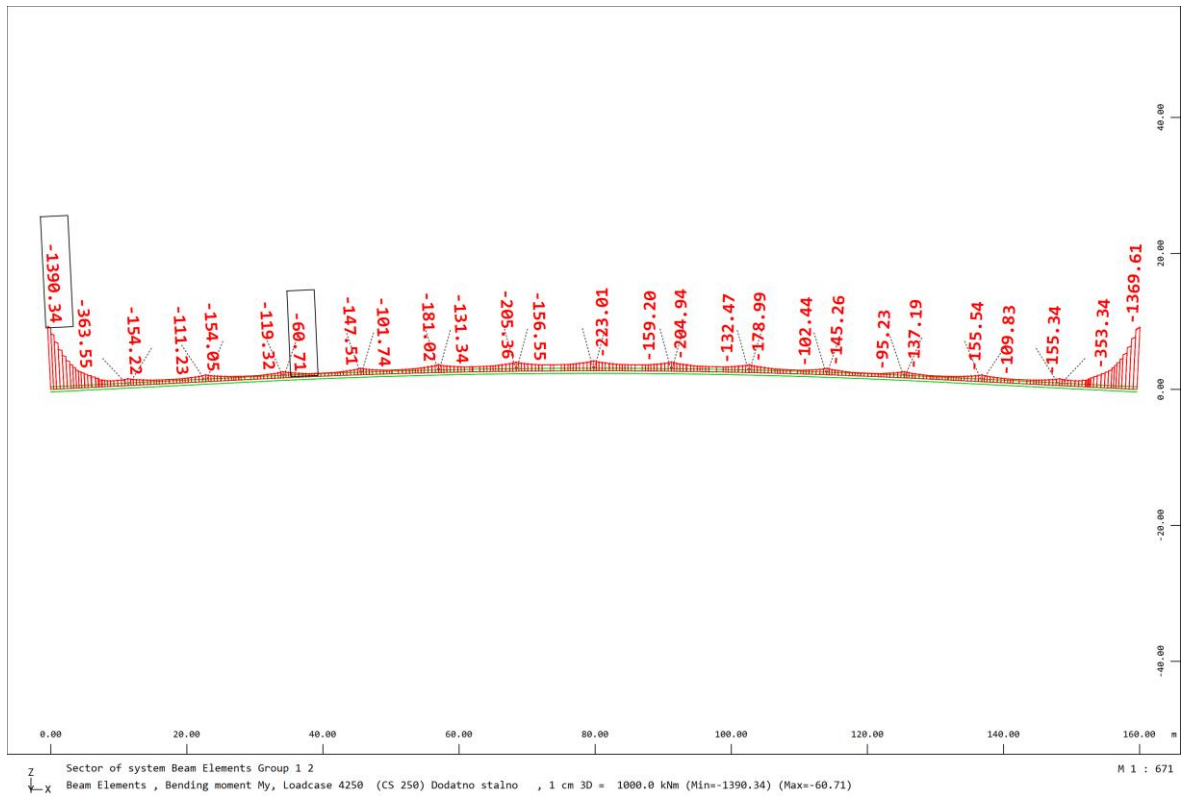
LC 6 – prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta

LC 7 – opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru

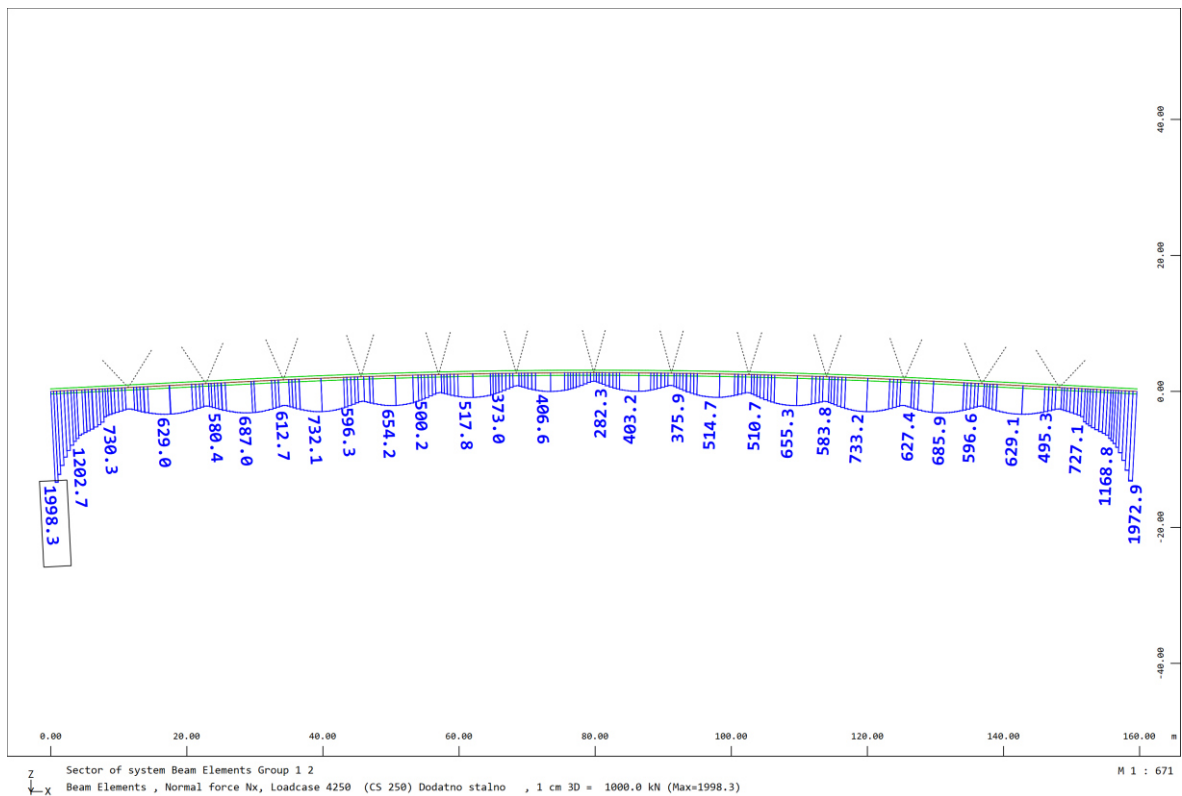
LC 8 – opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru

- LC 9 – opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru*
- LC 10 – prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta*
- LC 11 – prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta*
- LC 87 – jednolika temperatura ljeto (luk)*
- LC 88 – jednolika temperatura zima (luk)*
- LC 92 – temperaturna kombinacija ljeto*
- LC 93 – temperaturna kombinacija zima*
- LC 2133 – stalna i prolazna kombinacija*
- LC 4250 – stalno opterećenje (CS Dodatno stalno)*
- LC 9011, LC 9013, LC 9016, LC 9017 – opterećenje potresom u X – smjeru*
- LC 9311, LC 9313, LC 9316, LC 9317 – opterećenje potresom u Y – smjeru*
- LC 9020 – potresno opterećenje u X – smjeru za vješaljke*
- LC 9320 – potresno opterećenje u Y – smjeru za vješaljke*

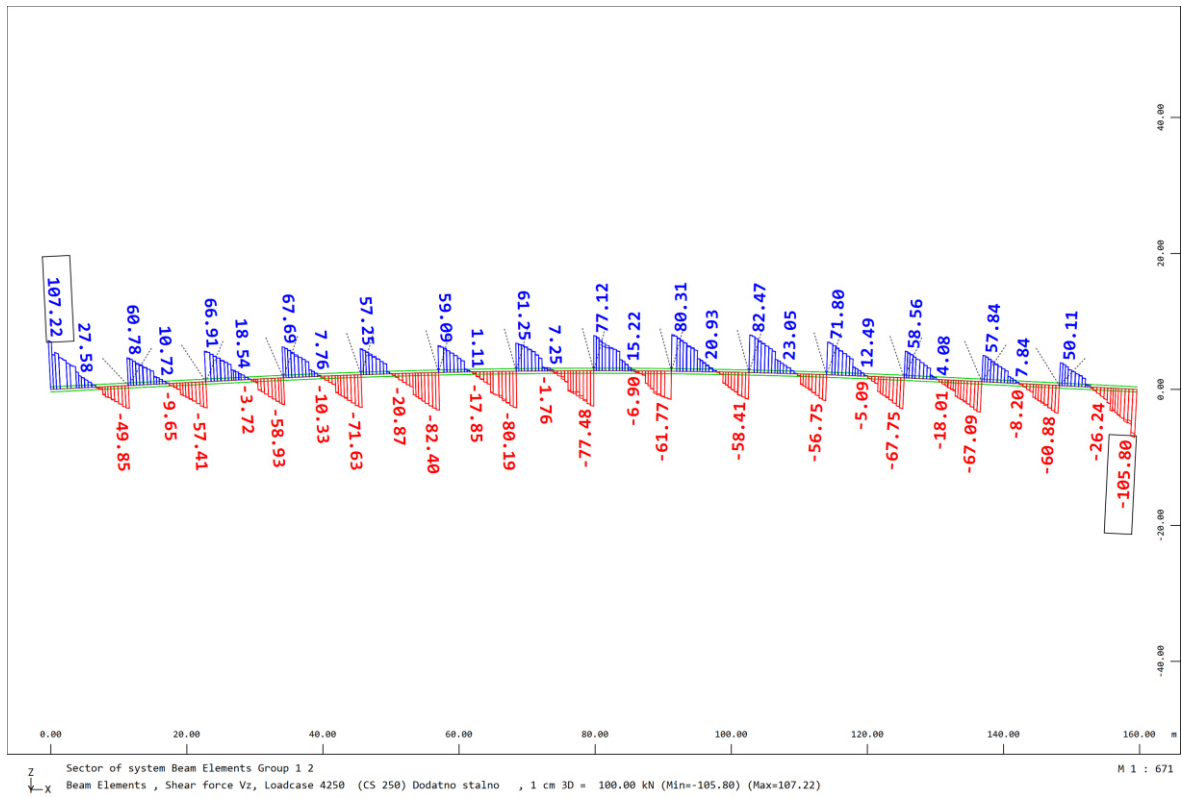
## 5.1. Rezne sile za stalno opterećenje



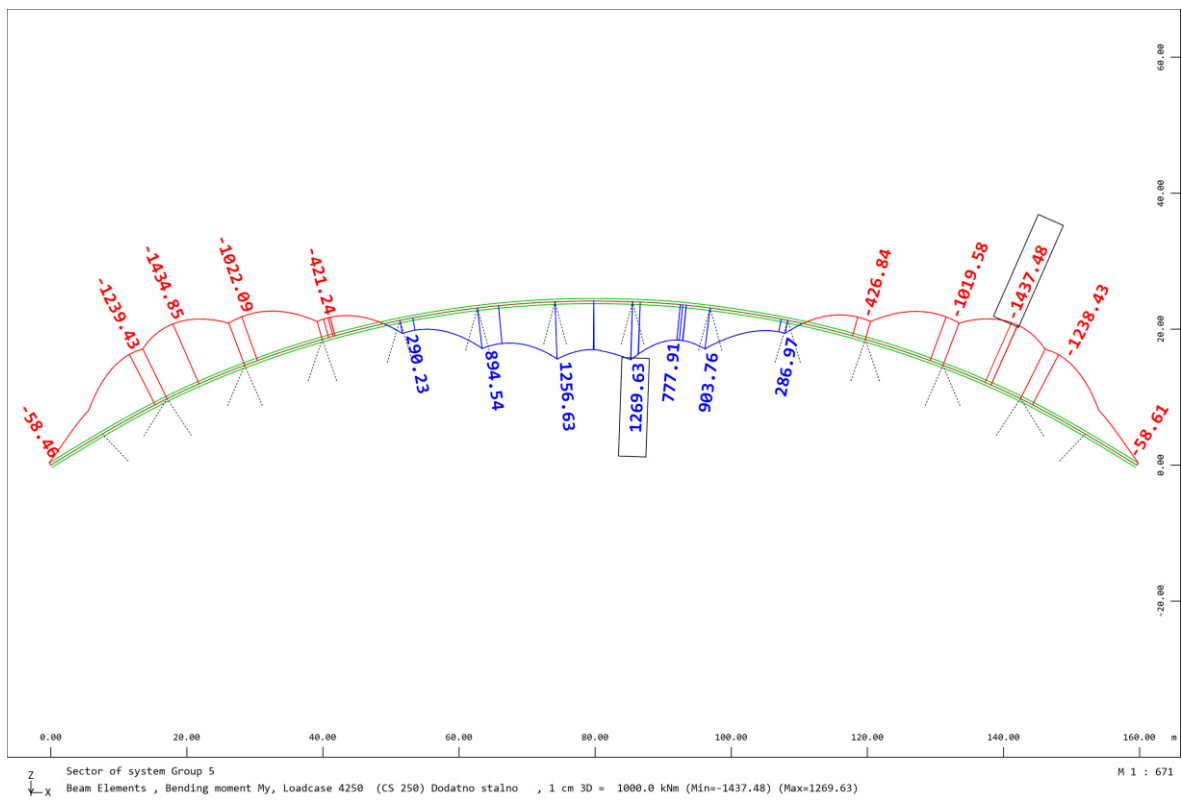
Slika 68. Rasponski sklop LC 4250 My (Stalno opterećenje)



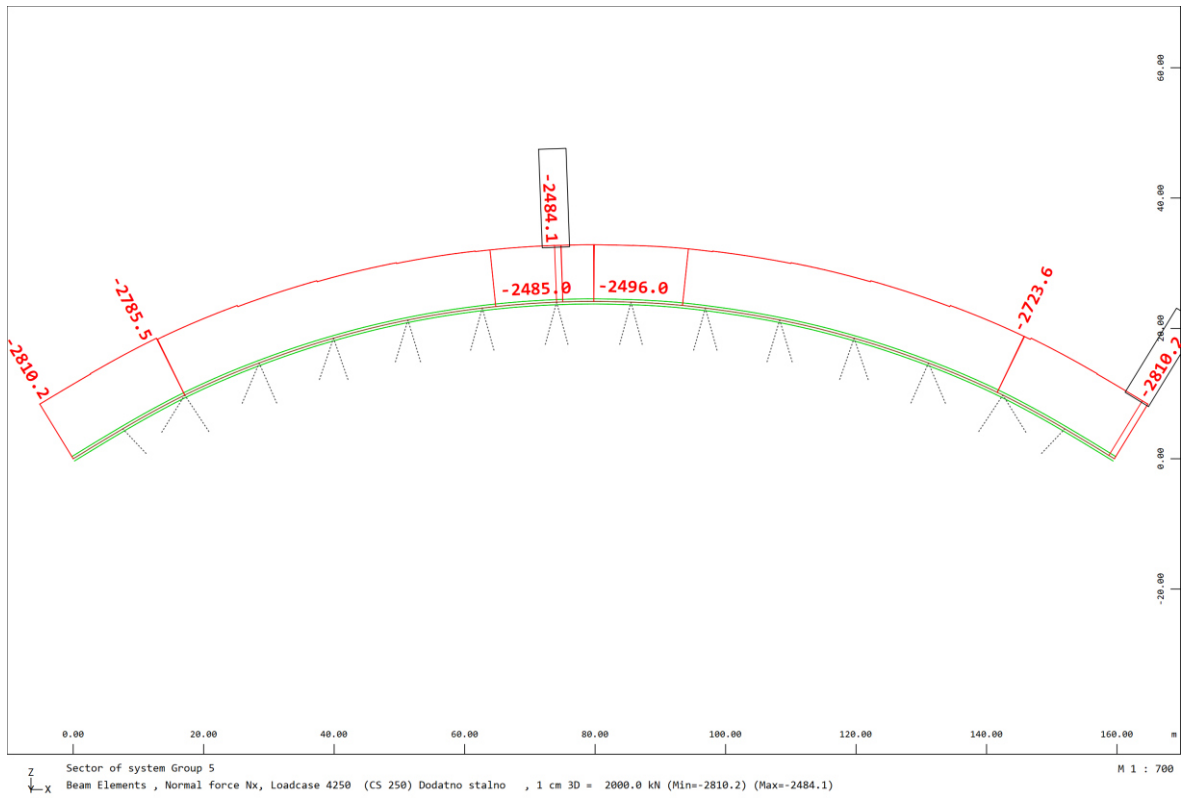
Slika 69. Rasponski sklop LC 4250 Nx (Stalno opterećenje)



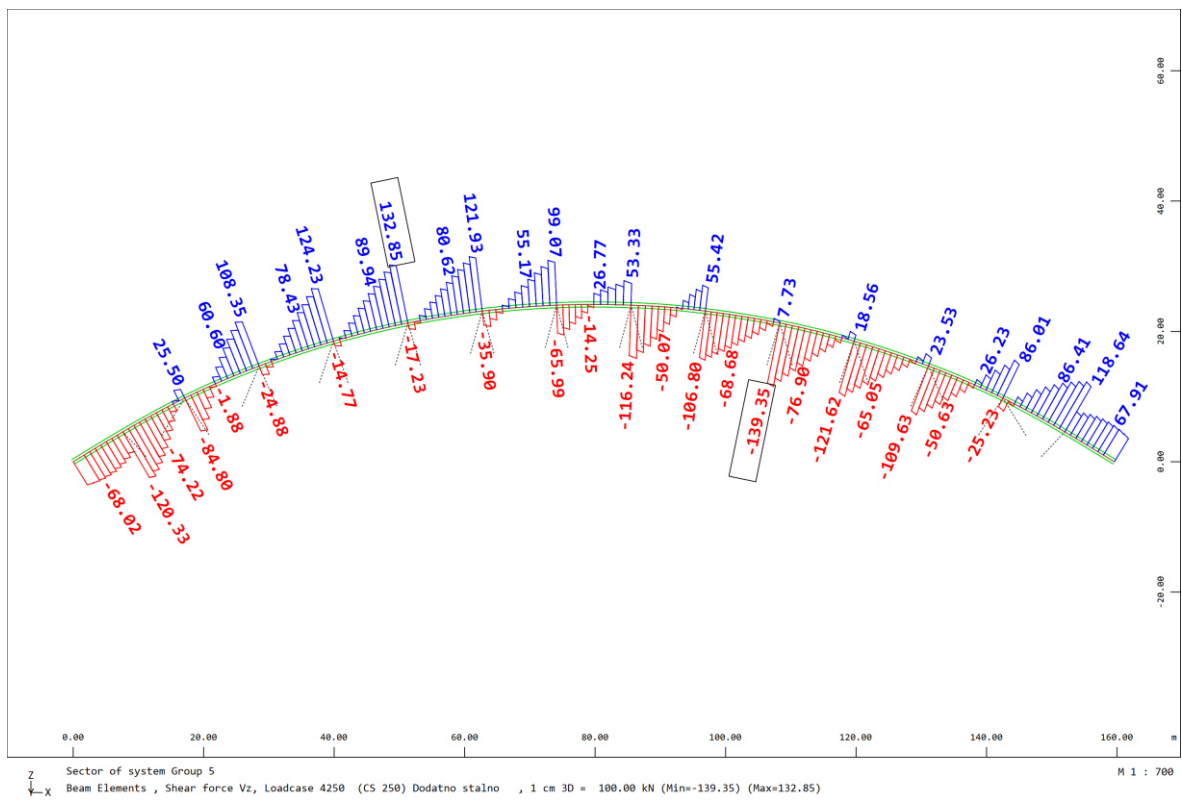
Slika 70. Rasponski sklop LC 4250 Vz (Stalno opterećenje)



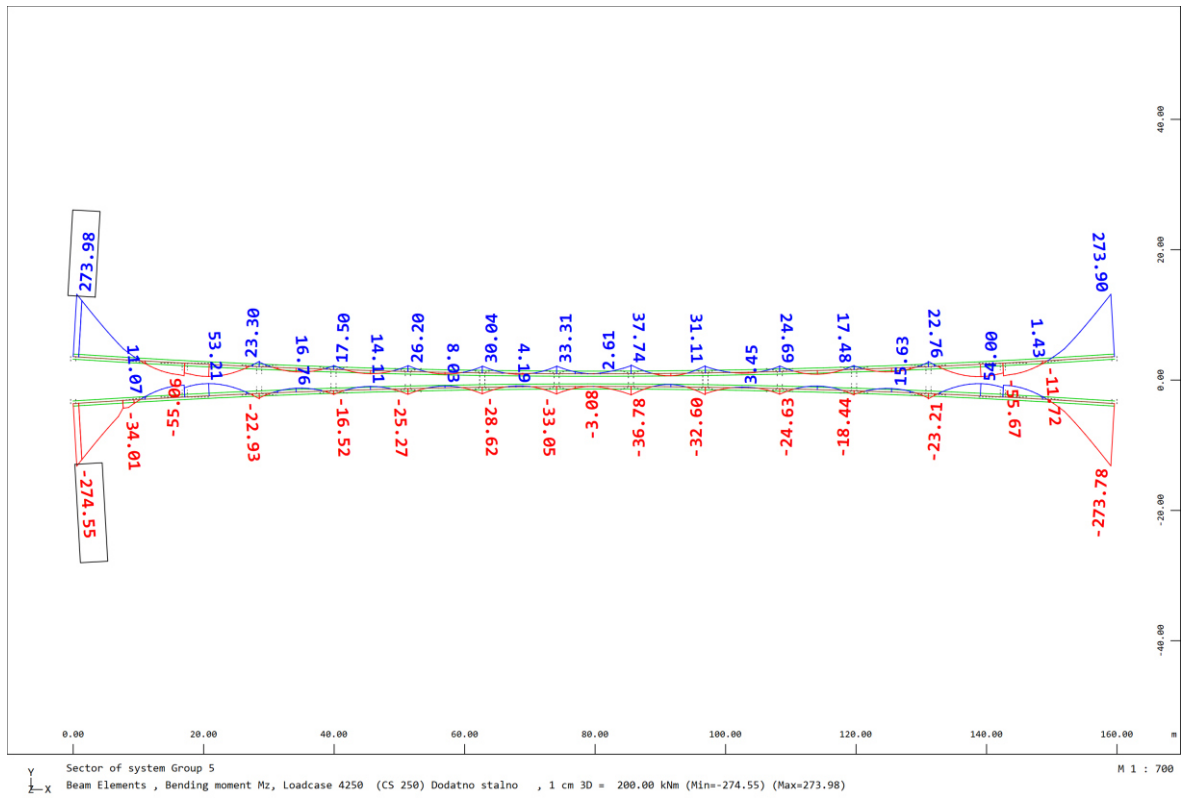
Slika 71. Luk LC 4250 My (Stalno opterećenje)



Slika 72. Luk LC 4250 Nx (Stalno opterećenje)



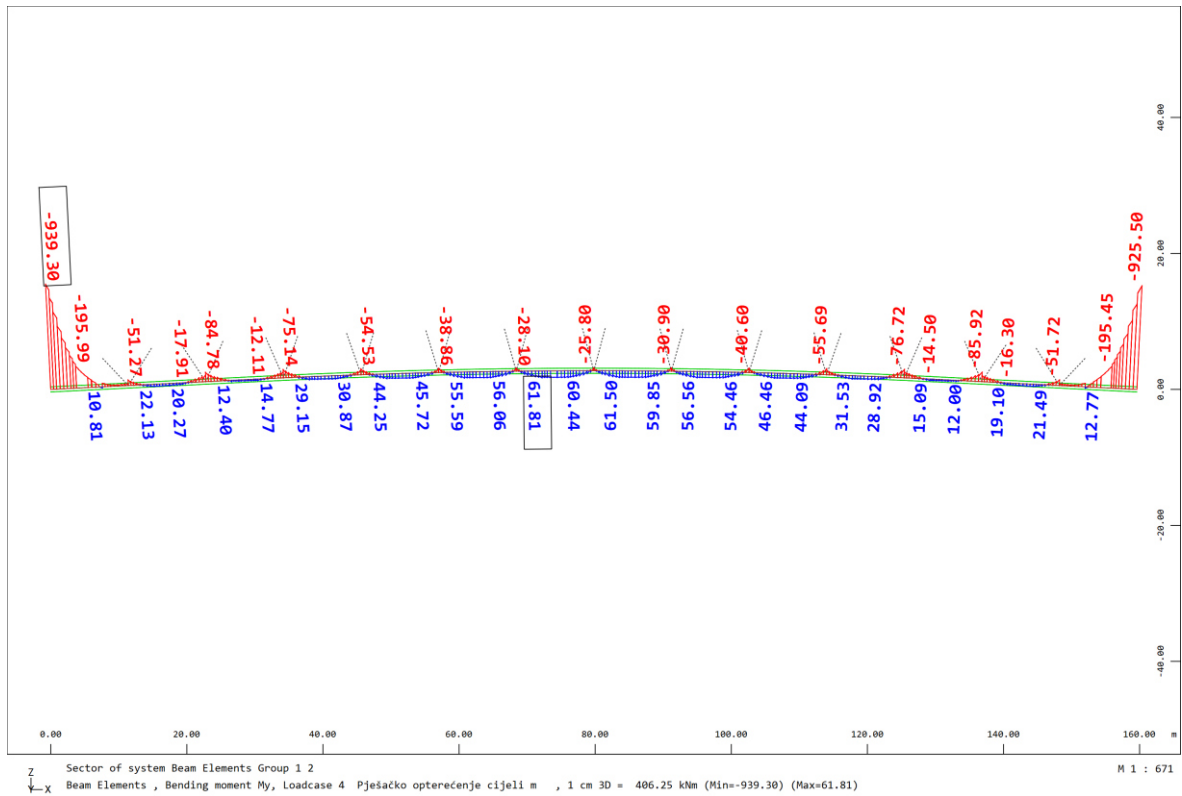
Slika 73. Luk LC 4250 Vz (Stalno opterećenje)



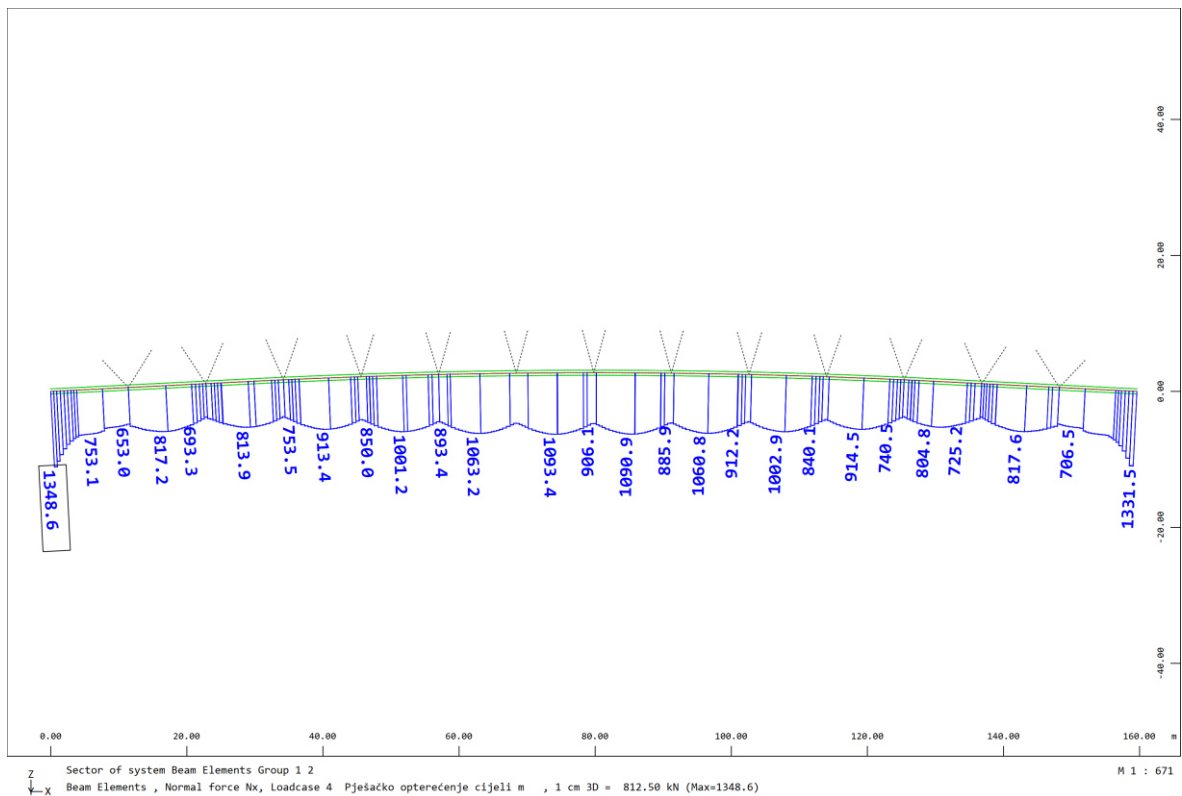
Slika 74. Luk LC 4250 Mz (Stalno opterećenje)



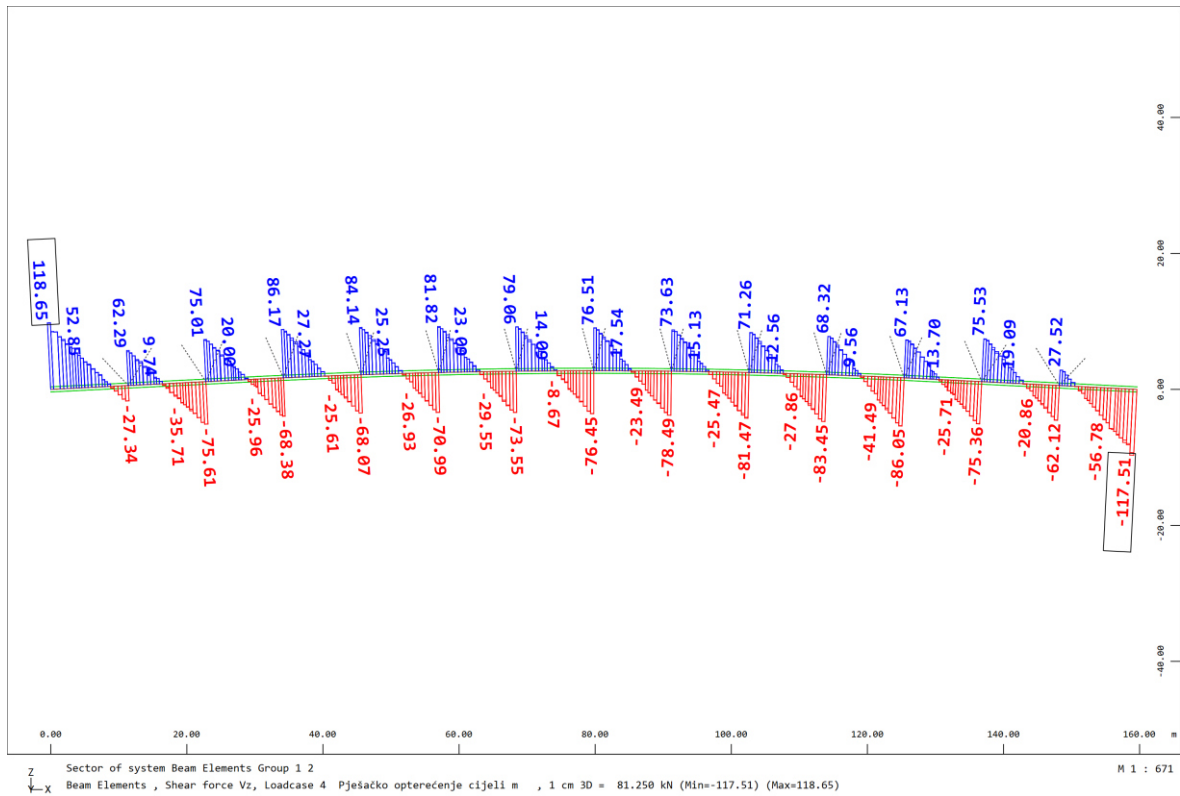
## 5.2. Rezne sile za prometno opterećenje



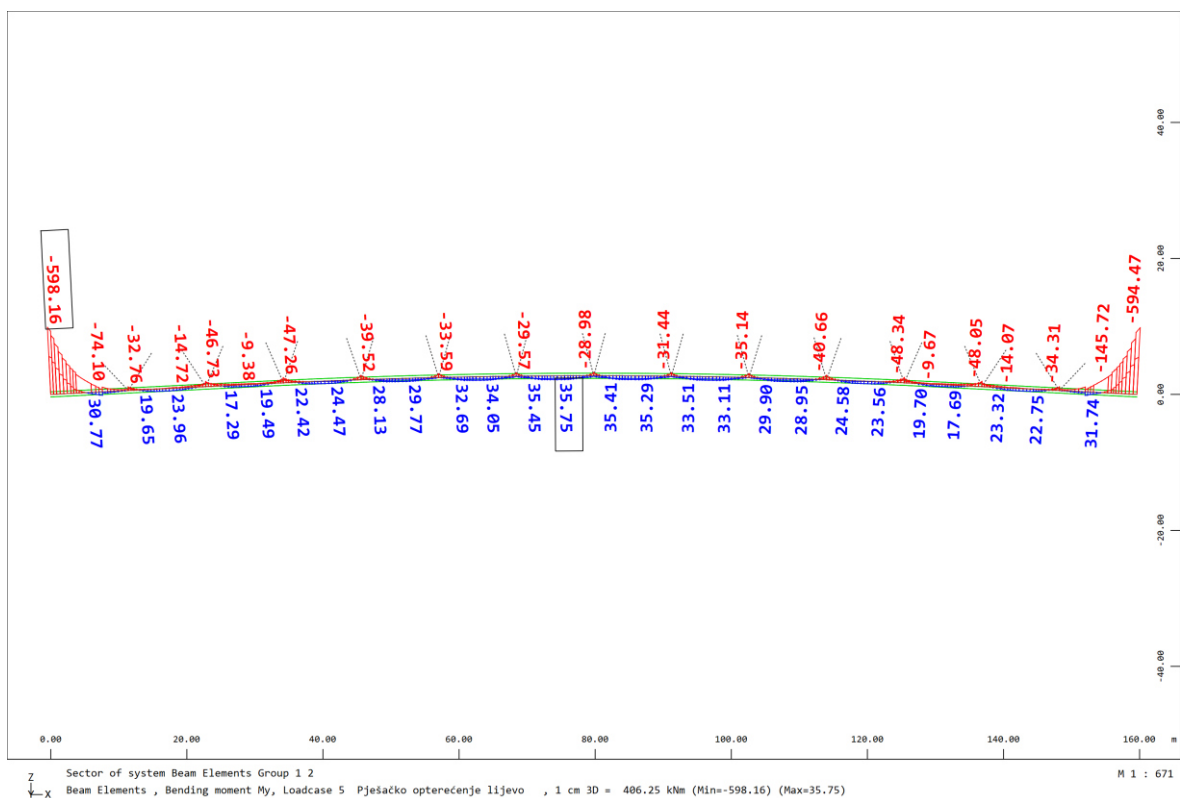
Slika 75. Rasponski sklop LC 4 My (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



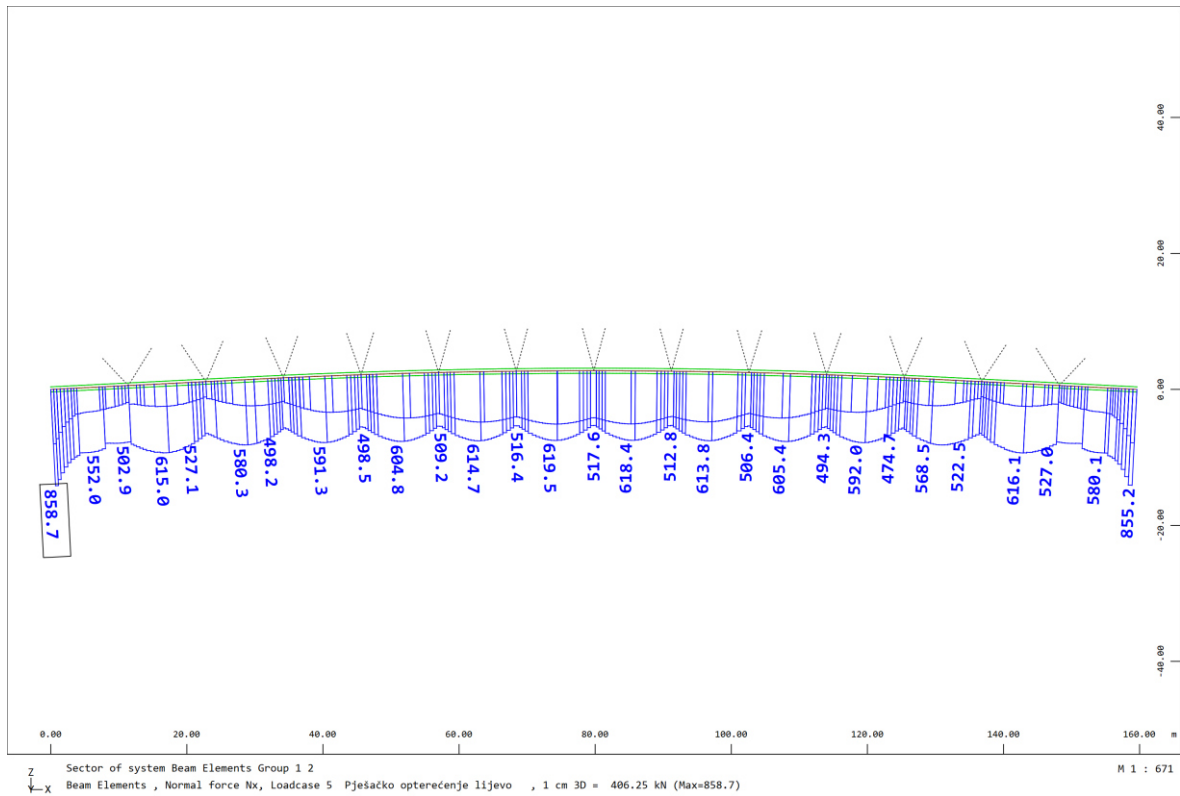
Slika 76. Rasponski sklop LC 4 Nx (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



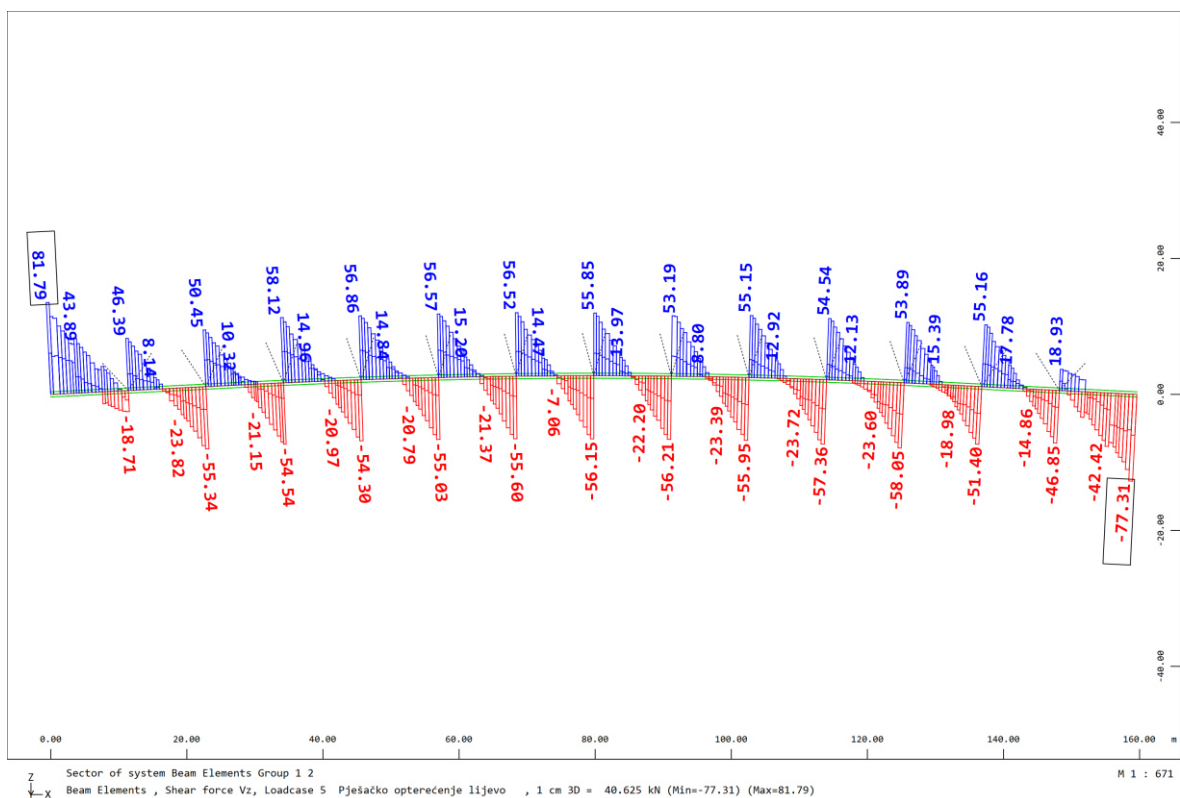
Slika 77. Rasponski sklop LC 4 Vz (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



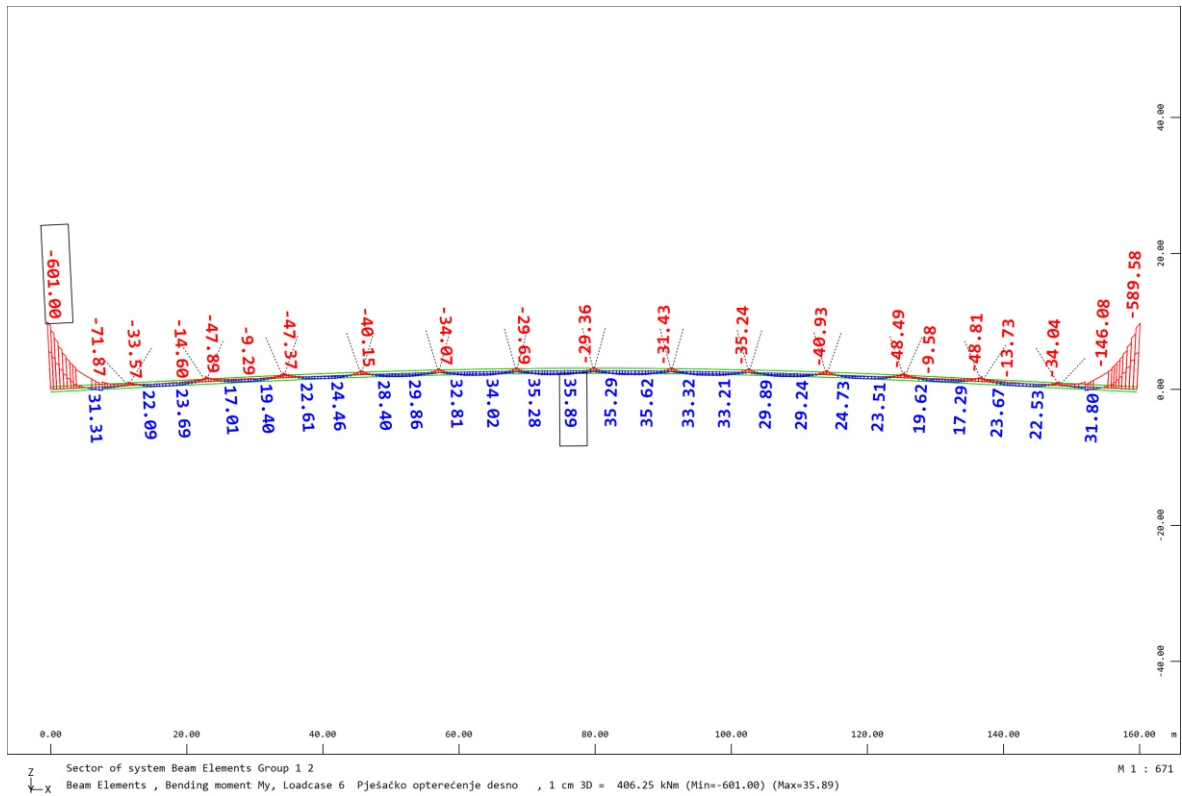
Slika 78. Rasponski sklop LC 5 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



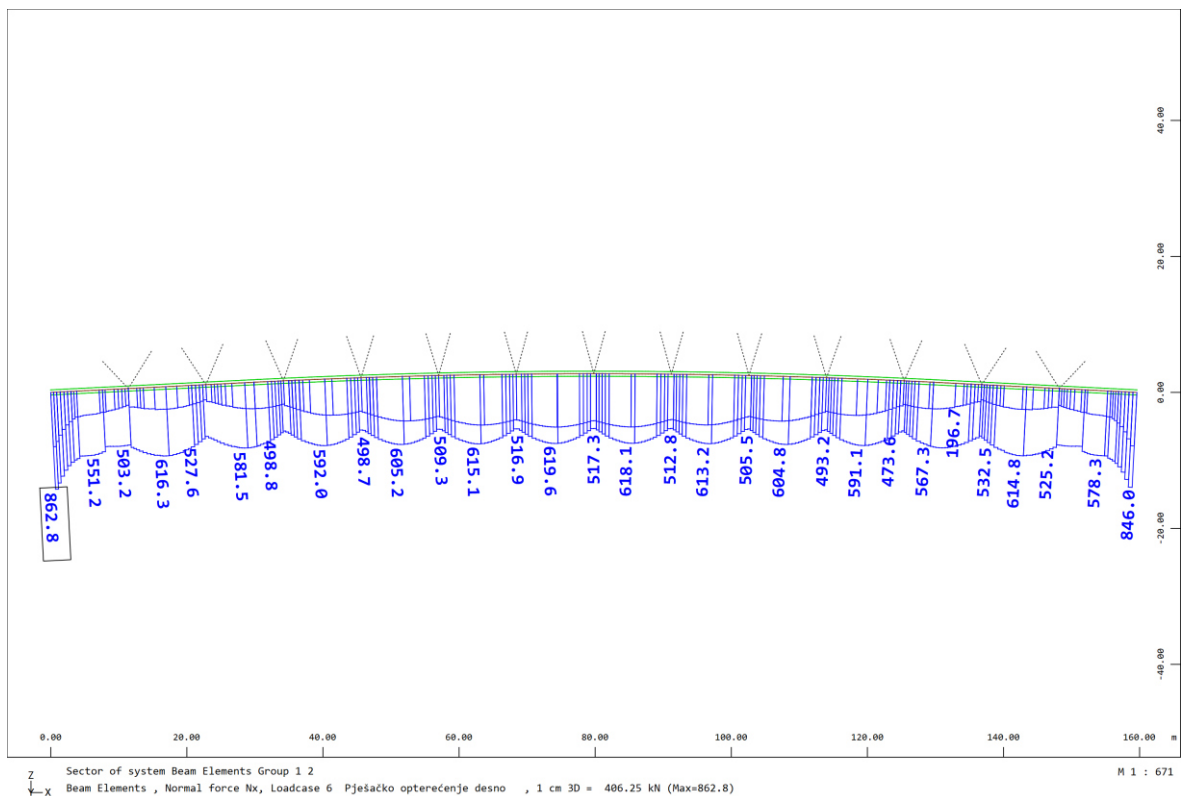
Slika 79. Rasponski sklop LC 5 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



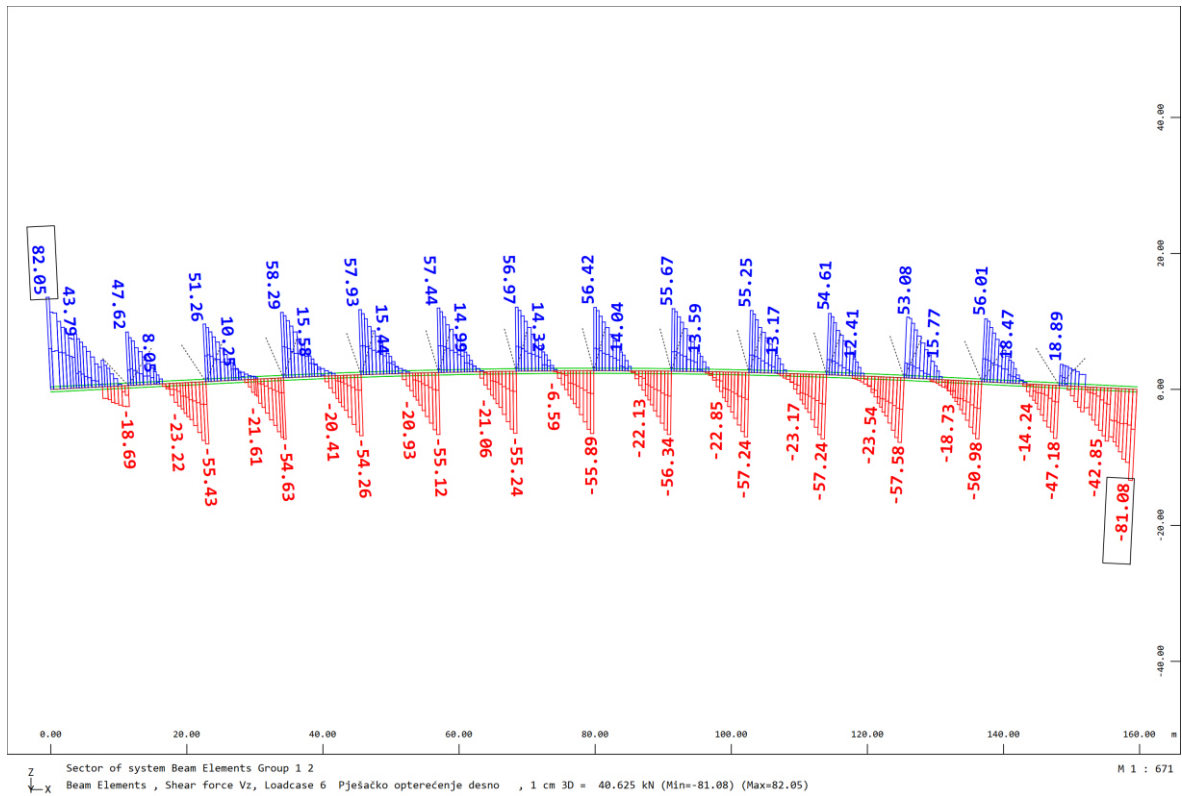
Slika 80. Rasponski sklop LC 5 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



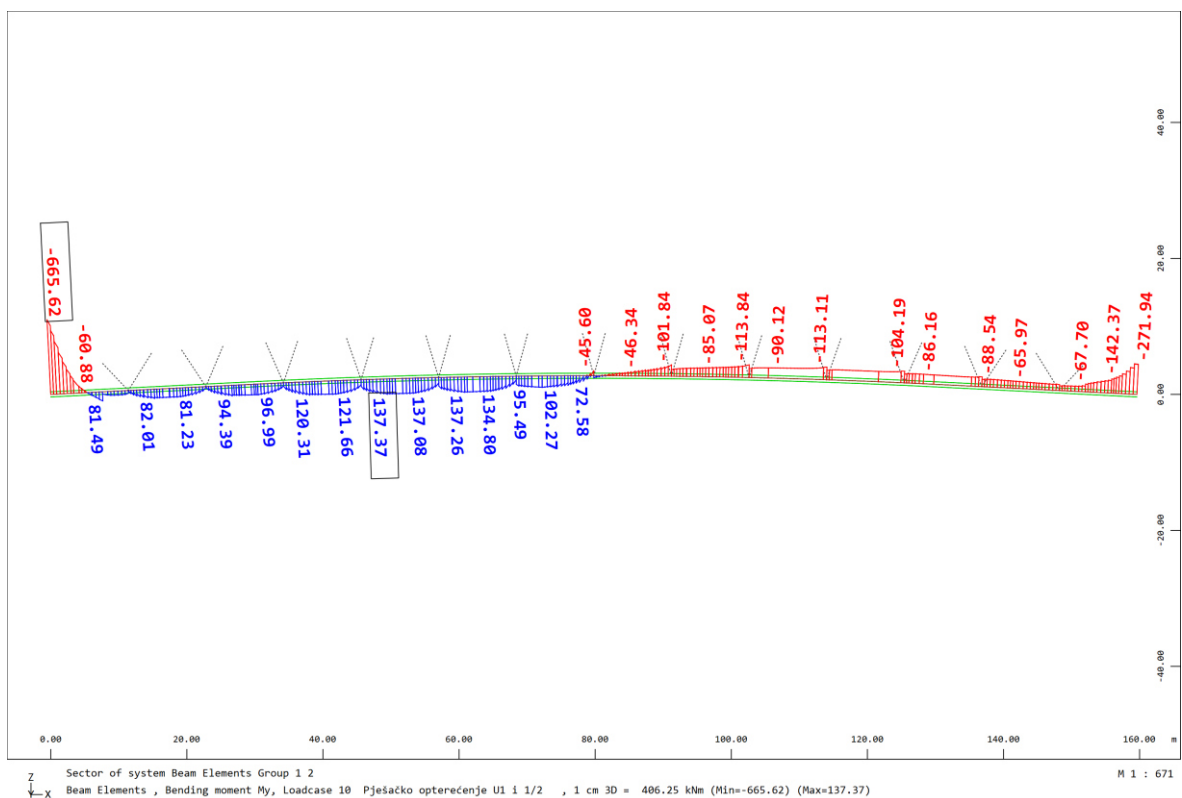
Slika 81. Rasponski sklop LC 6 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)



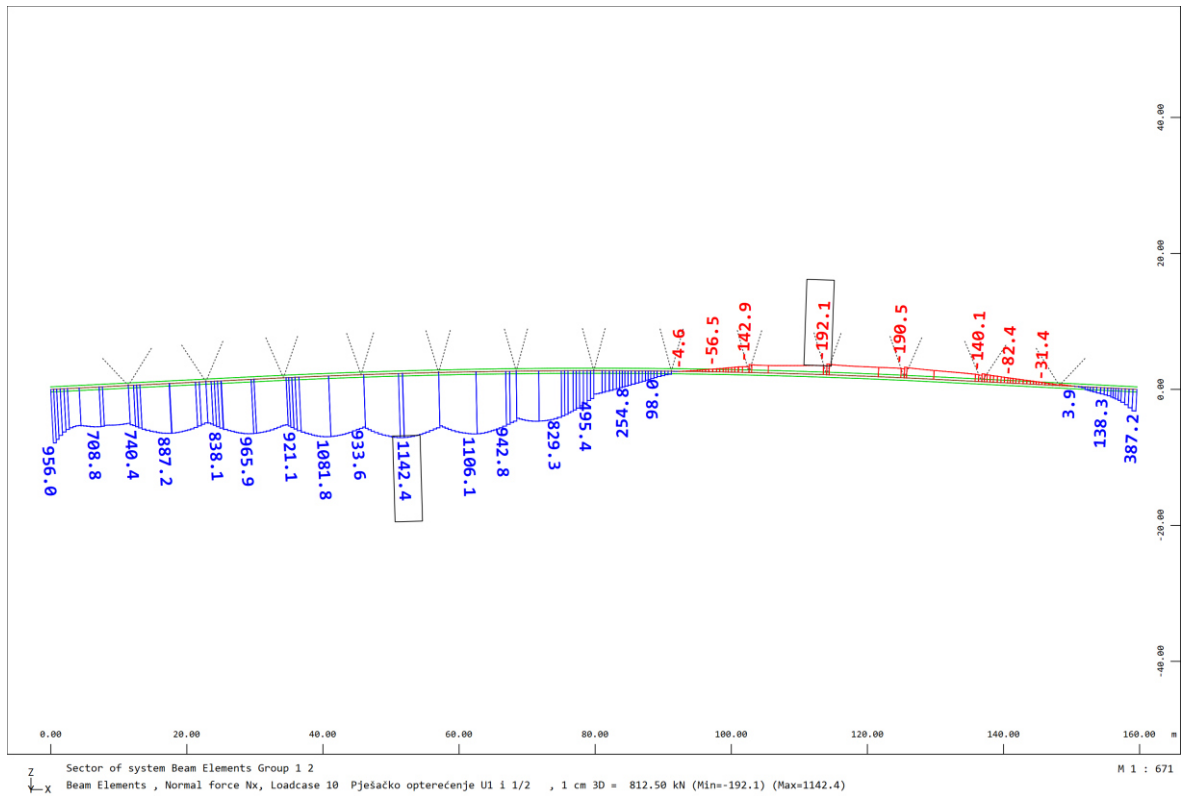
Slika 82. Rasponski sklop LC 6 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)



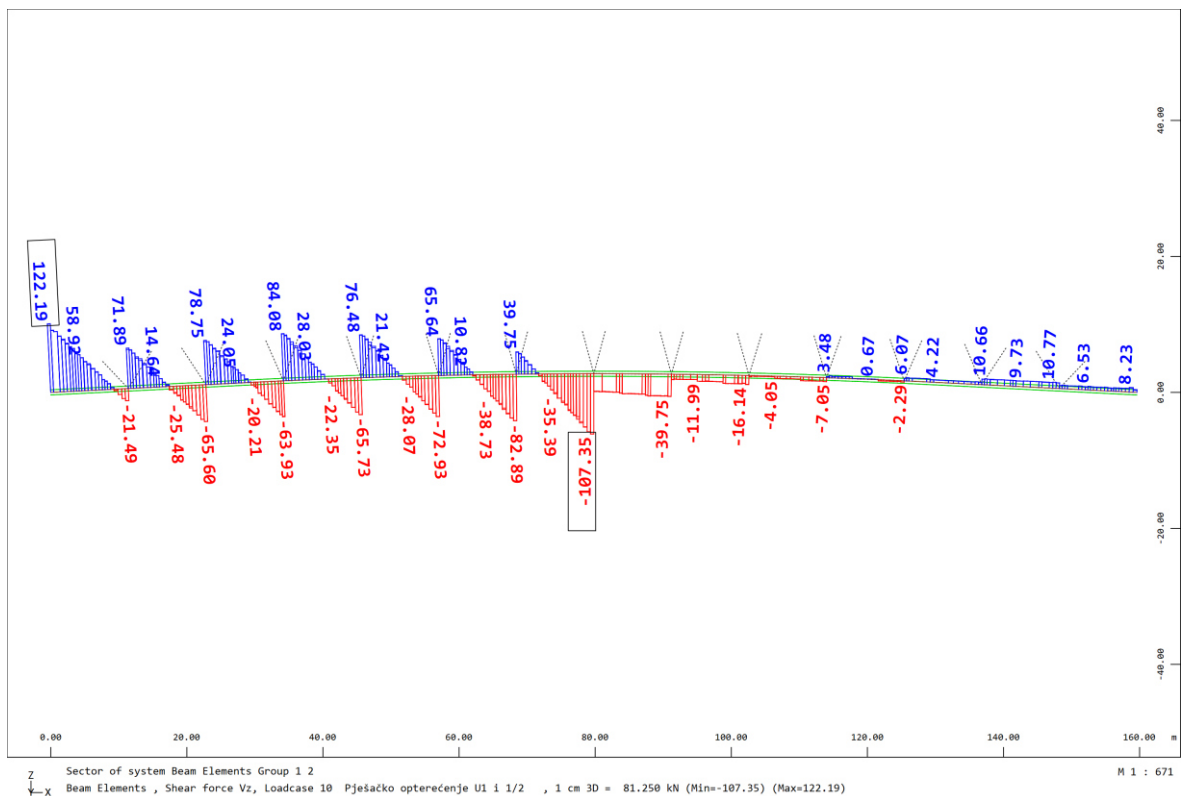
Slika 83. Rasponski sklop LC 6 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)



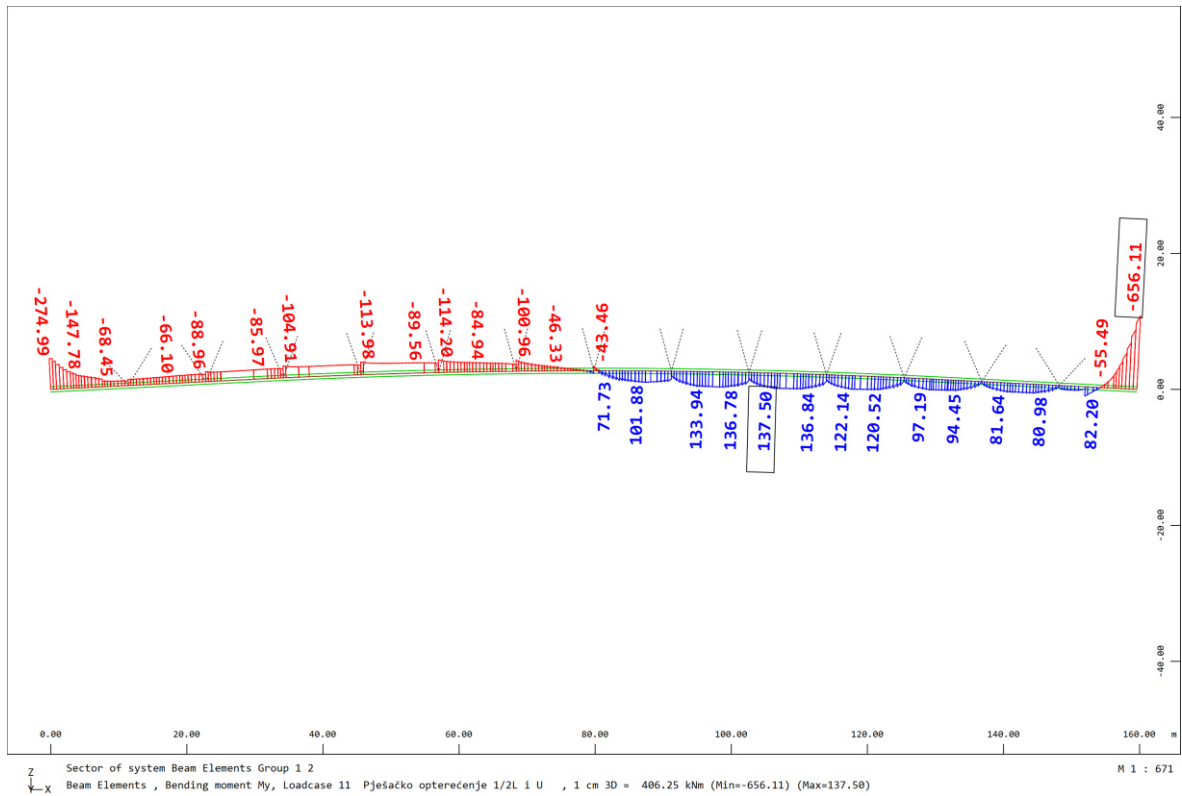
Slika 84. Rasponski sklop LC 10 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta)



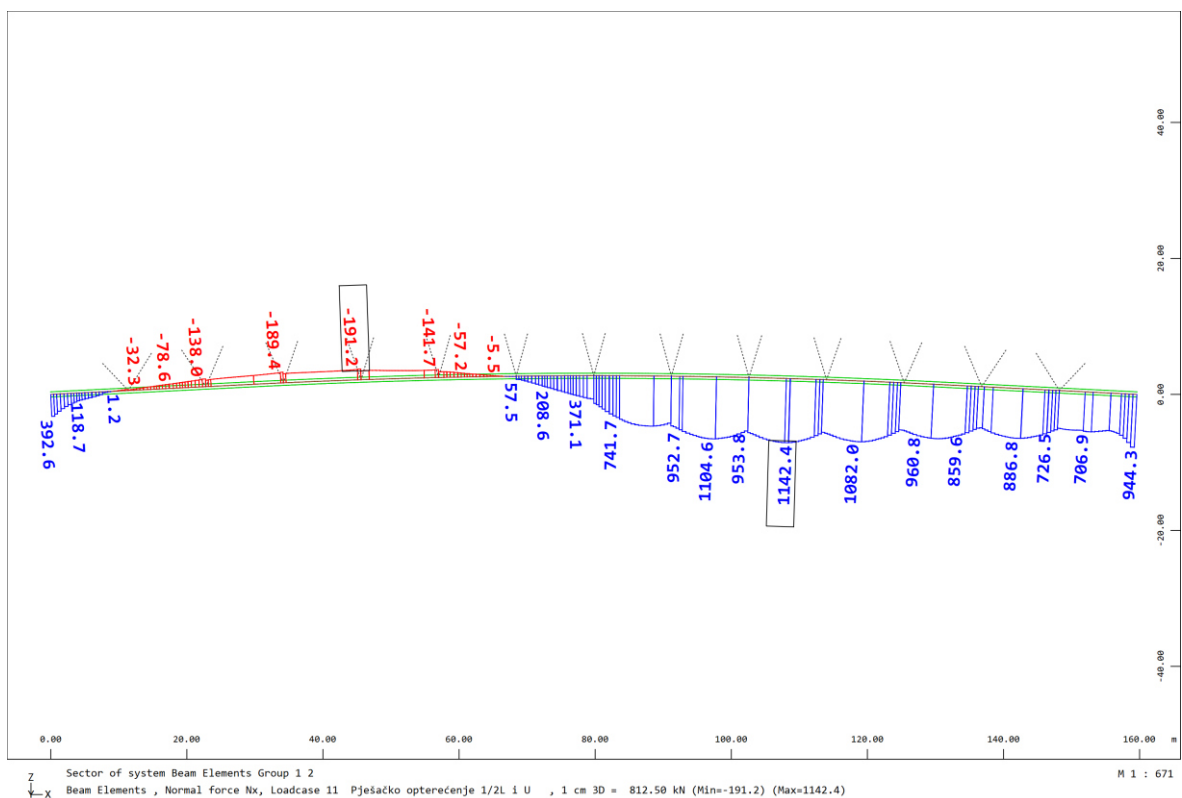
Slika 85. Rasponski sklop LC 10 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta)



Slika 86. Rasponski sklop LC 10 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta)

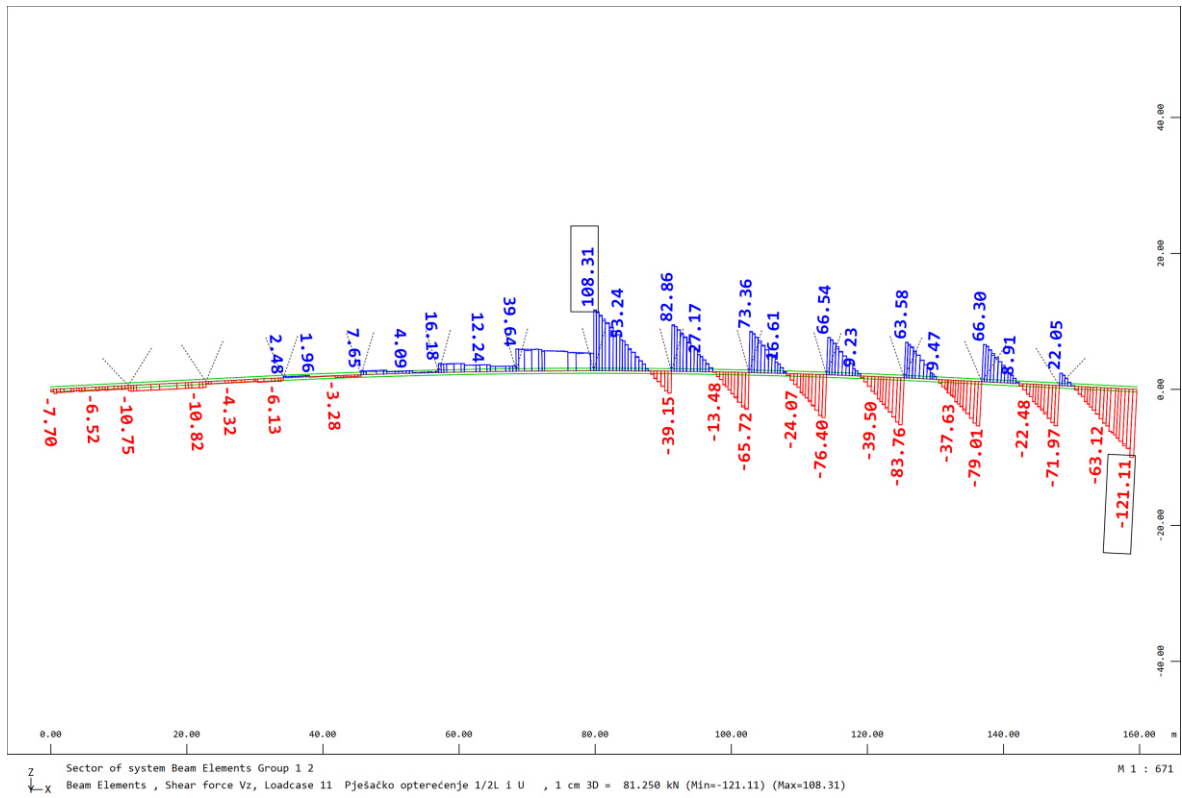


Slika 87. Rasponski sklop LC 11 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta)

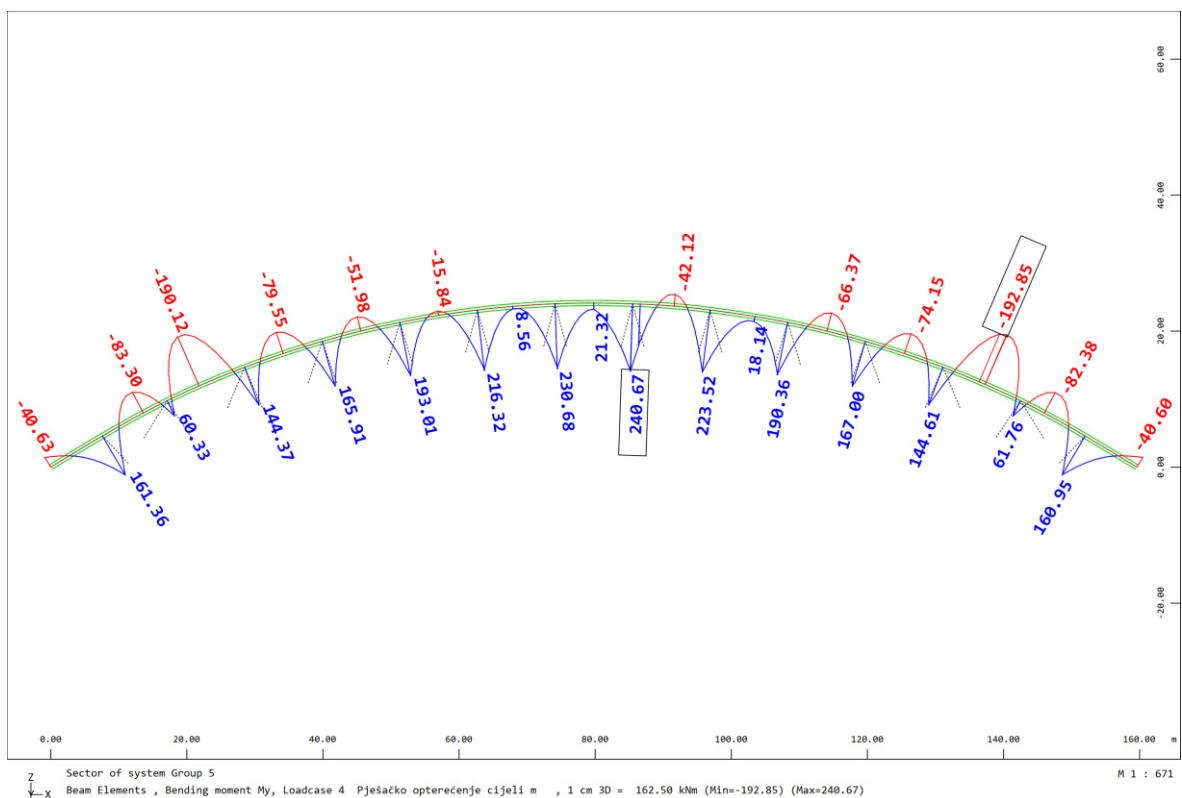


Slika 88. Rasponski sklop LC 11 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta)

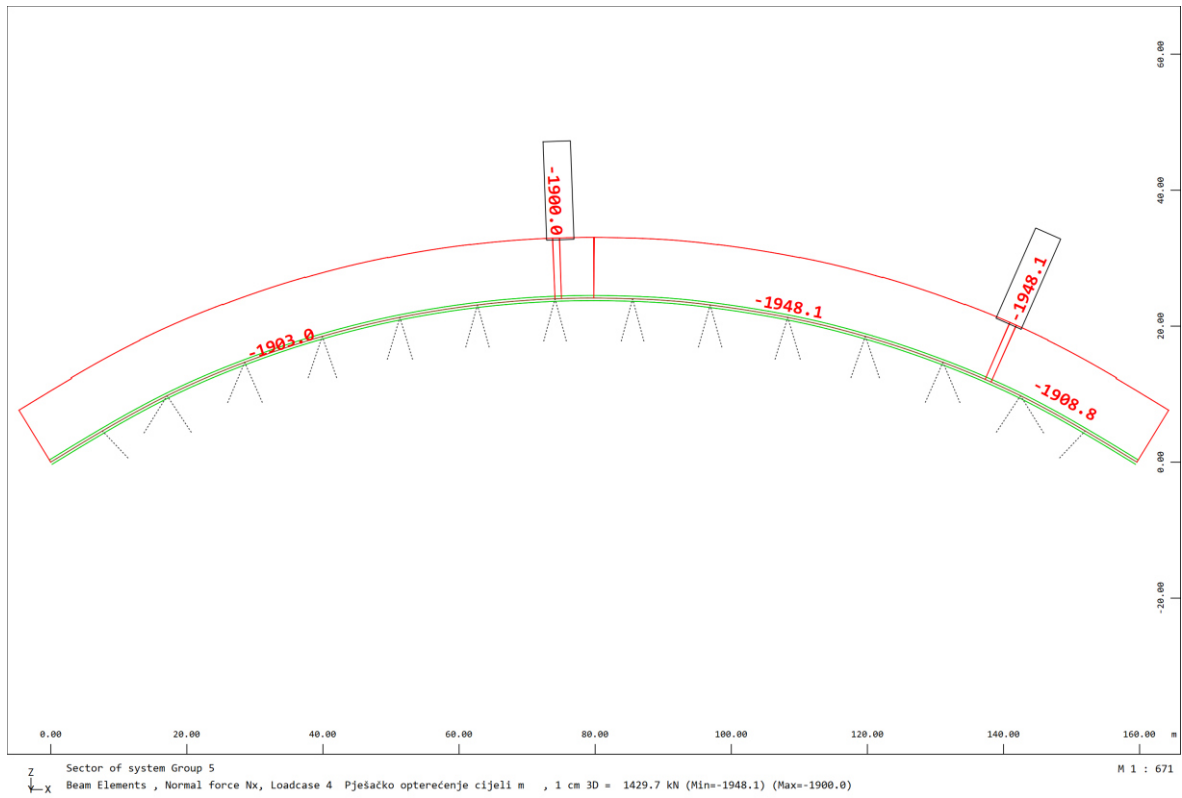




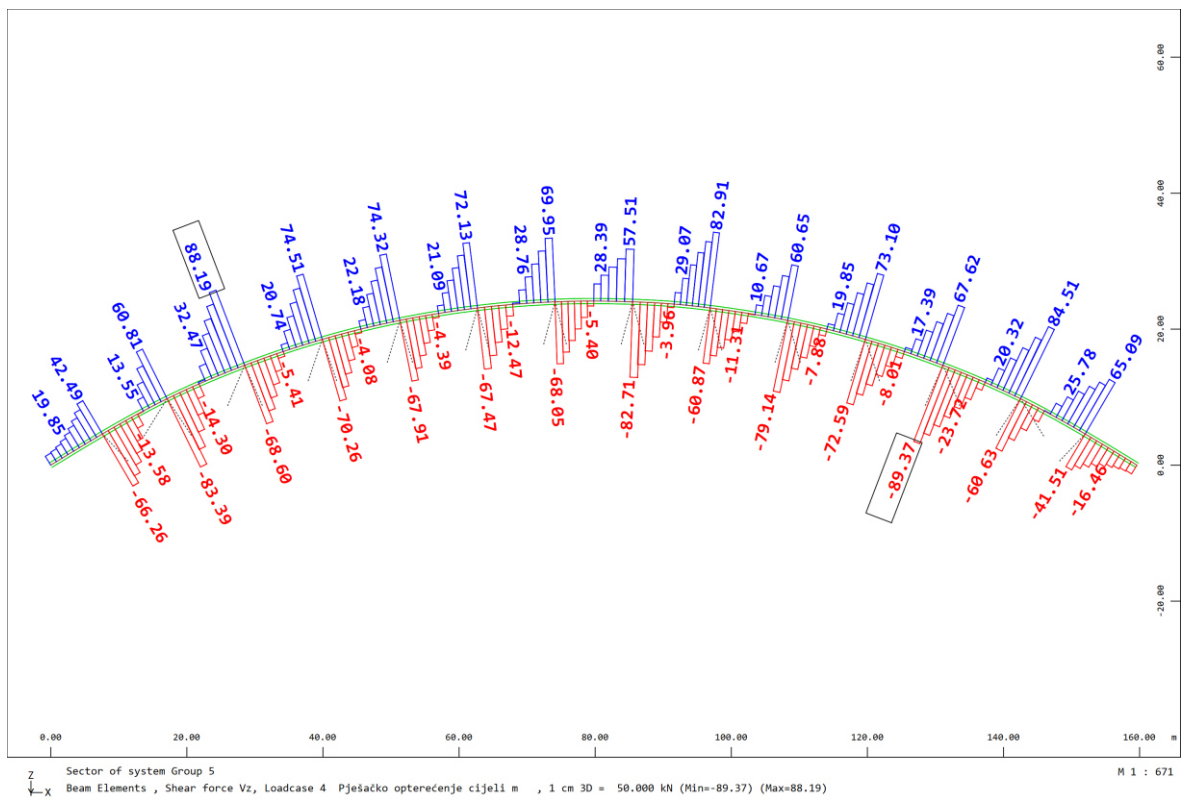
Slika 89. Rasponski sklop LC 11 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta)



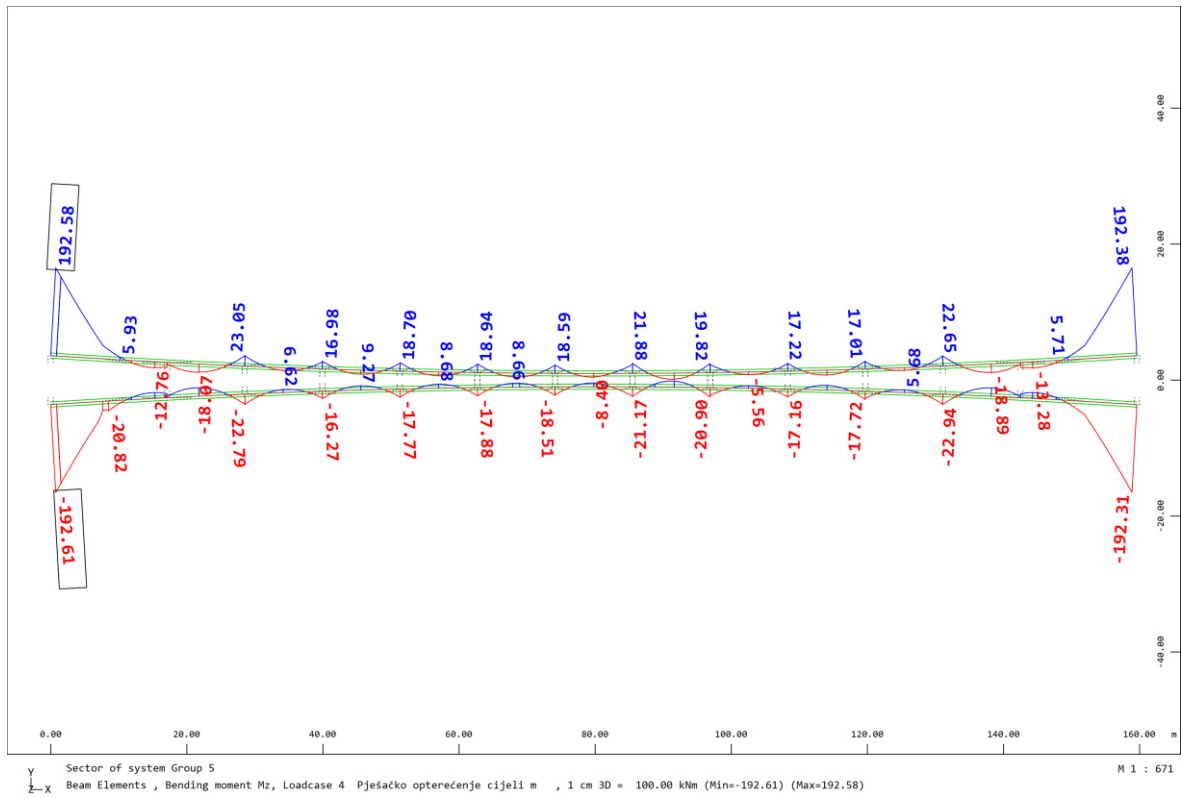
Slika 90. Luk LC 4 My (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



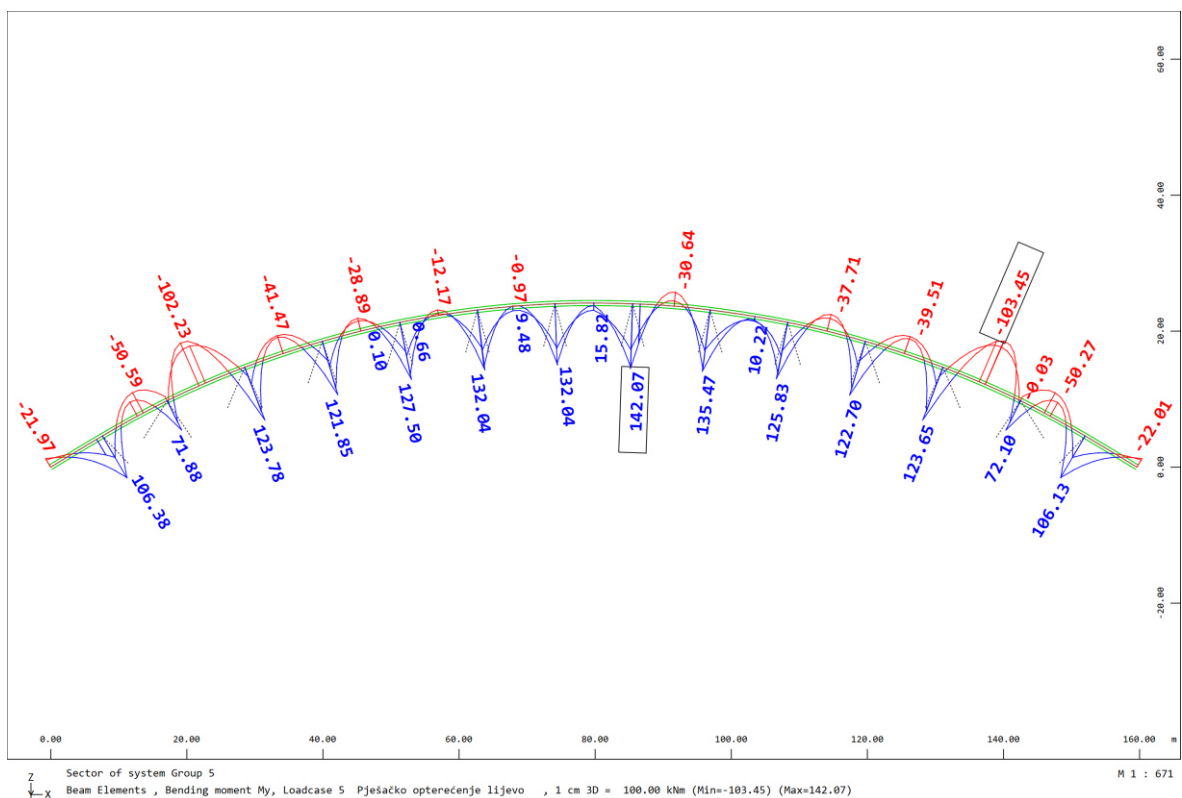
Slika 91. Luk LC 4 Nx (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



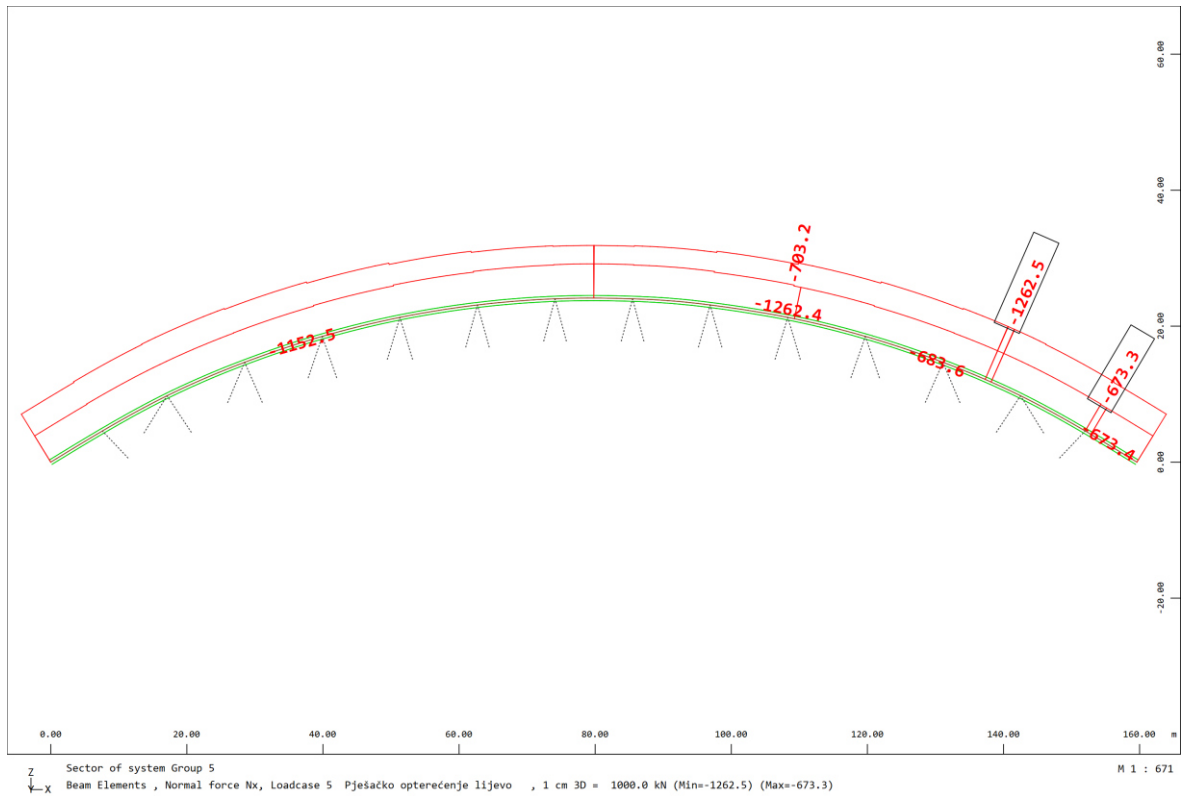
Slika 92. Luk LC 4 Vz (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



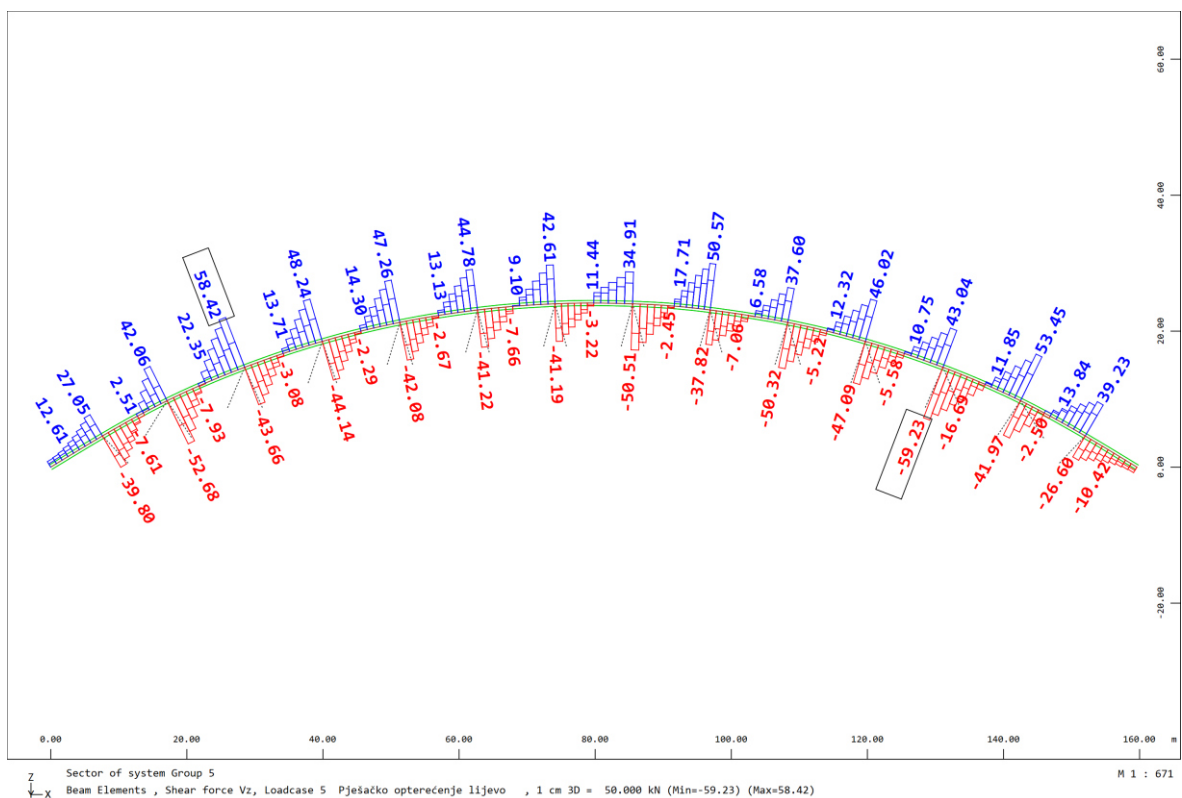
Slika 93. Luk LC 4 Mz (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



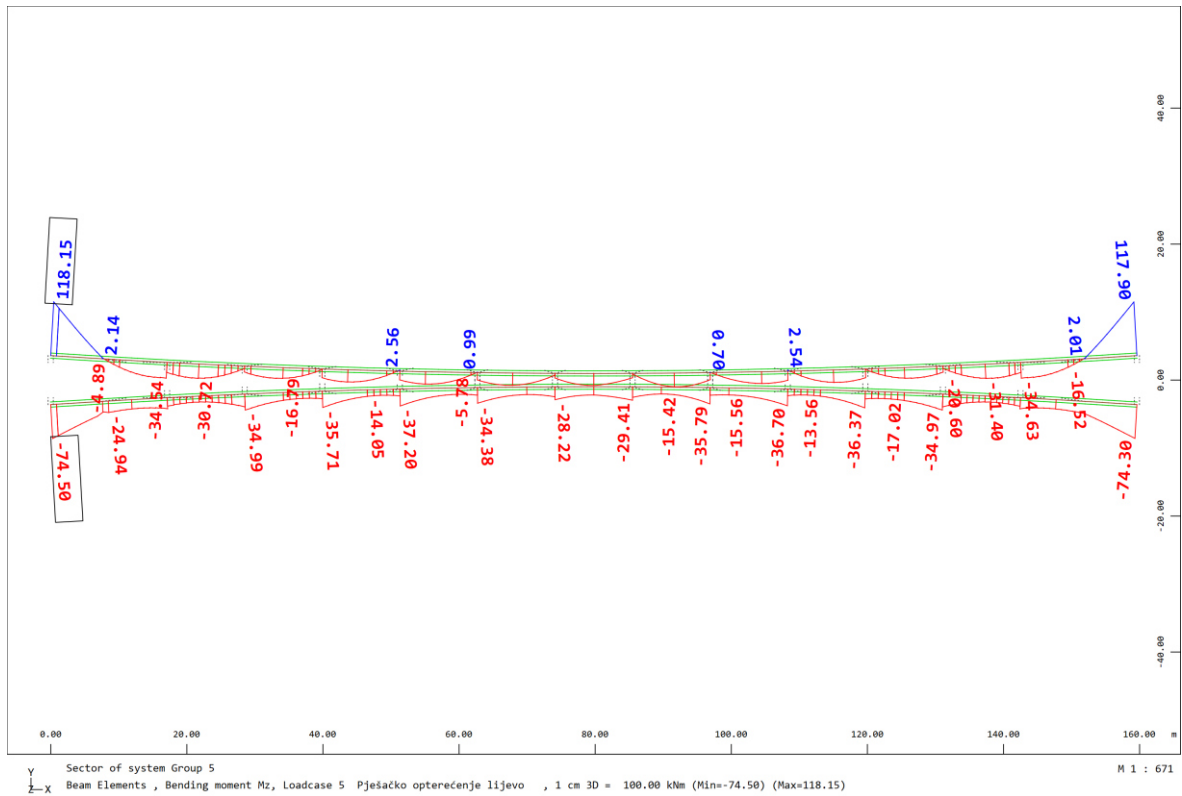
Slika 94. Luk LC 5 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



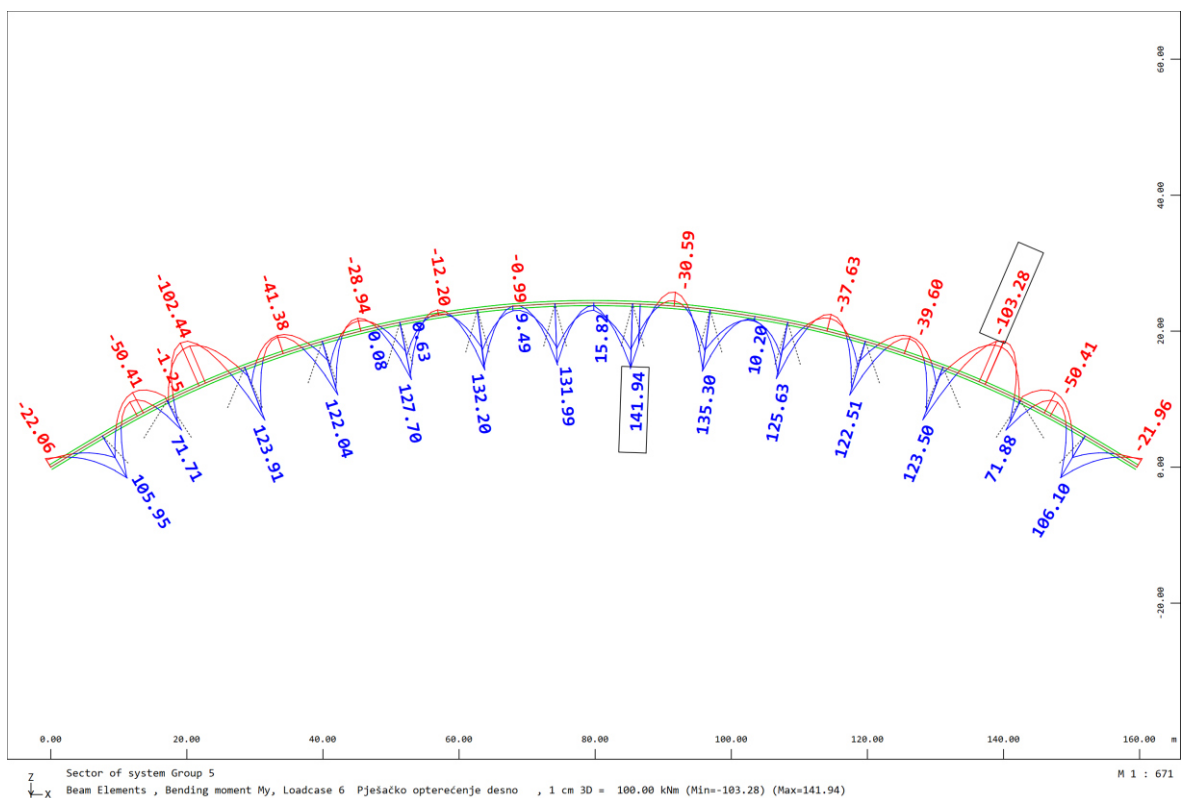
Slika 95. Luk LC 5 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



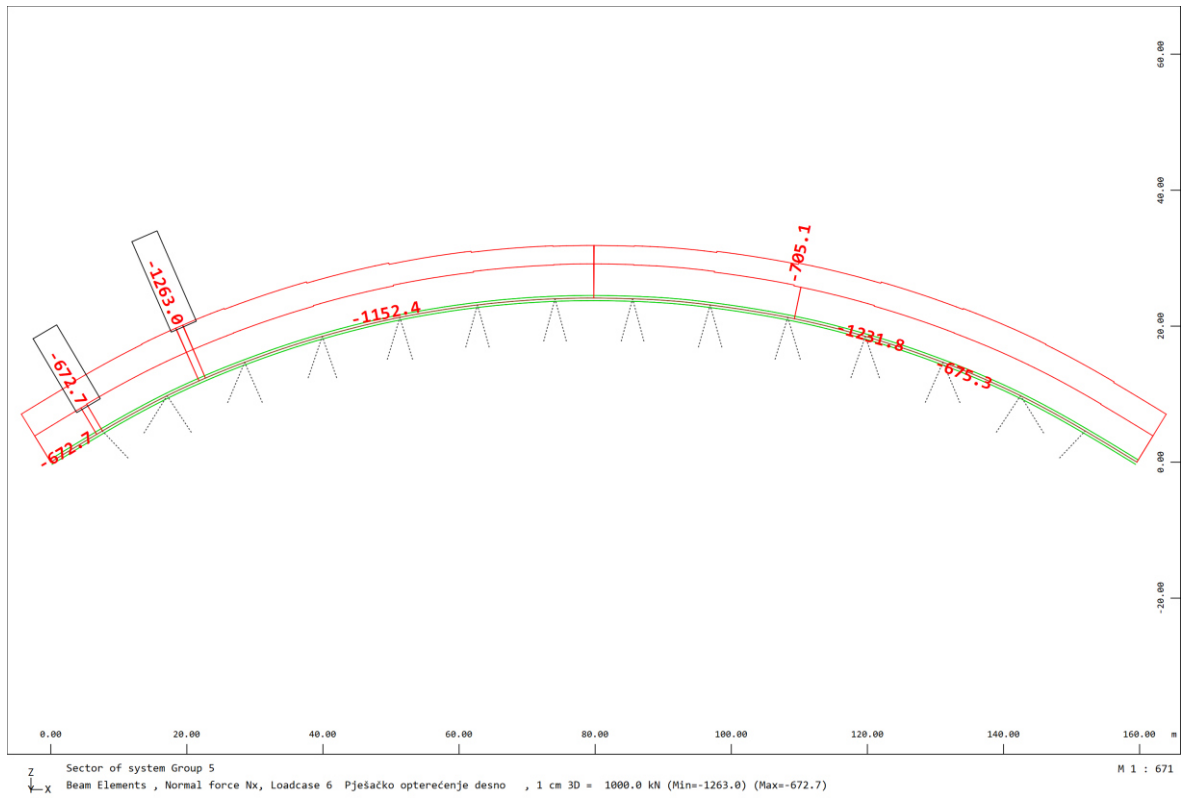
Slika 96. Luk LC 5 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



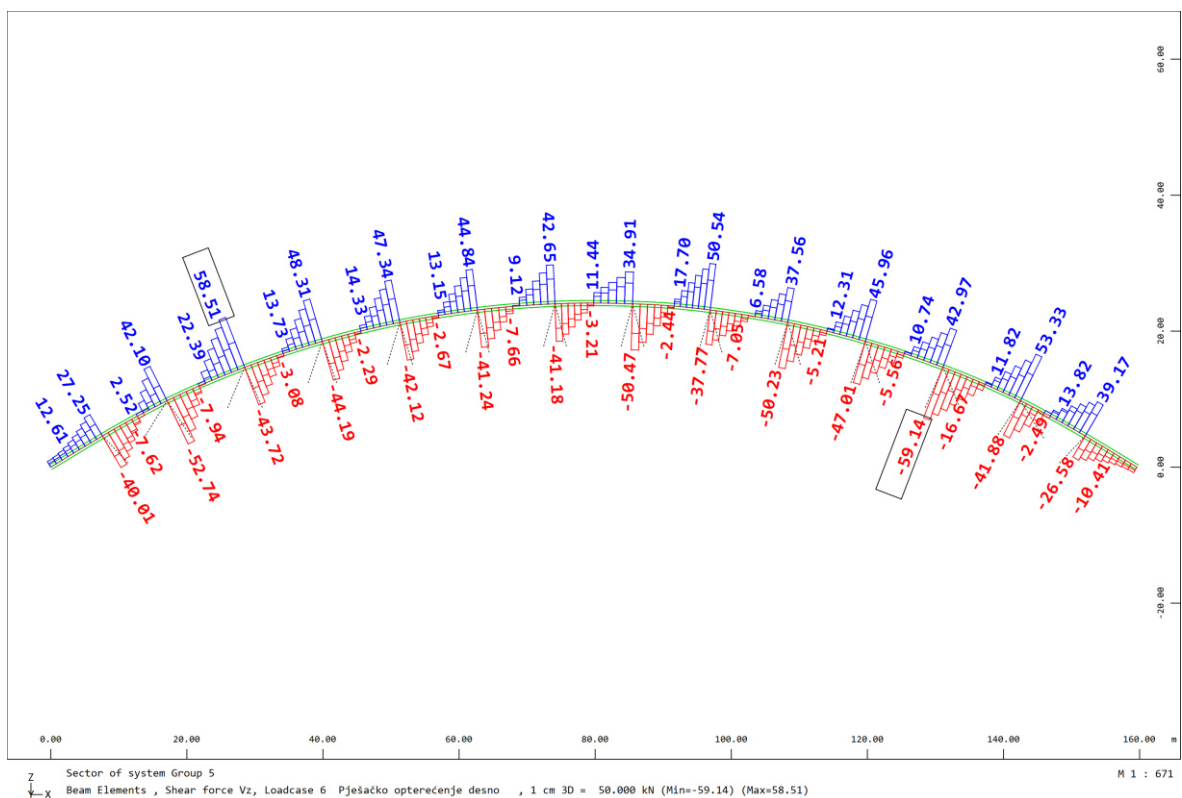
Slika 97. Luk LC 5 Mz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta)



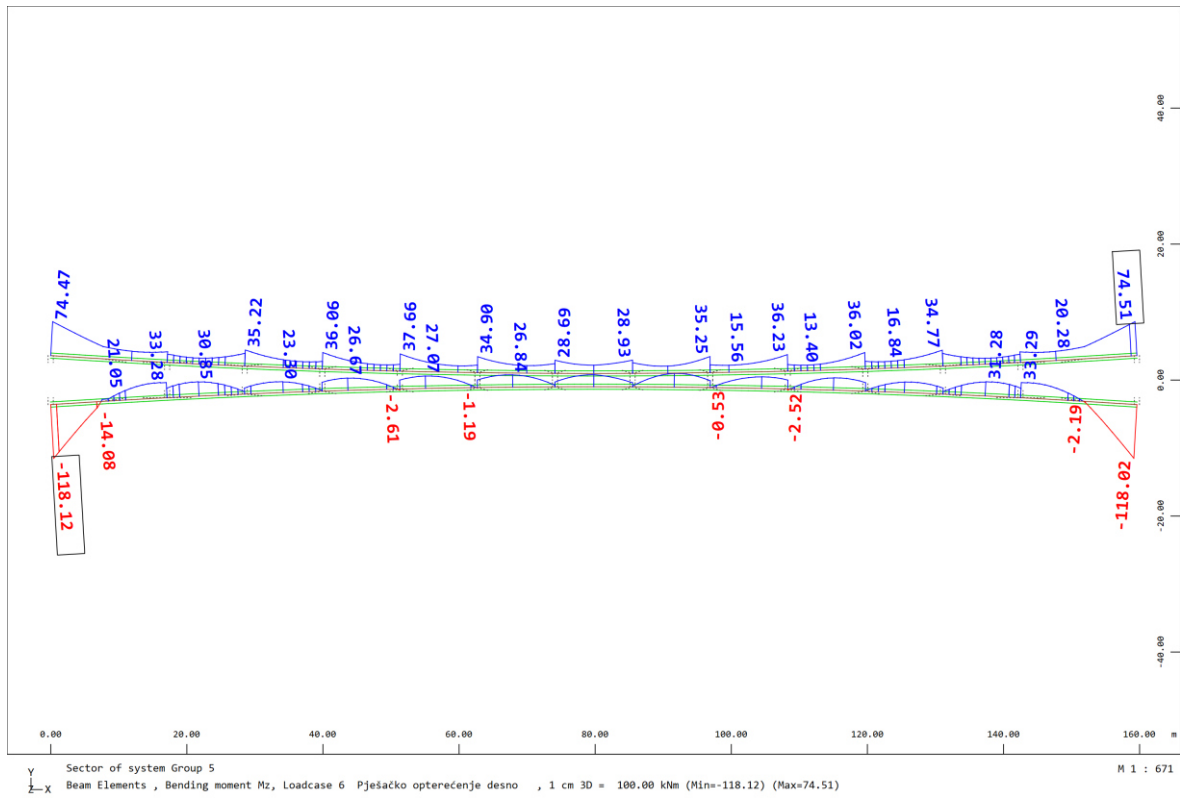
Slika 98. Luk LC 6 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)



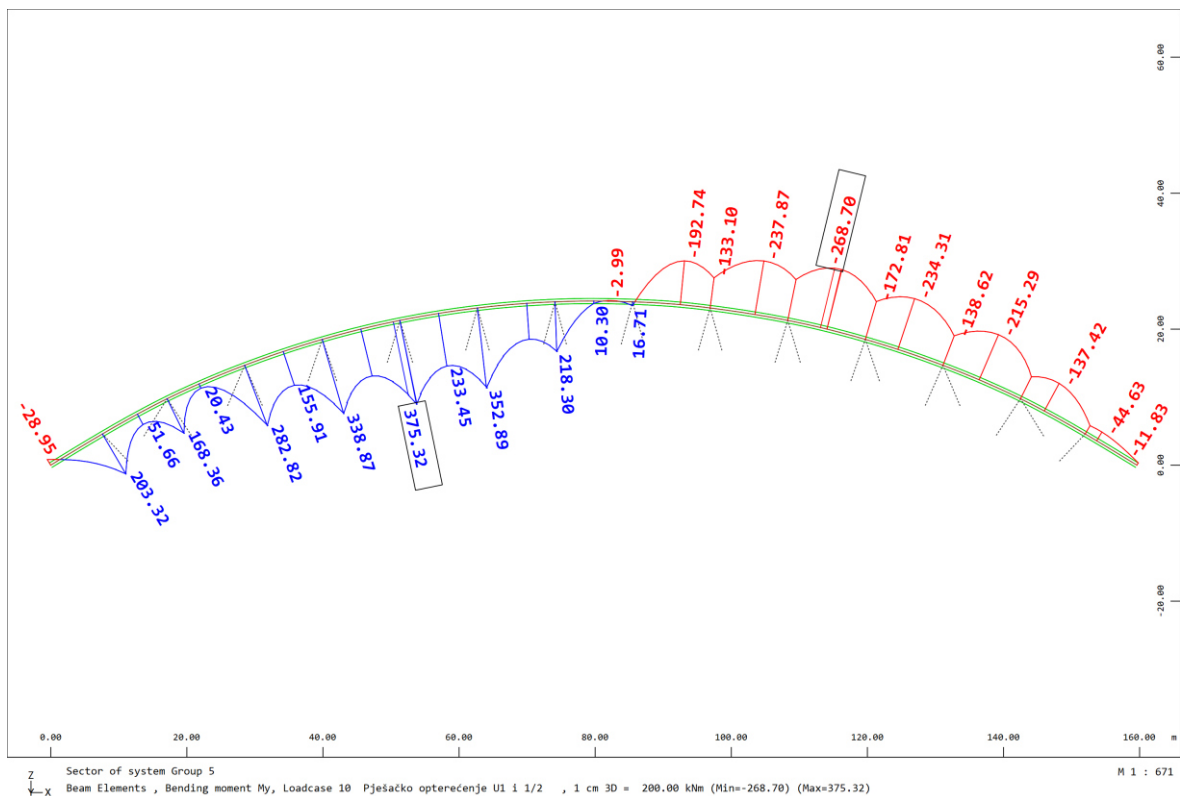
Slika 99. Luk LC 6 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)



Slika 100. Luk LC 6 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)

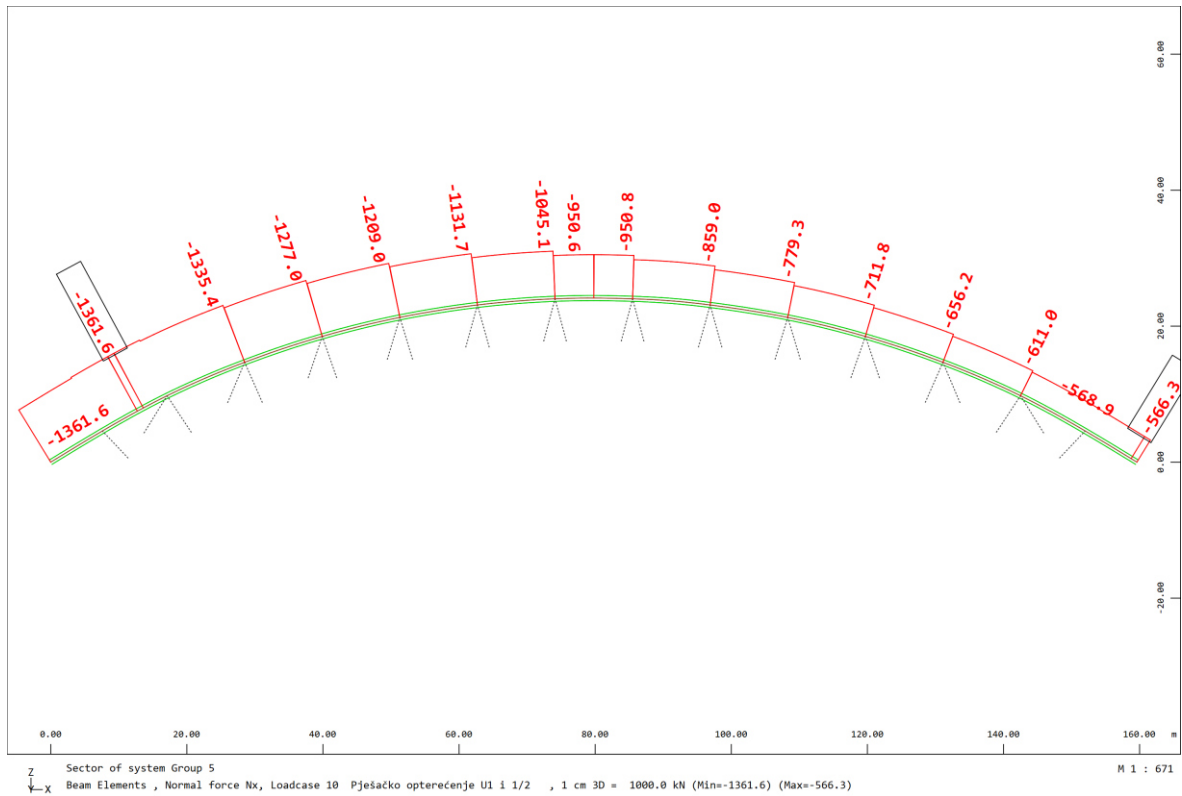


Slika 101. Luk LC 6 Mz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta)

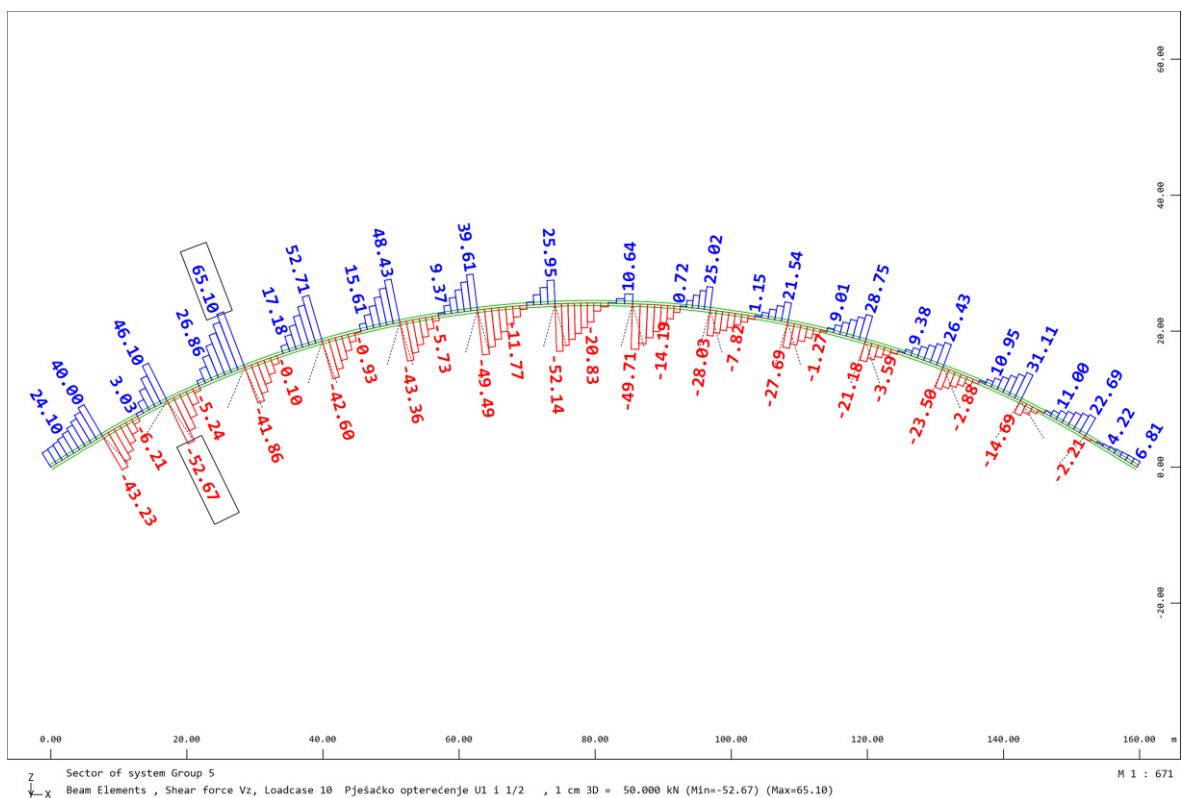


Slika 102. Luk LC 10 My (Prometno opterećenje nad upornjacom U1 i polovici raspona mosta)

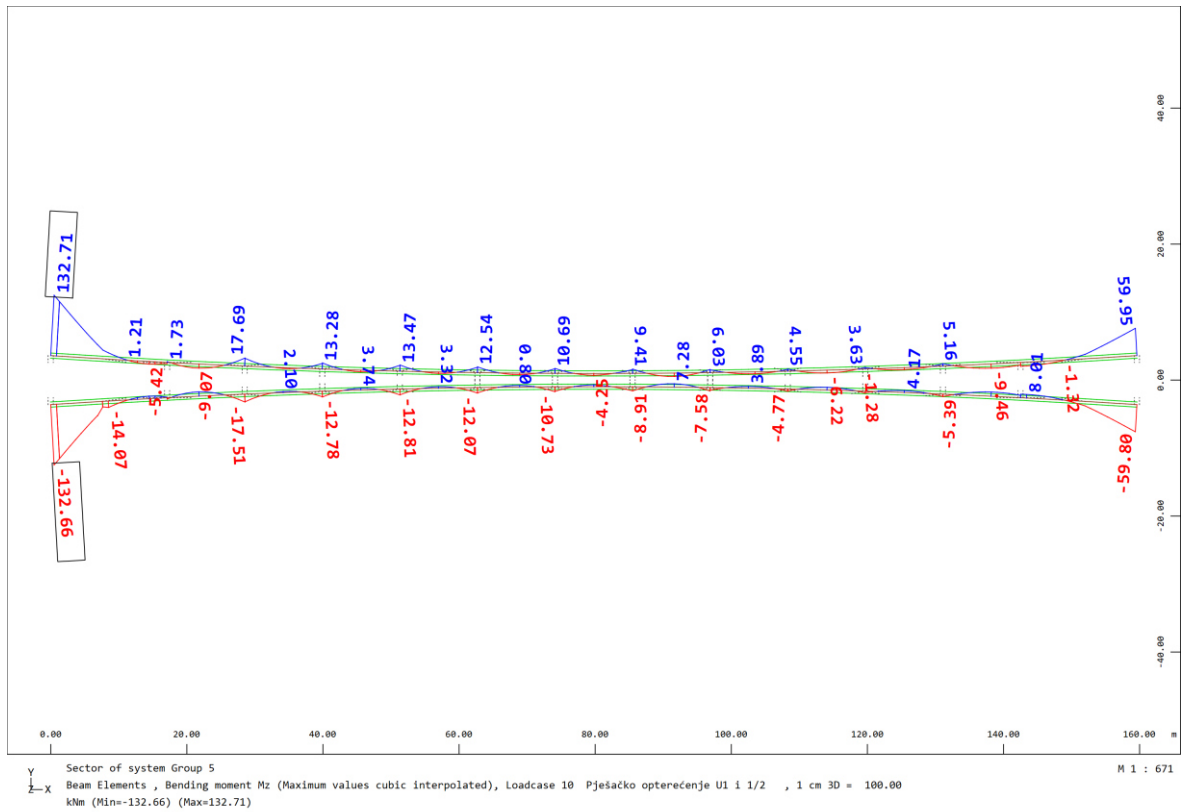




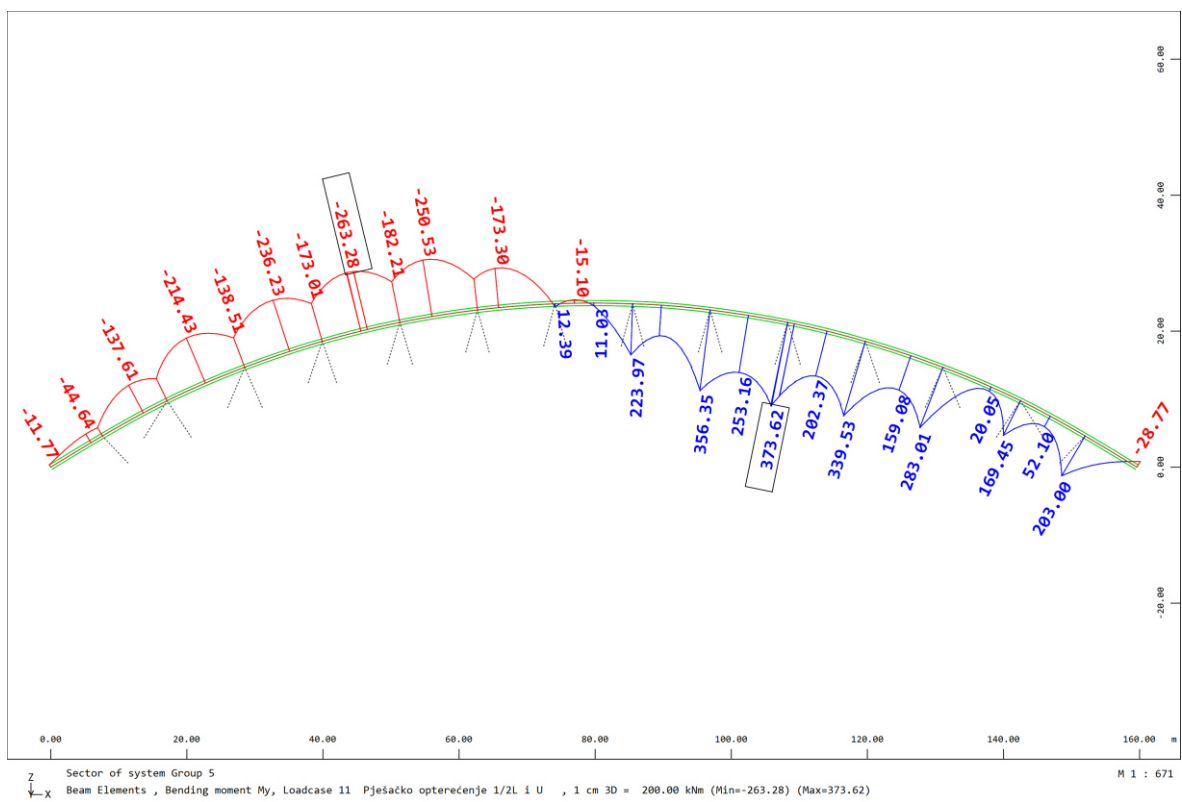
Slika 103. Luk LC 10 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta)



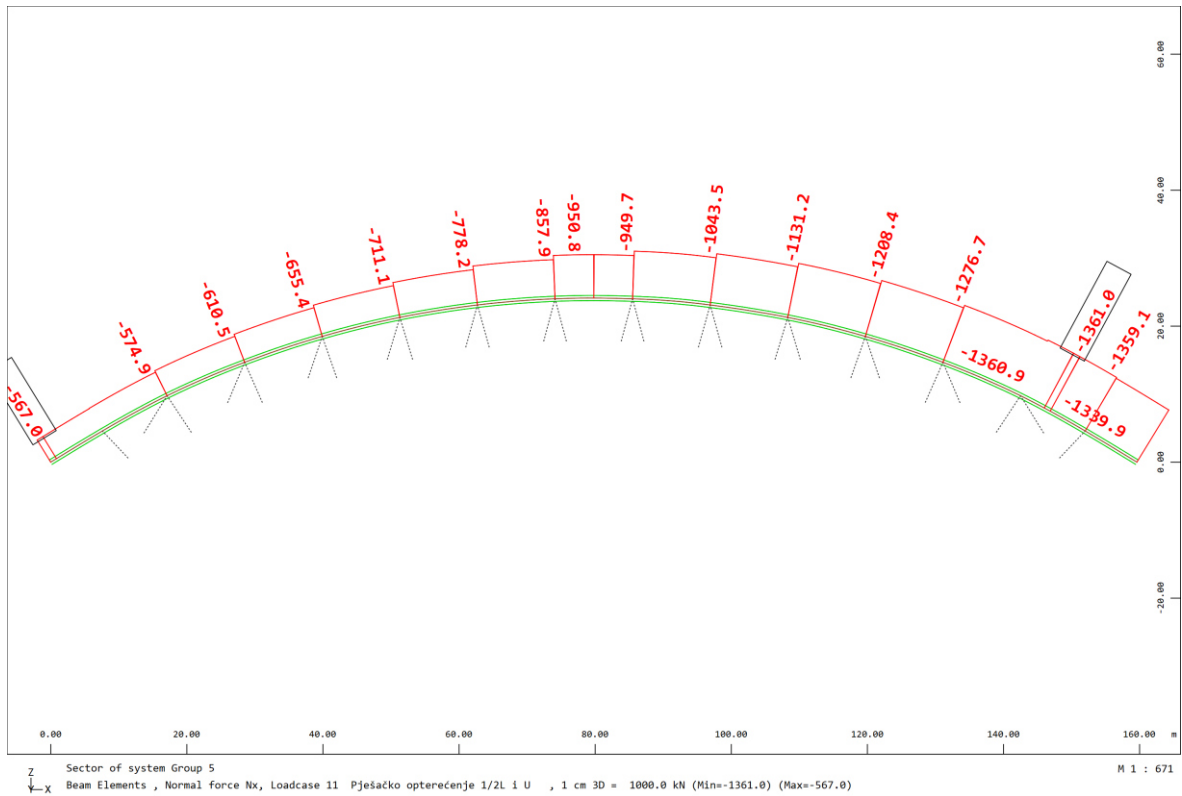
Slika 104. Luk LC 10 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta)



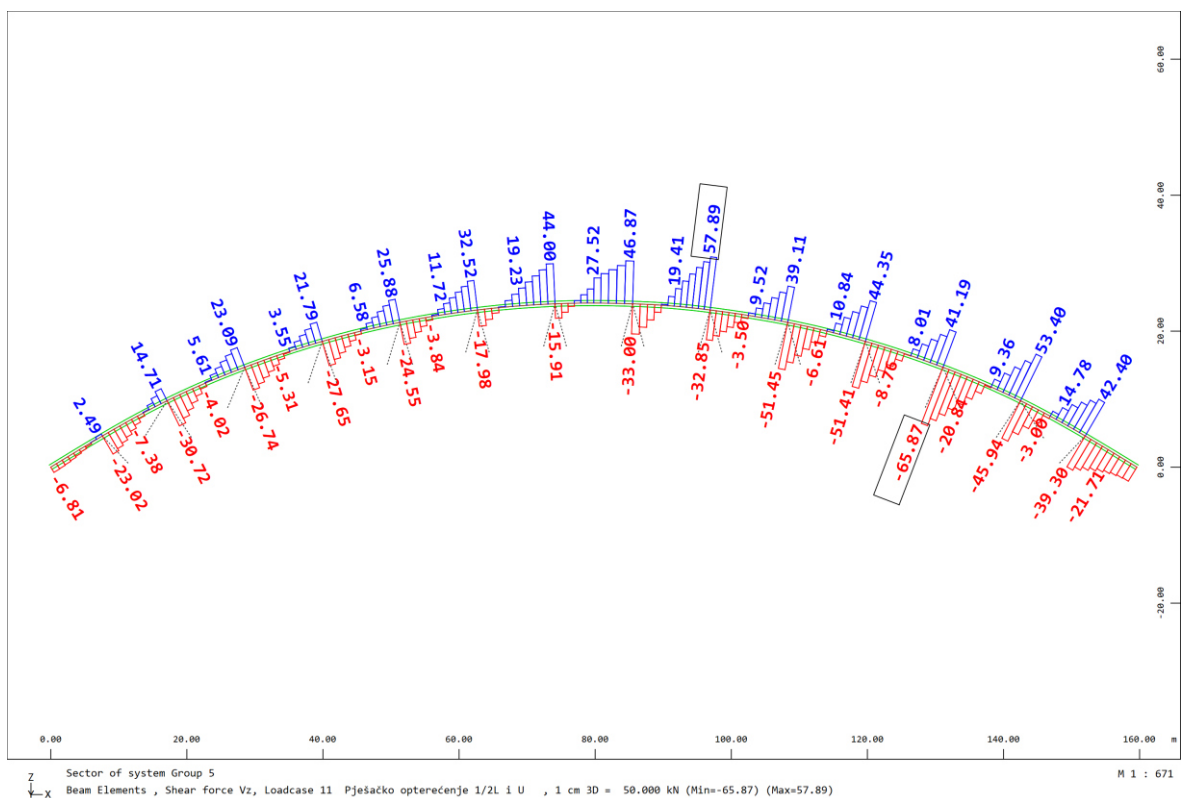
Slika 105. Luk LC 10 Mz (Prometno opterećenje nad upornjacom U1 i polovici raspona mosta)



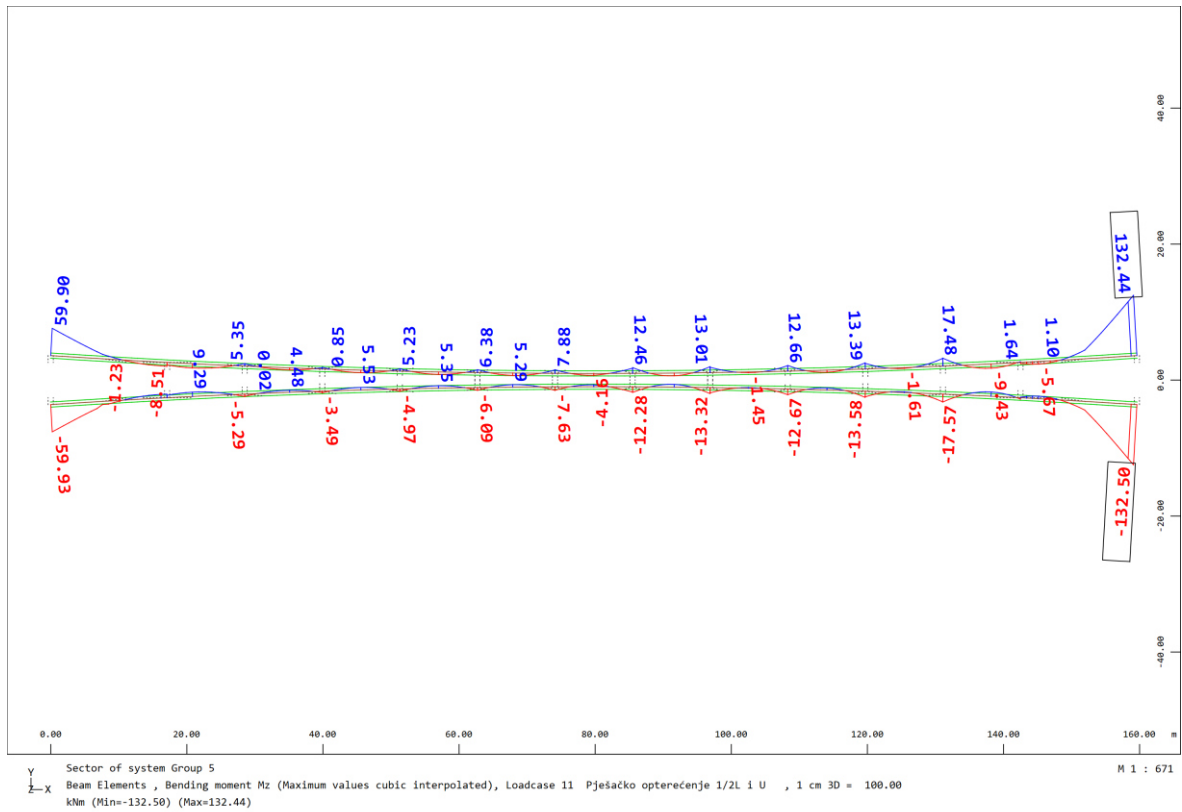
Slika 106. Luk LC 11 My (Prometno opterećenje nad upornjacom U2 i polovici raspona mosta)



Slika 107. Luk LC 11 Nx (Prometno opterećenje nad upornjacom U2 i polovici raspona mosta)

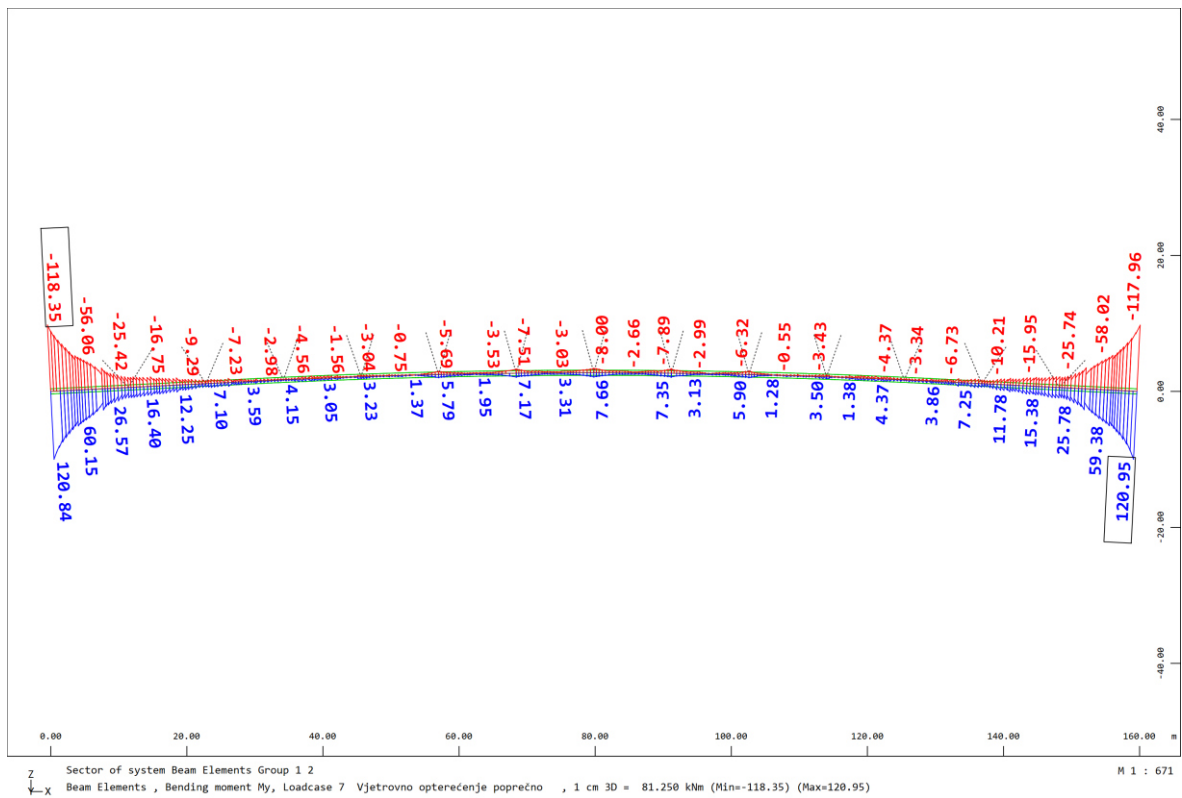


Slika 108. Luk LC 11 Vz (Prometno opterećenje nad upornjacom U2 i polovici raspona mosta)

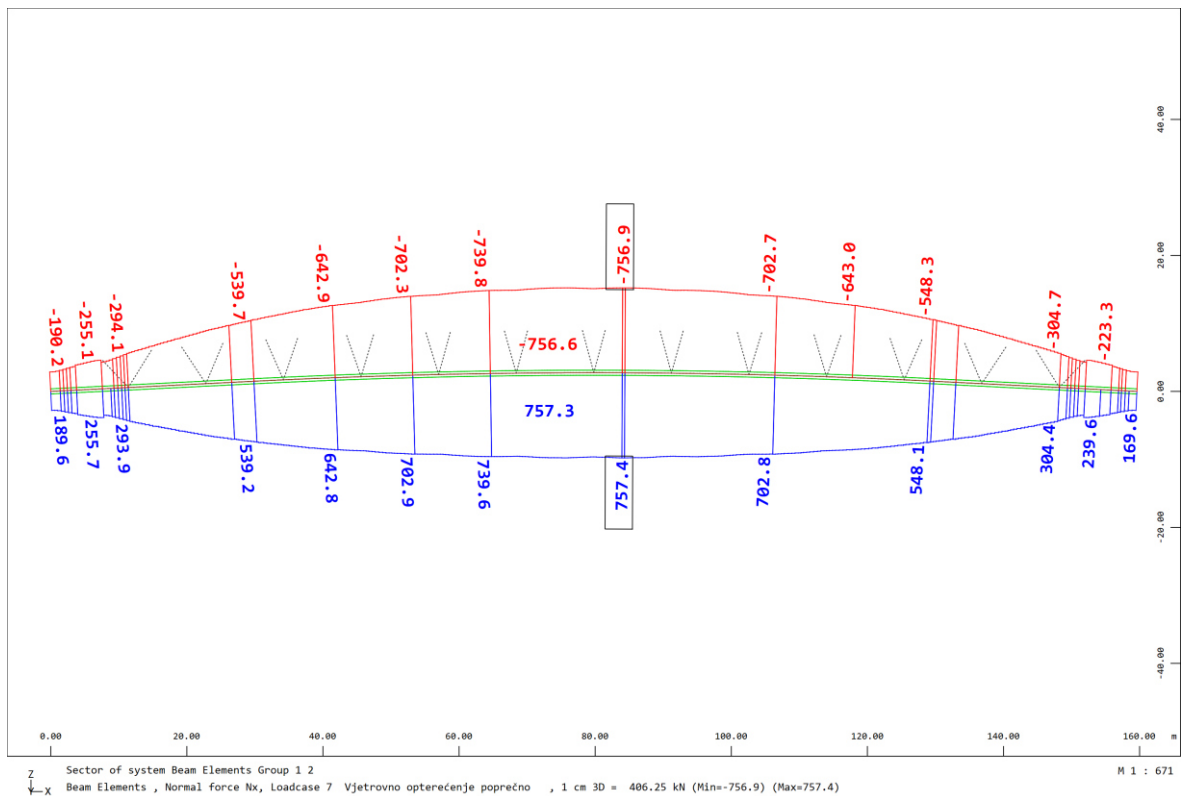


Slika 109. Luk LC 11 Mz (Prometno opterećenje nad upornjacom U2 i polovici raspona mosta)

### 5.3. Rezne sile za opterećenje vjetrom

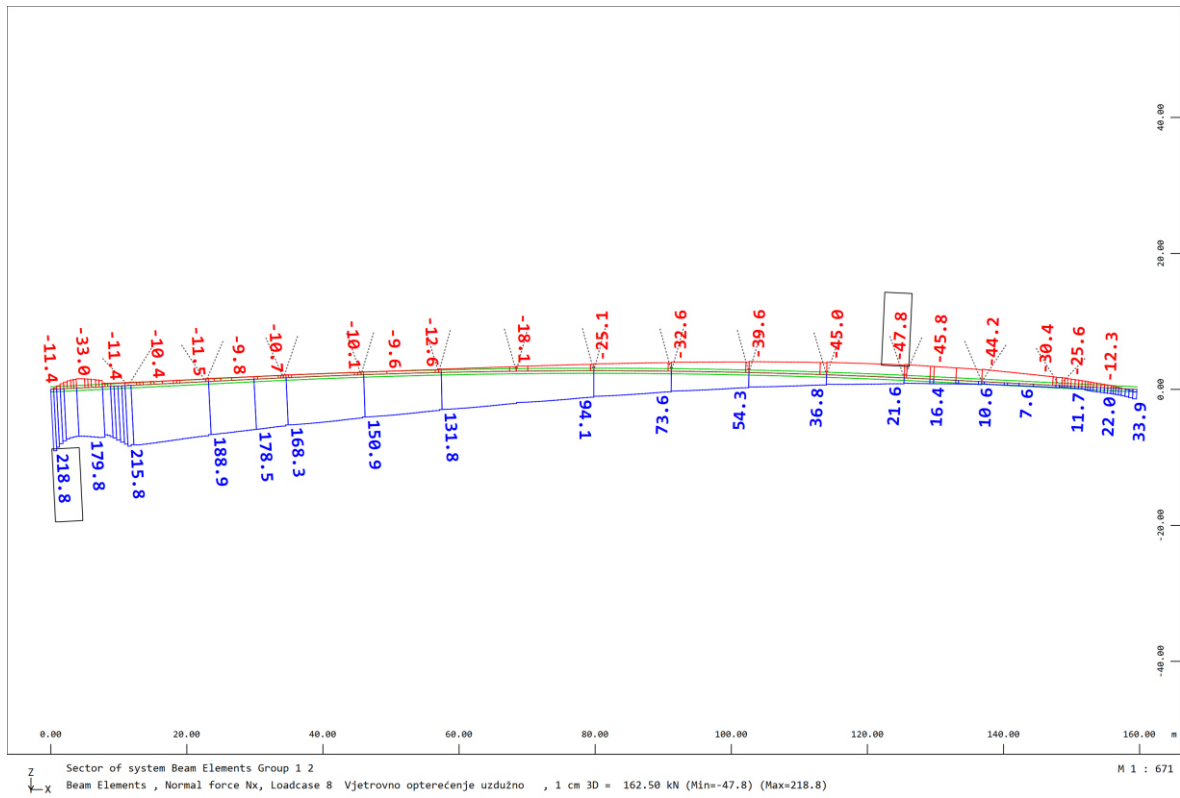


Slika 110. Rasponski sklop LC 7 My (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)

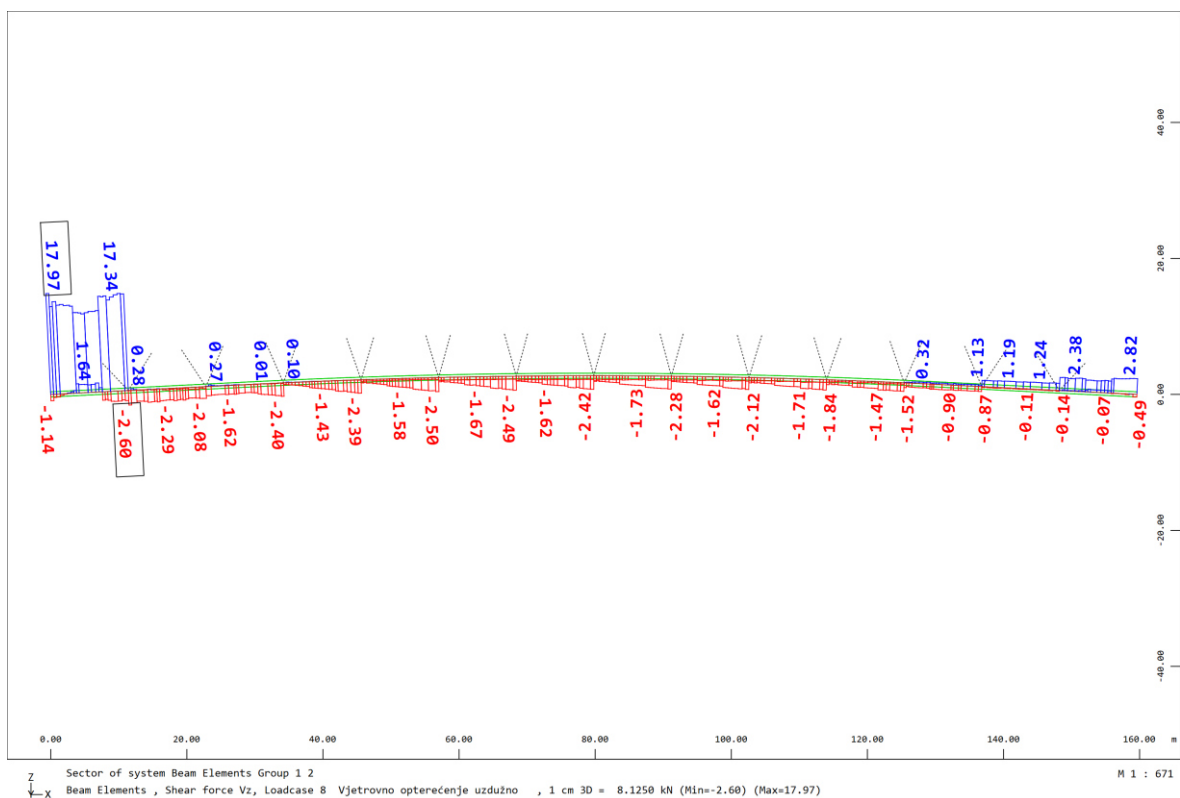


Slika 111. Rasponski sklop LC 7 Nx (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)



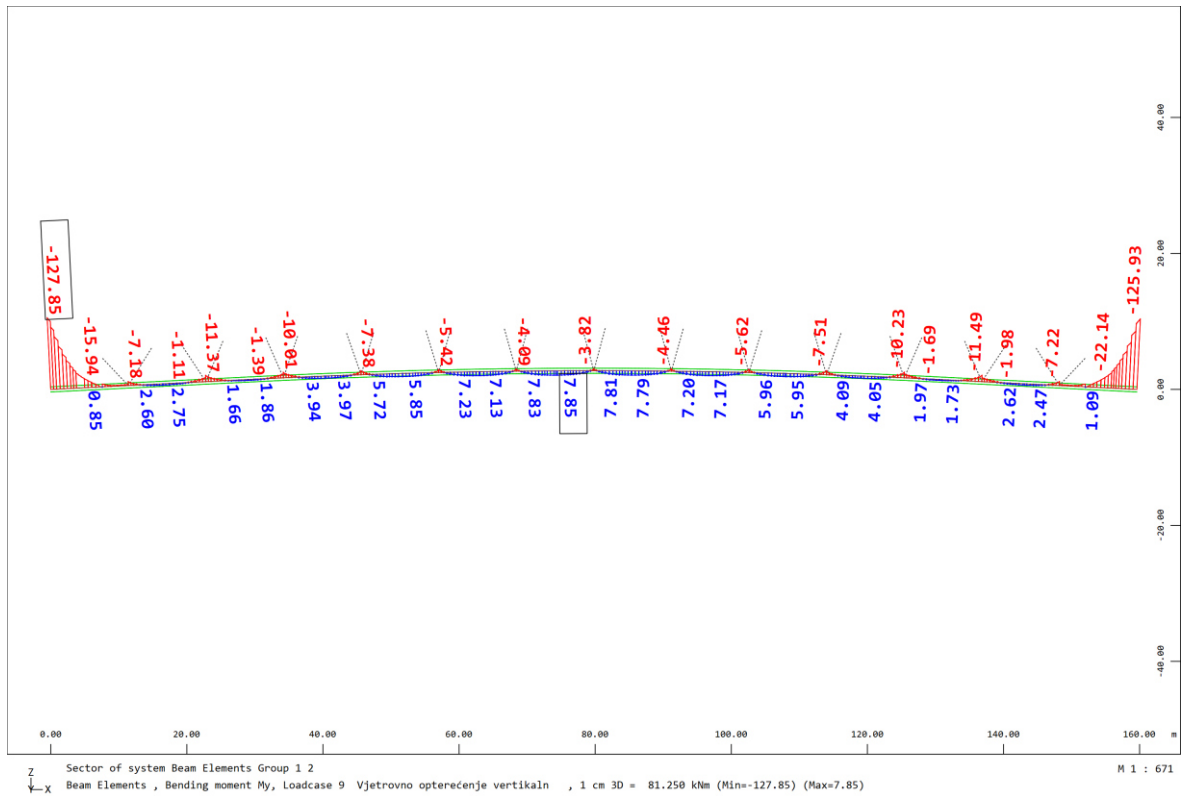


Slika 114. Rasponski sklop LC 8 Nx (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)

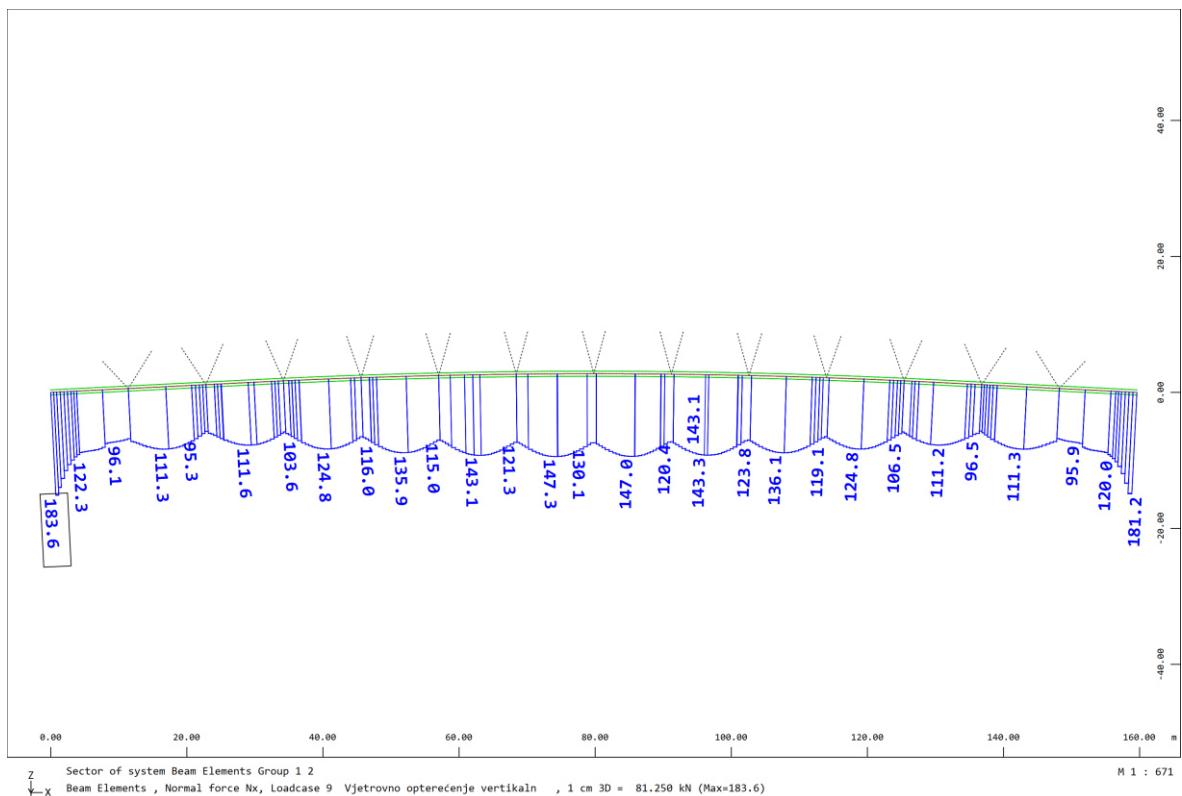


Slika 115. Rasponski sklop LC 8 Vz (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)

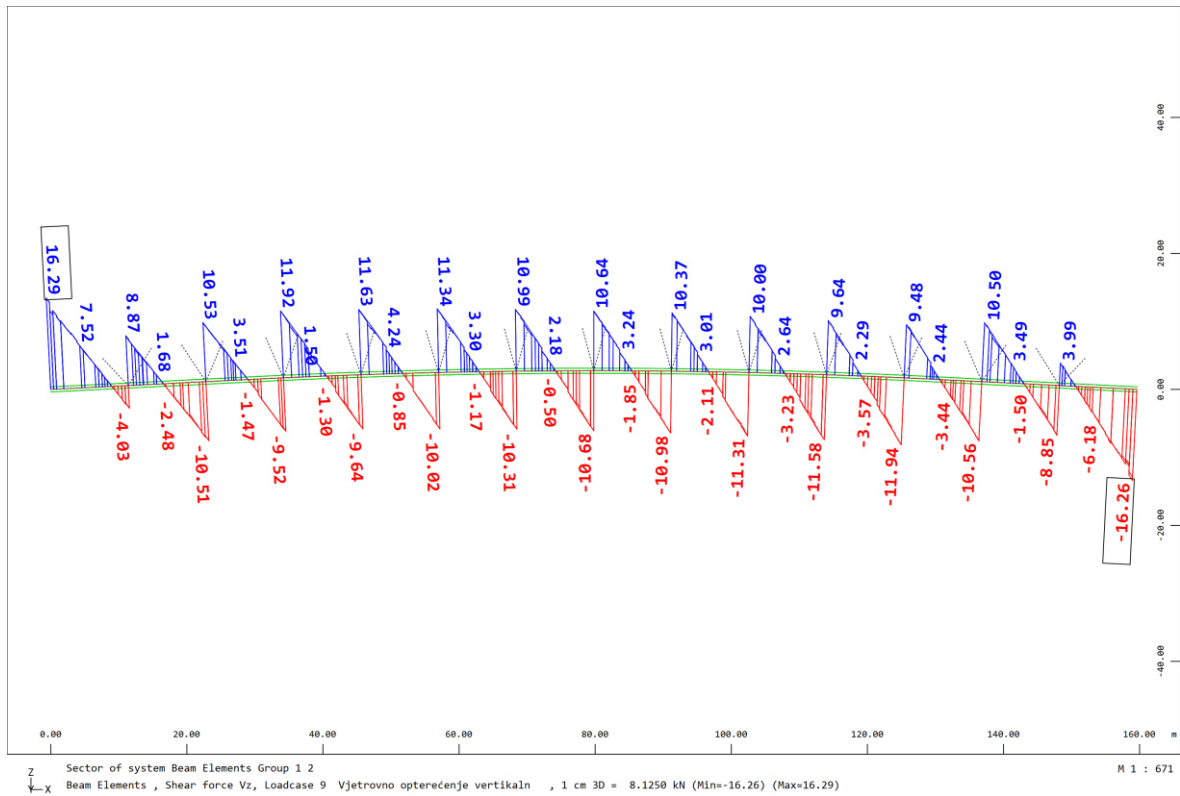




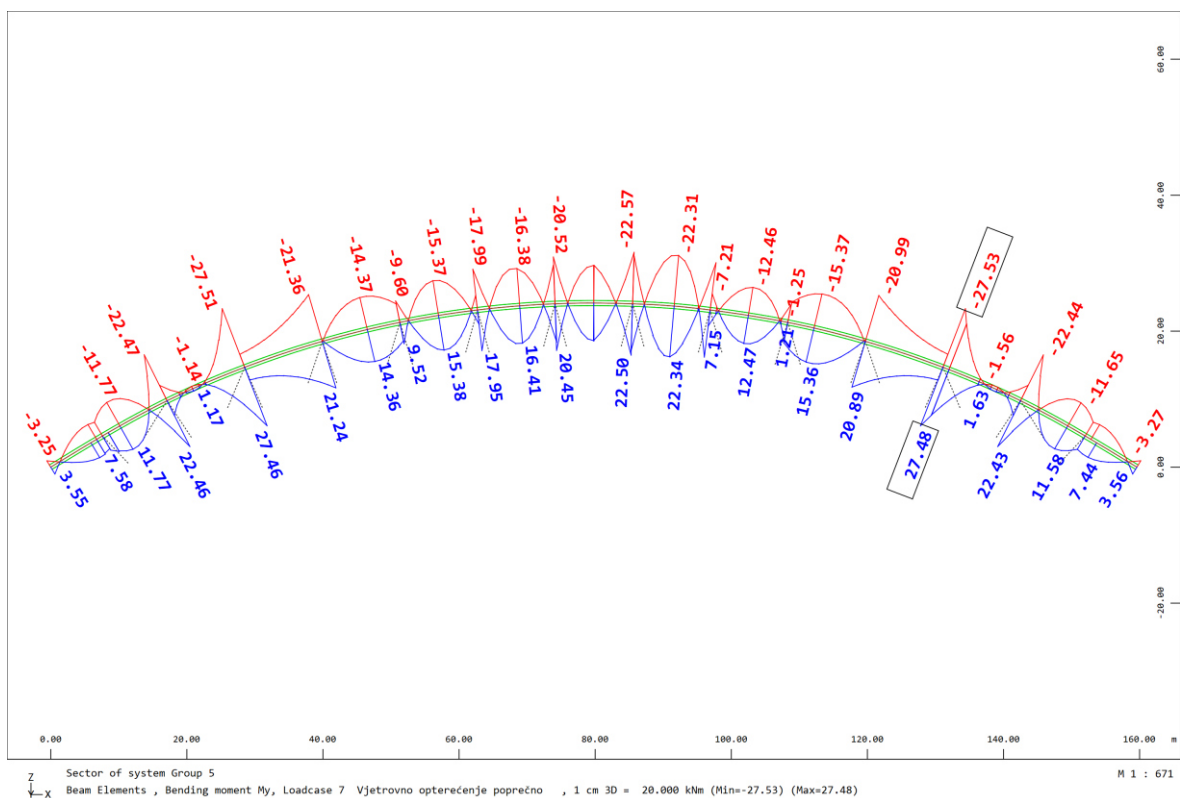
Slika 116. Rasponski sklop LC 9 My (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



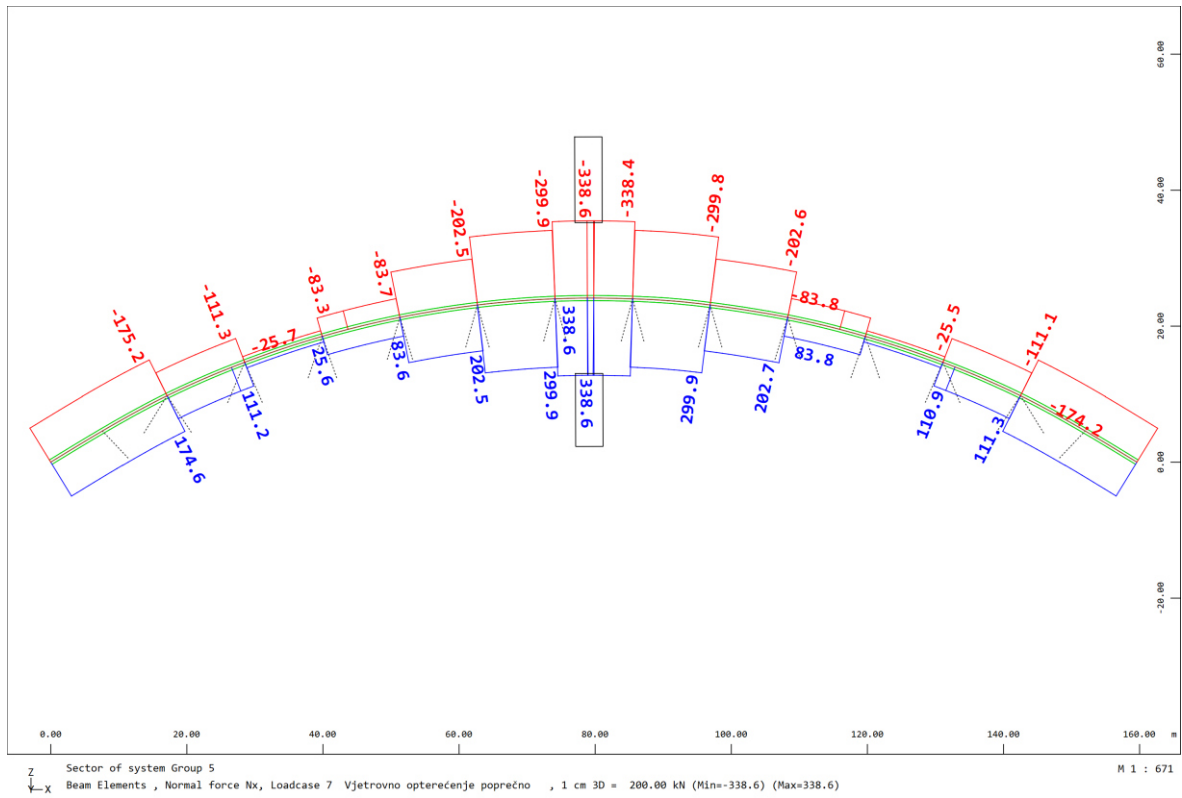
Slika 117. Rasponski sklop LC 9 Nx (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



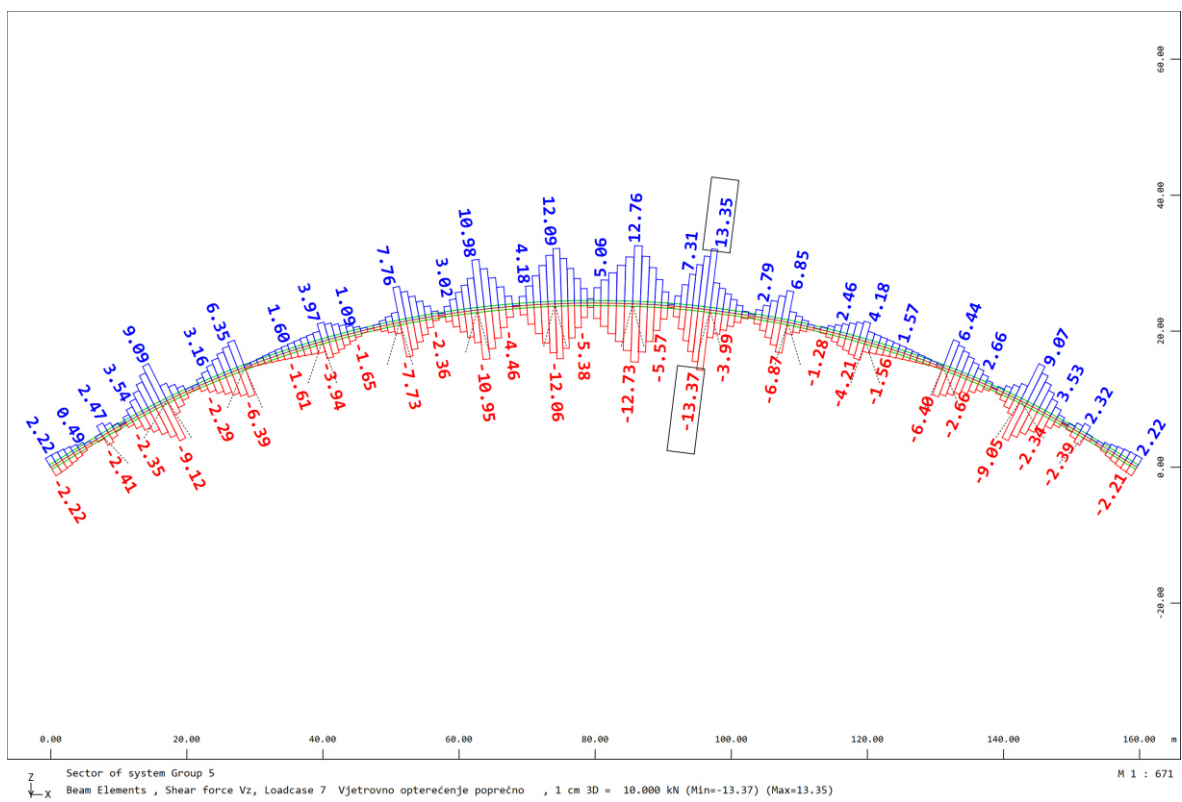
Slika 118. Rasponski sklop LC 9 Vz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



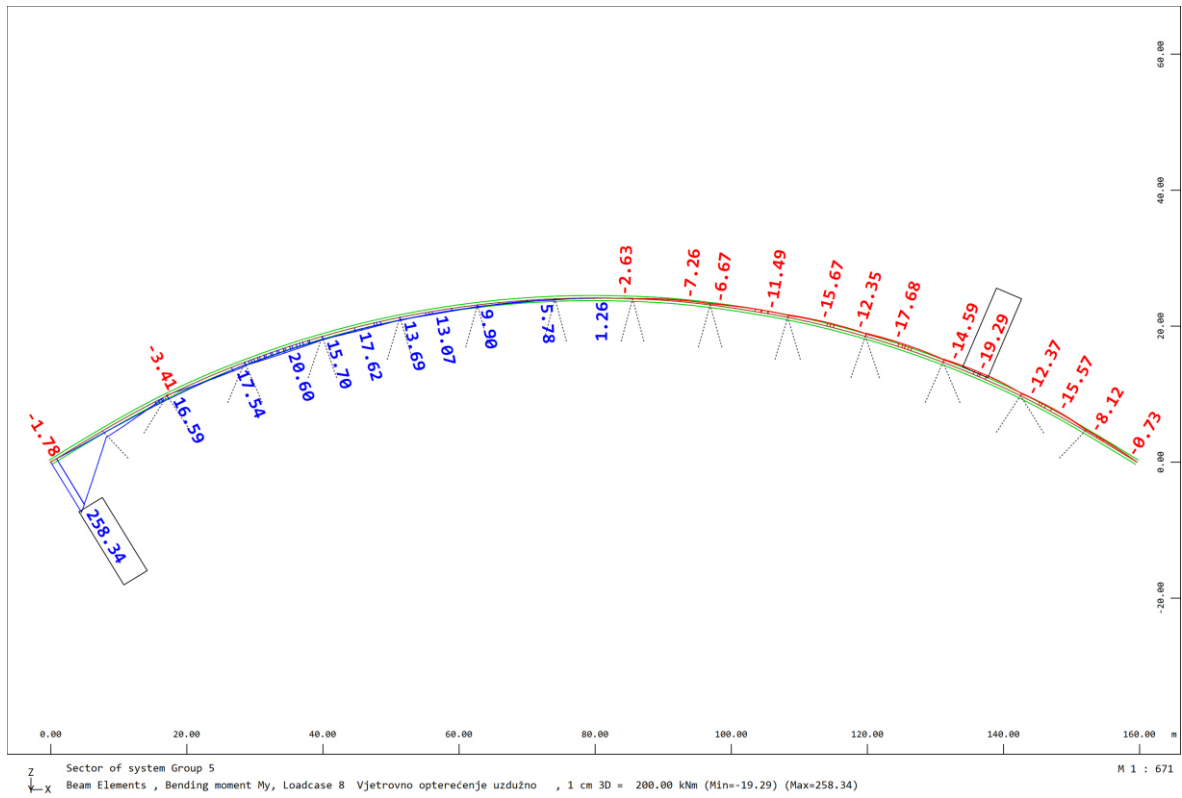
Slika 119. Luk LC 7 My (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)



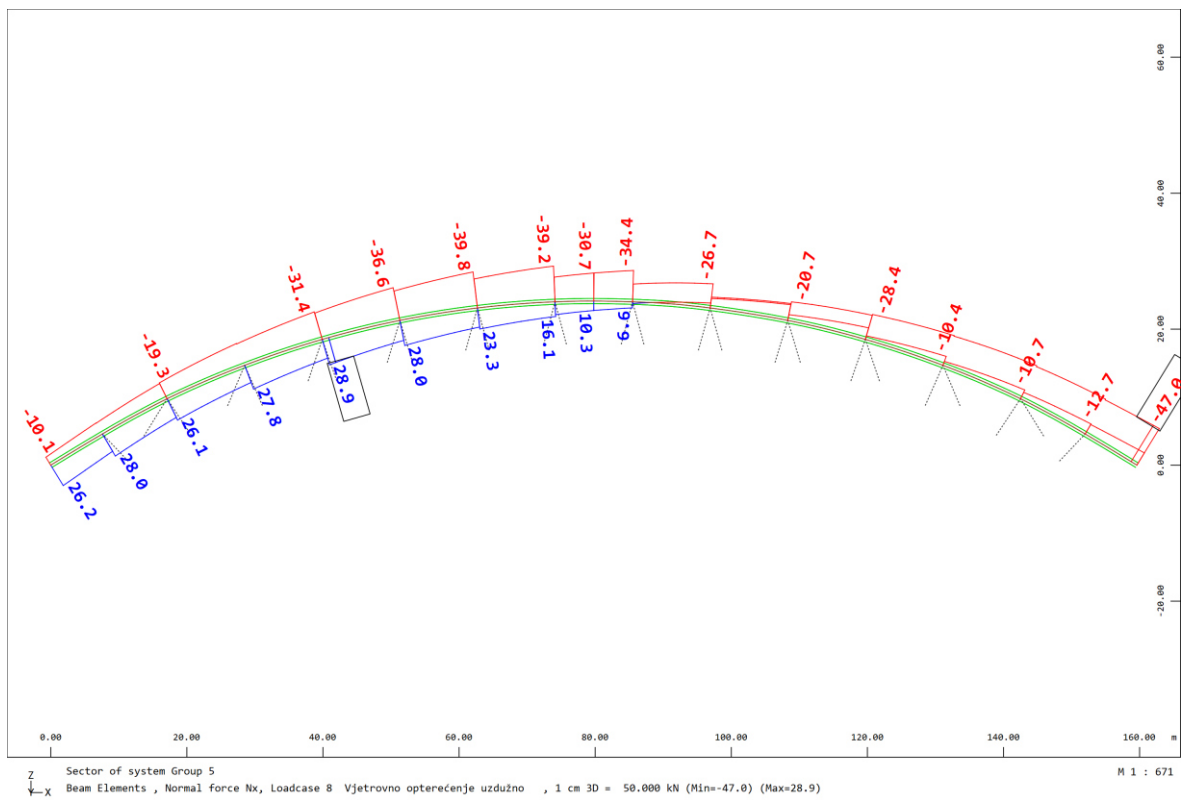
Slika 120. Luk LC 7 Nx (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)



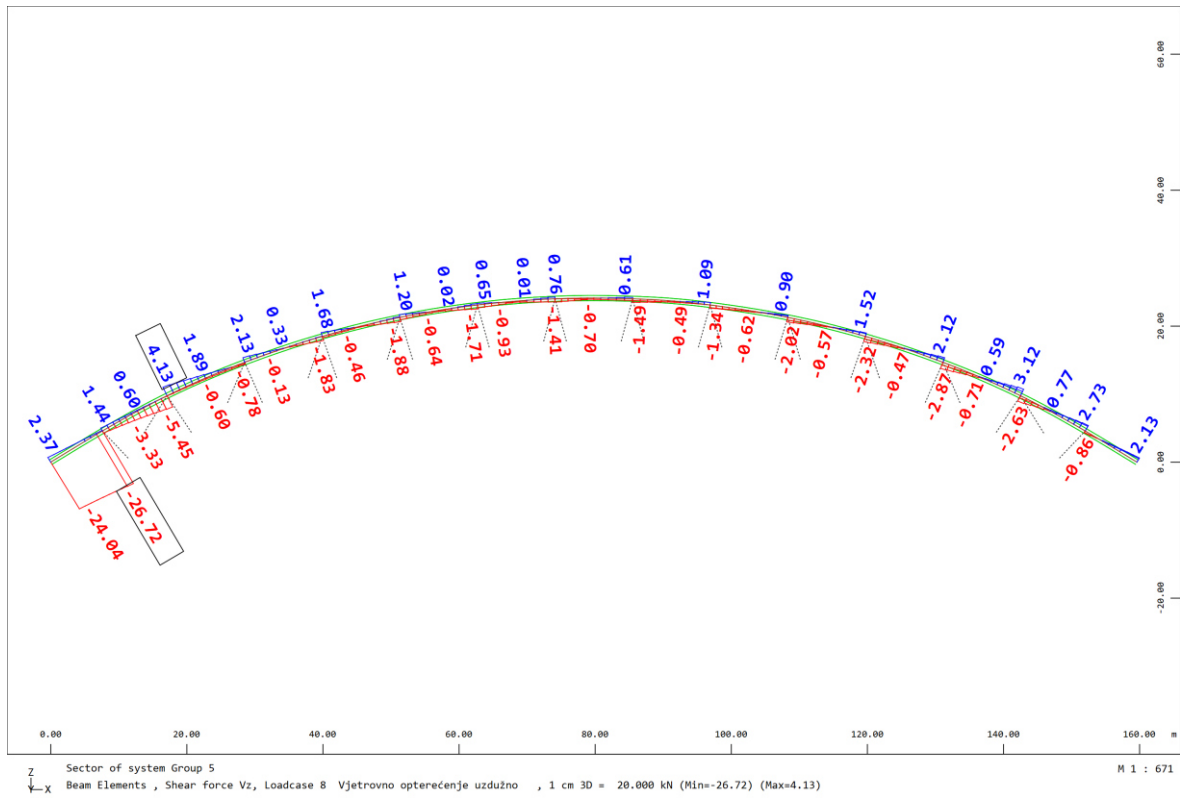
Slika 121. Luk LC 7 Vz (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)



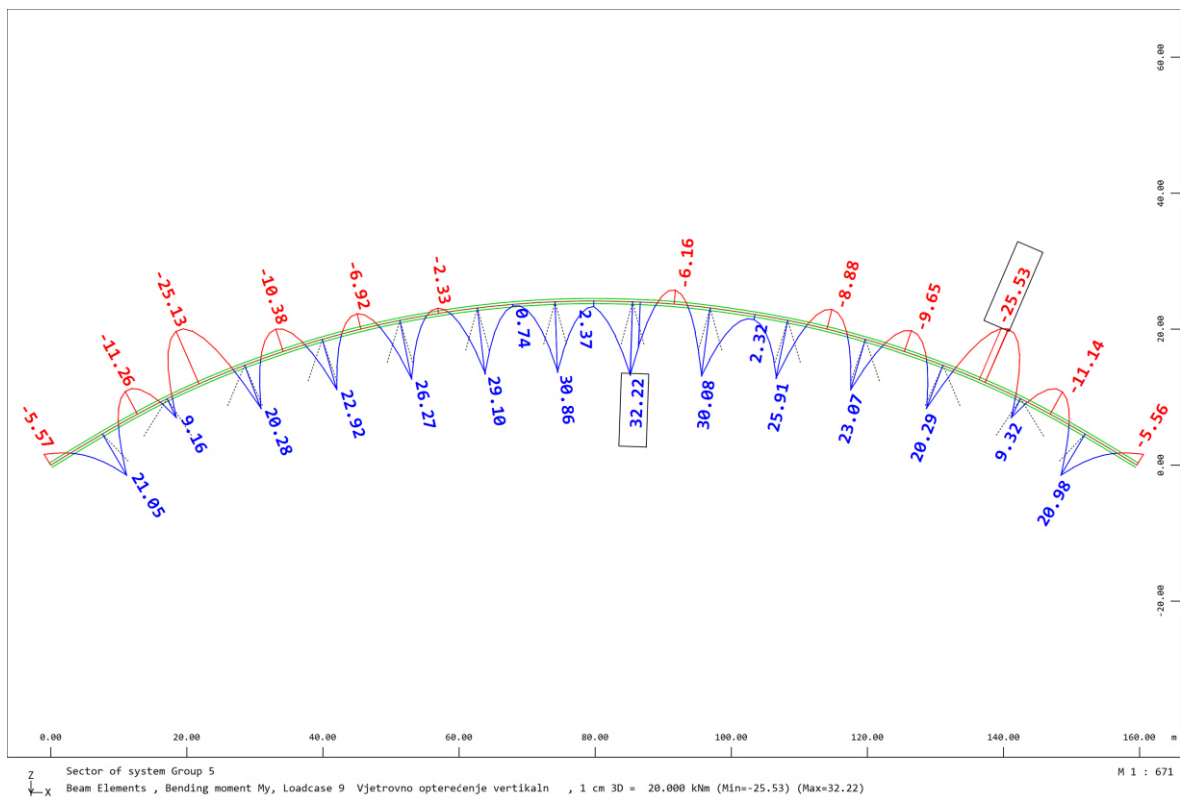
Slika 122. Luk LC 8 My (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)



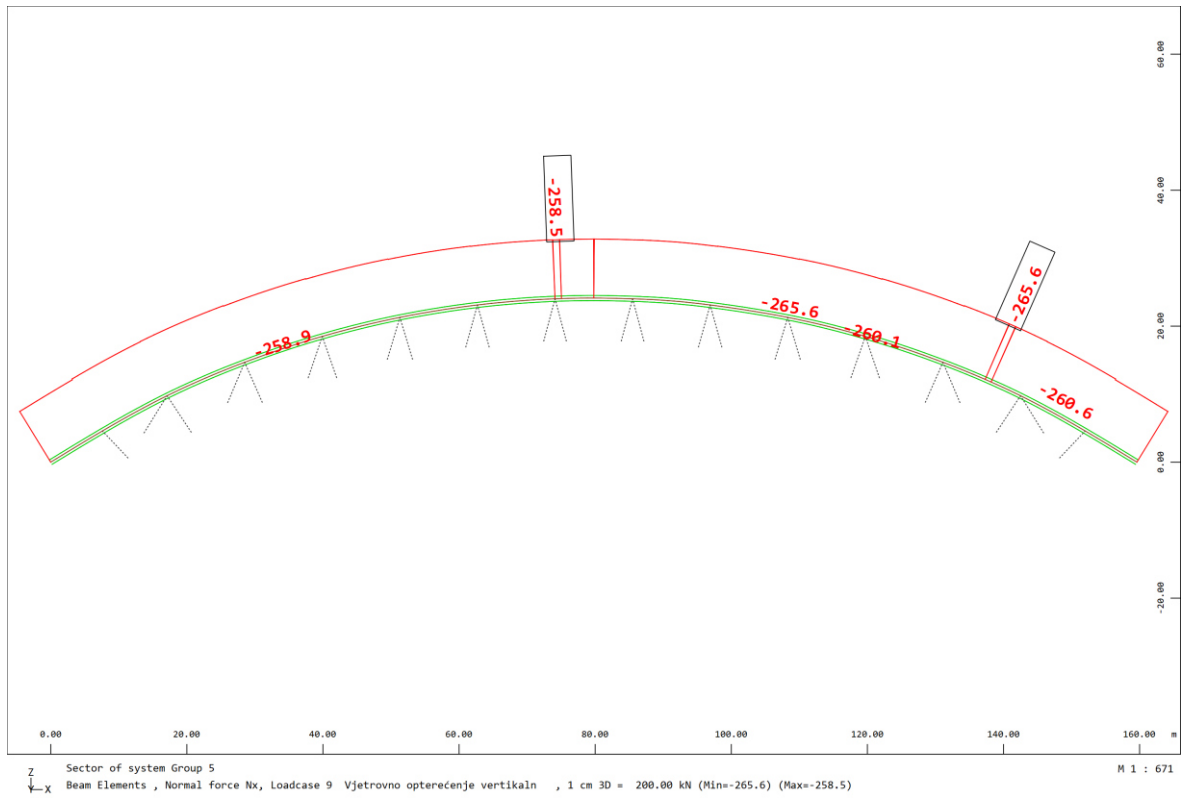
Slika 123. Luk LC 8 Nx (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)



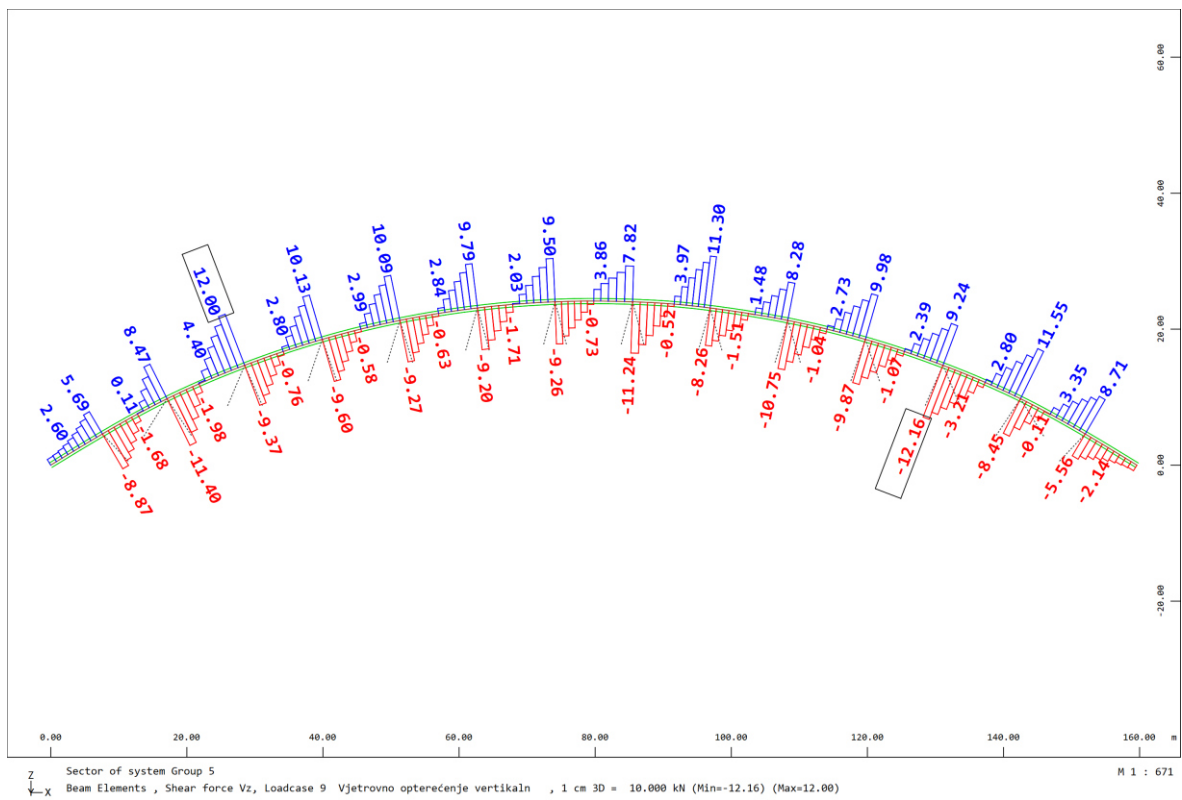
Slika 124. Luk LC 8 Vz (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)



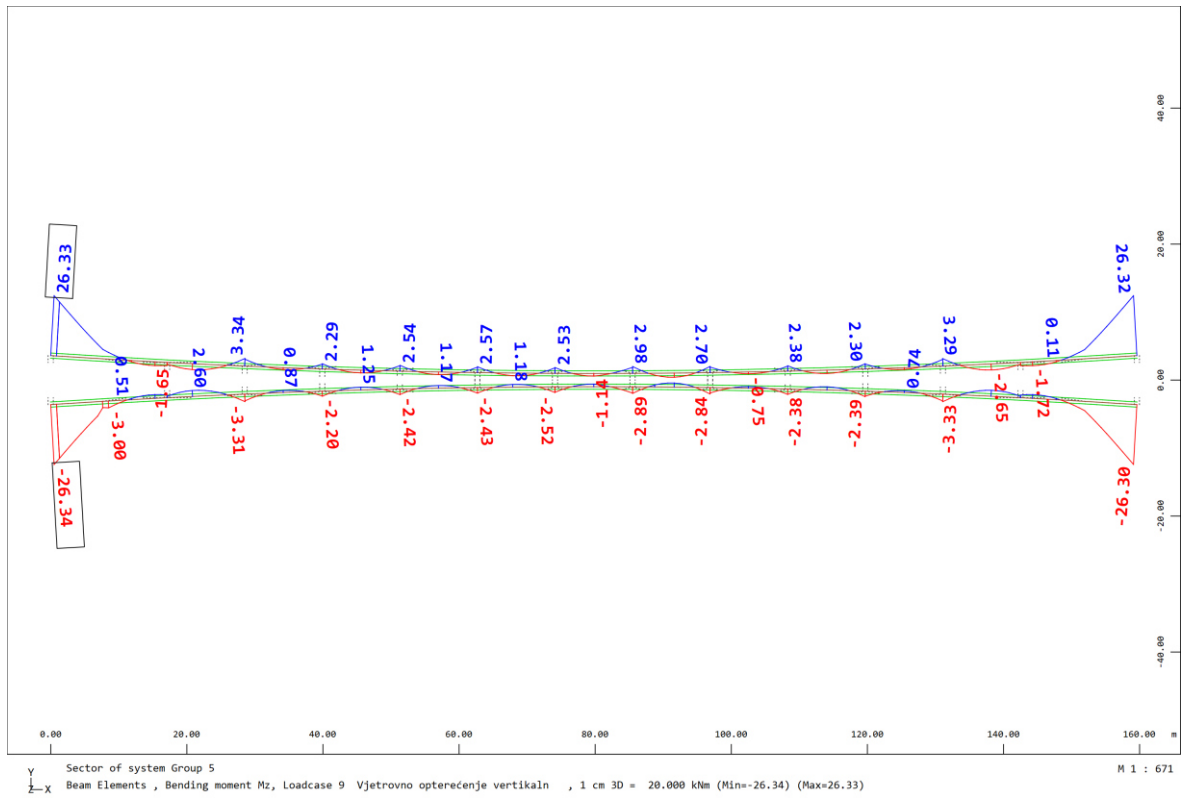
Slika 125. Luk LC 9 My (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



Slika 126. Luk LC 9 Nx (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



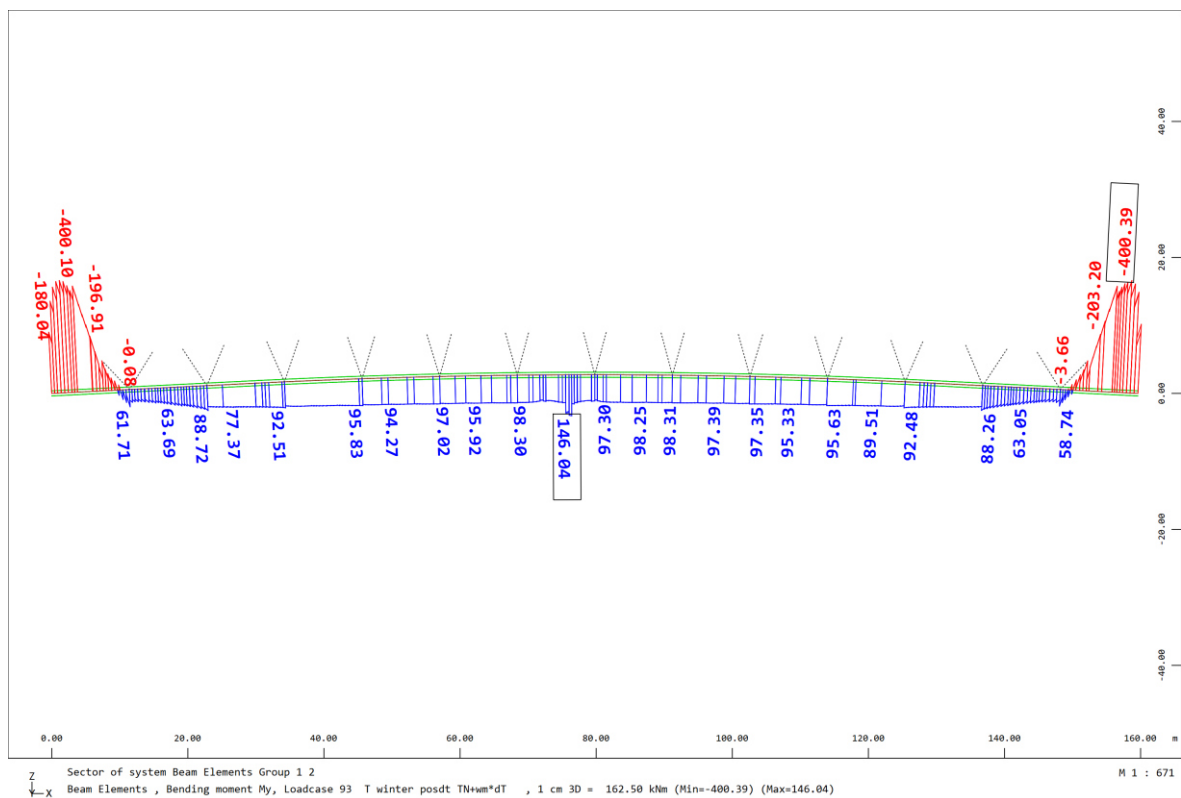
Slika 127. Luk LC 9 Vz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



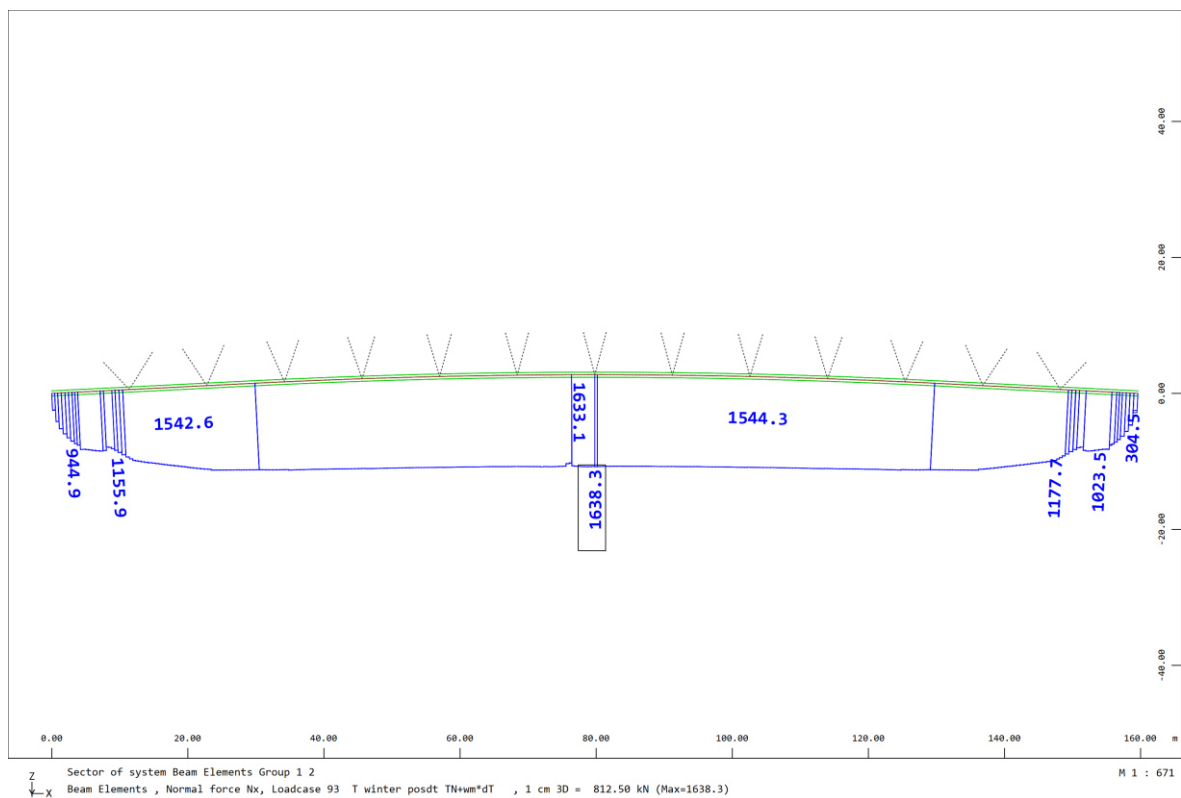
Slika 128. Luk LC 9 Mz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



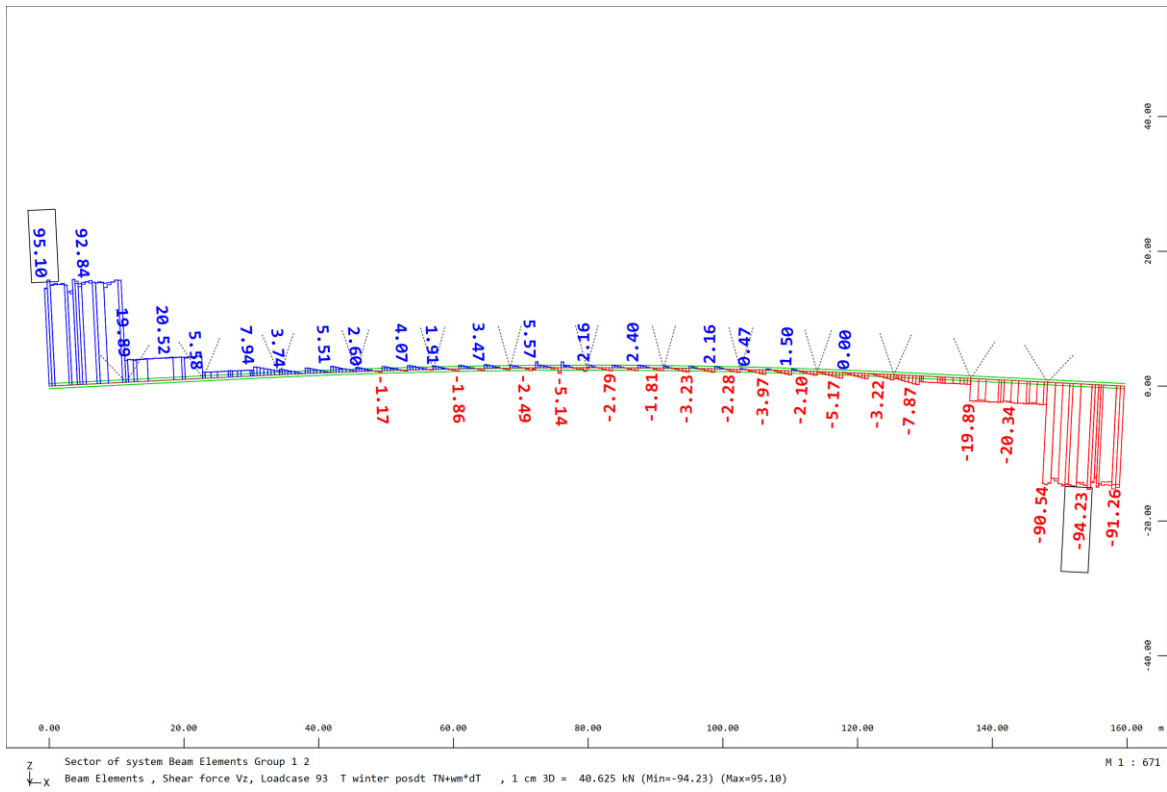
## 5.4. Rezne sile za opterećenje temperaturom



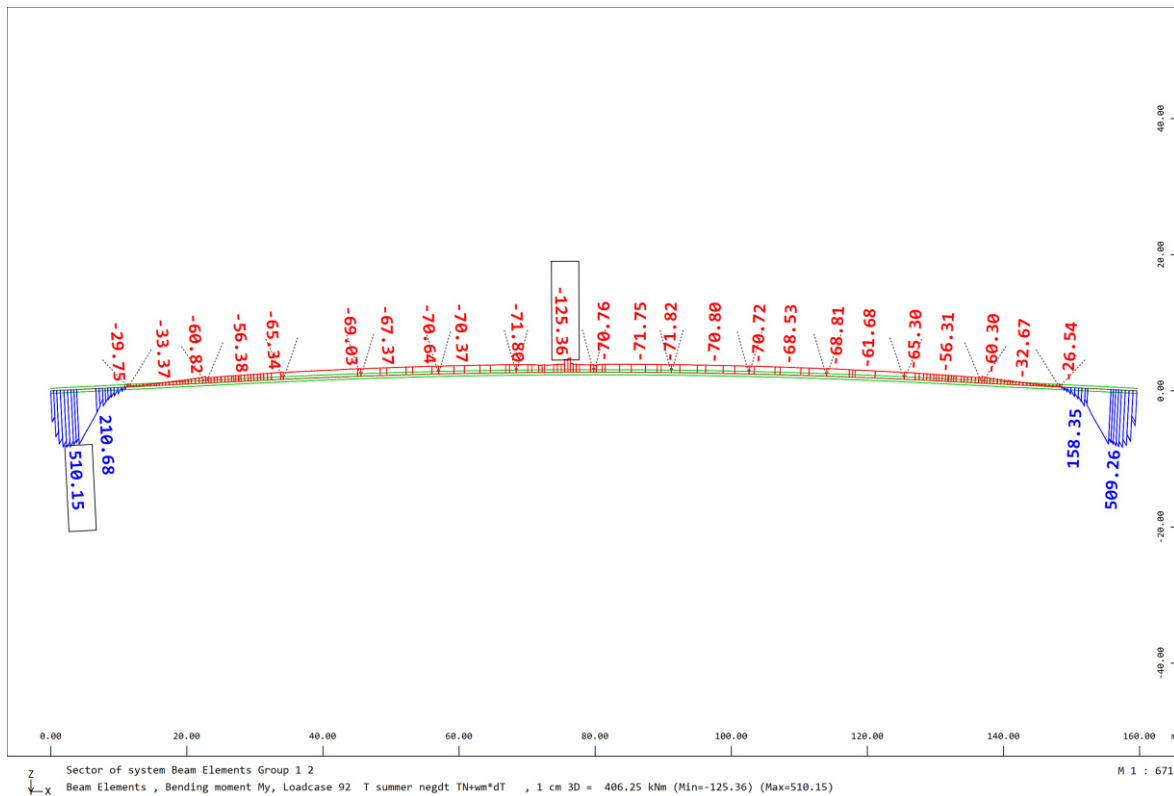
Slika 129. Rasponski sklop LC 93 My (Temperaturna kombinacija zima)



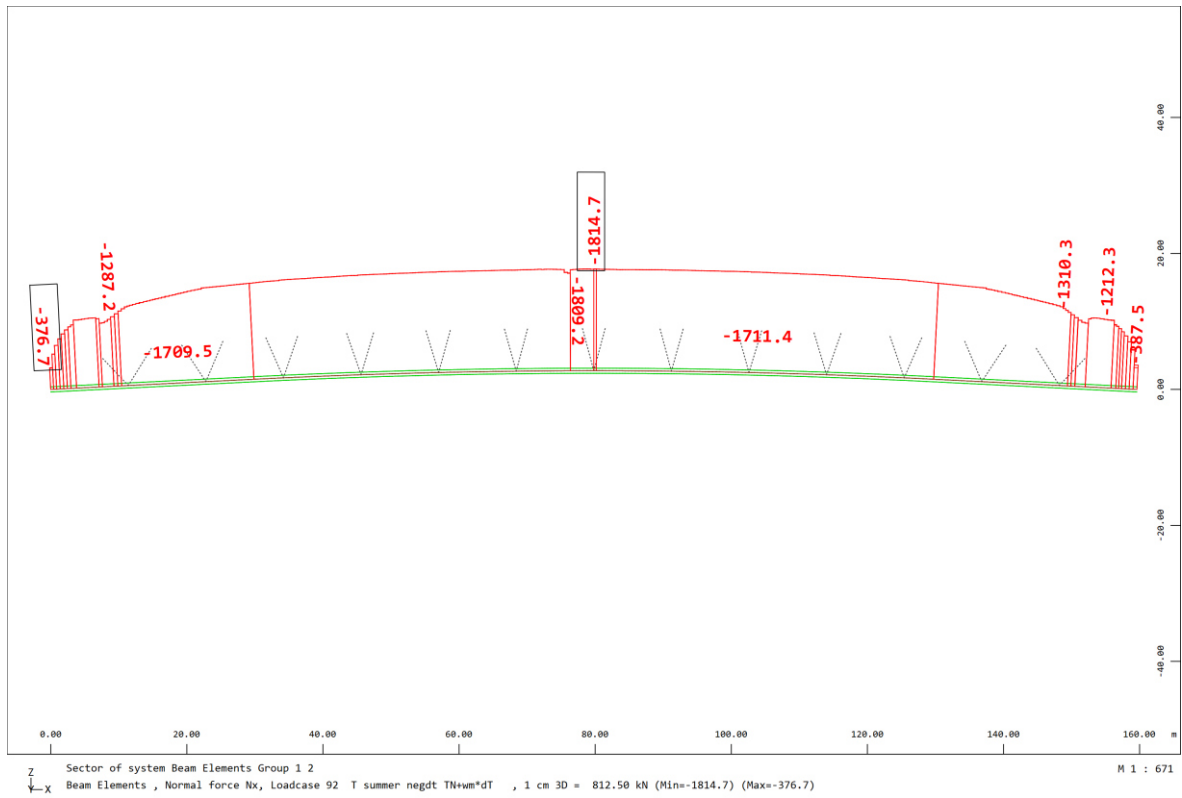
Slika 130. Rasponski sklop LC 93 Nx (Temperaturna kombinacija zima)



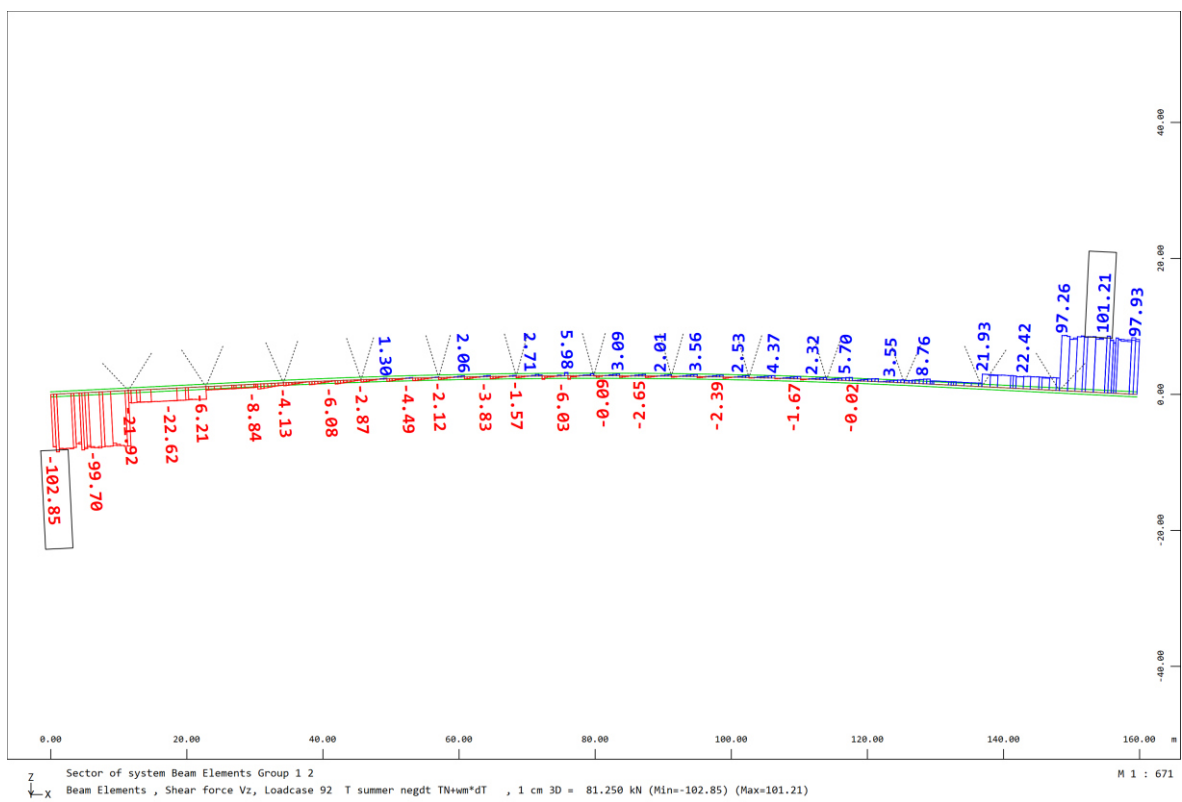
Slika 131. Rasponski sklop LC 93 Vz (Temperaturna kombinacija zima)



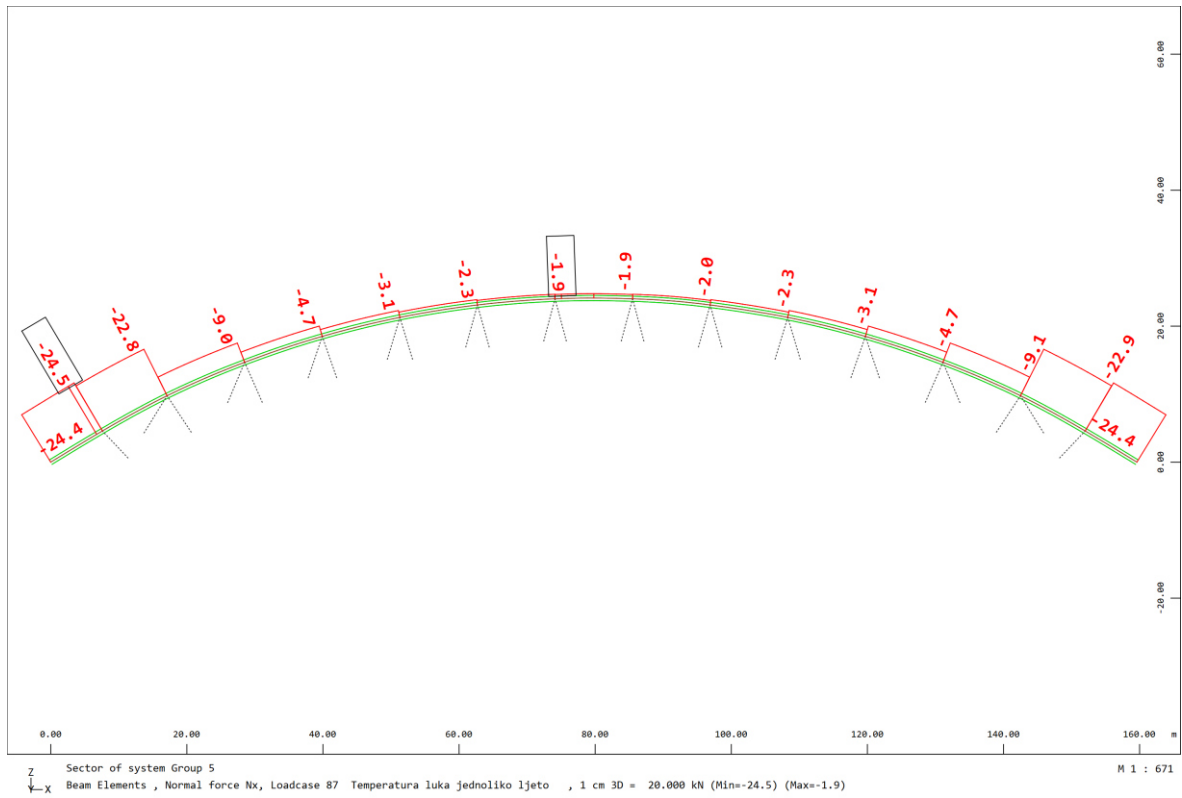
Slika 132. Rasponski sklop LC 92 My (Temperaturna kombinacija ljeto)



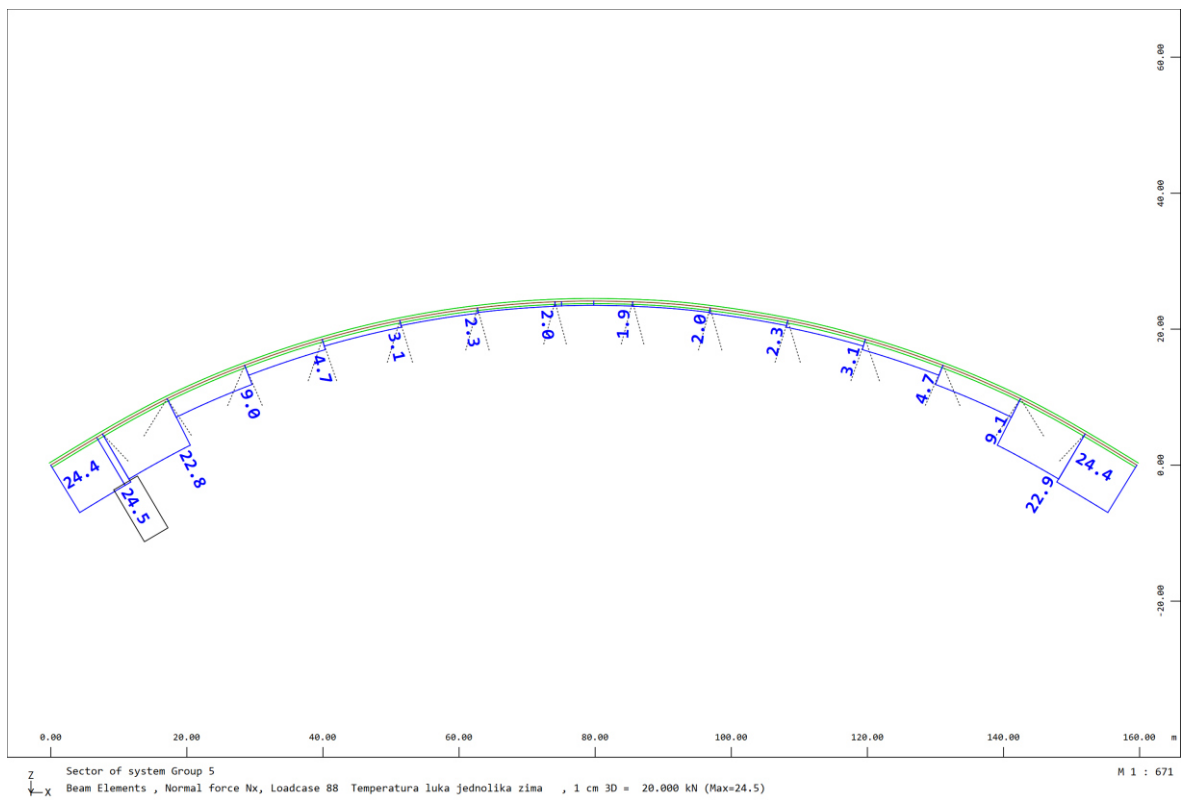
Slika 133. Rasponski sklop LC 92 Nx (Temperaturna kombinacija ljeto)



Slika 134. Rasponski sklop LC 92 Vz (Temperaturna kombinacija ljeto)

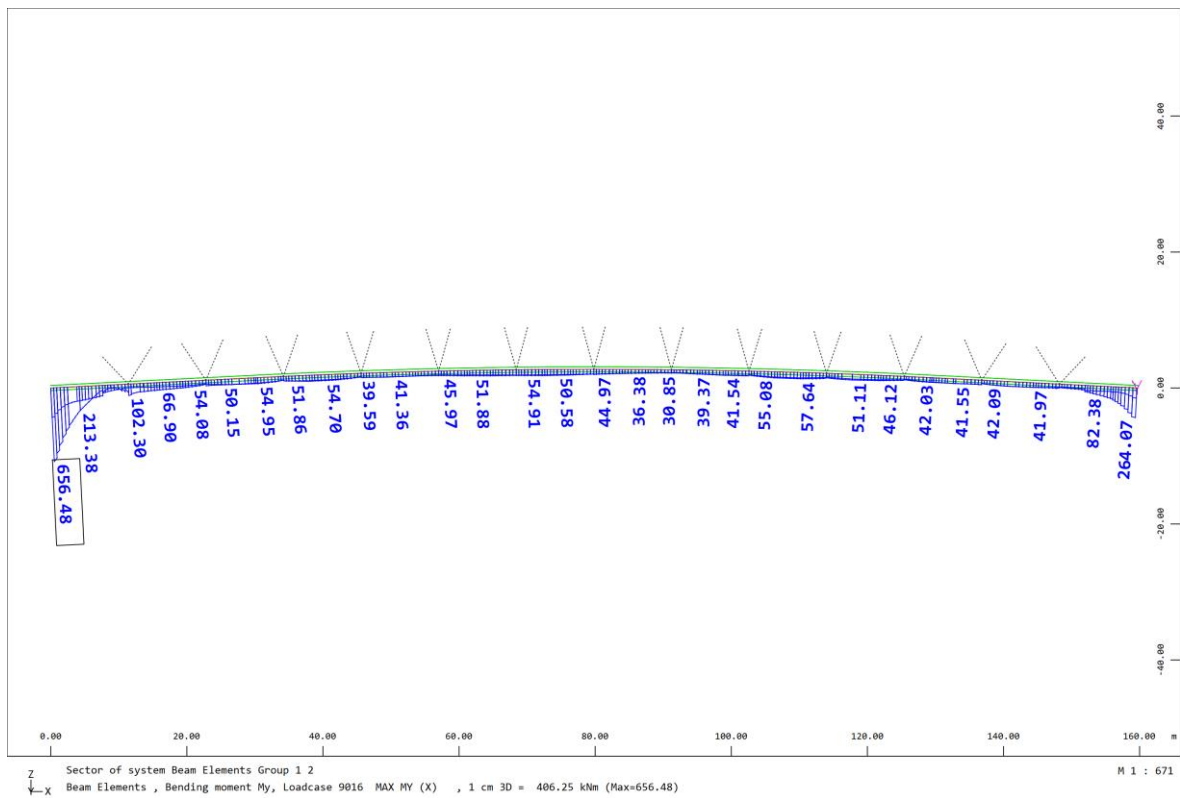


Slika 135. Luk LC 87 Nx (Jednolika temperatura luk (ljeto))

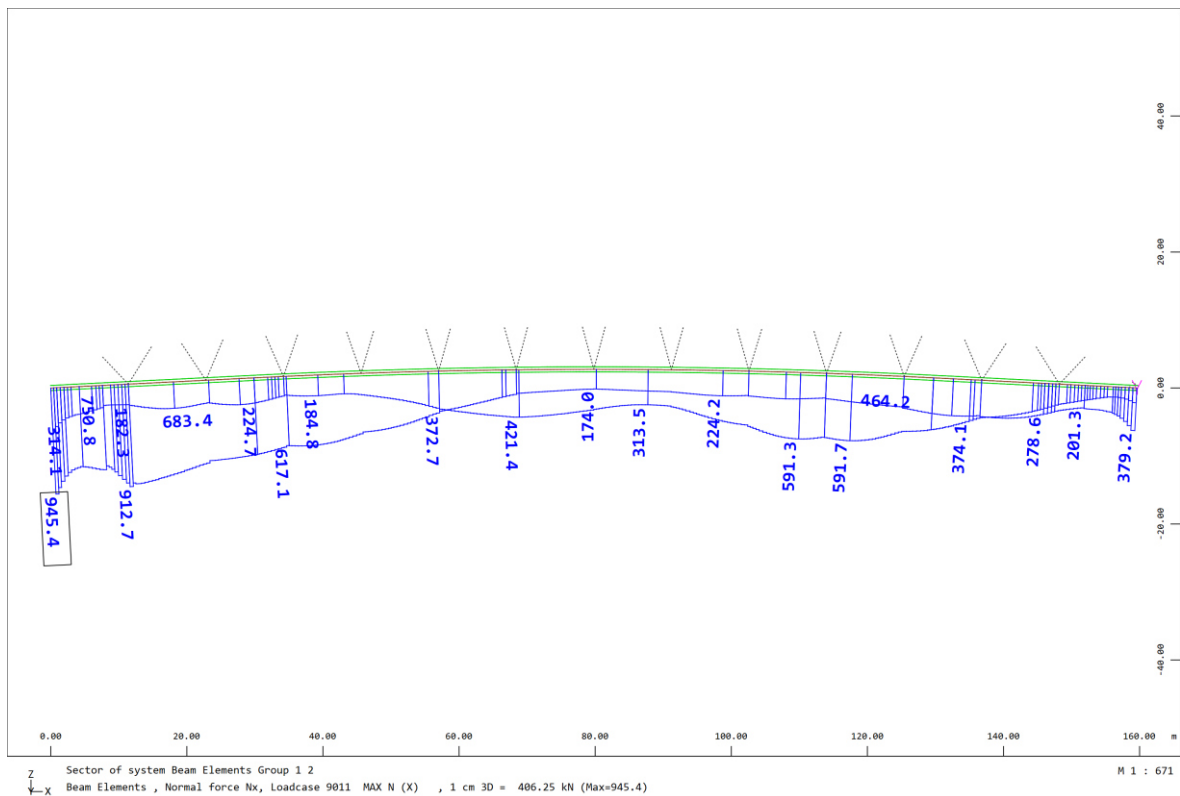


Slika 136. Luk LC 88 Nx (Jednolika temperatura luk (zima))

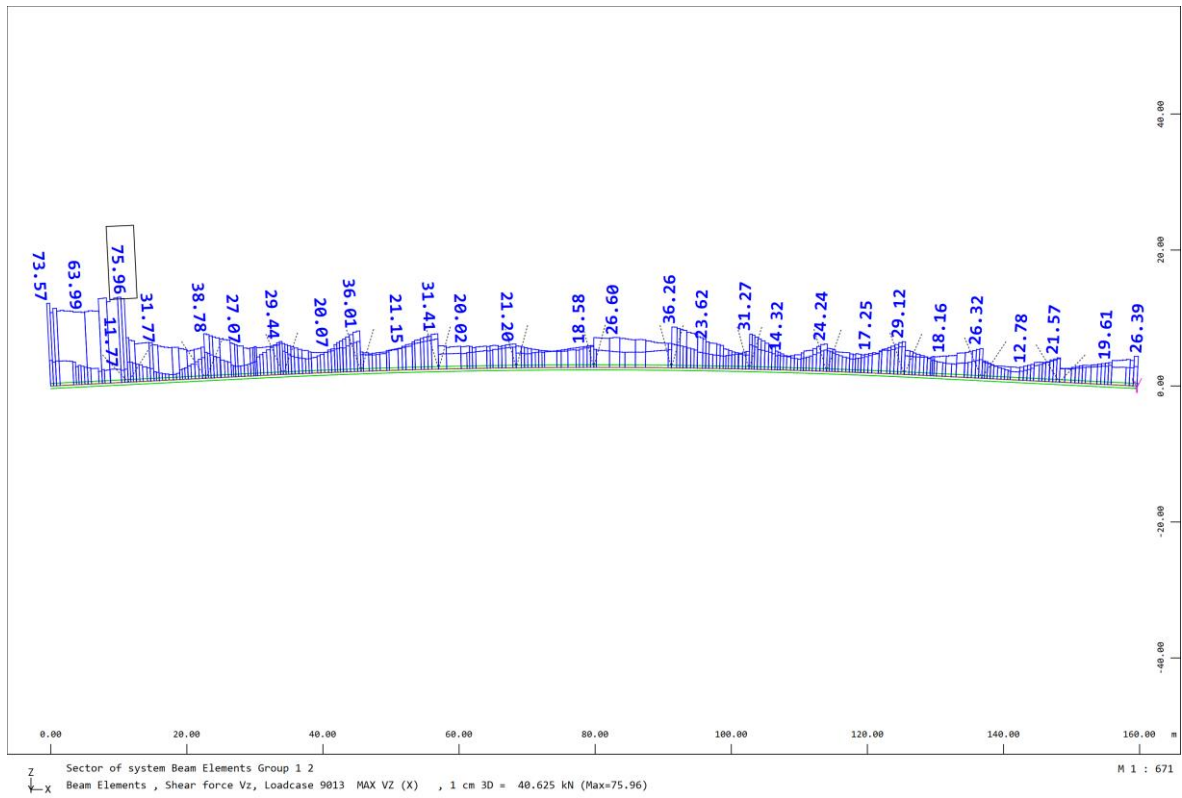
## 5.5. Rezne sile za potresno opterećenje



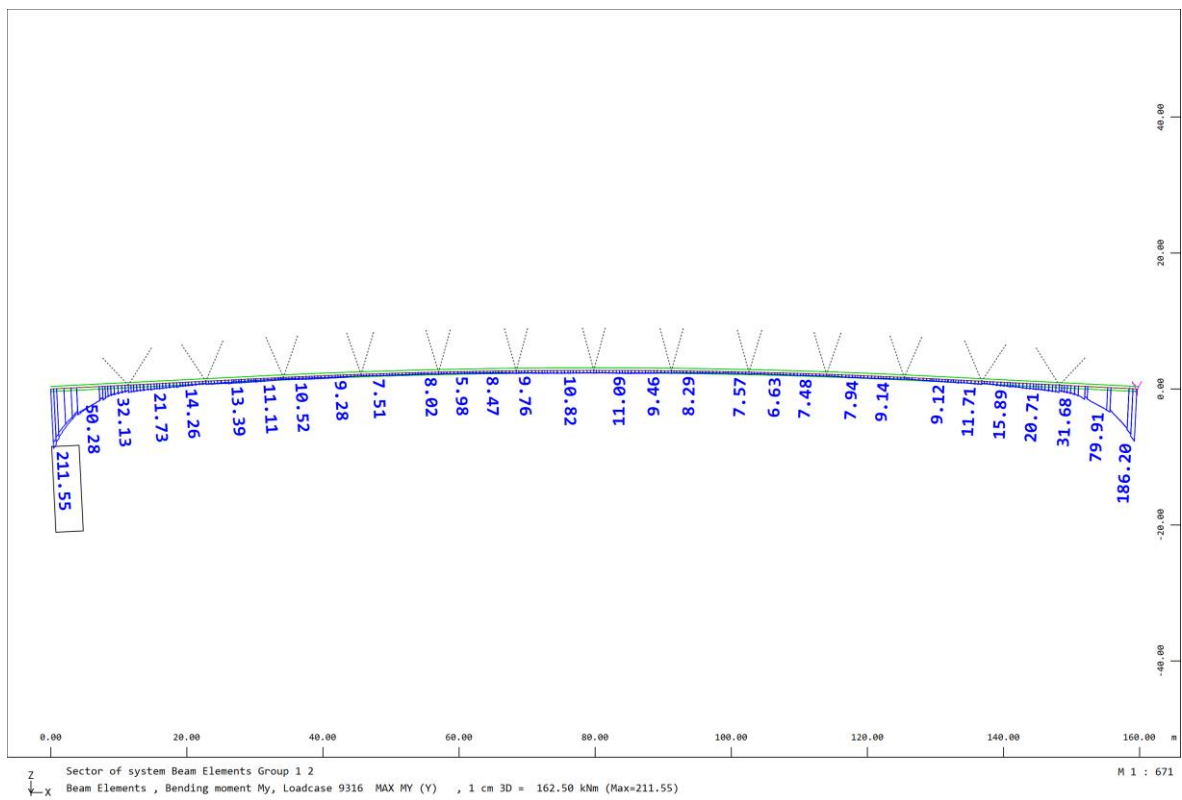
Slika 137. Rasponski sklop LC 9016 My (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



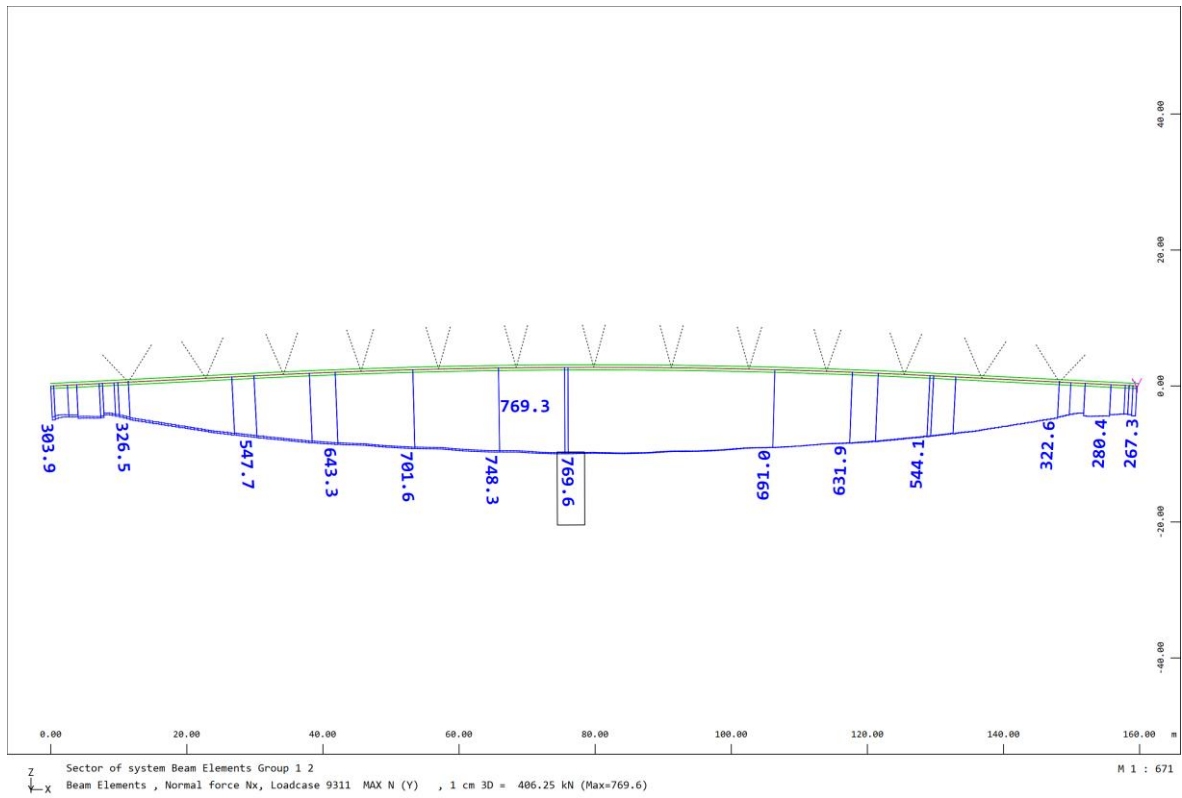
Slika 138. Rasponski sklop LC 9011 Nx (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



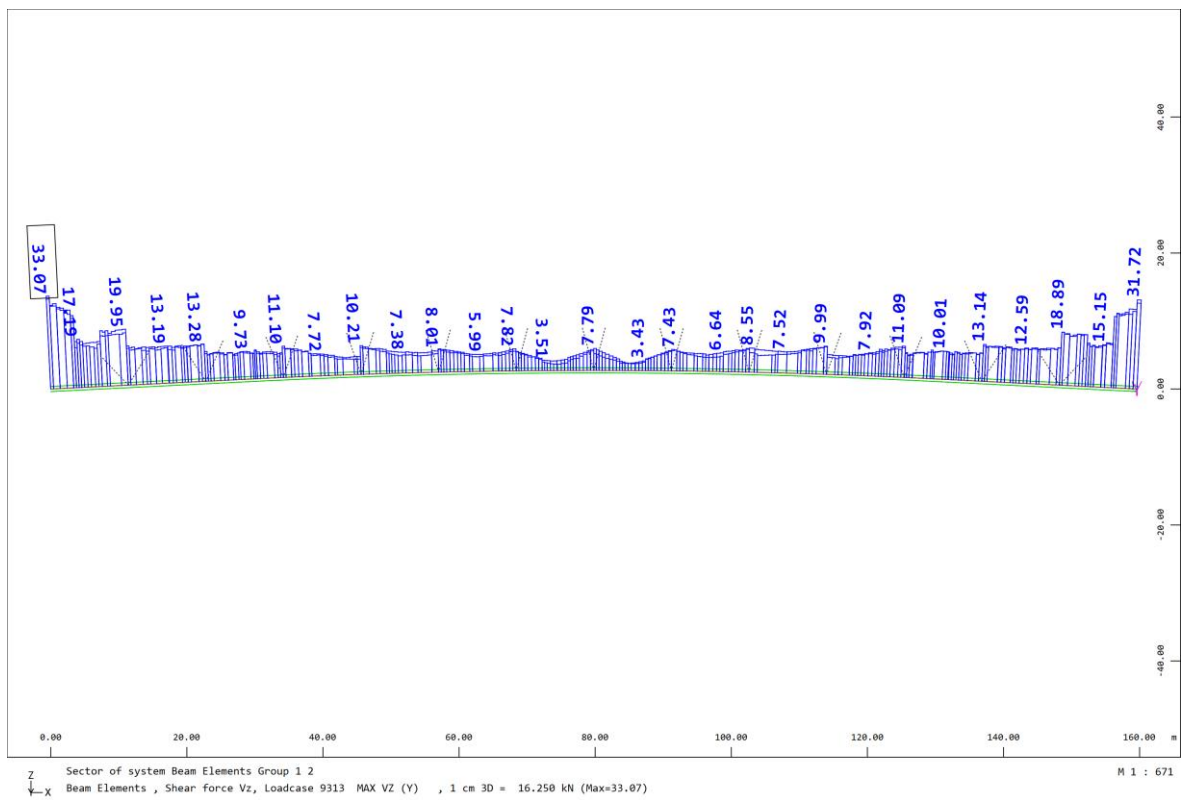
Slika 139. Rasponski sklop LC 9013 Vz (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



Slika 140. Rasponski sklop LC 9316 My (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

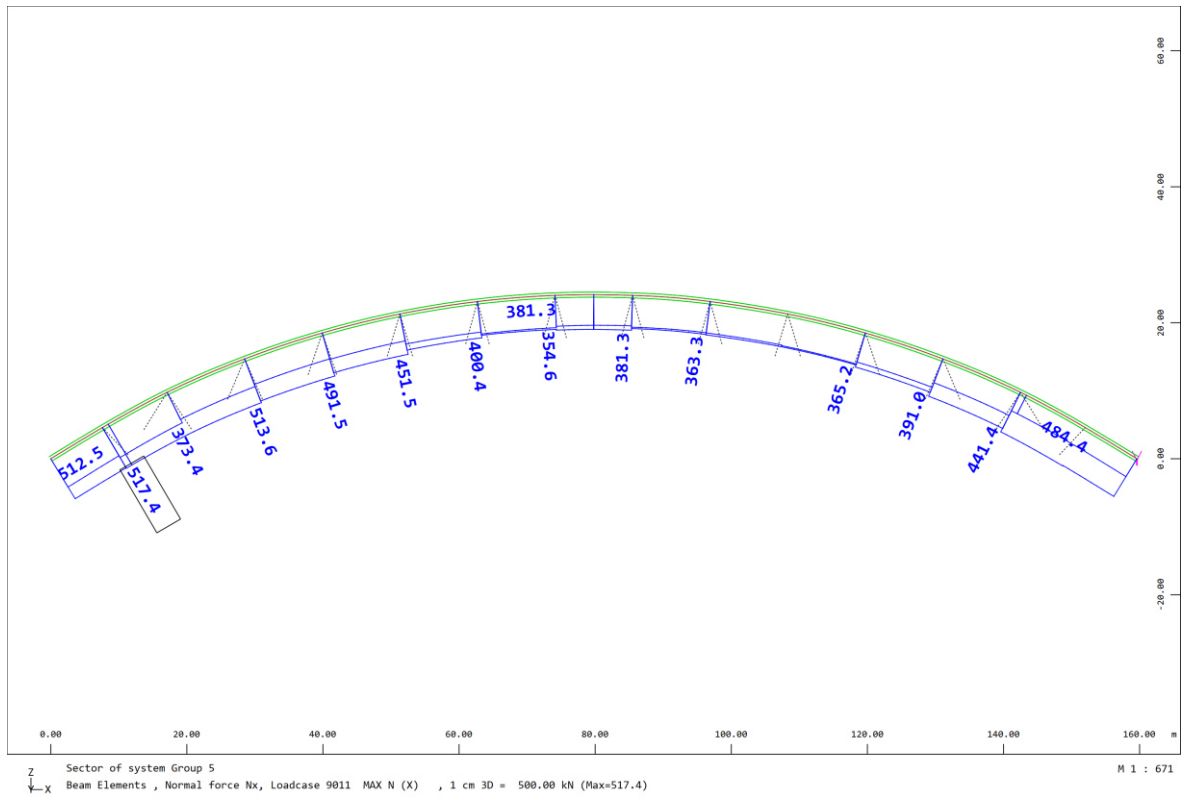


Slika 141. Rasponski sklop LC 9311 Nx (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

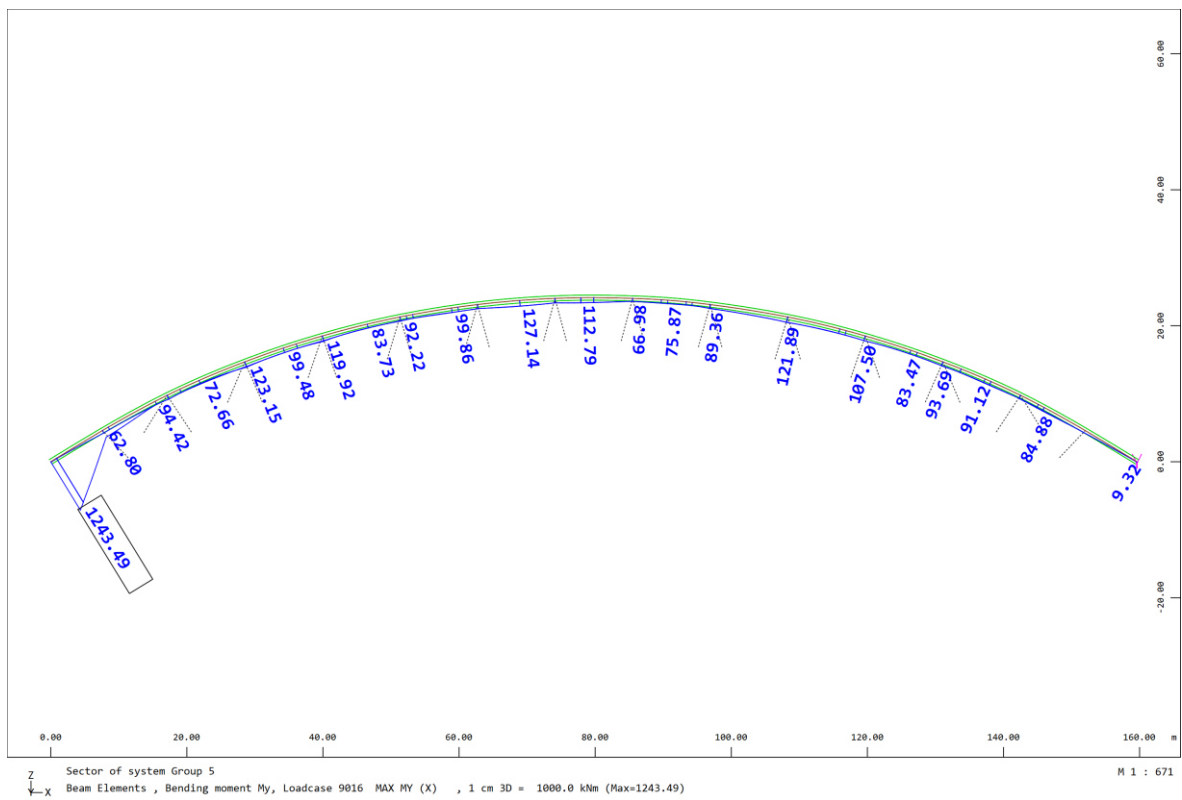


Slika 142. Rasponski sklop LC 9013 Vz (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

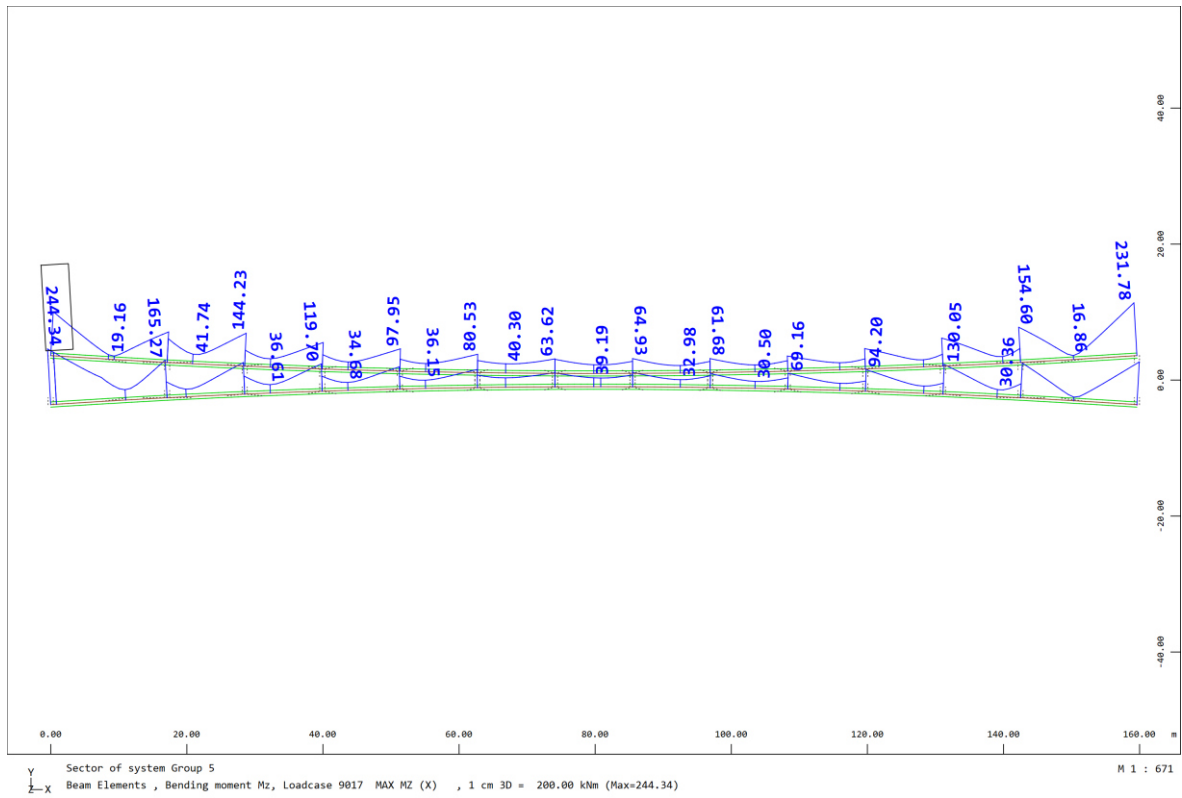




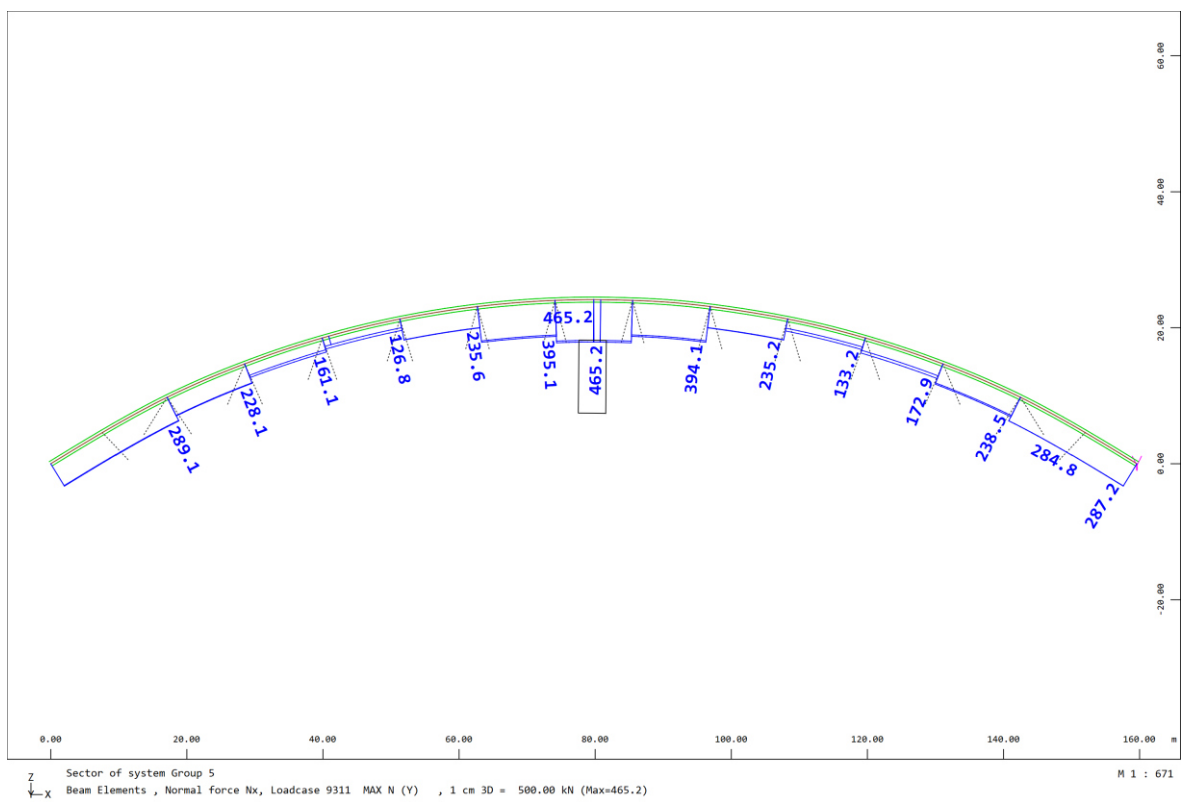
Slika 143. Luk LC 9011 Nx (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



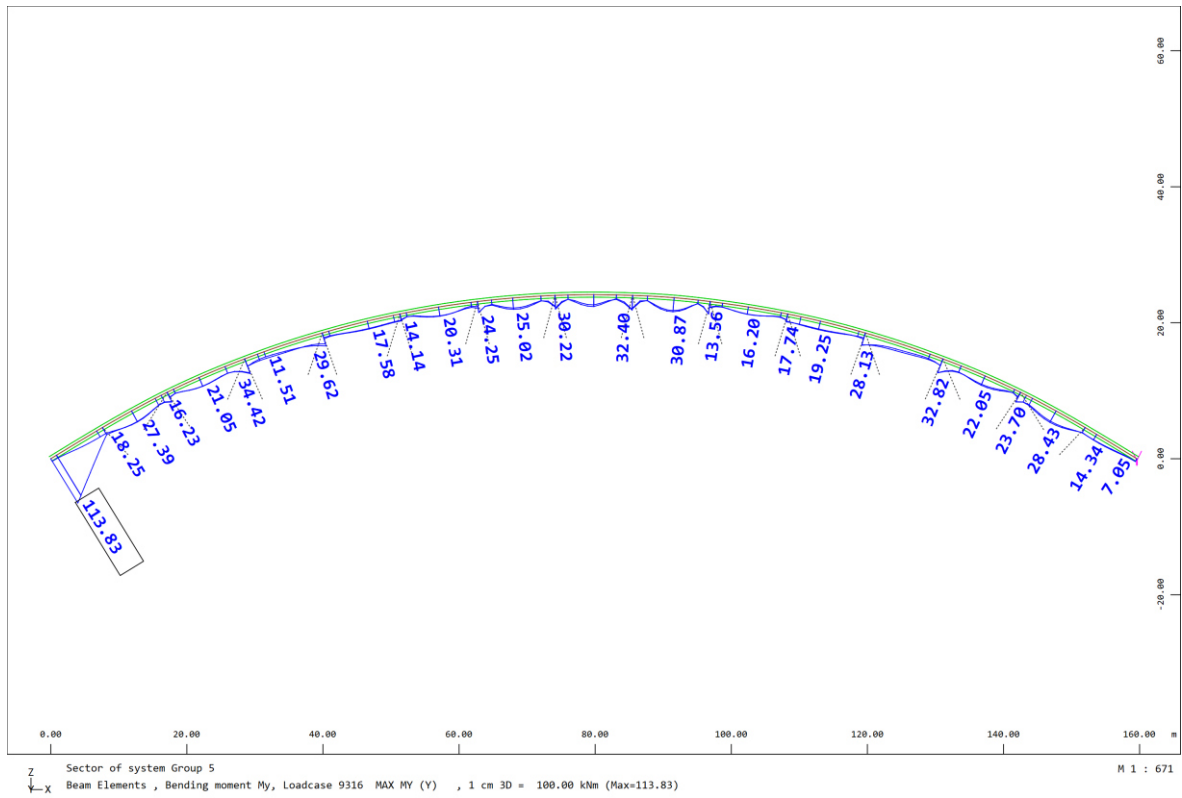
Slika 144. Luk LC 9016 My (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



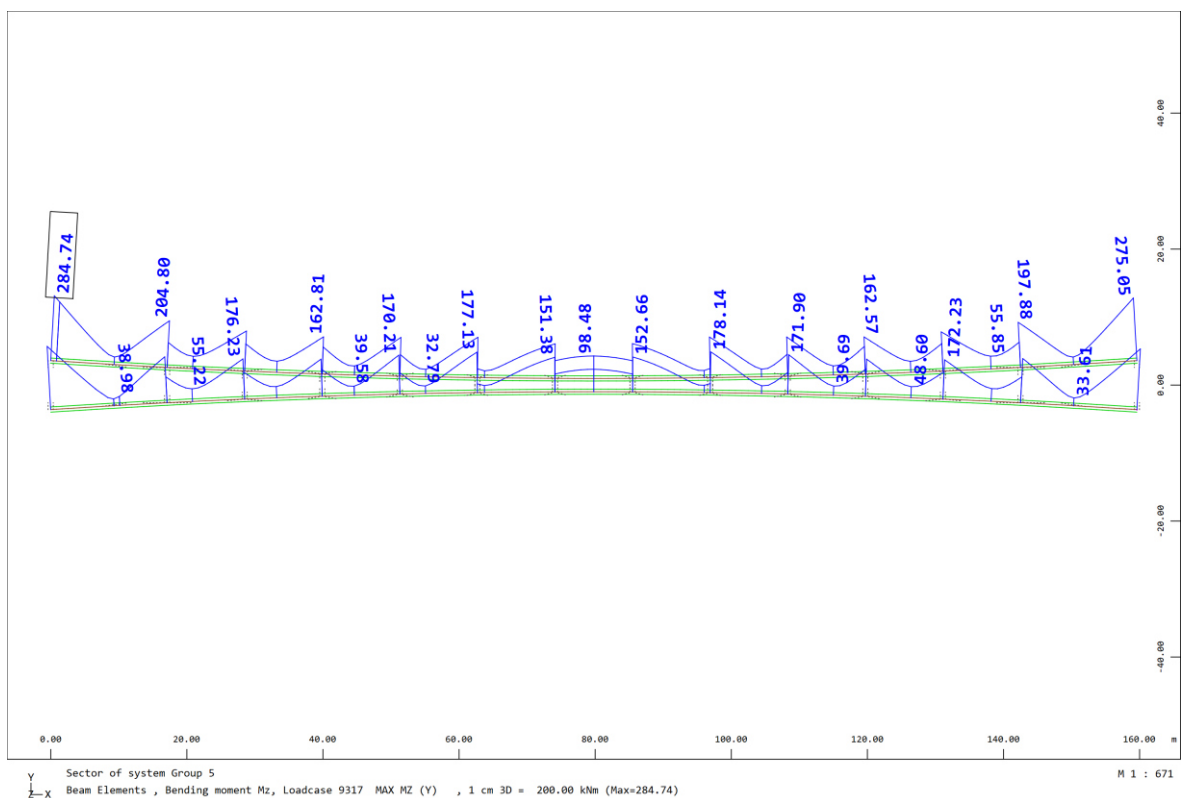
Slika 145. Luk LC 9017 Mz (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



Slika 146. Luk LC 9311 Nx (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

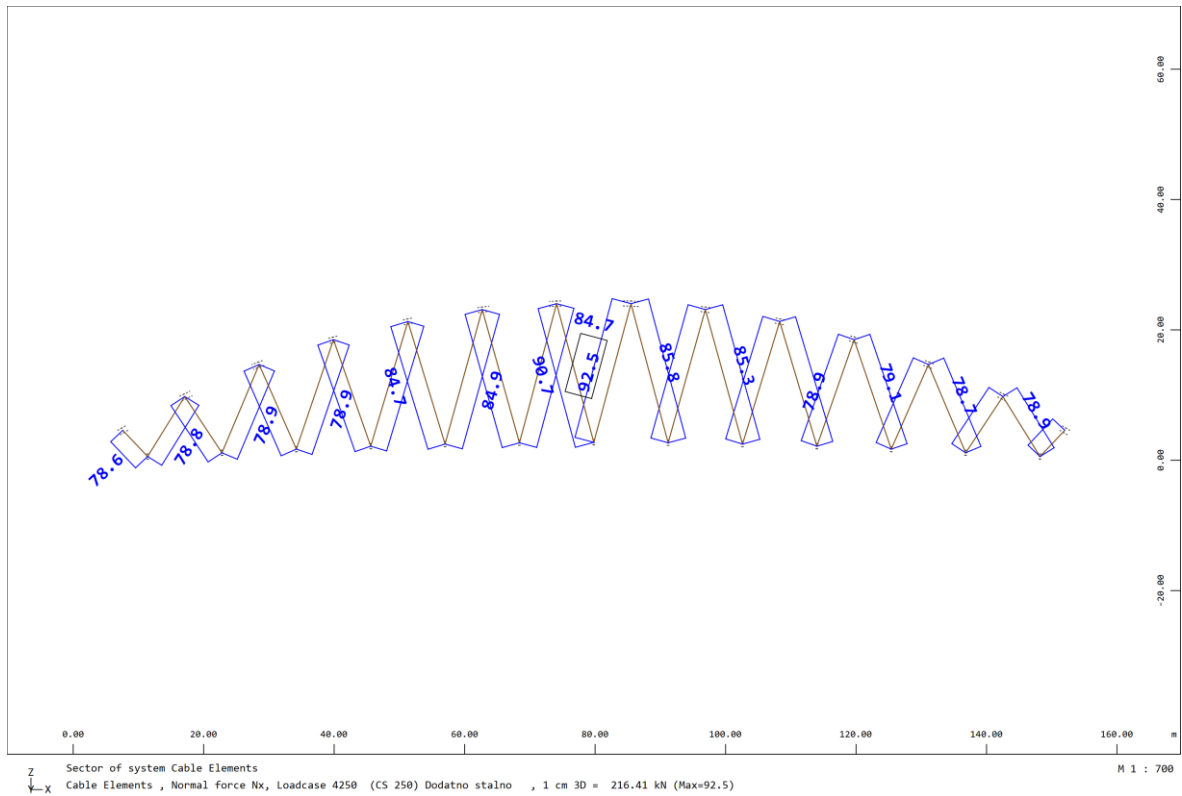


Slika 147. Luk LC 9316 My (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

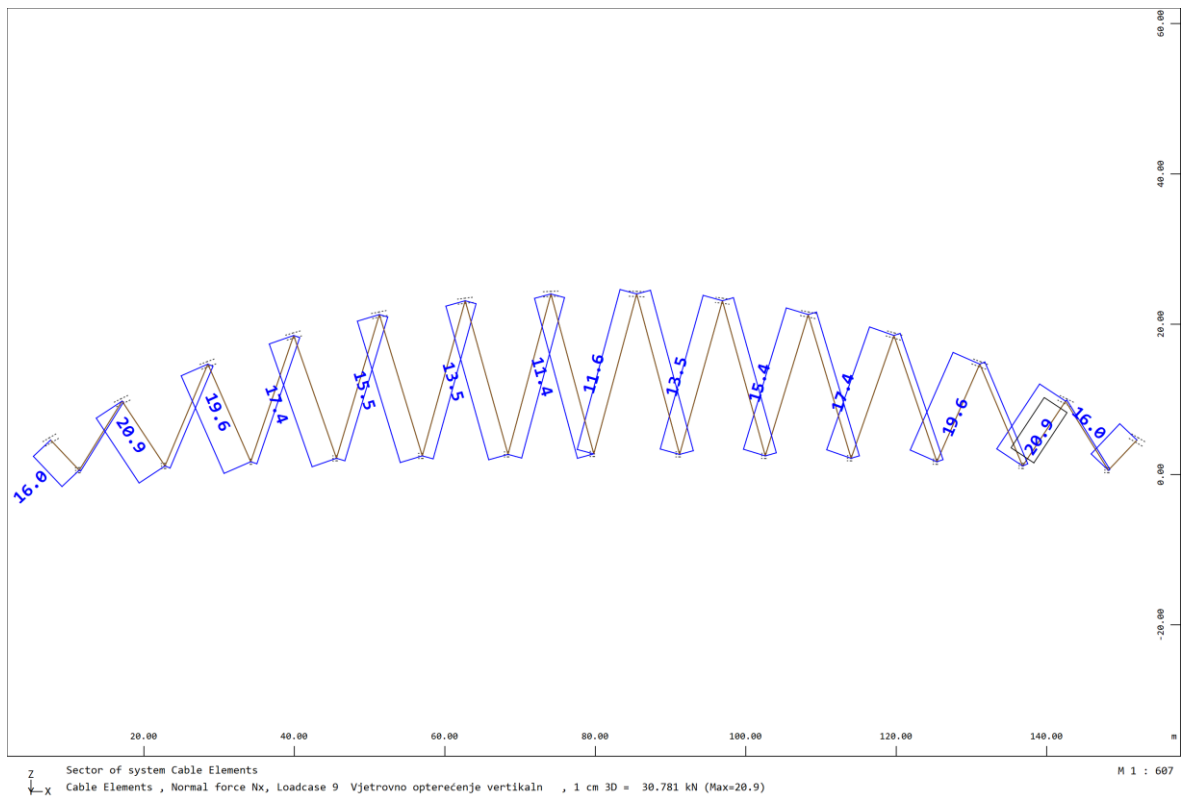


Slika 148. Luk LC 9317 Mz (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

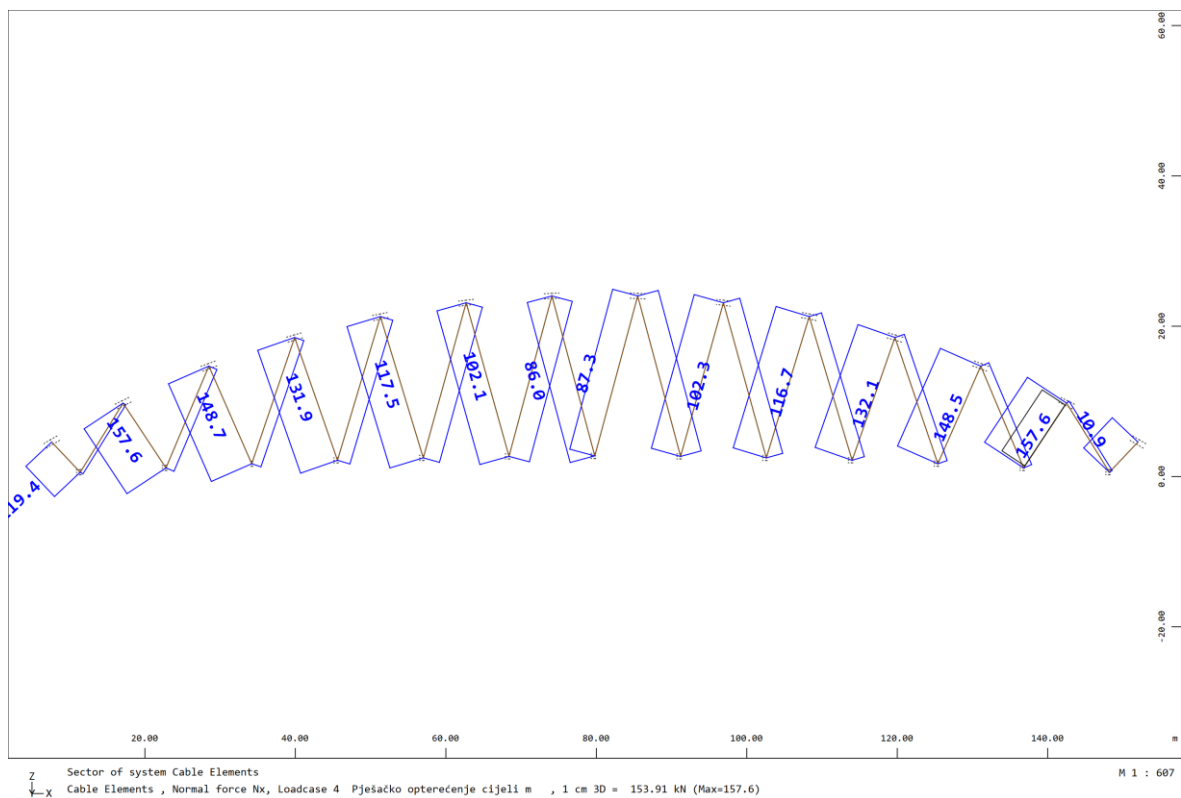
## 5.6. Rezne sile u vješaljka



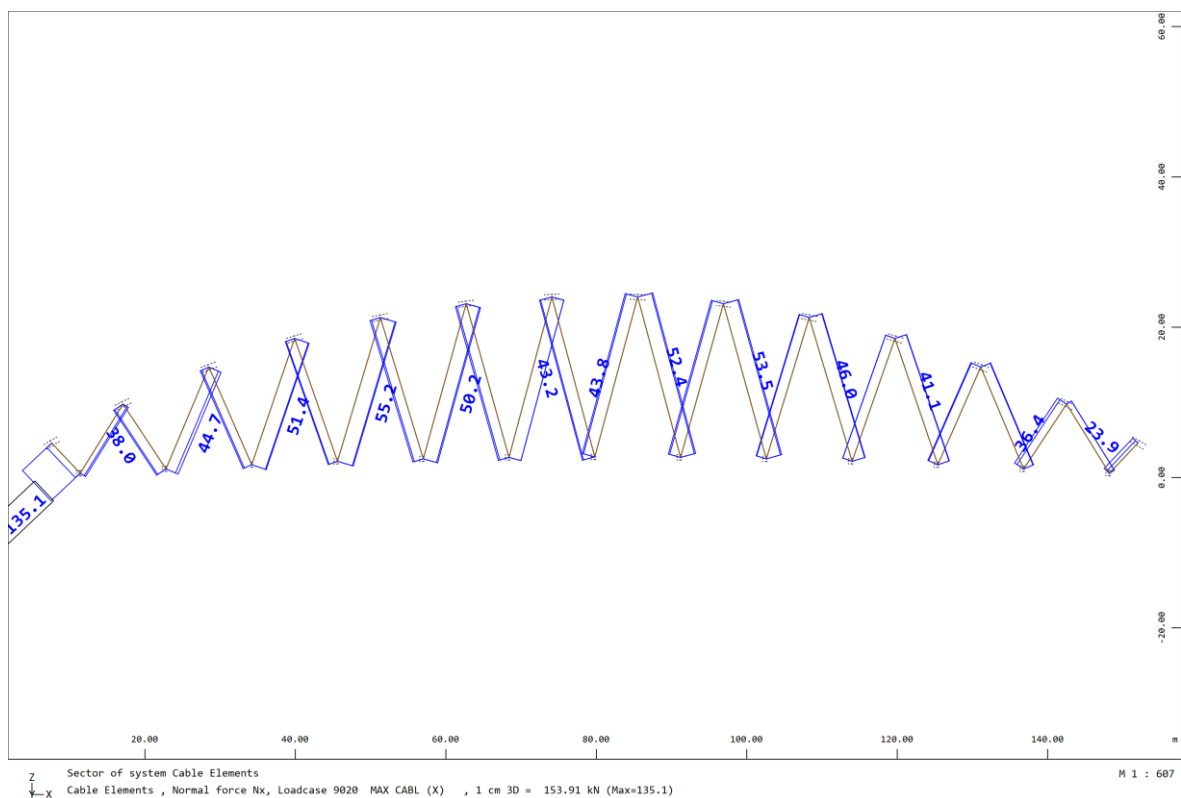
Slika 149. Uzdužna sila u vješaljka LC 4250 (Stalno opterećenje)



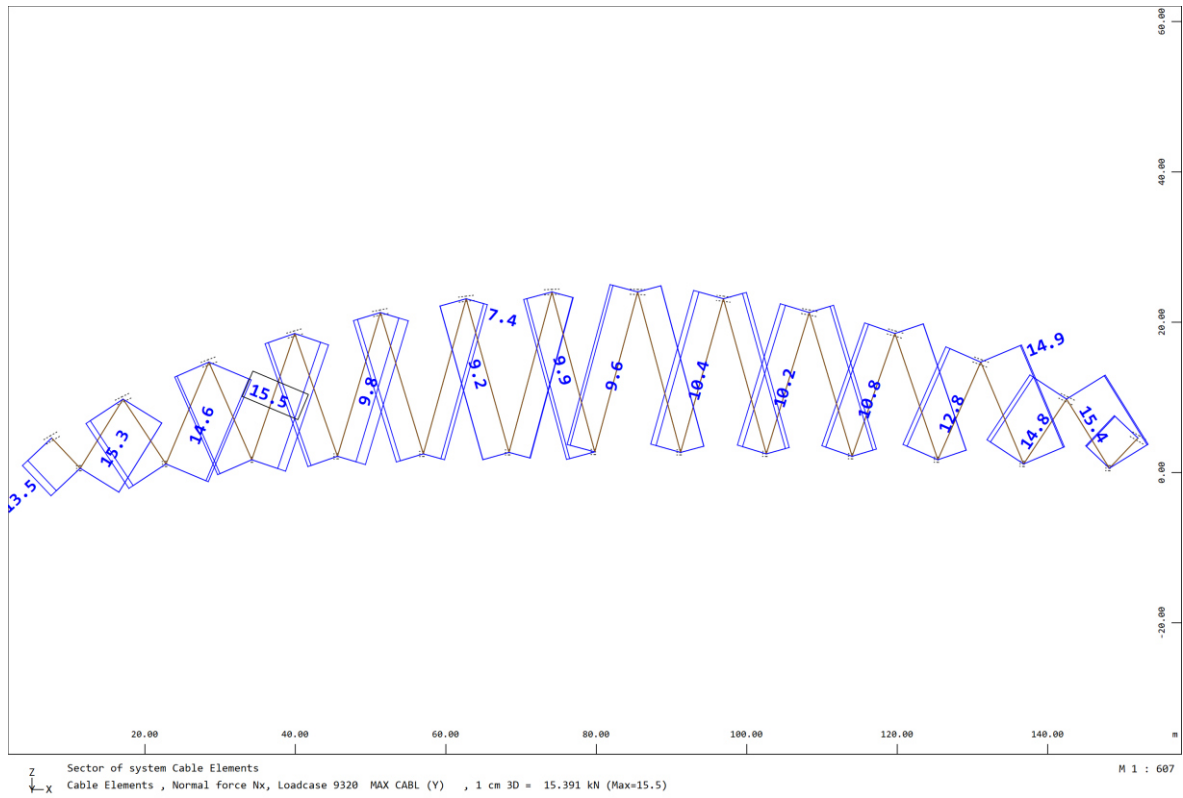
Slika 150. Uzdužna sila u vješaljka LC 9 (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



Slika 151. Uzdužna sila u vješaljama LC 4 (Pješačko opterećenje na cijelom mostu)



Slika 152. Uzdužna sila u vješaljama LC 9020 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



Slika 153. Uzdužna sila u vješaljka LC 9320 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

## 6. POMACI LEŽAJEVA

Tablica 13. Popis ispisanih pomaka

Pomak ležaja	Opterećenja
Uzdužno	LC 4250 LC 4, LC 8 LC 81, LC 82, LC 85, LC 86 LC 9001

*OPIS OPTEREĆENJA:*

*LC 4 – prometno opterećenje na cijelom mostu*

*LC 8 – opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru*

*LC 81 – najveća razlika pozitivne računske temperature*

*LC 82 – najveća razlika negativne računske temperature*

*LC 85 – temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave +*

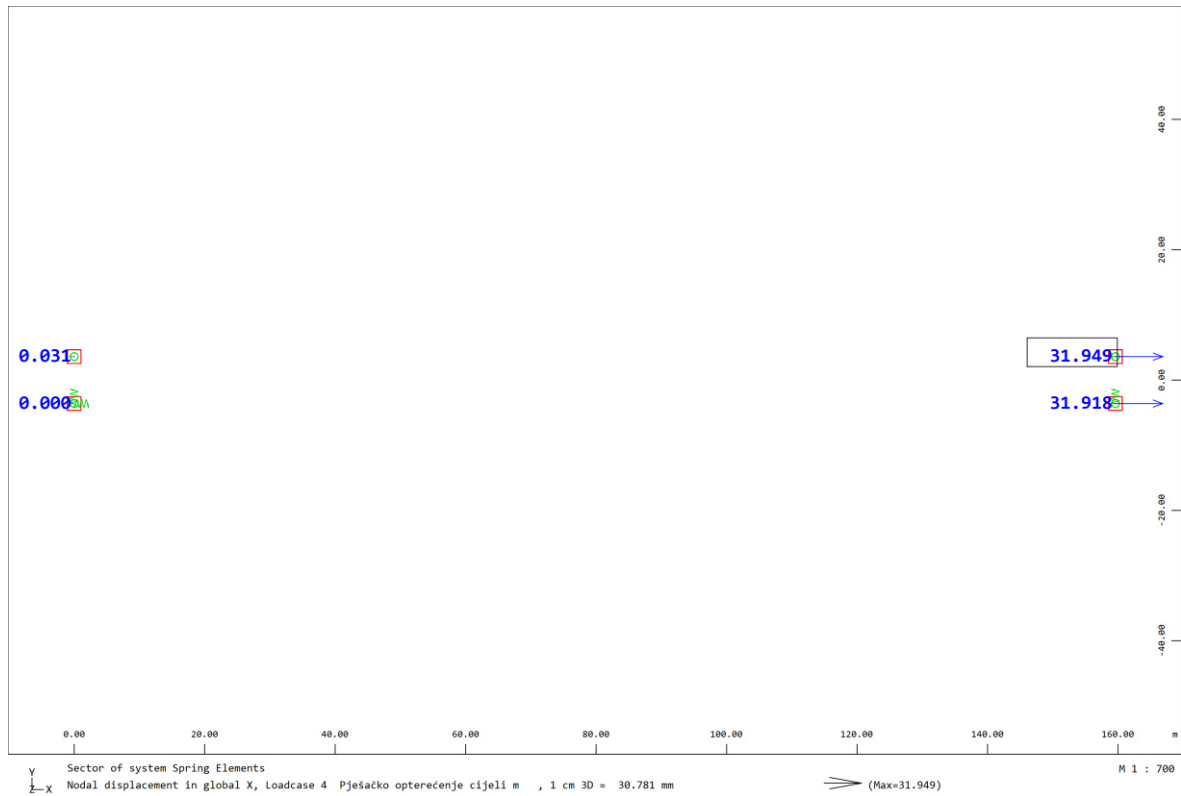
*LC 86 – temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave –*

*LC 4250 – stalno opterećenje (CS Dodatno stalno)*

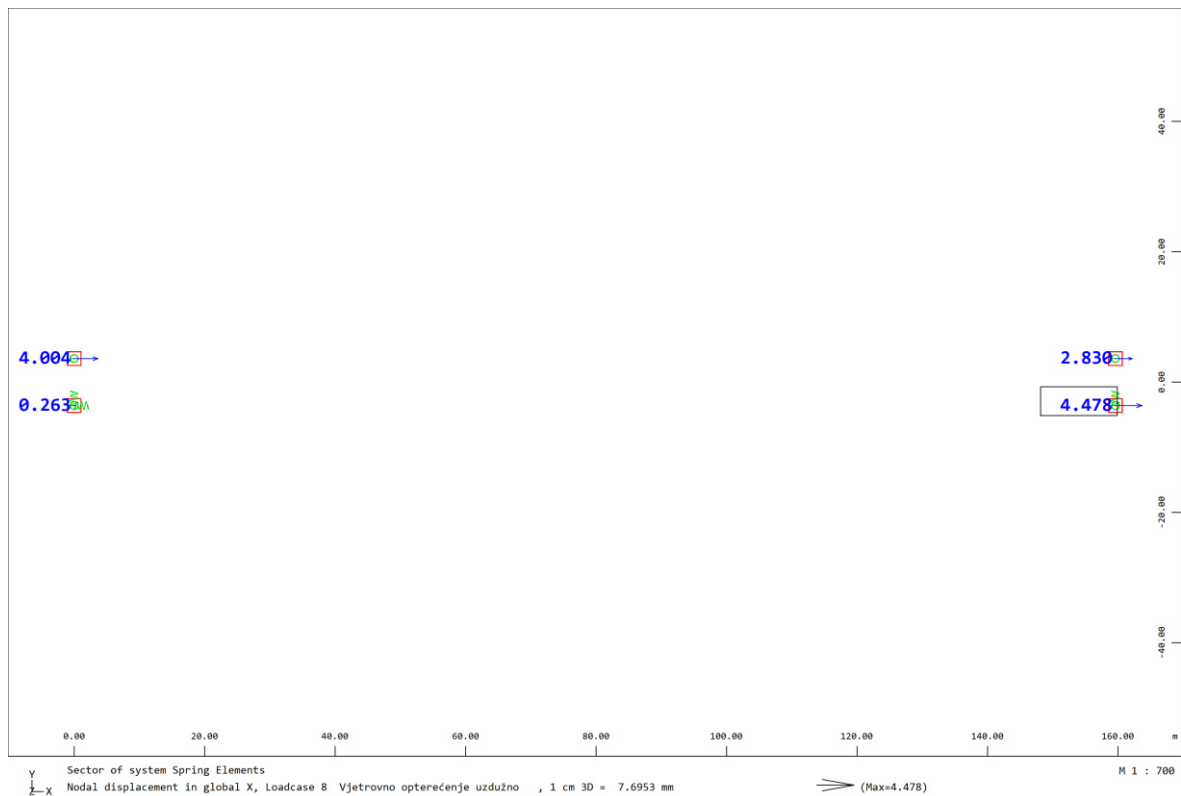
*LC 9001 – potresno opterećenje u uzdužnom smjeru*



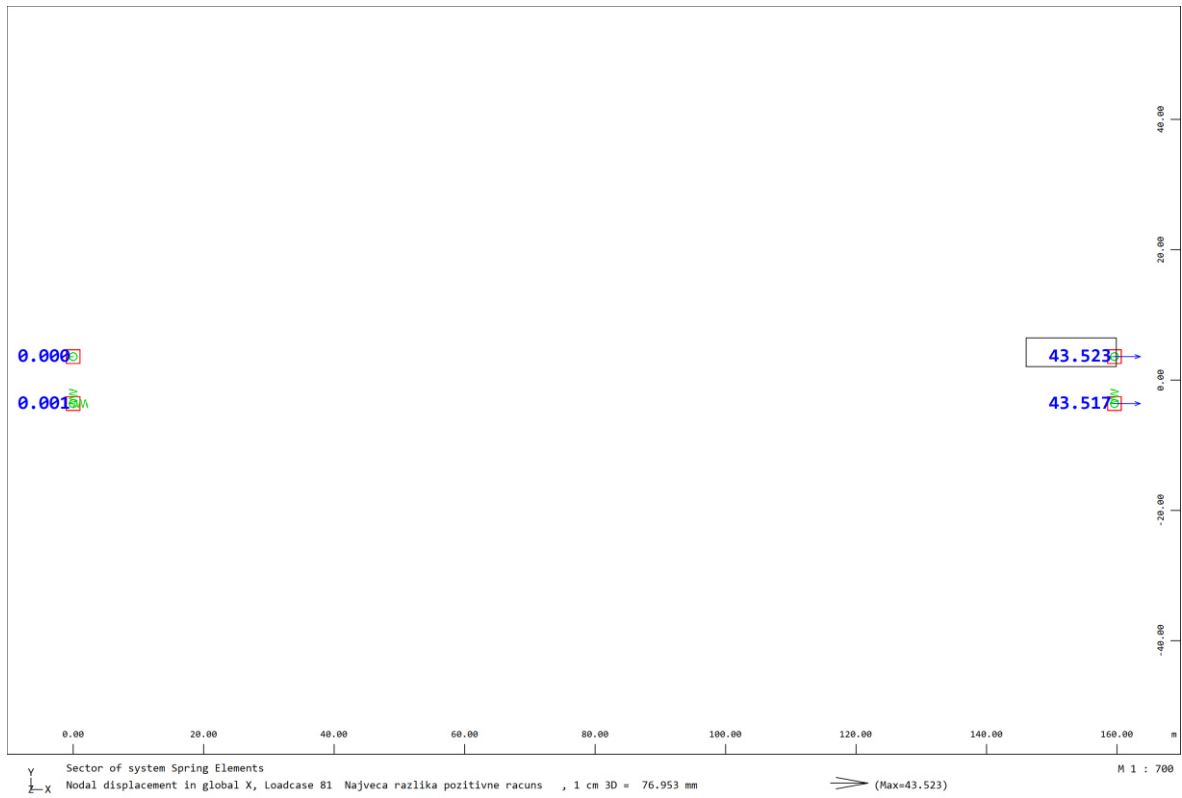
## 6.1. Uzdužni pomaci ležajeva



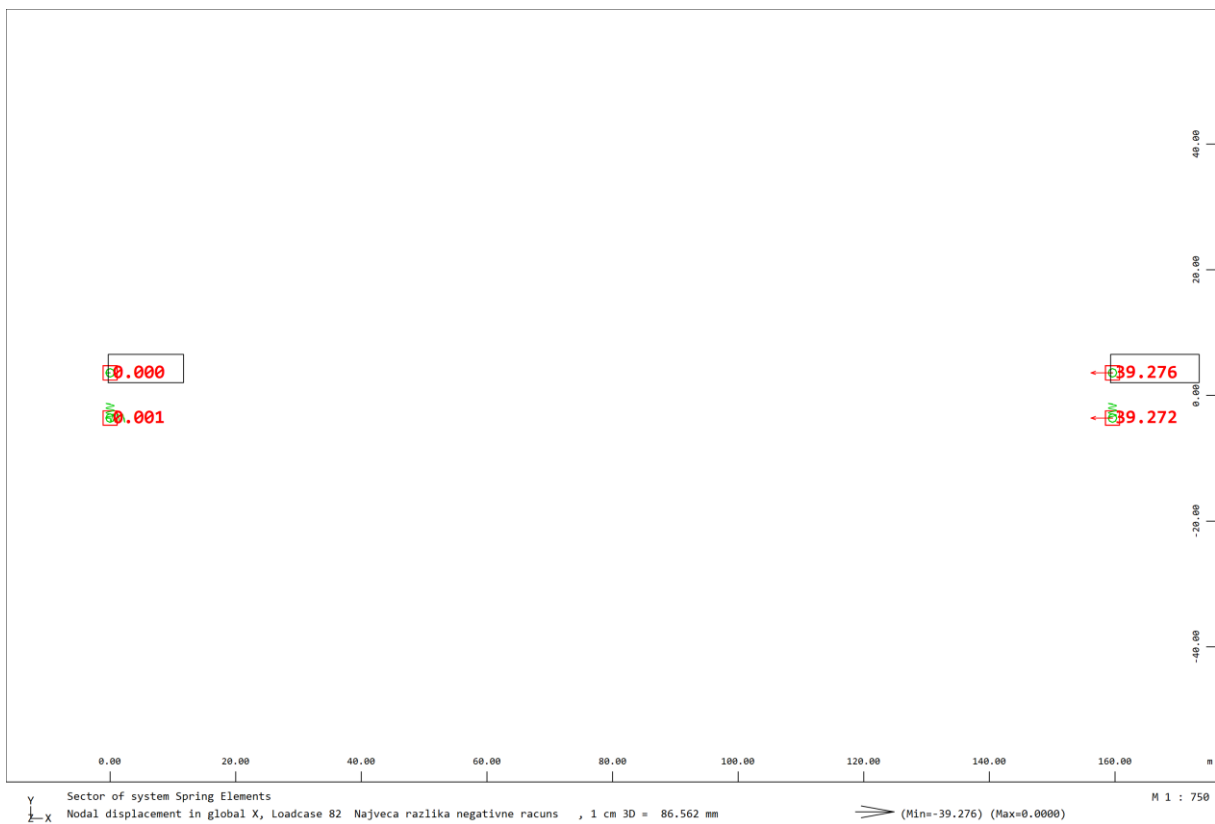
Slika 154. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 4 (Prometno opterećenje na cijelom mostu)



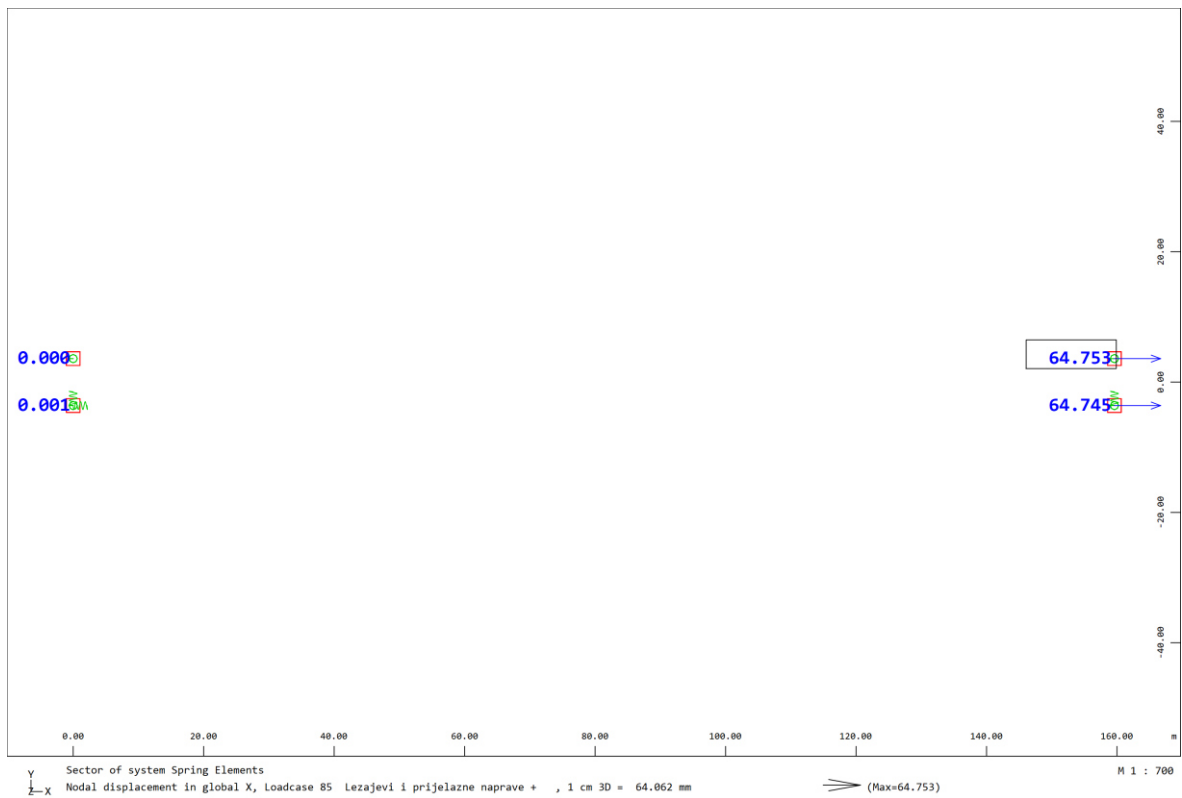
Slika 155. Uzdužni pomak ležajeva za LC 8 (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)



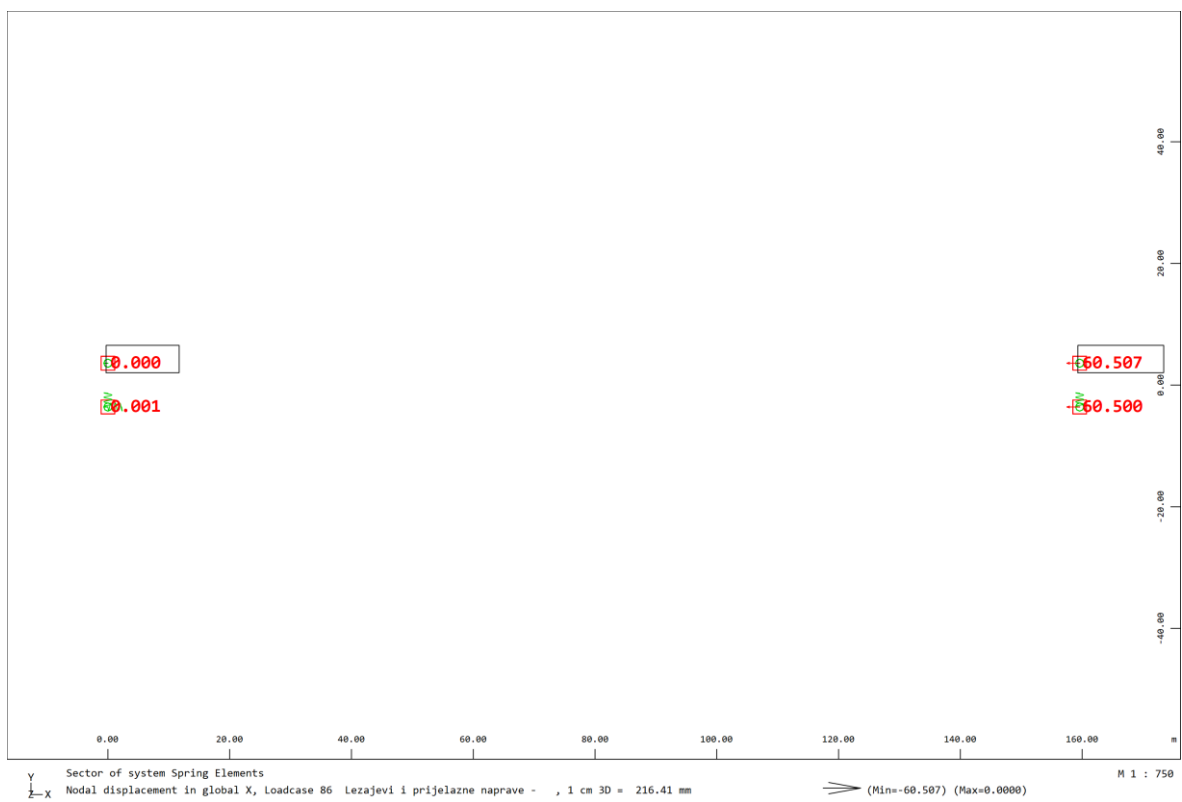
Slika 156. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 81 (Najveća razlika pozitivne račun. temperature)



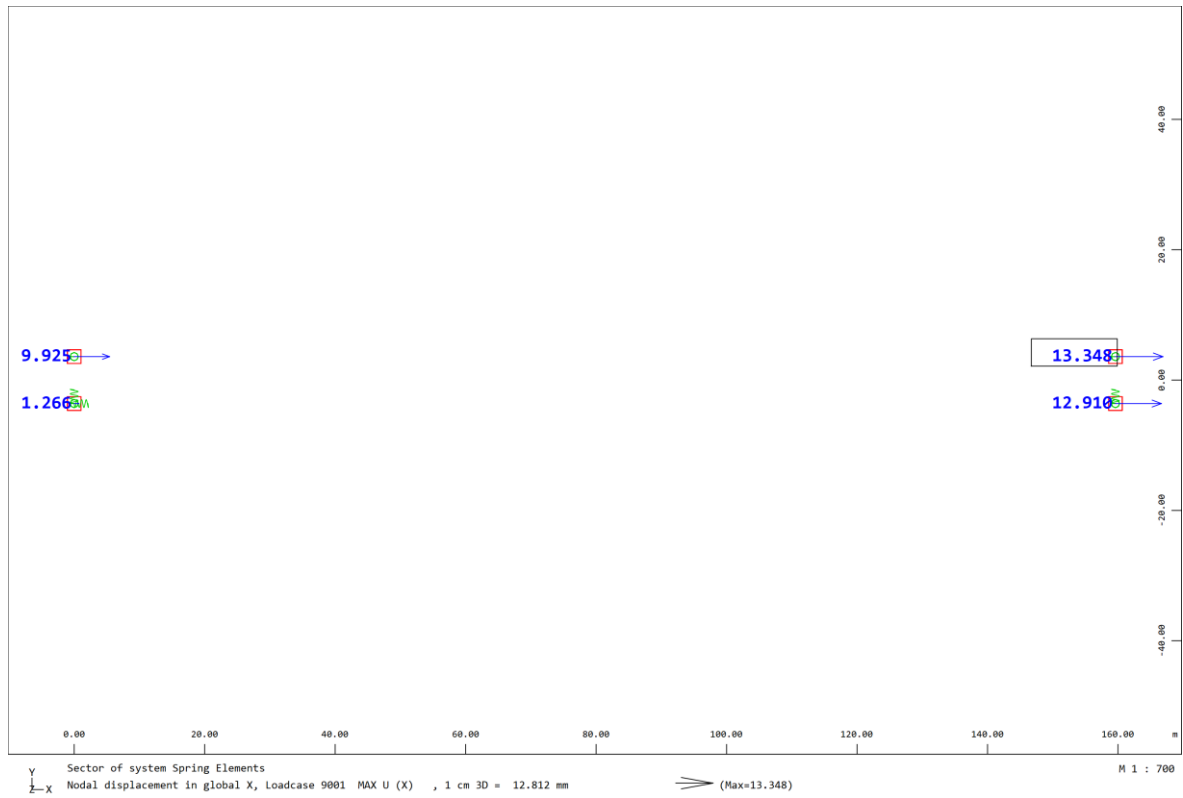
Slika 157. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 82 (Najveća razlika negativne račun. temperature)



Slika 158. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 85 (Temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave +)



Slika 159. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 86 (Temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave -)



Slika 160. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 9001 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)

## 7. ISPIS REAKCIJA

Tablica 14. Popis ispisanih reakcija

Reakcija ležaja	Opterećenje
Uzdužno	LC 8 LC 9038
Poprečno	LC 7 LC 9338
Vertikalno	LC 4250 LC 4, LC 9 LC 9038, LC 9338, LC 9638

*OPIS OPTEREĆENJA:*

*LC 4 – prometno opterećenje na cijelom mostu*

*LC 7 – opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru*

*LC 8 – opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru*

*LC 9 – opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru*

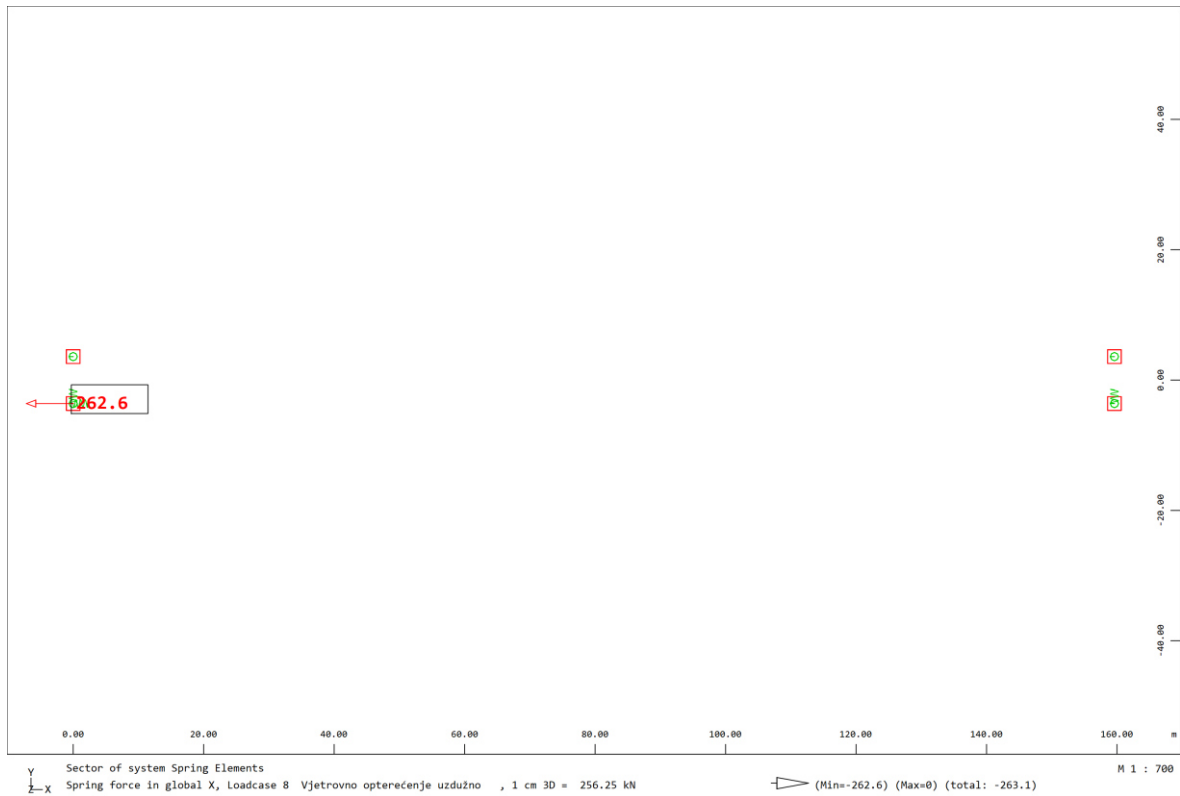
*LC 4250 – stalno opterećenje (CS Dodatno stalno)*

*LC 9038 – potresno opterećenje u uzdužnom smjeru*

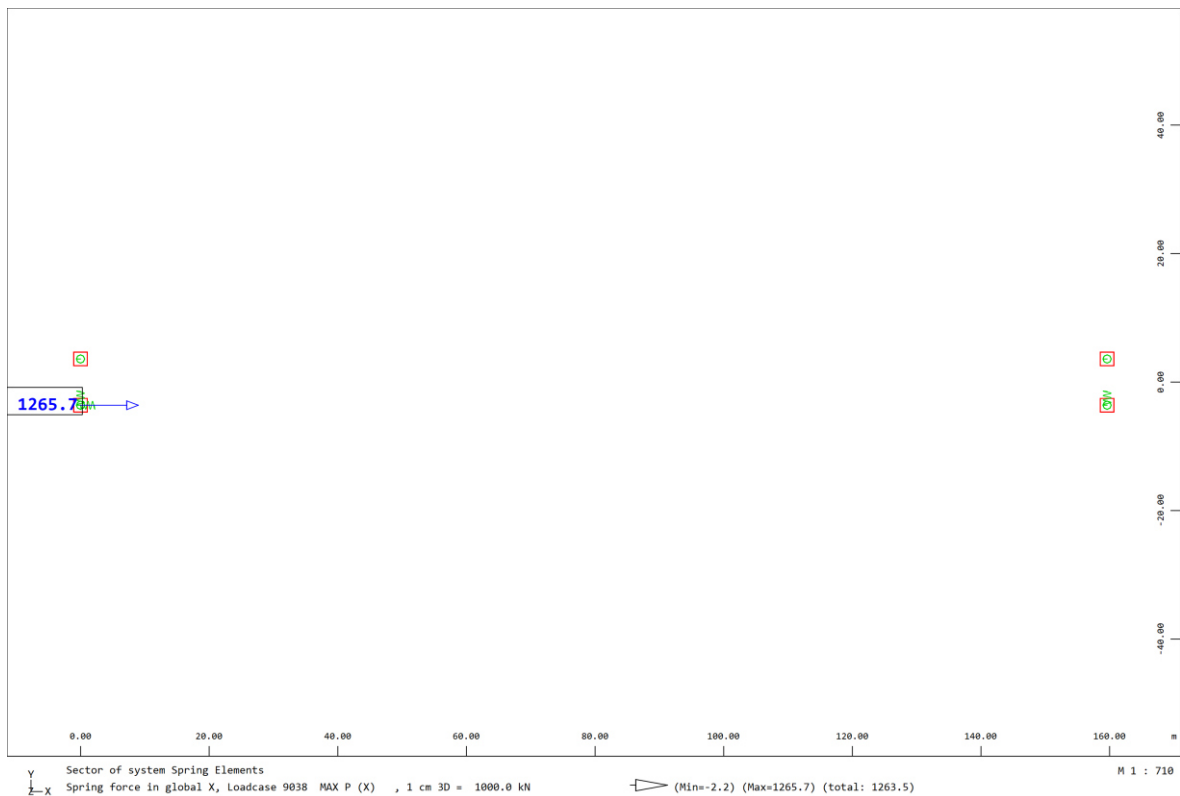
*LC 9338 – potresno opterećenje u poprečnom smjeru*

*LC 9638 – potresno opterećenje u vertikalnom smjeru*

## 7.1. Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru

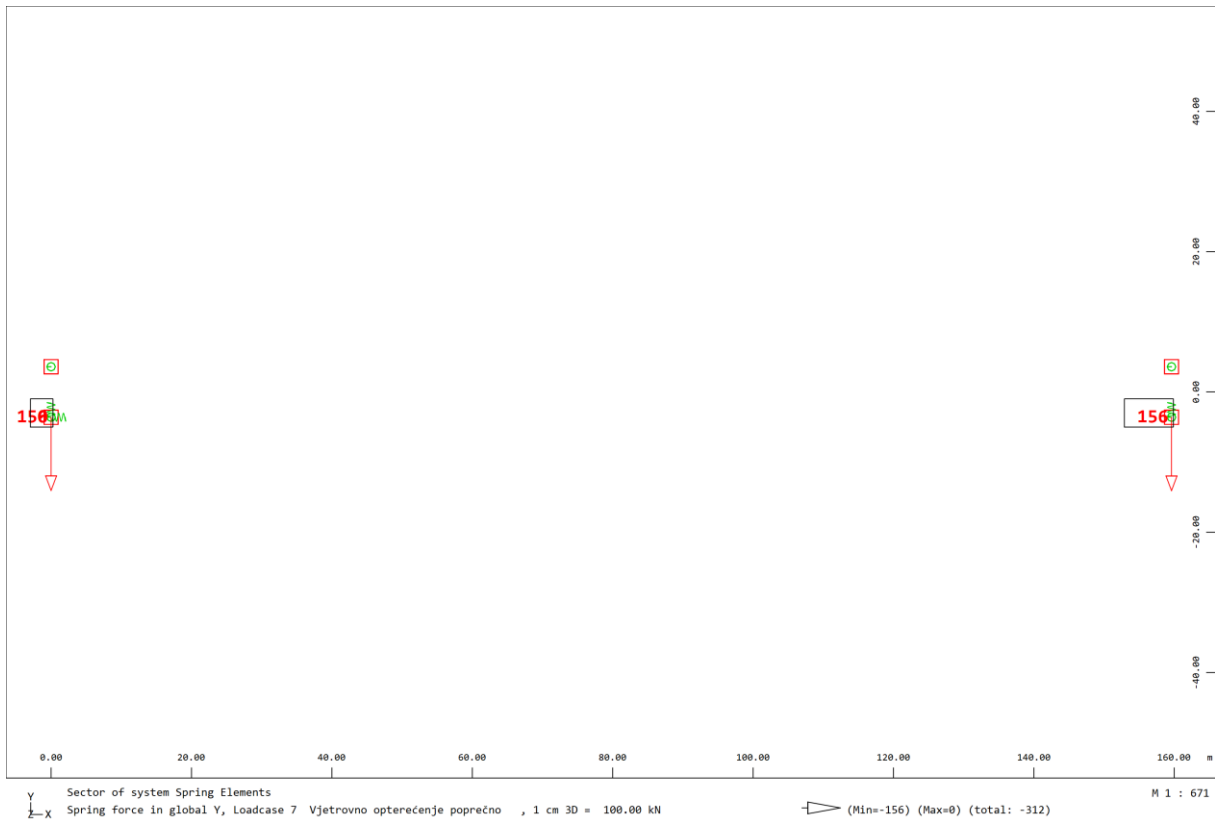


Slika 161. Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru LC 8 (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)

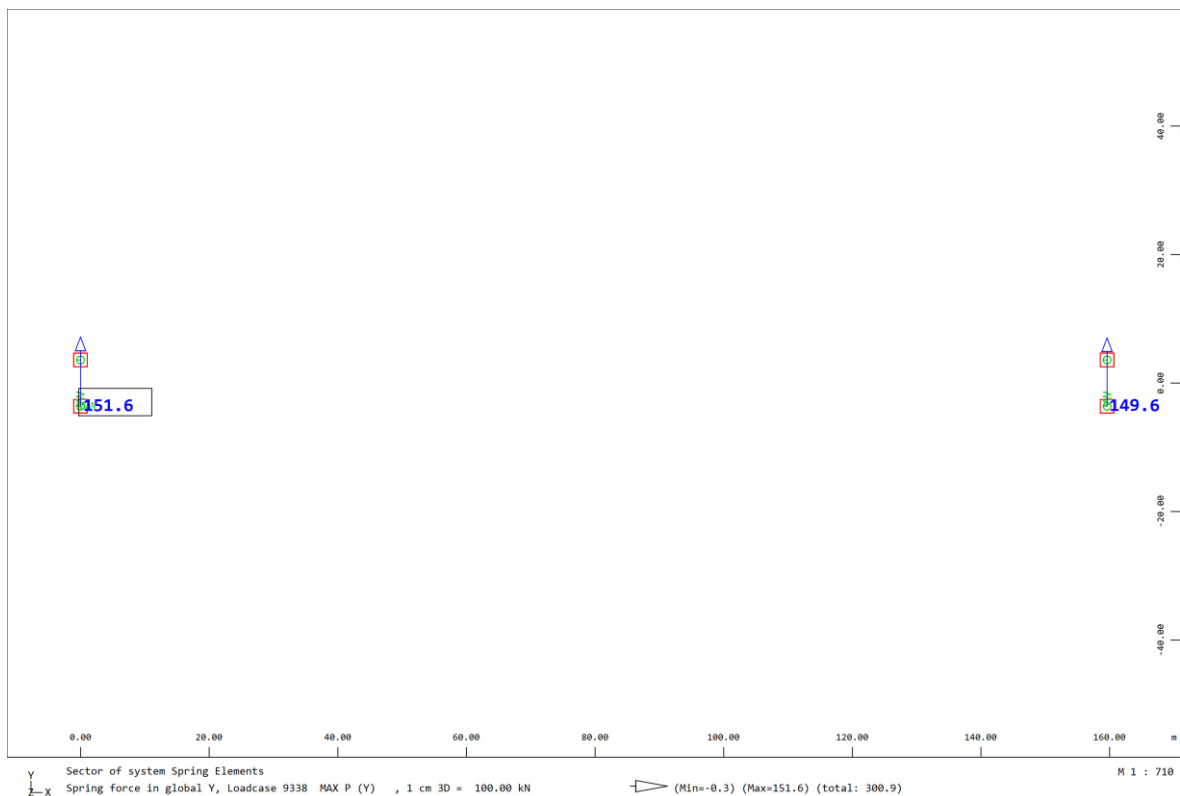


Slika 162. Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru LC 9038 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)

## 7.2. Ležajne reakcije u poprečnom smjeru

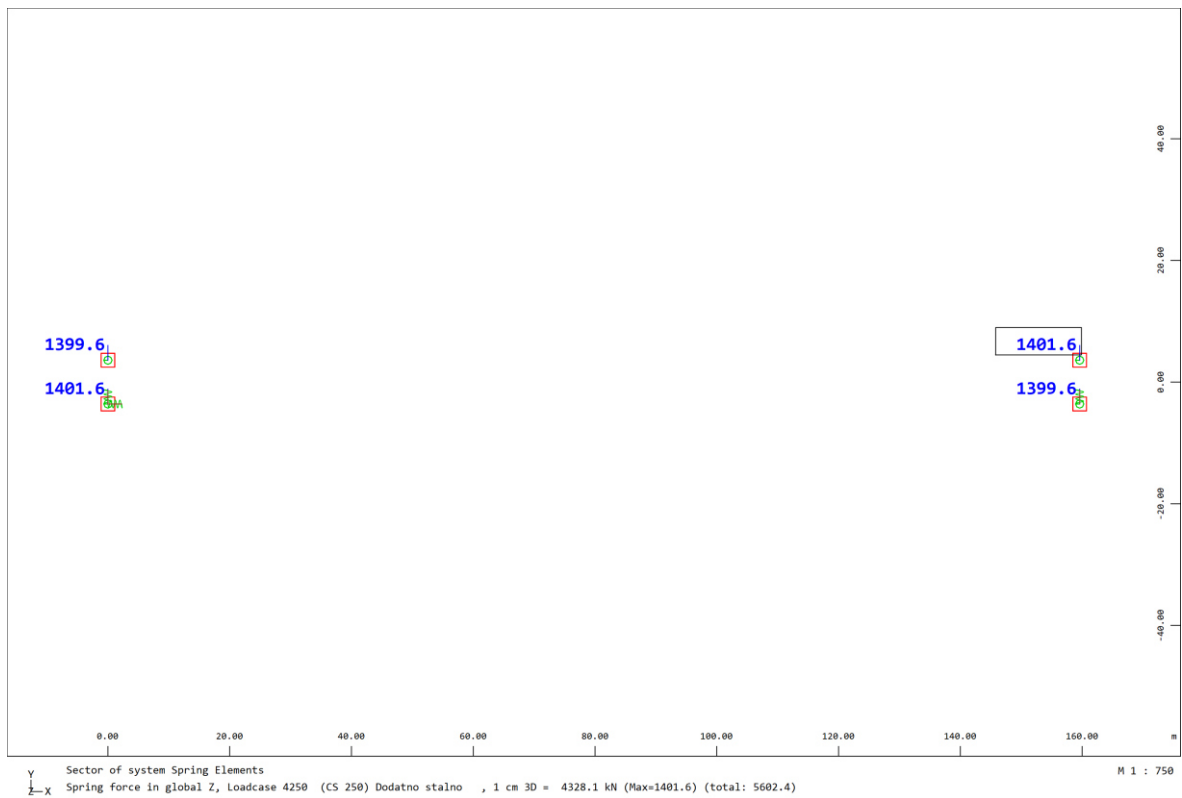


Slika 163. Ležajne reakcije u poprečnom smjeru LC 7 (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru)

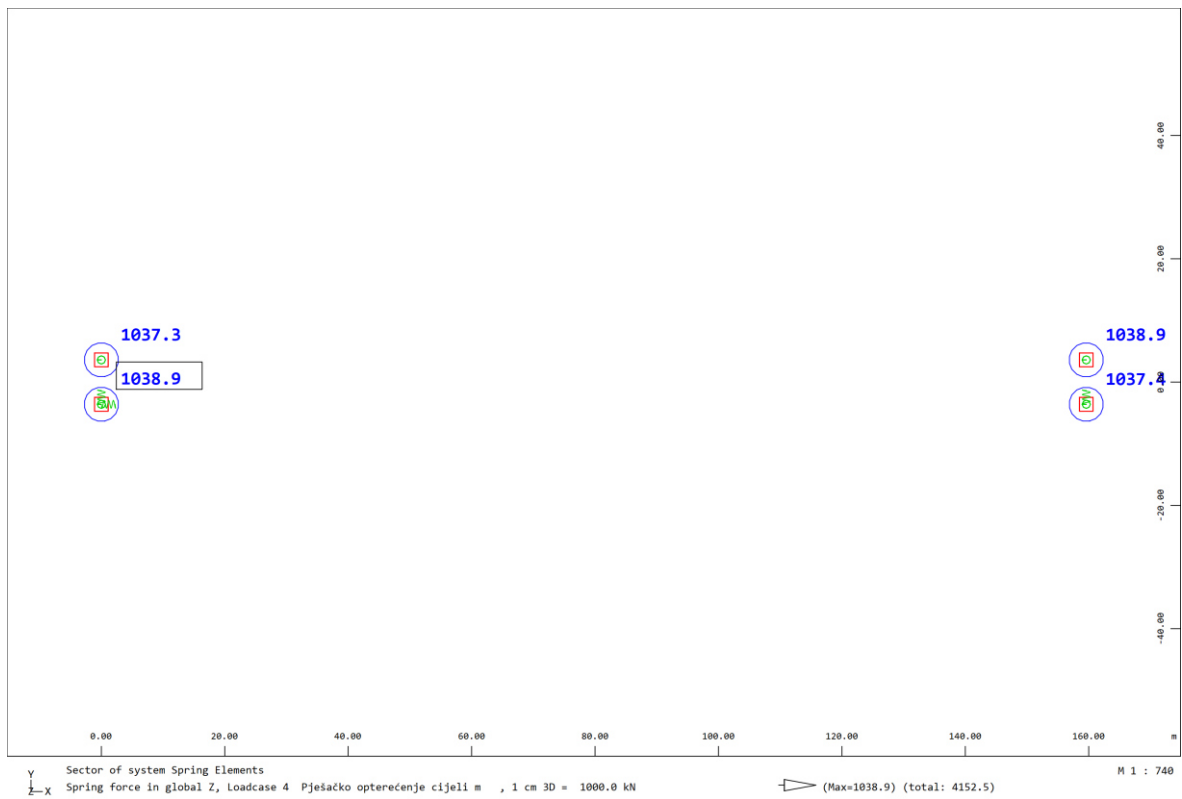


Slika 164. Ležajne reakcije u poprečnom smjeru LC 9338 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)

### 7.3. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru

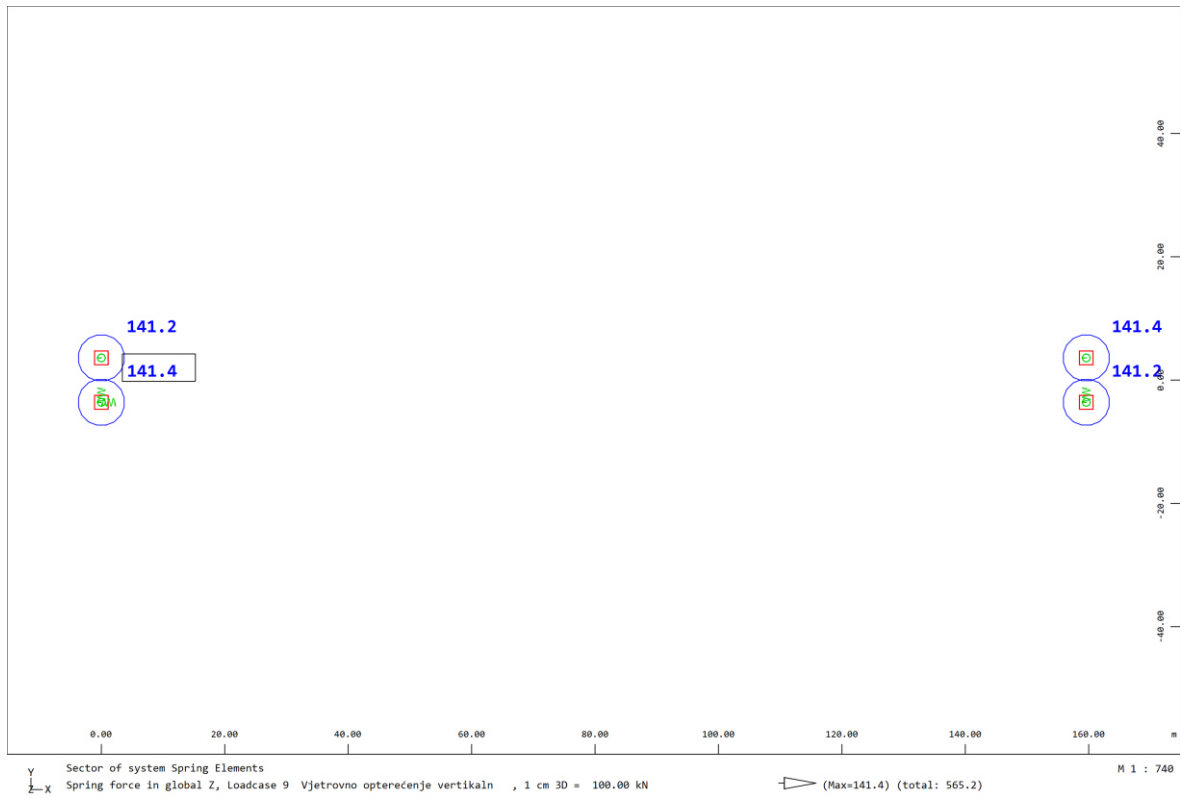


Slika 165. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 4250 (Stalno opterećenje)

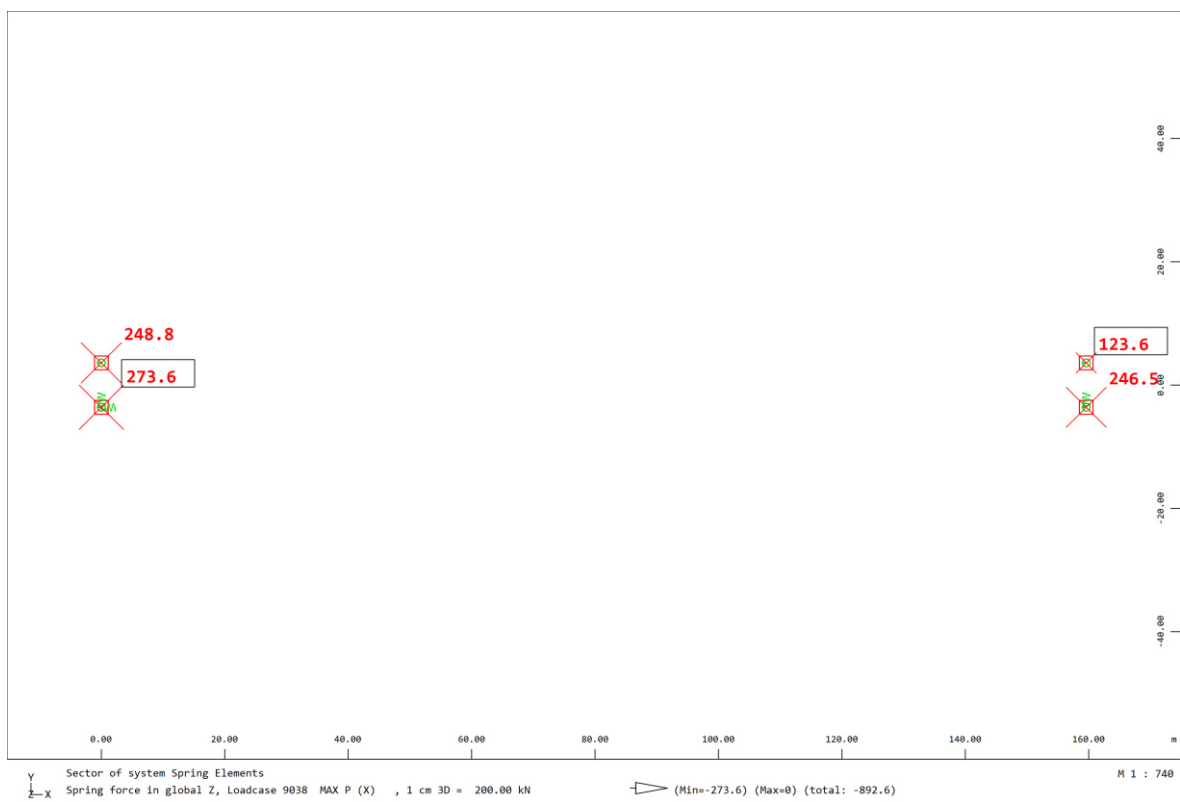


Slika 166. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 4 (Prometno opterećenje na cijelom mostu)

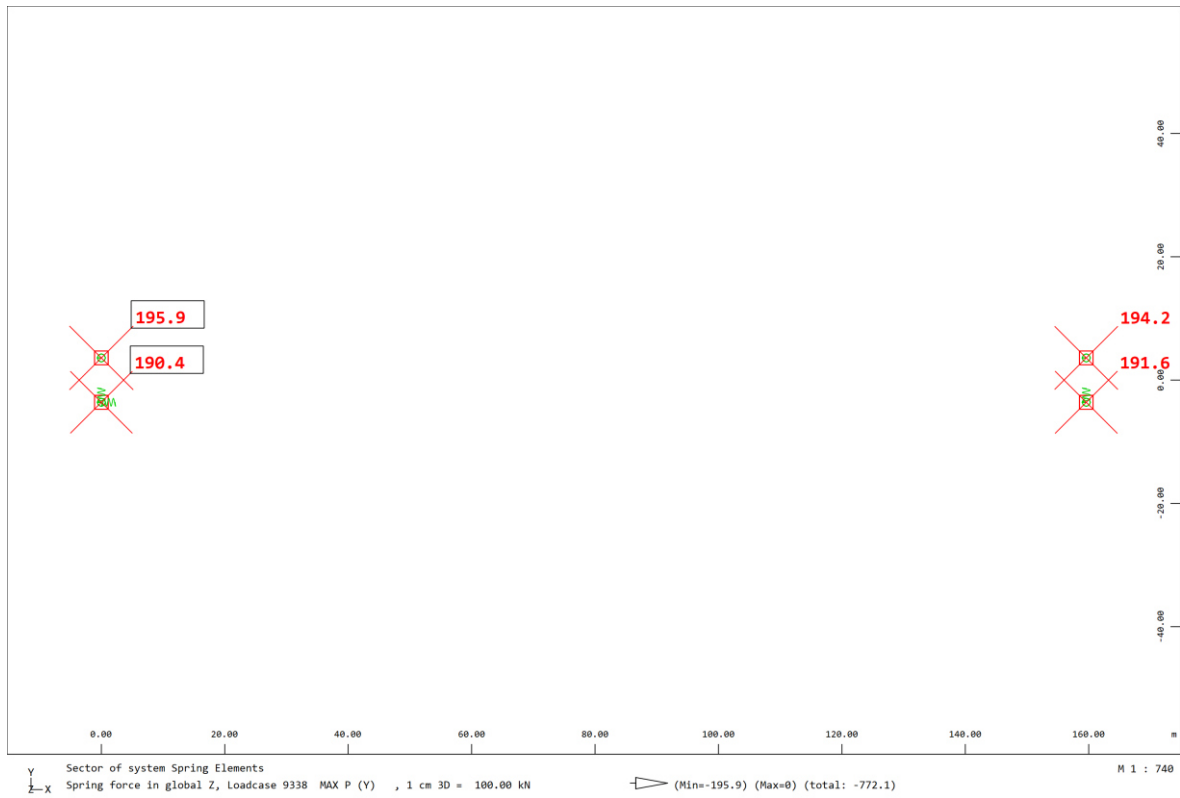




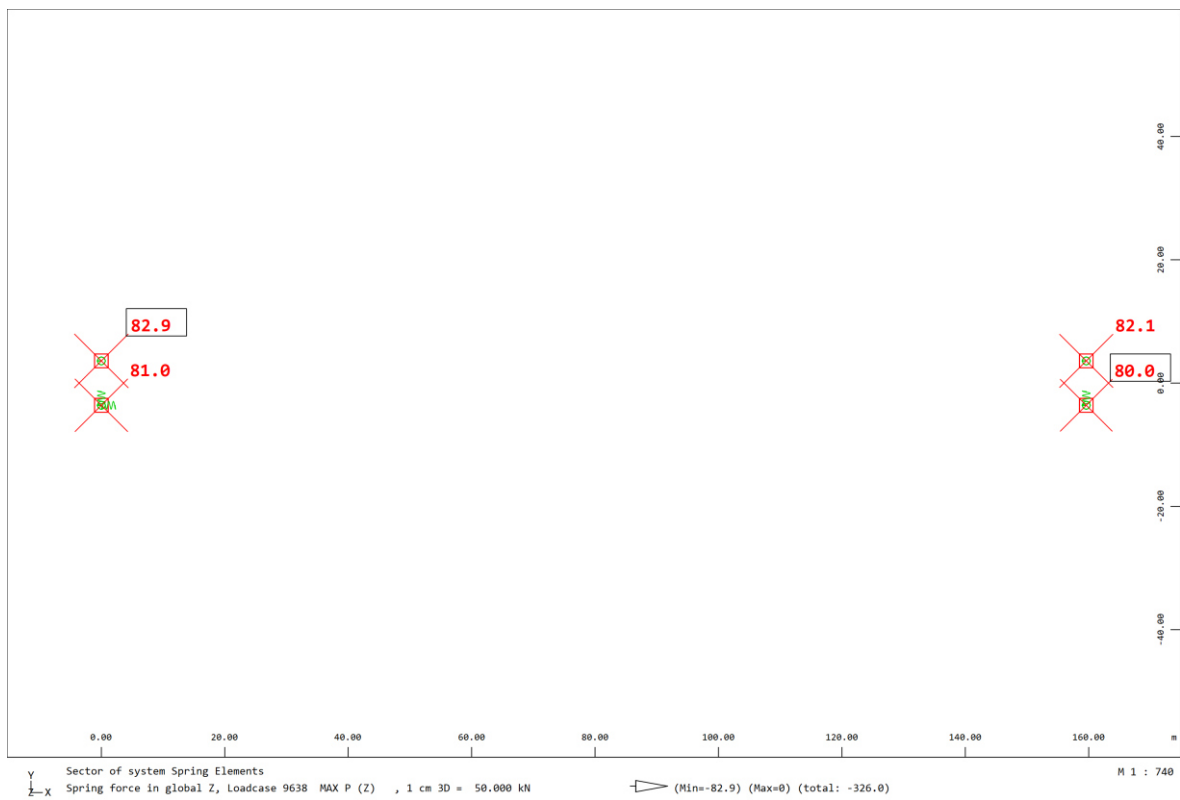
Slika 167. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9 (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru)



Slika 168. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9038 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru)



Slika 169. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9338 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru)



Slika 170. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9638 (Potresno opterećenje u vertikalnom smjeru)

## 8. FAKTORI I IZRAZI ZA KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

Koeficijenti sigurnosti i kombinacija za djelovanja uzeti su prema slijedećoj tablici:

Tablica 15. Parcijalni koeficijenti sigurnosti i koeficijenti kombinacije [8]

Naziv djelovanja	Tip	Parcijalni koeficijenti sigurnosti		Koeficijenti kombinacije			
		Nepovoljna $\gamma_{i,sup}$	Povoljna $\gamma_{i,inf}$	Rijetka $\psi_0$	Česta $\psi_1$	Nazovi- stalna $\psi_2$	Neučestale $\psi_1'$
Stalno djelovanje - Vlastita težina i Dodatno stalno	G	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Prometno osovinsko opterećenje	L_T	1.35	0	0.75	0.75	0	0.80
Prometno kontinuirano opterećenje	L_U	1.35	0	0.40	0.40	0	0.80
Vjetar	ZWN	1.50	0	0.60	0.20	0.00	0.60
Vjetar sa prometom	ZWO	1.50	0	1.00	0	0	1.00
Temperatura	T	1.5	0	0.0	0.60	0.50	0.80
Potres	EQ	1.00	0	0	0	0	0

Dimenzioniranje elemenata mosta provedeno je prema graničnom stanju nosivosti za:

- stalnu ili prolaznu situaciju ("persistent or transient" - DESI):

$$E_d = E_d \left[ \sum_j (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j}) + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + \gamma_p \cdot P_k \right]$$

- potresnu situaciju ("seismic" - EARQ):

$$E_d = E_d \left[ \sum_j (G_{k,j}) + \gamma_I A_{Ed} + \sum_{i>1} (\psi_{2i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

Dimenzioniranje elemenata mosta provedeno je prema graničnom stanju uporabljivosti za:

- rijetku ili karakterističnu kombinaciju djelovanja ("characteristic" - RARE)

$$E_d = E_d \left[ \sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

- nazovistalnu kombinaciju djelovanja ("quasi-permanent" - PERM)

$$E_d = E_d \left[ \sum_j (G_{k,j}) + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

- čestu kombinaciju djelovanja ("frequent" - FREQ)

$$E_d = E_d \left[ \sum_j (G_{k,j}) + \psi_{11} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) + P_k \right]$$

## 9. DIMENZIONIRANJE ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

### 9.1. Ukupna težina mosta

Ukupna težina utrošenog čelika za izvedbu rasponskog sklopa iznosi:

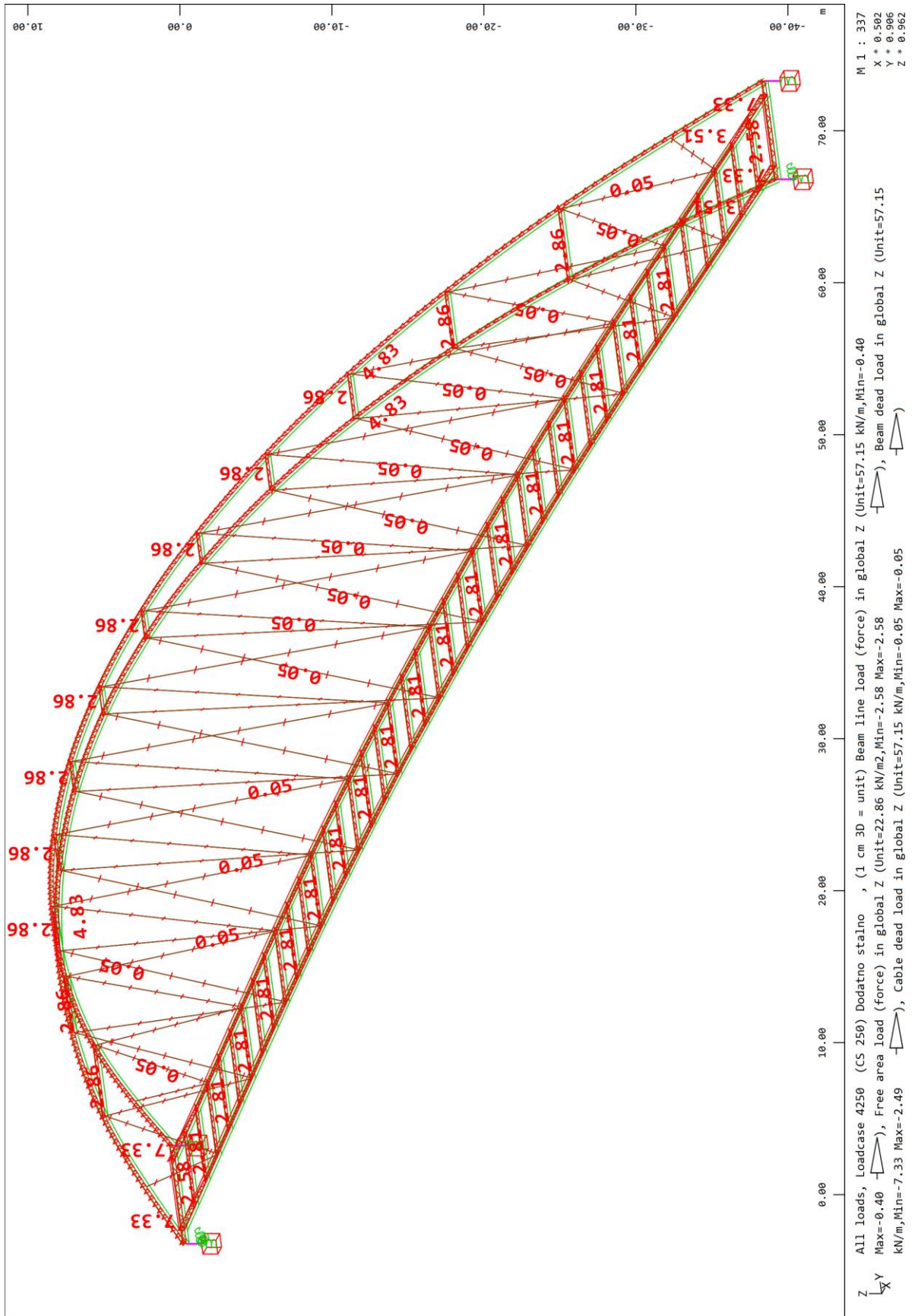
$$G_{uk} = 5879,8 \text{ kN}$$

Korisna površina mosta je:

$$A_k = 4,78 \cdot 159,6 = 762,89 \text{ m}^2$$

Utrošak čelika je:

$$Utrošak \text{ čelika} = \frac{5879,8}{762,89} = 7,71 \text{ kN/m}^2 = 0,771 \text{ t/m}^2 \rightarrow \approx 775 \text{ kg/m}^2$$



Slika 171. Težina mosta

## 9.2. Naprezanja u nosivim elementima mosta

Granična naprezanja prema graničnom stanju nosivosti određena su kako slijedi:

→ Za vlak:

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

→ Za tlak (debljina lima  $\leq 40$  mm):

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

→ Za tlak (debljina lima  $> 40$  mm):

$$\sigma_{rd,max} = \frac{-335}{1,1} = -304 \text{ MPa}$$

→ Posmik:

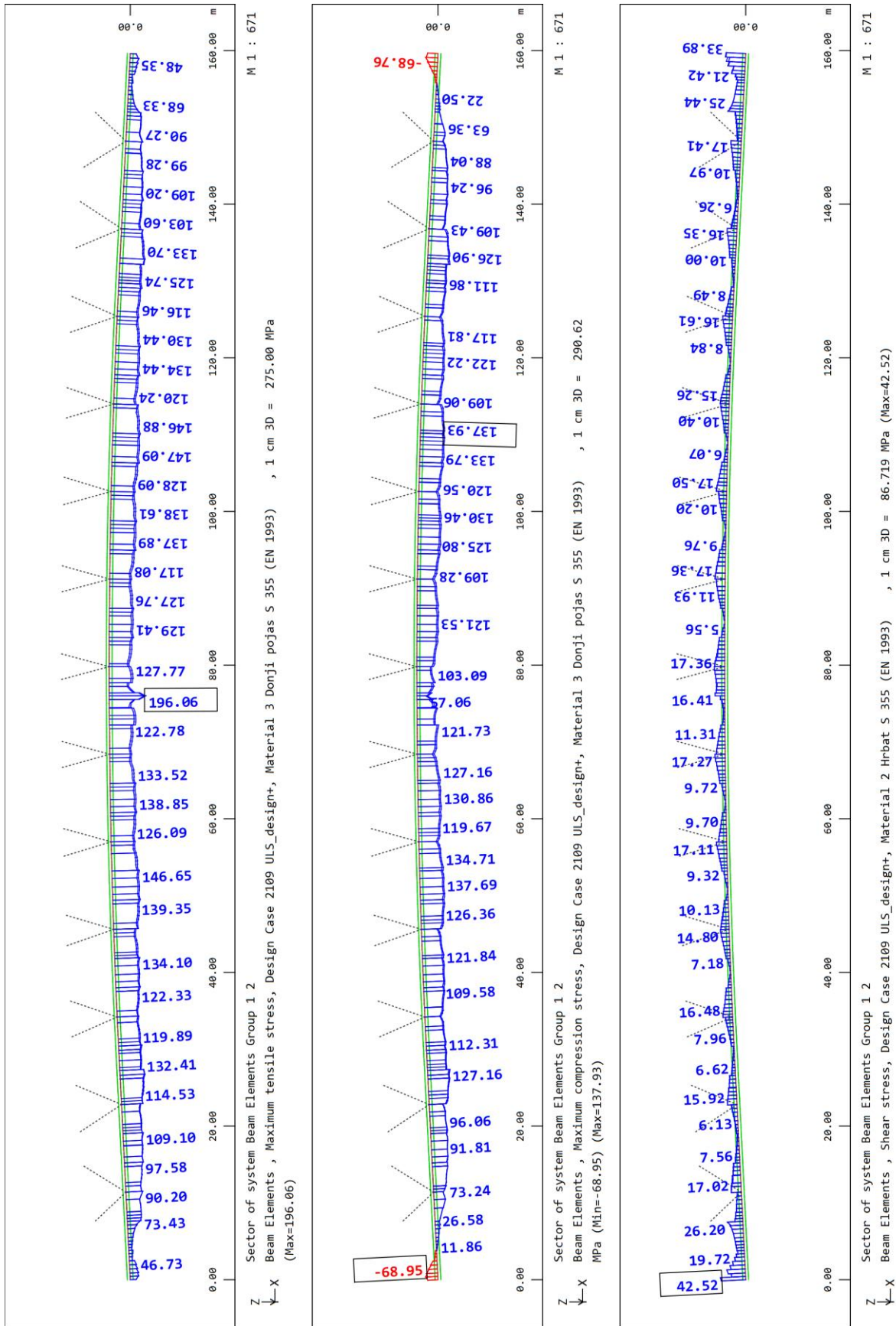
$$\tau_{rd} = \frac{322}{\sqrt{3}} = 185 \text{ MPa}$$

Iskazana su naprezanja za mjerodavnu kombinaciju stalne ili prolazne situacije kako slijedi:

- Najveća posmična i pripadna normalna naprezanja u hrptu glavnog nosača
- Najveća normalna naprezanja u gornjem i donjem pojasu glavnog nosača
- Najveća normalna i pripadna posmična naprezanja u hrptu glavnog nosača
- V.Mises naprezanja u hrptu glavnog nosača
- Naprezanja u poprečnom nosaču za hrbat, gornji i donji pojas
- Naprezanja u sanduku luka za hrbat, gornji i donji pojas

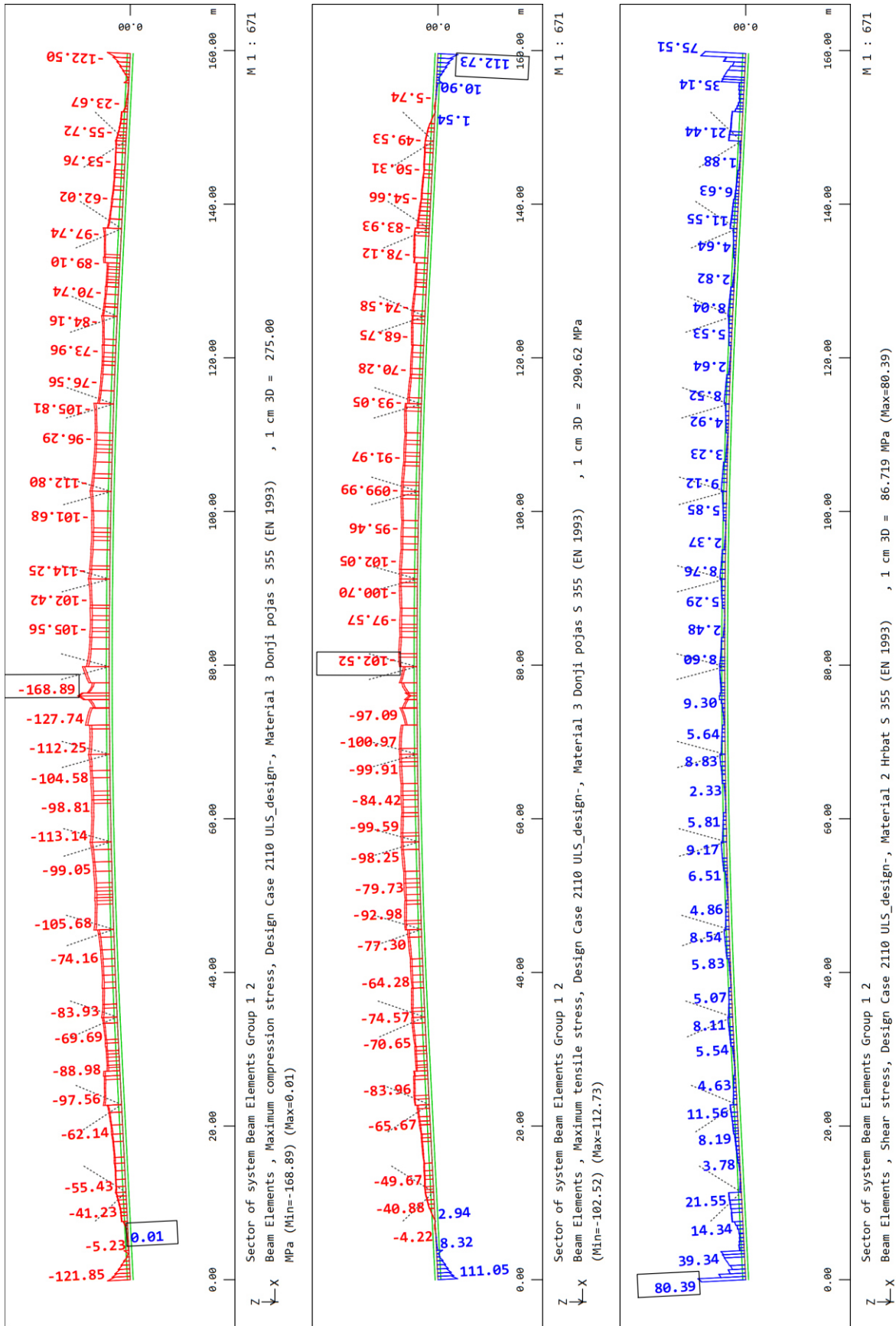
Na sljedećim slikama su prikazana naprezanja:

- Naprezanja u rasponskom sklopu LC 2109 i LC 2110
- Naprezanja u hrptu glavnog nosača LC 2109, LC 2110 i LC 2111
- V. Mises naprezanja u hrptu glavnog nosača LC 2109, LC 2110 i LC 2111
- Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2101, LC 2102 i LC 2019
- Naprezanja u luku LC 2102 i LC 2103
- Naprezanja u prečkama luka LC 2101 i LC 2106



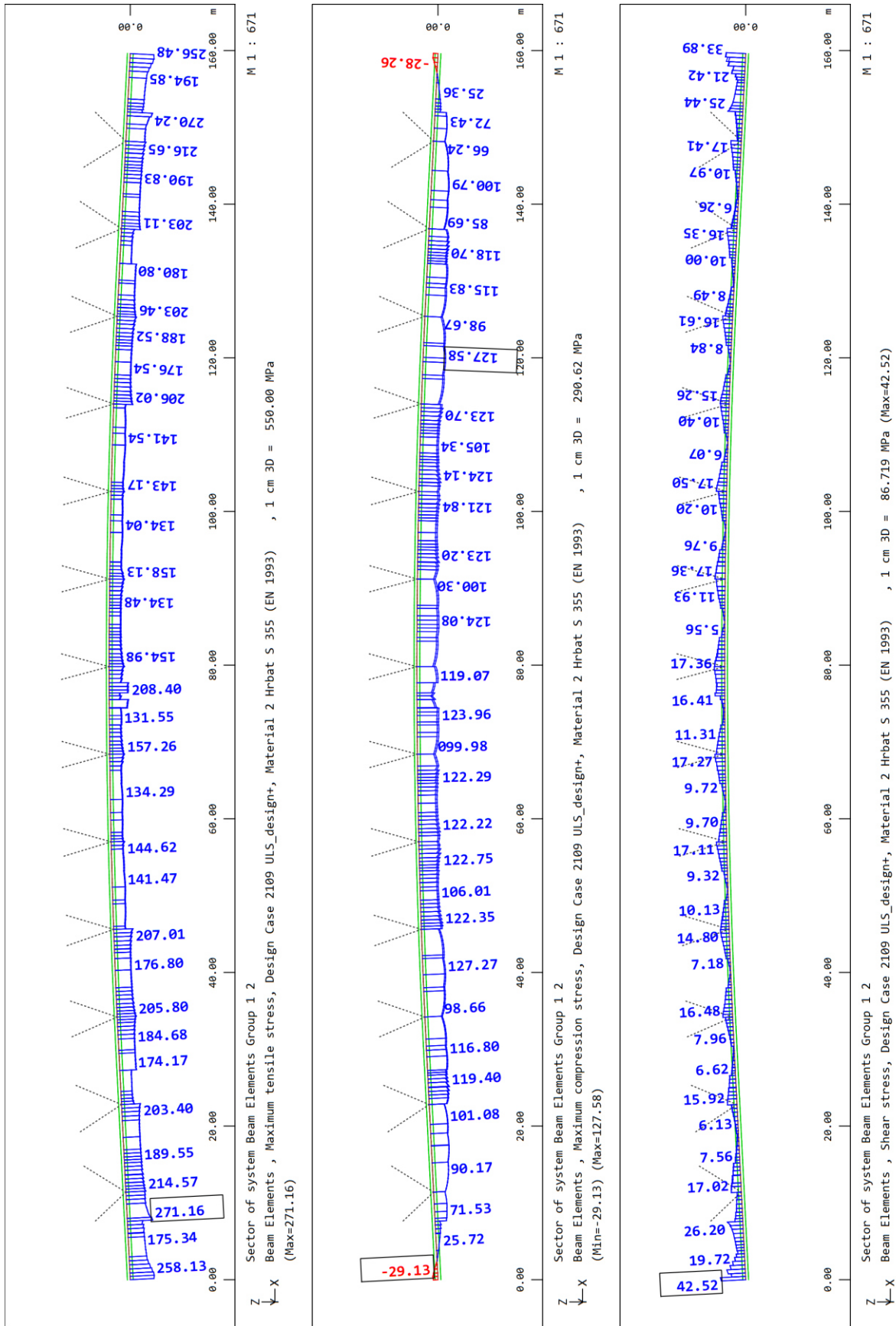
Slika 172. Naprezanja rasponskom sklopu LC 2109



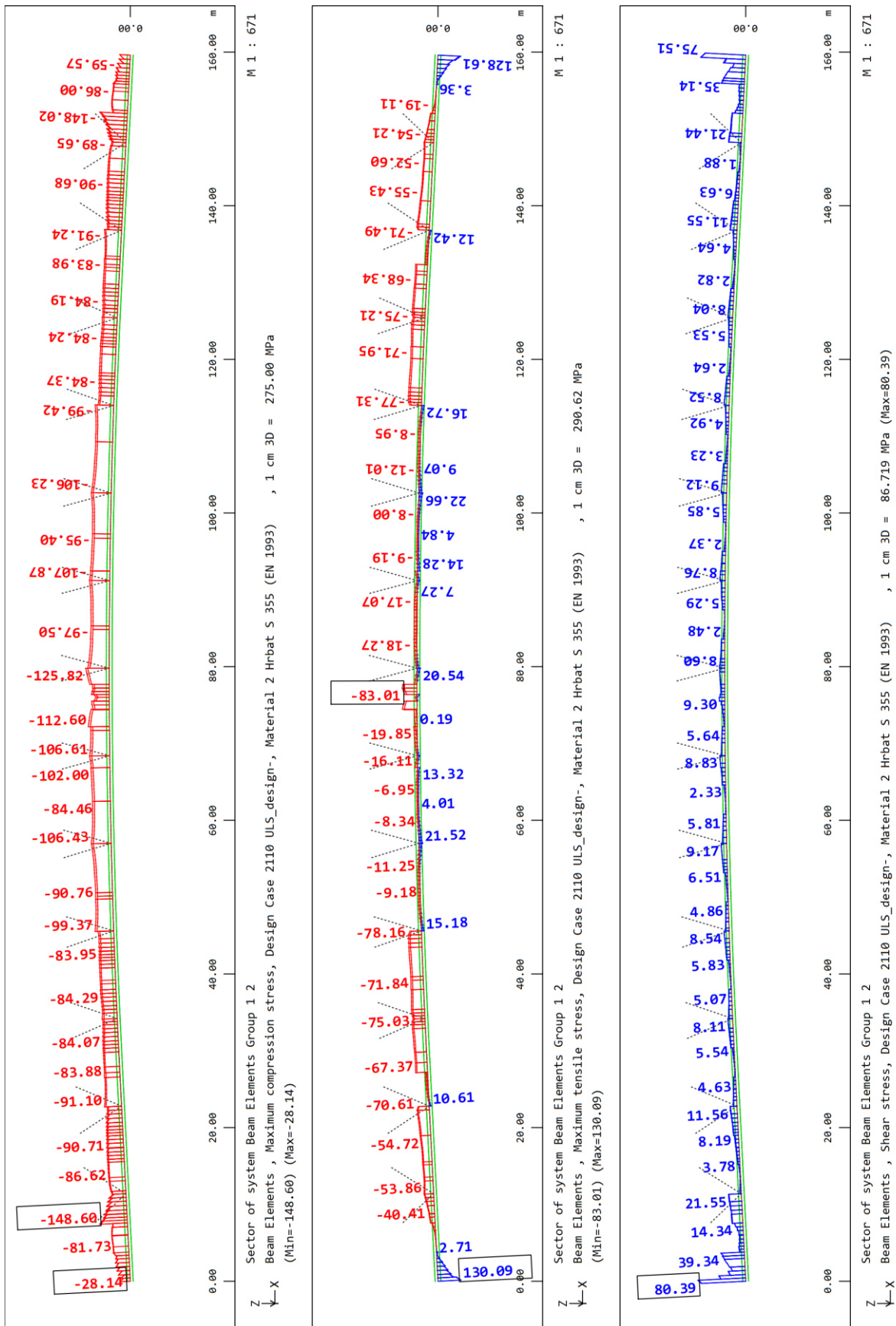


Slika 173. Naprezanja rasponskom sklopu LC 2110

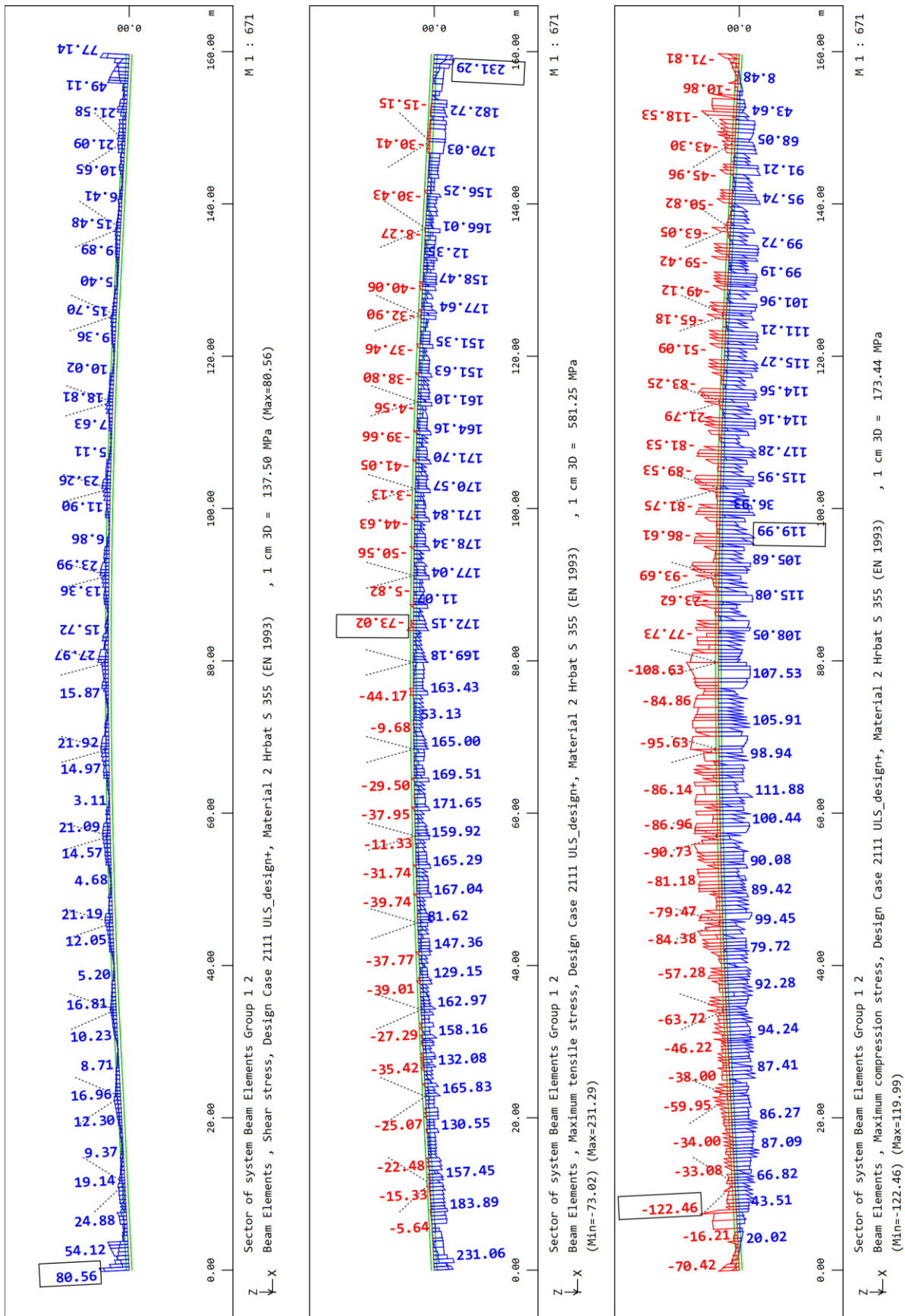




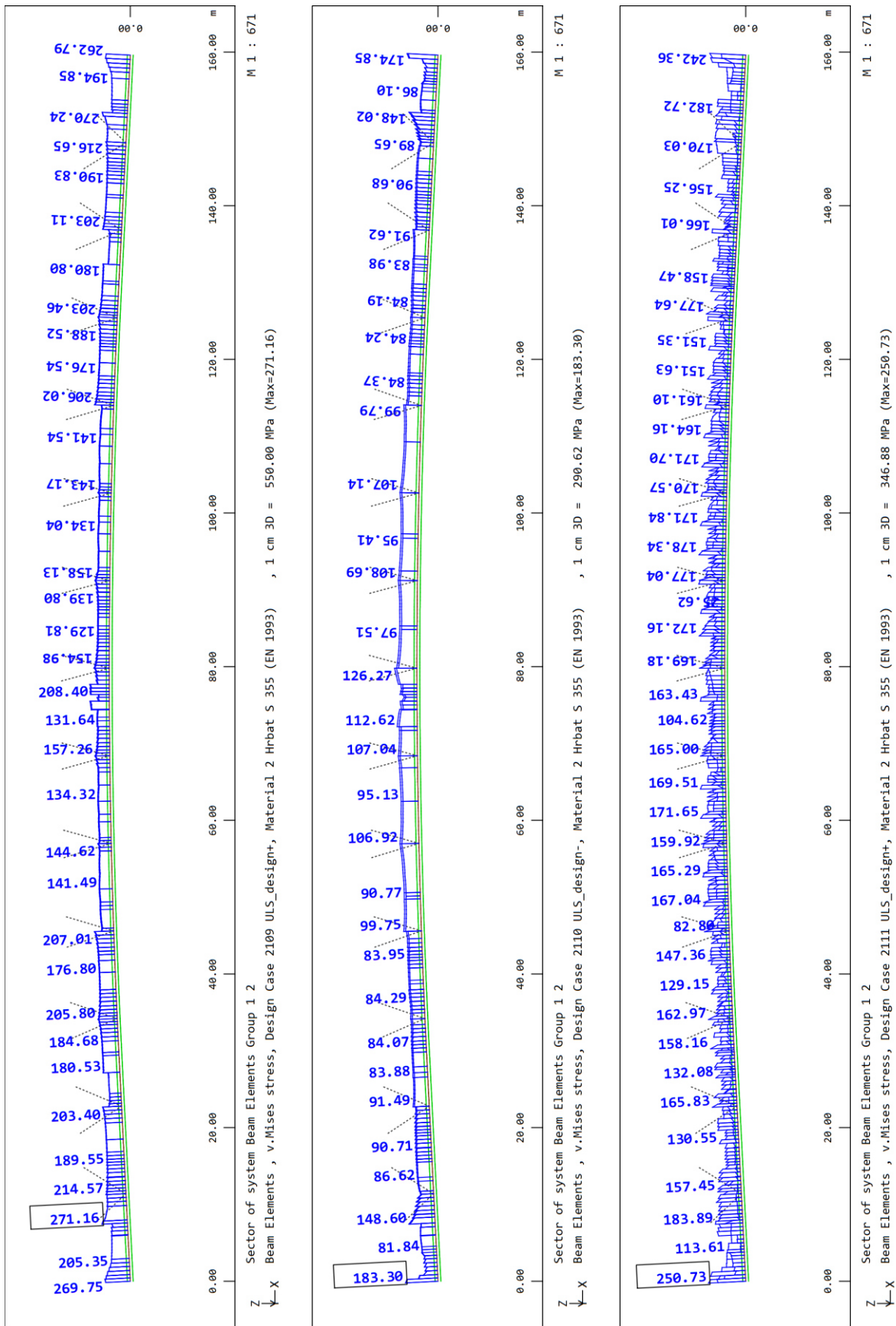
Slika 174. Naprezanja hrptu glavnog nosača LC 2109



Slika 175. Naprezanja hrpta glavnog nosača LC 2110

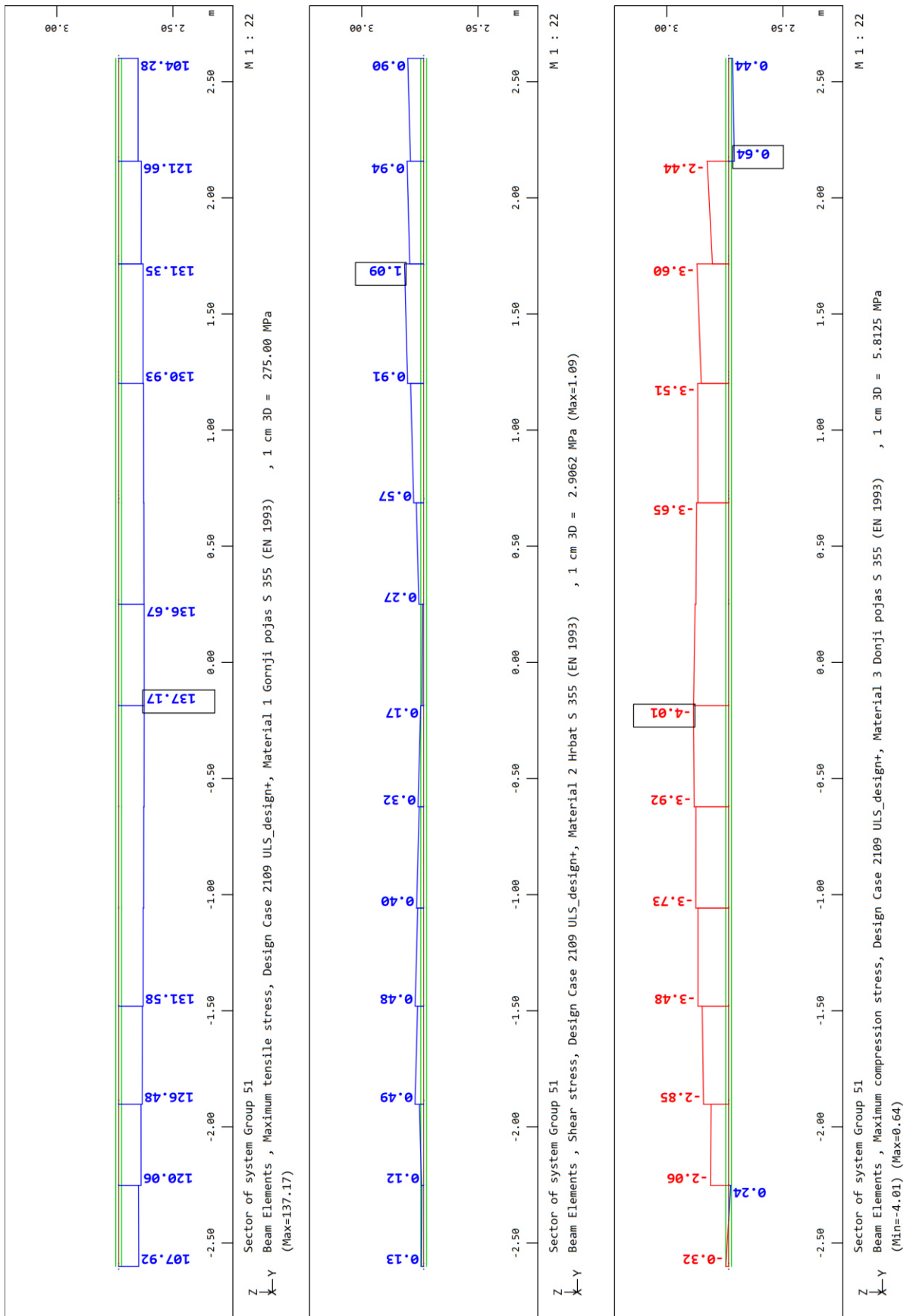


Slika 176. Naprezanja hrptu glavnog nosača LC 2111

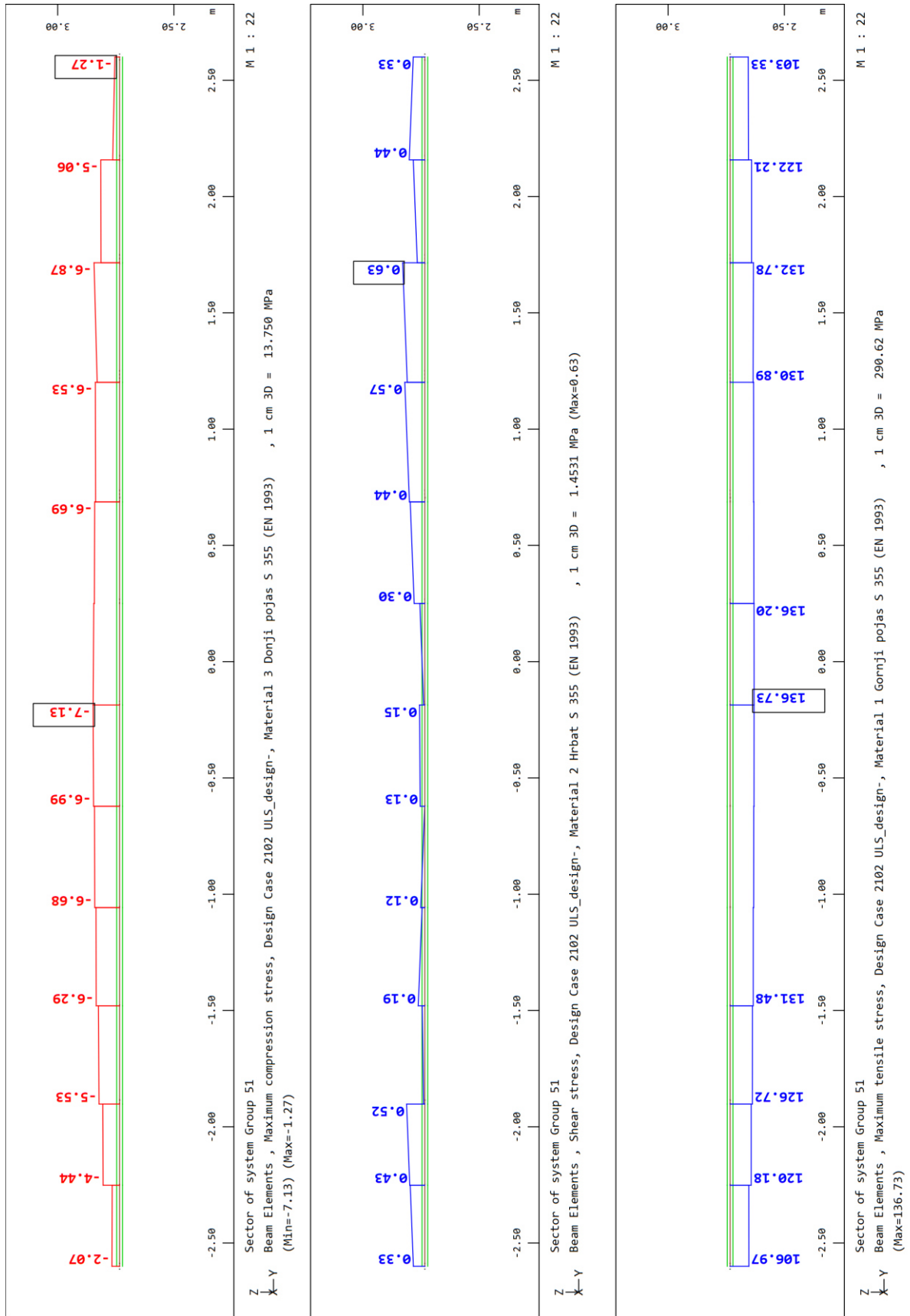


Slika 177. V. Mises naprezanja u hrptu glavnog nosača LC 2109, LC 2110, LC 2111

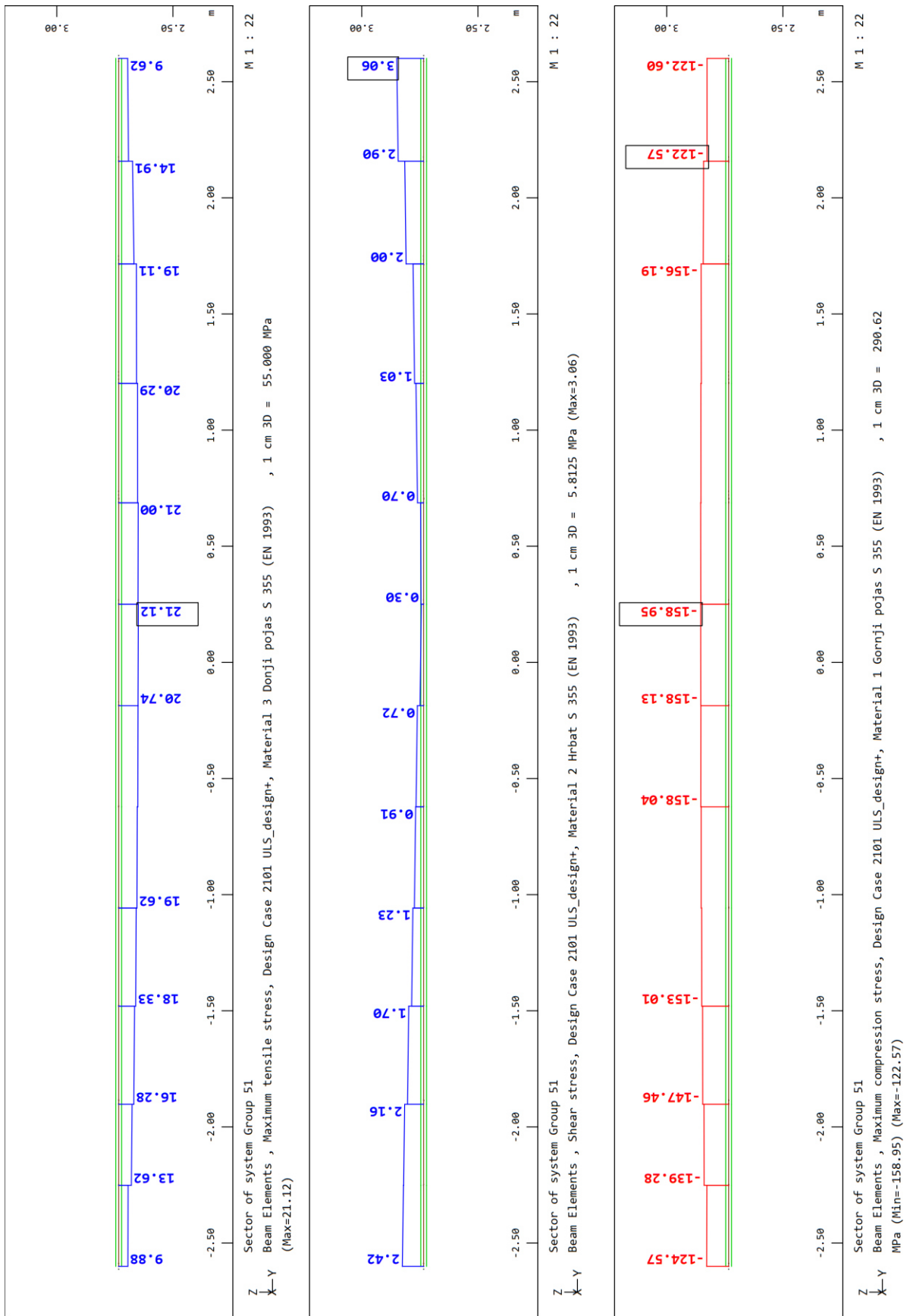




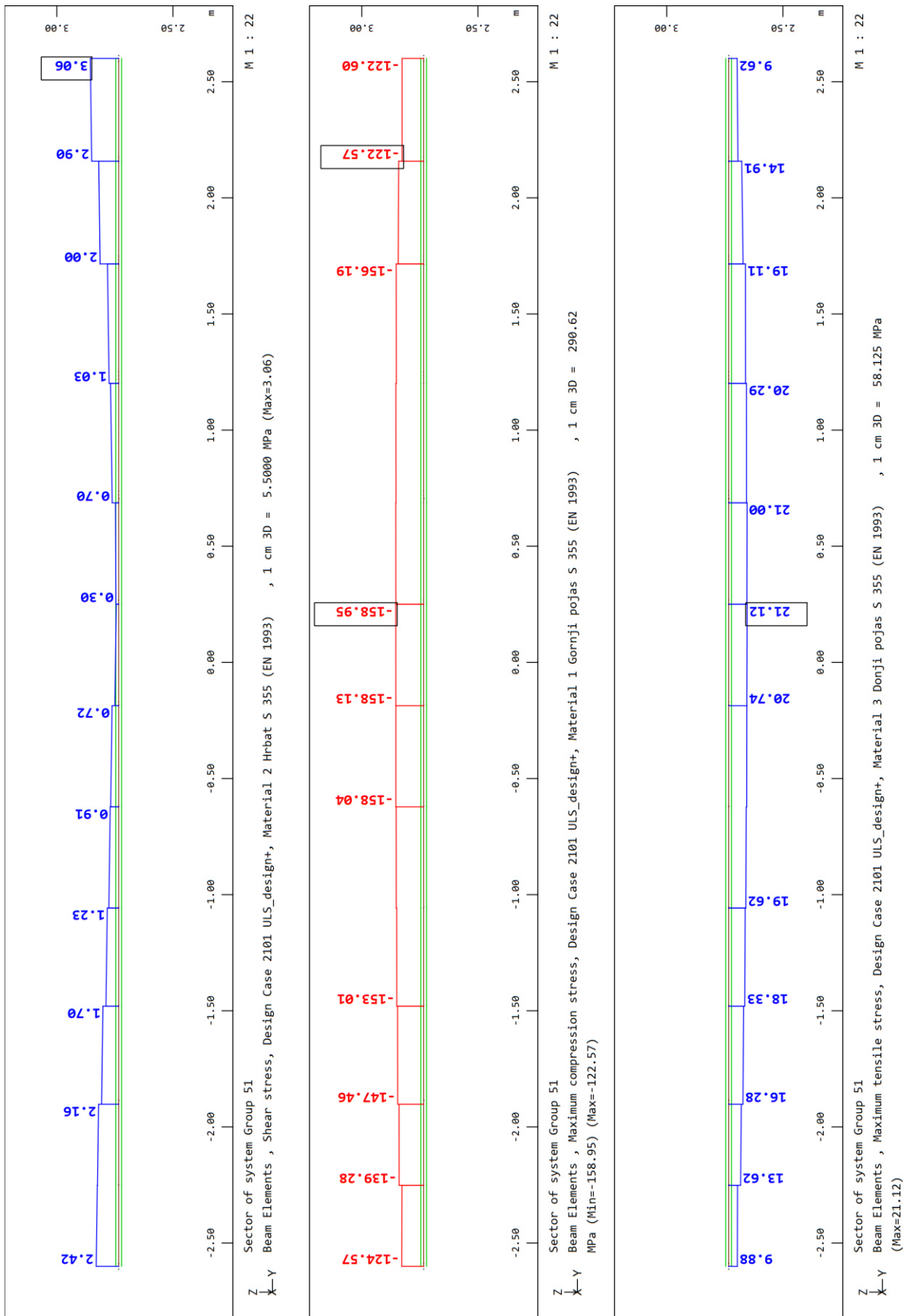
Slika 178. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2109



Slika 179. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2102

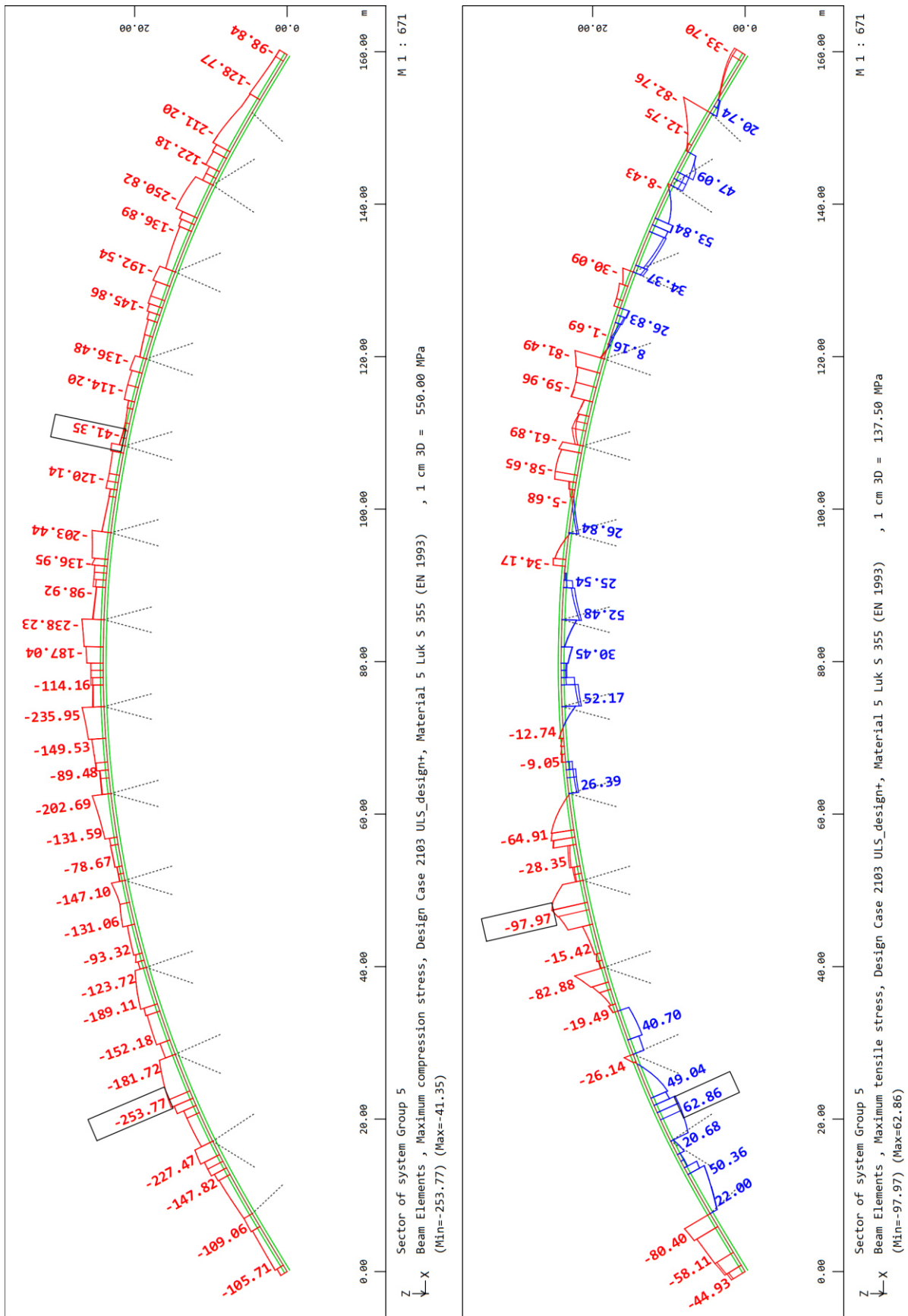


Slika 180. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2101

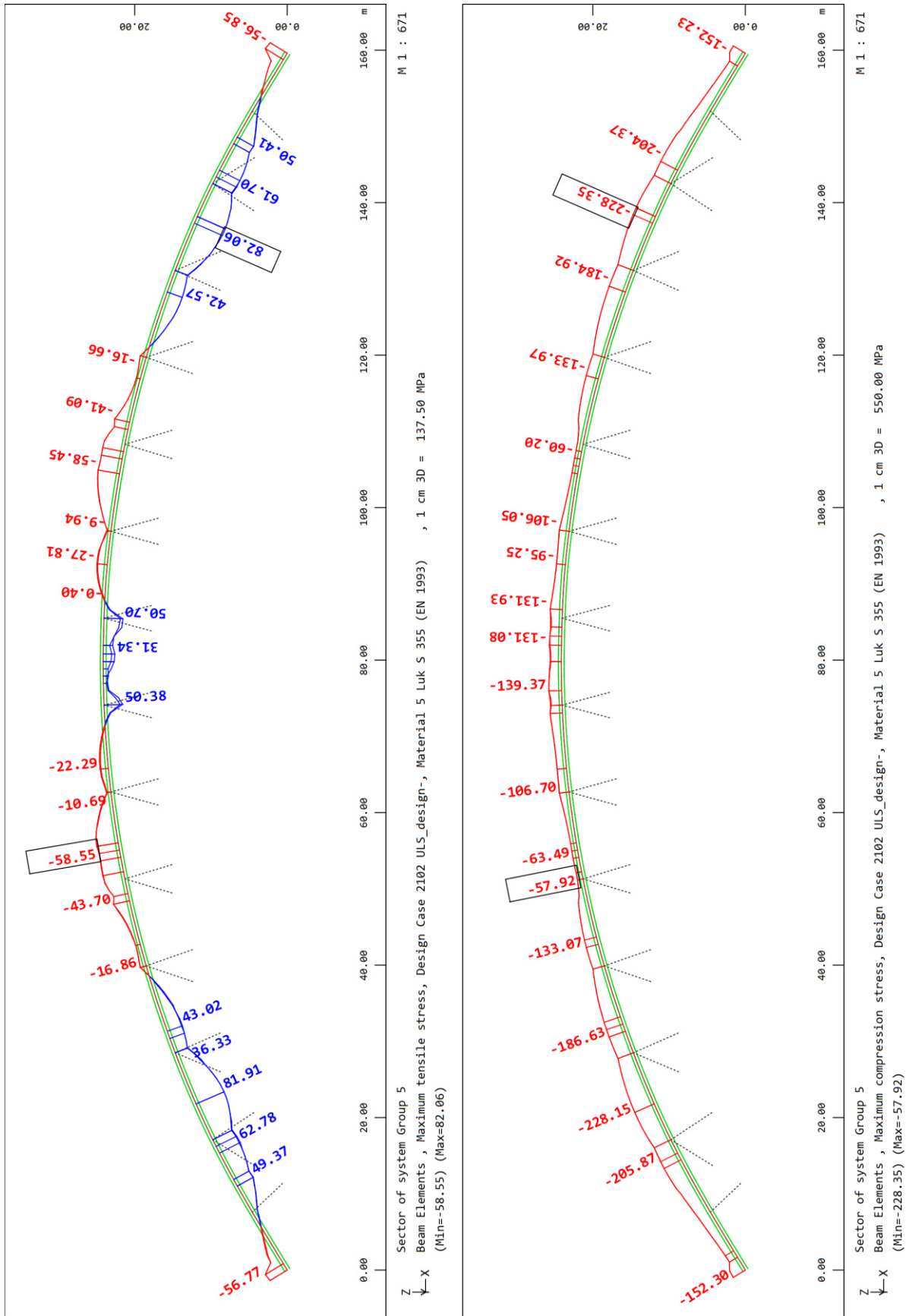


Slika 181. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2101

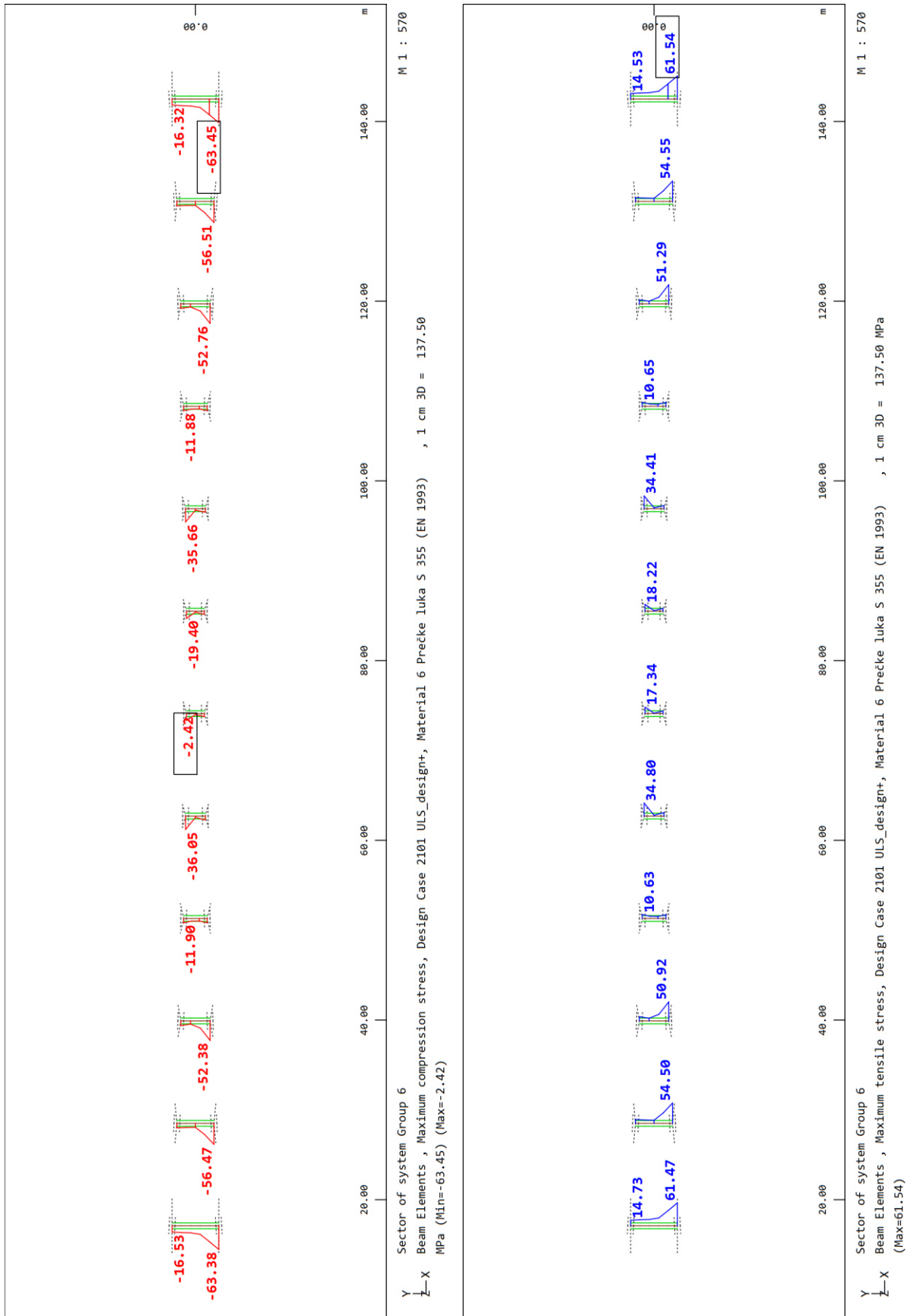




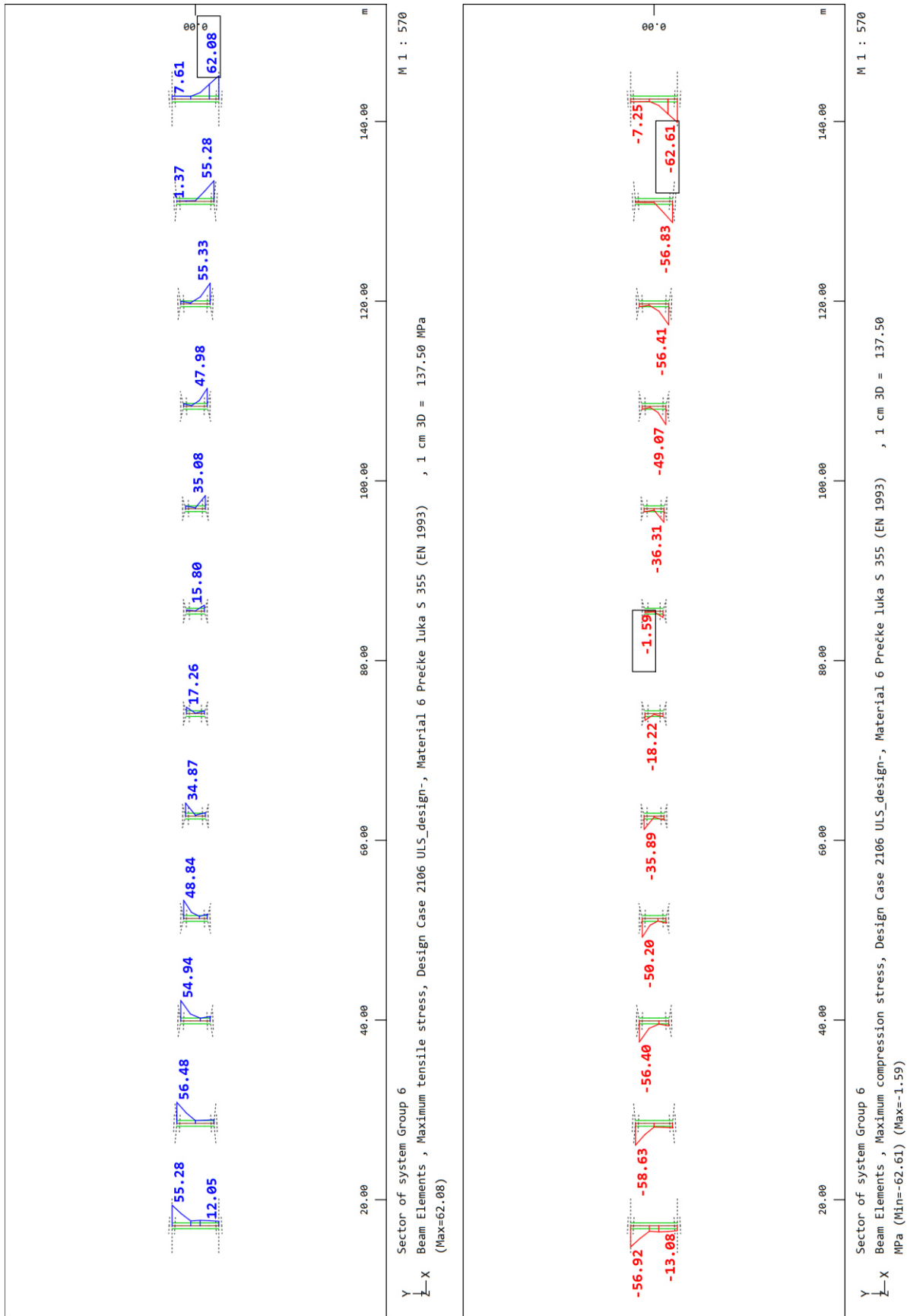
Slika 182. Naprezanja u luku LC 2103



Slika 183. Naprezanja u luku LC 2102



Slika 184. Napreznja u prečkama luka LC 2101



Slika 185. Naprezanja u prečkama luka LC 2106

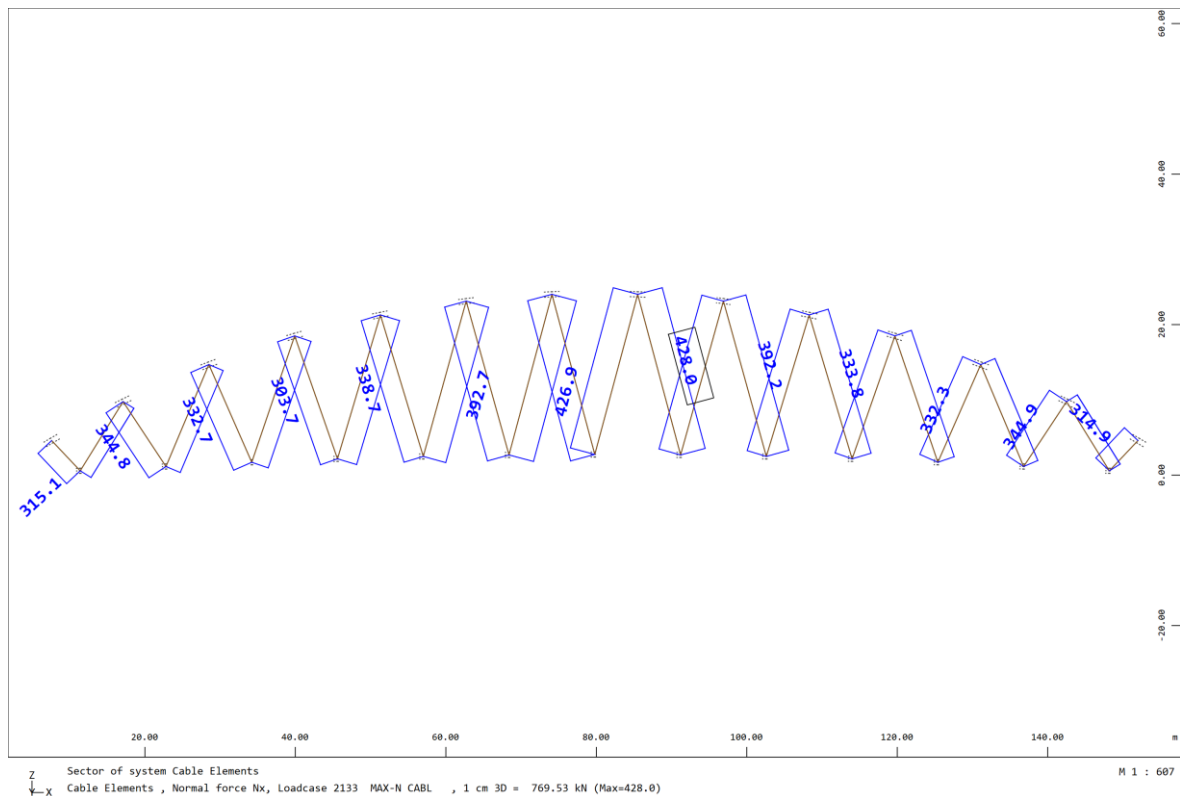
### 9.3. Naprezanja u vješaljka luka

Prema odabranom materijalu čelika za prednapinjanje užadi Y 1770 A maksimalno naprezanje u pojedinoj vješaljki iznosi:

$$\sigma_{netto} = 1520 \text{ MPa}$$

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{F(N)}{A(\text{mm}^2)}$$

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$



Slika 186. Uzdužna sila u vješaljka LC 2133

Potrebno je zadovoljiti naprezanja u vješaljka za promjer vješaljke 30 mm, a najveća sila koja se pojavljuje u vješaljki je 428,0 kN.

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{30^2 \cdot \pi}{4} = 706,86 \text{ mm}^2$$

$$\sigma(\text{MPa}) = \frac{428,0 \cdot 10^3}{706,86} = 605,49 \text{ MPa} \leq \sigma_{netto} = 1520 \text{ MPa}$$

Promjer vješaljke od 30 mm zadovoljava za silu od 428,0 kN, naprezanja su manja od maksimalno dopuštenih 1520 MPa.

#### 9.4. Naprezanja u ortotropnoj ploči

Granična naprezanja prema graničnom stanju nosivosti određena su kako slijedi:

→ Za vlak:

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

→ Za tlak (debljina lima  $\leq 40$  mm):

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

→ Za tlak (debljina lima  $> 40$  mm):

$$\sigma_{rd,max} = \frac{-335}{1,1} = -304 \text{ MPa}$$

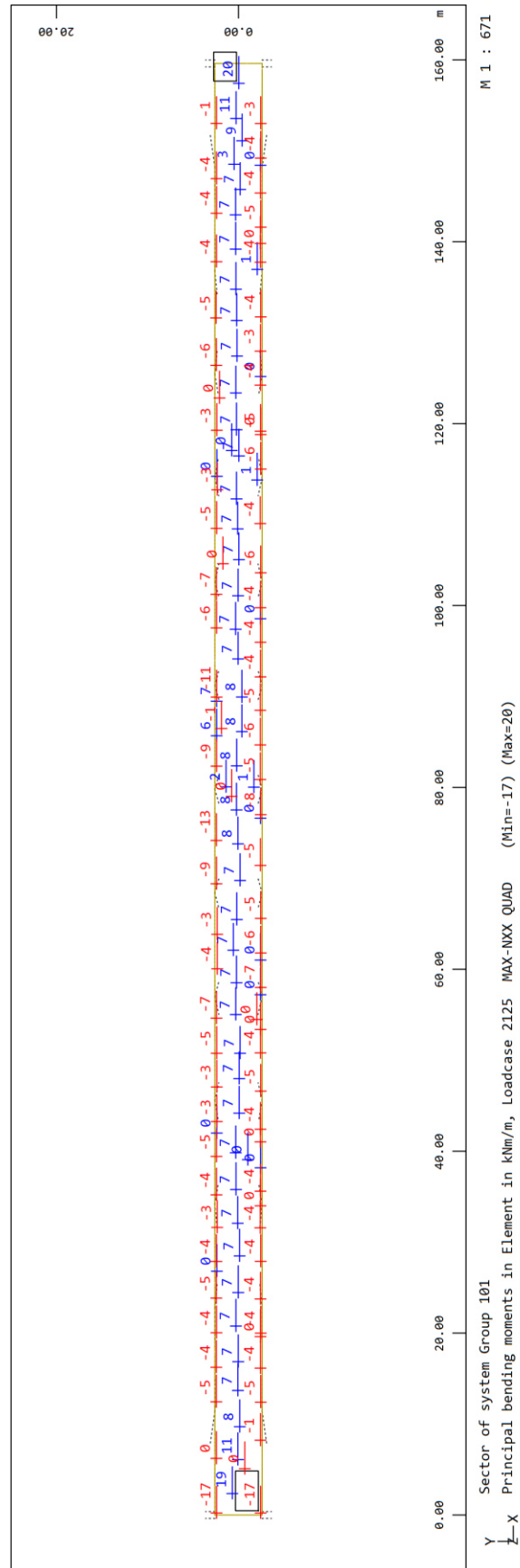
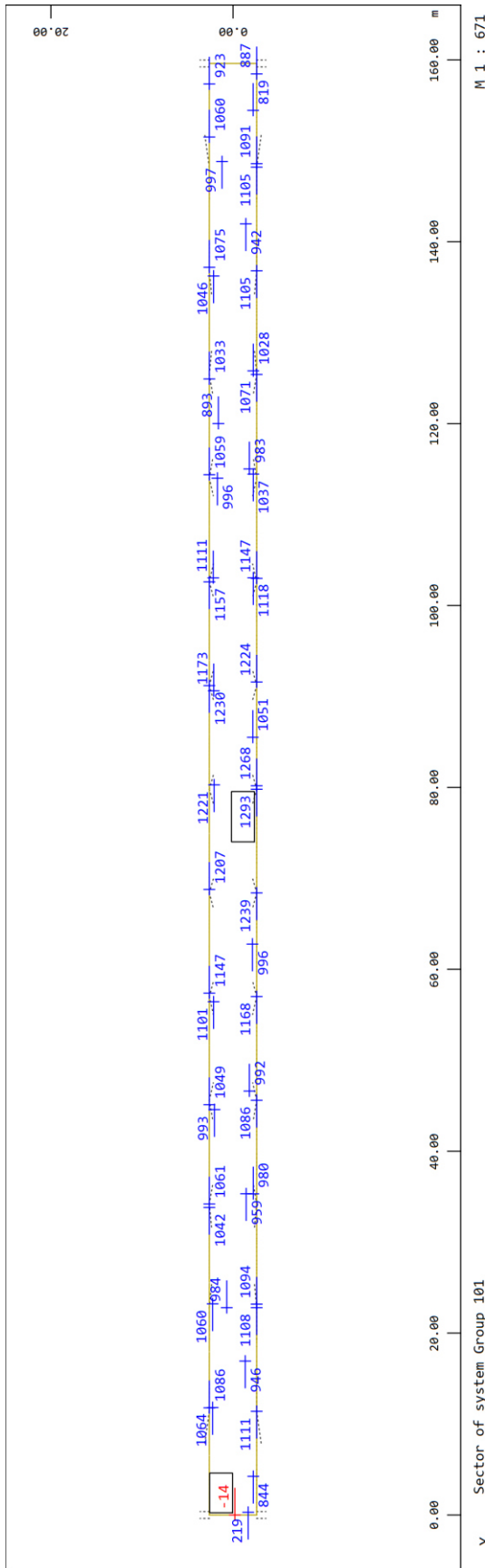
→ Posmik:

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

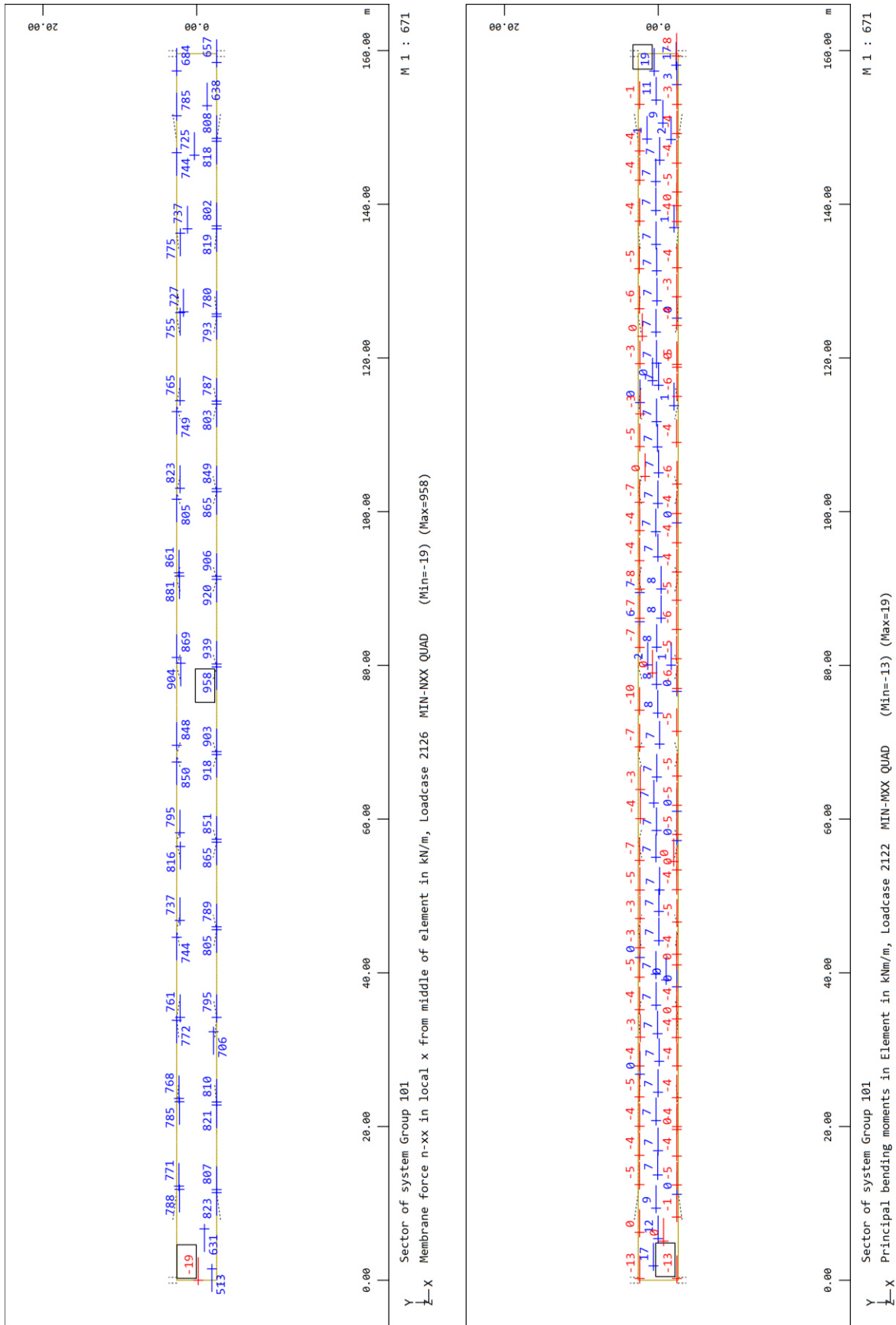
Prikazana su naprezanja:

- LC 2125 i LC 2126 – naprezanja s maksimalnom i minimalnom uzdužnom silom
- LC 2121 i LC 2122 – naprezanja s maksimalnim i minimalnim momentom

Iz prikaza naprezanja u ploči, vidljivo je da ploča ovih dimenzija i karakteristika zadovoljava nosivost za GSN.

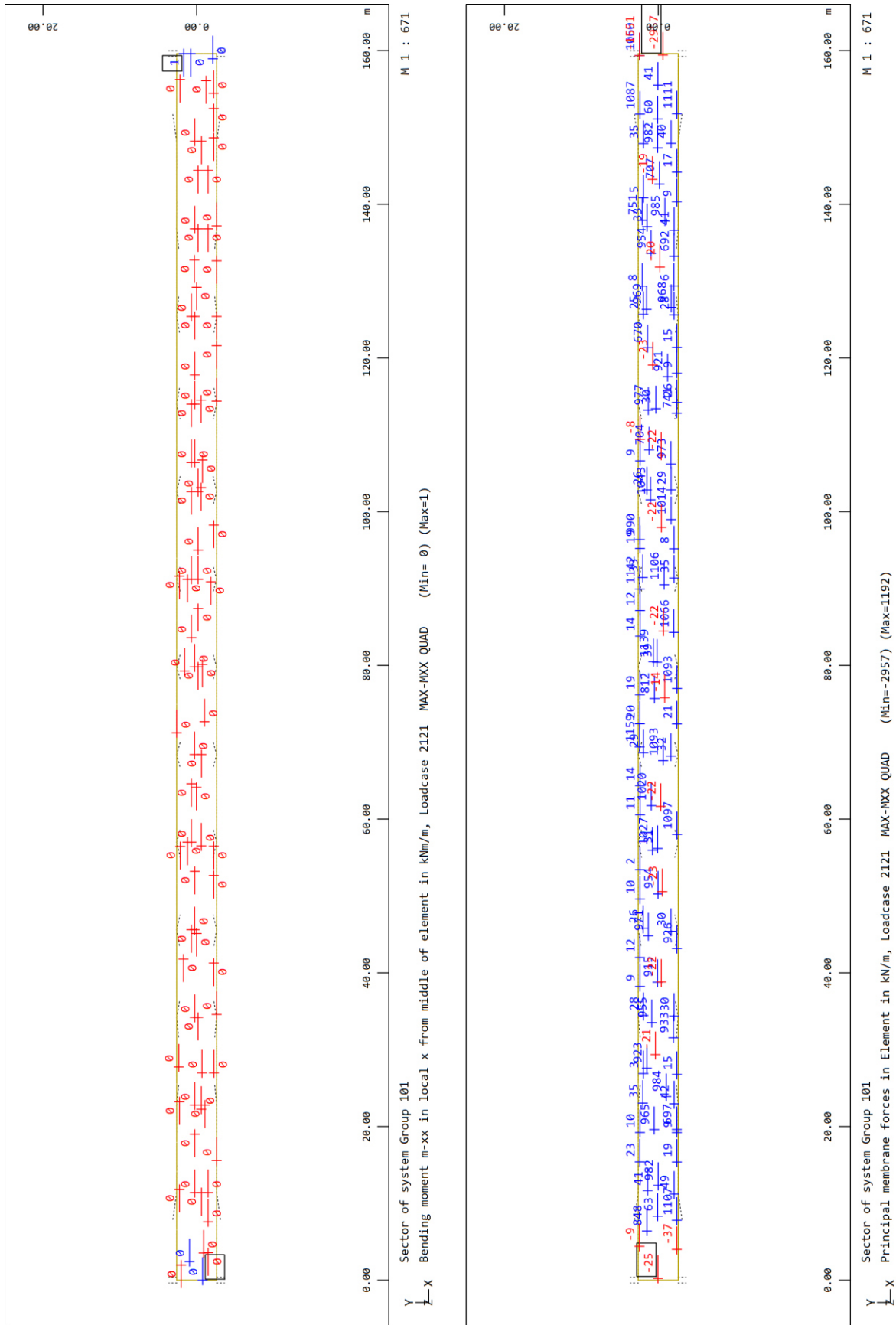


Slika 187. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu max Nxx i pripadajući moment Mxx LC 2125

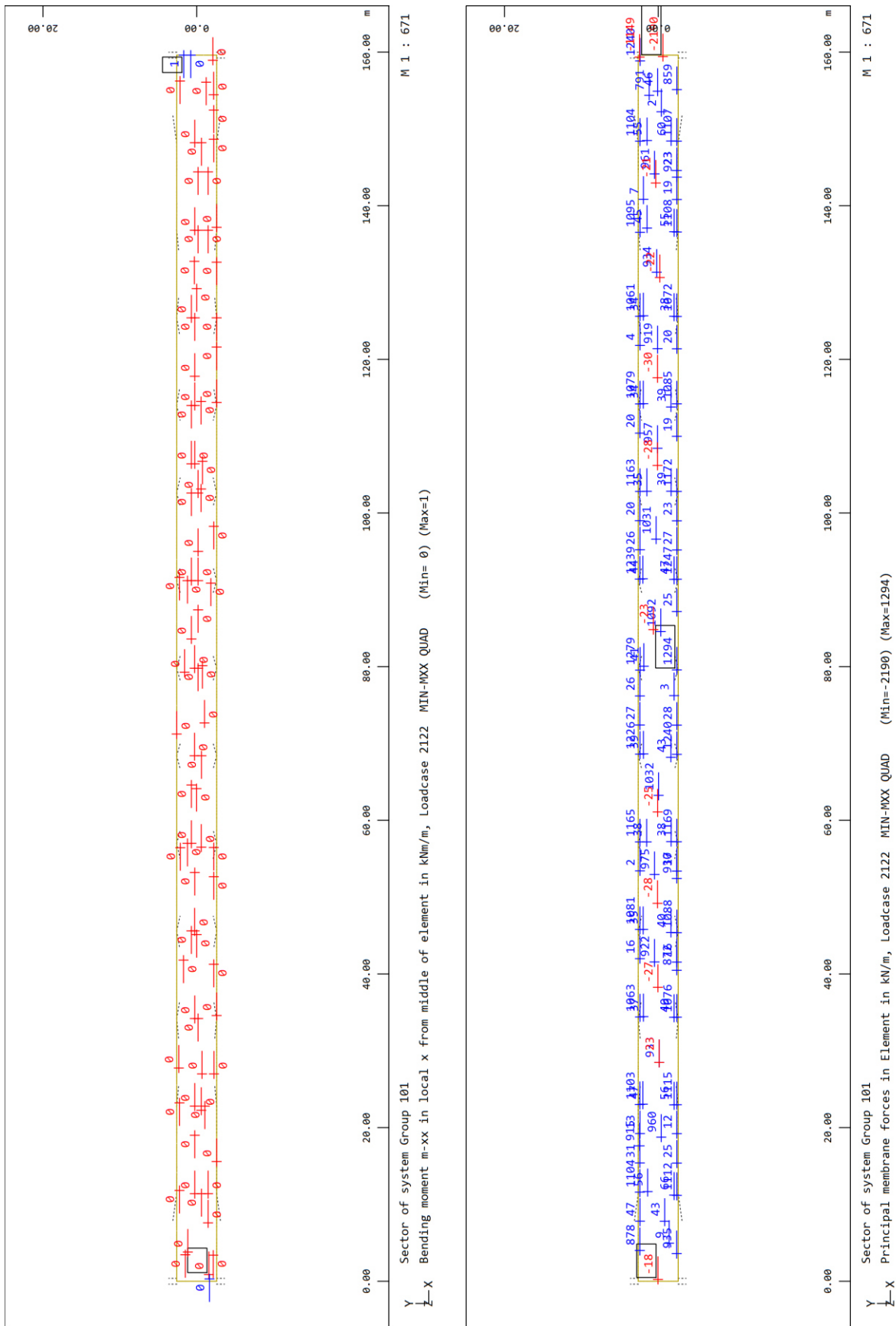


Slika 188. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu min  $N_{xx}$  i pripadajući moment  $M_{xx}$  LC 2126





Slika 189. Naprezanja u ploči za moment max Mxx i pripadajuću uzdužnu silu Nxx LC 2121



Slika 190. Naprezanja u ploči za moment min  $M_{xx}$  i pripadajuću uzdužnu silu  $N_{xx}$  LC 2122

Geometrijske karakteristike uzdužnog rebra:

	$A_i$	$z_i$	$A_i z_i$	$z_T - z_{iR}$	$I_1 = A_i (z_T - z_{iT})^2$	$I_i^0$	$I = I_i^0 + I_1$
	1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
Pojas	13,60	26,80	364,48	10,32	1447,32	0,73	1448,04
Hrptovi	42,72	13,20	563,93	-3,28	460,73	2481,30	2942,03
$\Sigma$	56,32	16,48	928,41		1908,05	2482,02	4390,08

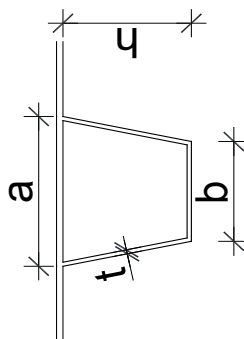
Geometrijske karakteristike rebra s pločom:

	$A_R$	$I_R$	$z_0$	$z_U$	$W_{R0}$	$W_{RU}$
	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
Rebro bez ploče	56,32	4390,08	-10,72	16,48	-266,32	409,67
Rebro s pločom	130,52	13856,85	-20,48	8,12	-1707,53	676,44

	M	N	$W_R$	$A_R$	$\sigma(M)$	$\sigma(N)$	$\sigma(\text{ukupno})$
	kNm/rebru	kN/rebru	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Gornji rub	1,40	363,20	-1707,53	130,52	-0,82	27,8269893	<b>27,00</b>
Donji rub	1,40	363,20	676,44	130,52	2,08	27,8269893	<b>29,90</b>

PODACI ZA PLOČU I REBRO	
e [mm] = <b>280</b>	(razmak između hrptova susjednih rebra)
a [mm] = <b>250</b>	(razmak između hrptova istog rebra)
$t_p$ [mm] = <b>14</b>	(debljina lima ploče)
t [mm] = <b>8</b>	(debljina lima rebra)
h [mm] = <b>272</b>	(visina rebra)
$h'$ [mm] = 274,93	(duljina hrpta rebra)
b [mm] = <b>170</b>	(širina donjeg pojasa rebra)

(uvjet vitkosti)



Očitane vrijednosti

Moment	<b>5</b>	kNm/m
Uzd.Sila	<b>1293</b>	kN/m

Vrijednosti pomnožene omjerom širina

Moment	<b>2,65</b>	kNm/m
Uzd.Sila	<b>685,29</b>	kN/m

 Slika 191. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu  $\max N_{xx}$  i pripadajući moment  $M_{xx}$  LC 2125

Geometrijske karakteristike uzdužnog rebra:

	$A_i$	$z_i$	$A_i z_i$	$z_i - z_{iR}$	$I_1 = A_i (z_i - z_{iR})^2$	$I_i^0$	$I = I_i^0 + I_1$
	1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
Pojas	13,60	26,80	364,48	10,32	1447,32	0,73	1448,04
Hrptovi	42,72	13,20	563,93	-3,28	460,73	2481,30	2942,03
$\Sigma$	56,32	16,48	928,41		1908,05	2482,02	4390,08

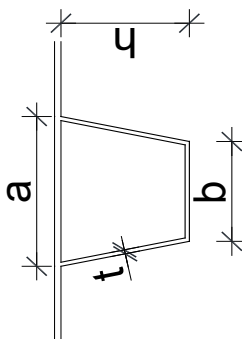
Geometrijske karakteristike rebra s pločom:

	$A_R$	$I_R$	$z_0$	$z_u$	$W_{R0}$	$W_{Ru}$
	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
Rebro bez ploče	56,32	4390,08	-10,72	16,48	-266,32	409,67
Rebro s pločom	130,52	13856,85	-20,48	8,12	-1707,53	676,44

	M	N	$W_R$	$A_R$	$\sigma(M)$	$\sigma(N)$	$\sigma(\text{ukupno})$
	kNm/rebru	kN/rebru	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Gornji rub	-3,65	-5,34	-1707,53	130,52	2,14	-0,4089039	<b>1,73</b>
Donji rub	-3,65	-5,34	676,44	130,52	-5,40	-0,4089039	<b>-5,81</b>

**PODACI ZA PLOČU I REBRO**

e [mm] = **280** (razmak između hrptova susjednih rebara)  
a [mm] = **250** (razmak između hrptova istog rebra)  
t<sub>p</sub> [mm] = **14** (debljina lima ploče)  
t [mm] = **8** (debljina lima rebra)  
h [mm] = **272** (visina rebra)  
h' [mm] = 274,93 (duljina hrpta rebra)  
b [mm] = **170** (širina donjeg pojasa rebra)  
(uvjet vitkosti)



Očitane vrijednosti

Moment	<b>-13</b> kNm/m
Uzd.Sila	<b>-19</b> kN/m

Vrijednosti pomožne omjerno širina

Moment	<b>-6,89</b> kNm/m
Uzd.Sila	<b>-10,07</b> kN/m

Slika 192. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu min Nxx i pripadajući moment Mxx LC 2126

Geometrijske karakteristike uzdužnog rebra:

$A_i$	$z_i$	$A_i z_i$	$z_i - z_{iR}$	$I_1 = A_i (z_i - z_{iR})^2$	$I_i^0$	$I = I_i^0 + I_1$
1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
$\text{cm}^2$	$\text{cm}$	$\text{cm}^2$	$\text{cm}$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}^4$
Pojas 13,60	26,80	364,48	10,32	1447,32	0,73	1448,04
Hrptovi 42,72	13,20	563,93	-3,28	460,73	2481,30	2942,03
$\Sigma$ 56,32	16,48	928,41		1908,05	2482,02	4390,08

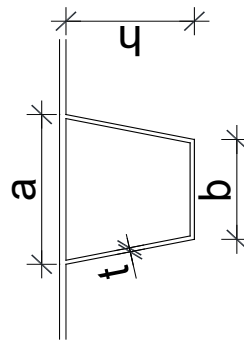
Geometrijske karakteristike rebra s pločom:

	$A_R$	$I_R$	$z_0$	$z_u$	$W_{R0}$	$W_{Ru}$
	$\text{cm}^2$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}^3$	$\text{cm}^3$
Rebro bez ploče	56,32	4390,08	-10,72	16,48	-266,32	409,67
Rebro s pločom	130,52	13856,85	-20,48	8,12	-1707,53	676,44

	M	N	$W_R$	$A_R$	$\sigma(M)$	$\sigma(N)$	$\sigma(\text{ukupno})$
	$\text{kNm/rebru}$	$\text{kN/rebru}$	$\text{cm}^3$	$\text{cm}^2$	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$
Gornji rub	0,28	-435,68	-1707,53	130,52	-0,16	-33,379474	<b>-33,54</b>
Donji rub	0,28	-435,68	676,44	130,52	0,42	-33,379474	<b>-32,96</b>

**PODACI ZA PLOČU I REBRO**

e [mm] = **280** (razmak između hrptova susjednih rebara)  
a [mm] = **250** (razmak između hrptova istog rebra)  
 $t_p$  [mm] = **14** (debljina lima ploče)  
t [mm] = **8** (debljina lima rebra)  
h [mm] = **272** (visina rebra)  
 $h'$  [mm] = 274,93 (duljina hrpta rebra)  
b [mm] = **170** (širina donjeg pojasa rebra)  
(uvjet vitkosti)



Očitane vrijednosti

Moment	<b>1</b> $\text{kNm/m}$
Uzd.Sila	<b>-1551</b> $\text{kN/m}$

Vrijednosti pomožne omjerom širina

Moment	<b>0,53</b> $\text{kNm/m}$
Uzd.Sila	<b>-822,03</b> $\text{kN/m}$

Slika 193. Naprezanja u ploči za moment  $\max M_{xx}$  i pripadajuću uzdužnu silu  $N_{xx}$  LC 2121

Geometrijske karakteristike uzdužnog rebra:

	$A_i$	$z_i$	$A_i z_i$	$z_T - z_{iR}$	$I_1 = A_i (z_T - z_{iT})^2$	$I_i^0$	$I = I_i^0 + I_1$
	1	2	3	4	$5 = 1 \times 4^2$	6	$7 = 5 + 6$
	$\text{cm}^2$	$\text{cm}$	$\text{cm}^2$	$\text{cm}$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}^4$
Pojas	13,60	26,80	364,48	10,32	1447,32	0,73	1448,04
Hrptovi	42,72	13,20	563,93	-3,28	460,73	2481,30	2942,03
$\Sigma$	56,32	16,48	928,41		1908,05	2482,02	4390,08

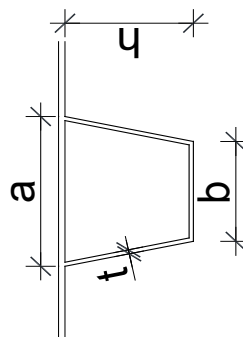
Geometrijske karakteristike rebra s pločom:

	$A_R$	$I_R$	$z_0$	$z_U$	$W_{R0}$	$W_{RU}$
	$\text{cm}^2$	$\text{cm}^4$	$\text{cm}$	$\text{cm}$	$\text{cm}^3$	$\text{cm}^3$
Rebro bez ploče	56,32	4390,08	-10,72	16,48	-266,32	409,67
Rebro s pločom	130,52	13856,85	-20,48	8,12	-1707,53	676,44

	M	N	$W_R$	$A_R$	$\sigma(M)$	$\sigma(N)$	$\sigma(\text{ukupno})$
	$\text{kNm/rebru}$	$\text{kN/rebru}$	$\text{cm}^3$	$\text{cm}^2$	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$	$\text{N/mm}^2$
Gornji rub	0,00	-5,06	-1707,53	130,52	0,00	-0,3873827	<b>-0,39</b>
Donji rub	0,00	-5,06	676,44	130,52	0,00	-0,3873827	<b>-0,39</b>

**PODACI ZA PLOČU I REBRO**

e [mm] = **280** (razmak između hrptova susjednih rebara)  
a [mm] = **250** (razmak između hrptova istog rebra)  
 $t_p$  [mm] = **14** (debljina lima ploče)  
t [mm] = **8** (debljina lima rebra)  
h [mm] = **272** (visina rebra)  
 $h'$  [mm] = 274,93 (duljina hrpta rebra)  
b [mm] = **170** (širina donjeg pojasa rebra)  
(uvjet vitkosti)



Očitane vrijednosti

Moment	<b>0</b>	$\text{kNm/m}$
Uzd.Sila	<b>-18</b>	$\text{kN/m}$

Vrijednosti pomožne omjerom širina

Moment	<b>0</b>	$\text{kNm/m}$
Uzd.Sila	<b>-9,54</b>	$\text{kN/m}$

Slika 194. Naprezanja u ploči za moment  $M_{xx}$  i pripadajuću uzdužnu silu  $N_{xx}$  LC 2122

## 10. DOKAZ STABILNOSTI LIMOVA

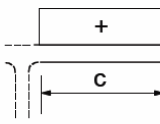
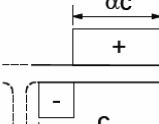
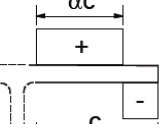
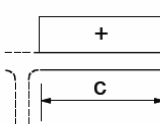
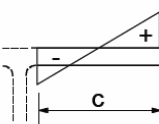
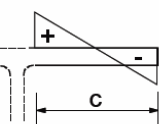
### 10.1. Donji pojas u presjeku s najvećim tlačnim naprezanjem

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.

Za otvoreni I nosač vrijedi provjera prema tablici:

Tablica 16. Izrazi za određivanje klase poprečnog presjeka [9]

Outstand flanges						
		Rolled sections		Welded sections		
Class	Part subject to compression	Part subject to bending and compression				
		Tip in compression		Tip in tension		
Stress distribution in parts (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Stress distribution in parts (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ For $k_\sigma$ see EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Iz tablice se promatra stupac kada je čitava lamela u tlaku:  $c/t \leq 14\epsilon$

$c$  – širina donjeg pojasa mjereno od ruba hrpta prema van

$t$  – debljina donjeg pojasa

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

$$c/t \leq 11 \quad (1)$$

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

Donji pojas glavnog nosača prema modelu ima dimenzije

$$c = 400 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

Iz čega slijedi:

$$c/t \leq 14\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0,8136$$

$$c/t \leq 11$$

$$\frac{c}{t} = \frac{400}{40} = 10 \leq 11$$

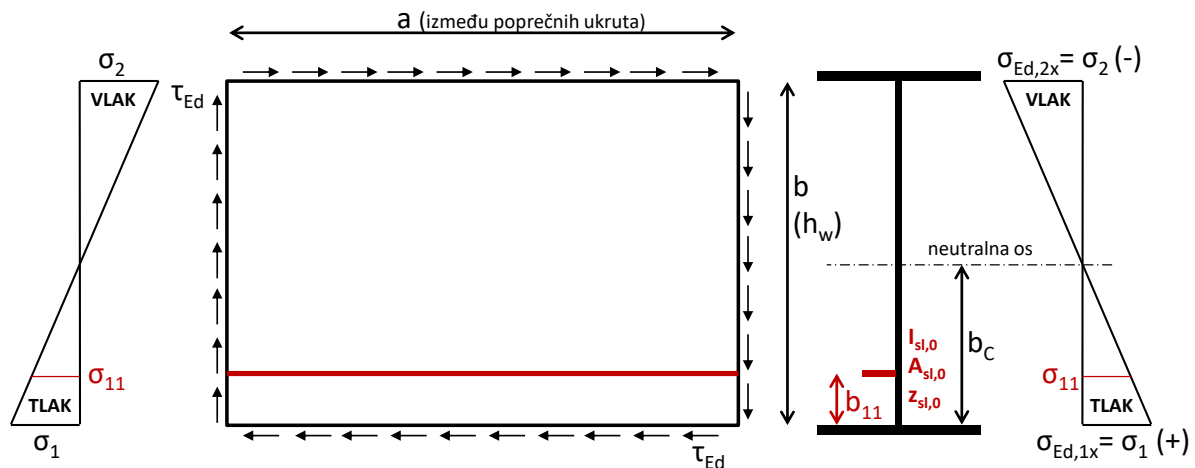
Presjek se svrstava u **KLASU 3** i daljnja provjera stabilnosti nije potrebna.



## 10.2. Hrpat u presjeku s najvećim tlačnim naprežanjem ( $t=12\text{mm}$ )

Hrpat je pločasti element ukrućen uzdužnim ukrutama ili neukrućen, izložen složenoj stanju naprežanja. Uzdužna normalna naprežanja po rubu lima hrpta posljedica su momenta savijanja nosača i mijenjaju predznak od tlaka do vlaka. Osim uzdužnih naprežanja, u hrptu su još i značajna posmična naprežanja. 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.



Slika 195. Prikaz parametara za proračun stabilnosti limova [8]

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

$$\left( \frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right)^2 \leq 1,0$$

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

Naprežanja za hrpat u presjeku iznad ležaja uzimaju se za dvije kombinacije:

1. Najveći negativni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2109)
2. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2111)

## 10.2.1. Najveći negativni moment savijanja i pripadajuća poprečna sila (LC 2110)

Očitana su naprezanja:

- Najveće tlačno naprezanje  $\sigma_1 = 148,60 \text{ MPa}$
- Najveće naprezanje na suprotnom rubu  $\sigma_2 = 20,95 \text{ MPa}$
- Posmično naprezanje  $\tau = 18,06 \text{ MPa}$

### Postupak proračuna kada nema uzdužnih ukrućenja

Za izračun  $\rho_x$  vrijedi izraz:

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

ako je  $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \rightarrow \rho_x = 1,0$

Za izračun vitkosti vrijedi izraz:

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

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

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

$$\alpha_{ult,k} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{f_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{148,6}{355}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{18,06}{355}\right)^2}} = 2,34$$

Za izračun  $\alpha_{cr}$  koristi se modificirani izraz:

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

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{20,95}{148,60} = 0,14$$

$$0 < \psi_x = 0,14 < 1$$

$$k_{\sigma,x} = \frac{8,2}{1,05 + \psi} = \frac{8,2}{1,05 + 0,14} = 6,74$$

Dalje slijedi

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

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{12}{980}\right)^2 = 28,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E = 6,74 \cdot 28,46 = 191,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}} = \frac{191,82}{148,60} = 1,291$$

Iz odnosa kritičnog posmičnog naprezanja i posmičnih računskih naprezanja slijedi:

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}}$$

Elastični posmik za izbočavanje ploče:

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E$$

Faktor izbočavanja za neukružene ploče:

$$k_{\tau} = 4 + 5,34(h_w/a)^2 \quad \rightarrow \quad \alpha < 1$$

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

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{3800}{980} = 3,878 \quad \rightarrow \quad k_{\tau} = 5,34 + 4\left(\frac{1}{3,878}\right)^2 = 5,61$$

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E = 5,61 \cdot 28,46 = 159,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}} = \frac{159,66}{18,06} = 8,841$$

Za izračun  $\alpha_{cr}$  uvrstiti dobivene rezultate u izraz:

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

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1 + 0,14}{4 \cdot 1,291} + \left[ \left( \frac{1 + 0,14}{4 \cdot 1,291} \right)^2 + \frac{1 + 0,14}{2 \cdot 1,291^2} + \frac{1}{8,841^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,856 \rightarrow \alpha_{cr} = \frac{1}{0,856} = 1,17$$

Izračun vitkosti:

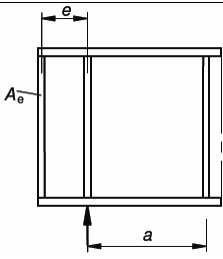
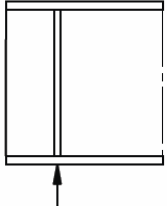
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,34}{1,17}} = 1,414$$

Izračun redukcijskog faktora za uzdužna naprezanja:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,414 - 0,055 \cdot (3 + 0,14)}{1,414^2} = 0,621$$

Redukcijski faktor za posmična naprezanja određuje se prema tablici:

Tablica 17. Izrazi za proračun redukcijskog faktora za posmična naprezanja [8]

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

Za provjeru stabilnosti hrpta mosta pretpostavljamo uvjet 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  $\bar{\lambda}_w = \bar{\lambda}_p$ .

$$\chi_w = \frac{1,37}{0,7 + 1,414} = 0,648$$

Nakon proračunatih redukcijskih faktora za uzdužna i posmična naprezanja, dokaz stabilnosti se provodi prema izrazu:

$$\left( \frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right)^2 = \left( \frac{148,60}{0,621 \cdot \frac{355}{1,1}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{18,06}{0,648 \cdot \frac{355}{1,1}} \right)^2 = 0,572 < 1,0$$

Dodatna ukrućenja nisu potrebna.

## 10.2.2. Najveća poprečna sila i pripadajući moment savijanja (LC 2111)

Očitana su naprezanja:

- Najveće tlačno naprezanje  $\sigma_1 = 70,42 \text{ MPa}$
- Najveće naprezanje na suprotnom rubu  $\sigma_2 = -210,22 \text{ MPa}$
- Posmično naprezanje  $\tau = 80,56 \text{ MPa}$

### Postupak proračuna kada nema uzdužnih ukrućenja

Za izračun  $\rho_x$  vrijedi izraz:

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

ako je  $\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \rightarrow \rho_x = 1,0$

Za izračun vitkosti vrijedi izraz:

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

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

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

$$\alpha_{ult,k} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_{1x,Ed}}{f_y}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{70,42}{355}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{80,56}{355}\right)^2}} = 2,27$$

Za izračun  $\alpha_{cr}$  koristi se modificirani izraz:

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

$$\psi_x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{-210,22}{70,42} = -2,985$$

$$-1 > \psi_x = -2,985 > -3$$

$$k_{\sigma,x} = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 5,98 \cdot (1 + 2,985)^2 = 94,96$$

Dalje slijedi

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

$$\sigma_E = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 189800 \cdot \left(\frac{12}{980}\right)^2 = 28,46 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cr,x} = k_{\sigma,x} \cdot \sigma_E = 94,96 \cdot 28,46 = 2702,56 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{cr,x} = \frac{\sigma_{cr,x}}{\sigma_{x,Ed}} = \frac{2702,56}{70,42} = 38,38$$

Iz odnosa kritičnog posmičnog naprezanja i posmičnih računskih naprezanja slijedi:

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}}$$

Elastični posmik za izbočavanje ploče:

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E$$

Faktor izbočavanja za neukružene ploče:

$$k_{\tau} = 4 + 5,34(h_w/a)^2 \quad \rightarrow \quad \alpha < 1$$

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

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{3800}{980} = 3,878 \quad \rightarrow \quad k_{\tau} = 5,34 + 4\left(\frac{1}{3,878}\right)^2 = 5,61$$

$$\tau_{cr,\tau} = k_{\tau} \cdot \sigma_E = 5,61 \cdot 28,46 = 159,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_{cr,\tau} = \frac{\tau_{cr,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}} = \frac{159,66}{80,56} = 1,98$$

Za izračun  $\alpha_{cr}$  uvrstiti dobivene rezultate u izraz:

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

$$\frac{1}{\alpha_{cr}} = \frac{1 - 2,985}{4 \cdot 38,38} + \left[ \left( \frac{1 - 2,985}{4 \cdot 38,38} \right)^2 + \frac{1 - 2,985}{2 \cdot 38,38^2} + \frac{1}{1,98^2} \right]^{\frac{1}{2}} = 0,492 \rightarrow \alpha_{cr} = \frac{1}{0,492} = 2,03$$

Izračun vitkosti:

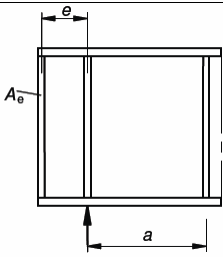
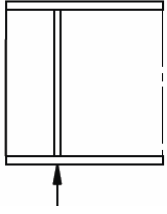
$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,27}{2,03}} = 1,057$$

Izračun redukcijskog faktora za uzdužna naprezanja:

$$\rho_x = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,057 - 0,055 \cdot (3 - 2,985)}{1,057^2} = 0,95$$

Redukcijski faktor za posmična naprezanja određuje se prema tablici:

Tablica 18. Izrazi za proračun redukcijskog faktora za posmična naprezanja [8]

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

Za provjeru stabilnosti hrpta mosta pretpostavljamo uvjet 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  $\bar{\lambda}_w = \bar{\lambda}_p$ .

$$\chi_w = \frac{0,83}{1,057} = 0,785$$

Nakon proračunatih redukcijskih faktora za uzdužna i posmična naprezanja, dokaz stabilnosti se provodi prema izrazu:

$$\left( \frac{\sigma_{1x,Ed}}{\rho_x \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{\tau_{Ed}}{\chi_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \right)^2 = \left( \frac{70,42}{0,95 \cdot \frac{355}{1,1}} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{80,56}{0,785 \cdot \frac{355}{1,1}} \right)^2 = 0,353 < 1,0$$

Dodatna ukrućenja nisu potrebna.

## 11. PROVJERA GLOBALNE STABILNOSTI LUKA

### 11.1. Proračun u ravnini

Provjera stabilnosti luka u ravnini:

$$L = 15960 \text{ cm}$$

$$s = \frac{L}{2} = \frac{15960}{2} = 7980 \text{ cm}$$

$$f = 2140 \text{ cm}$$

$$\frac{f}{L} = \frac{2140}{15960} = 0,134$$

$$\beta = 0,35$$

$$I_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (100^4 - 96^4) = 739518 \text{ cm}^4$$

$$A = 615,75 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr} = \left( \frac{\pi}{\beta \cdot s} \right)^2 \cdot 21000 \cdot I_y = \left( \frac{\pi}{0,35 \cdot 7980} \right)^2 \cdot 21000 \cdot 739518 = 19648,34 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{615,75 \cdot 35,5}{19648,34}} = 1,055$$

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \left[ 1 + 0,49(1,055 - 0,2) + 1,055^2 \right] = 1,266$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,266 + \sqrt{1,266^2 - 1,055^2}} = 0,509$$

$$N_{Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \chi \cdot \frac{615,75 \cdot 35,5}{1,1} = 10114,81 \text{ kN}$$

Uzdužna tlačna sila koja se pojavljuje u luku iznosi 6678,1 kN što je manje od maksimalno dopuštenih 10114,81 kN.

Dokaz iskoristivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{6678,1}{10114,81} = 0,66$$

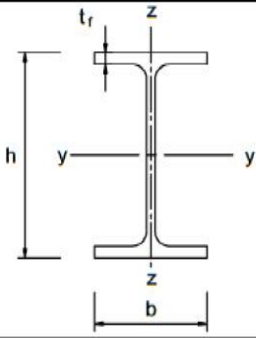
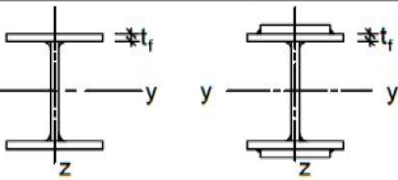

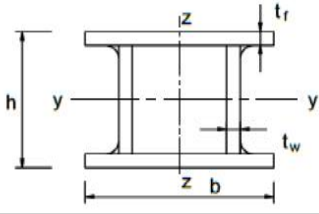
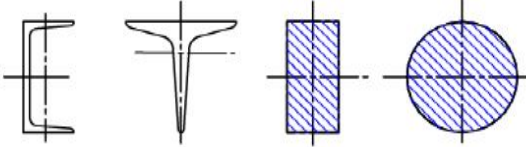
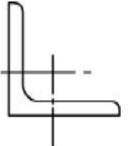
Iskoristivost je 66%.




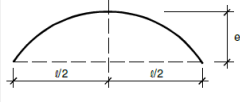


## 11.2. Proračun van ravnine (nelinearni proračun)

Nelinearni proračun van ravnine se provodi u programskom paketu Sofistik. Proveo sam linearan proračun i kada je on zadovoljio tada sam proračunao početnu imperfekciju za model prema EN 1993-1-1: 2005 iz priložene tablice. Imperfekcija se unosi u smjeru prvog tona potresa kako bi dobili stvarnu imperfekciju, a ne da početnu unesenu imperfekciju poništi pomak prvog tona potresa. U ovom modelu je smjer imperfekcije kao i smjer prvog tona potresa tako da se unosi bez negativnog predznaka.

Tablica 19. Određivanje parametara za proračun stabilnosti luka [9]

Cross section	Limits	Buckling about axis	Buckling curve	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Rolled sections 	$h/b > 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40$ mm	a a <sub>0</sub>
			$40 < t_f \leq 100$	b c
	$h/b \leq 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 100$ mm	b c
			$t_f > 100$ mm	d c
Welded I-sections 	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	
Hollow sections 	hot finished	any	a	
	cold formed	any	c	
Welded box sections 	generally (except as below)	any	b	
	thick welds: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	any	c	
U-, T- and solid sections 		any	c	
L-sections 		any	b	

Buckling curve	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Imperfection factor $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

	shape of imperfection (sinus or parabola)	$e_0$ according to classification of cross section to buckling curve				
		a	b	c	d	
		$l \leq 20 \text{ m}$	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$	$\frac{l}{200}$	$\frac{l}{150}$
 		$l > 20 \text{ m}$ $l_1 = \sqrt{20 l [\text{m}]}$	$\frac{l_1}{300}$	$\frac{l_1}{250}$	$\frac{l_1}{200}$	$\frac{l_1}{150}$

Duljina luka je 159,6 m.

$$l > 20 \text{ m}$$

$$l_1 = \sqrt{20 \cdot l [\text{m}]} = \sqrt{20 \cdot 159,6} = 56,51$$

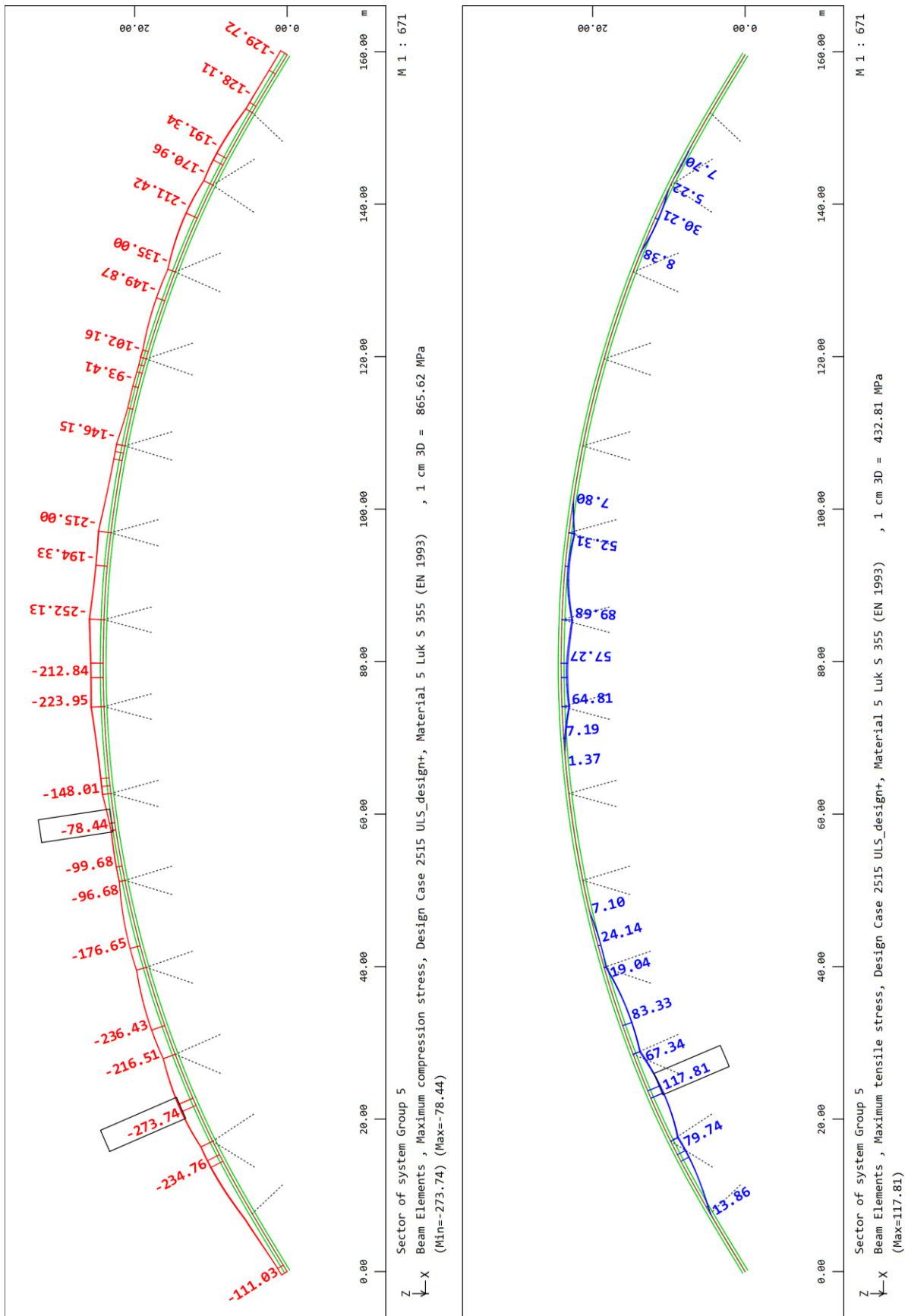
$$e_0 = \frac{l_1}{200} = \frac{56,51}{200} = 0,283$$

Početna imperfekcija modela iznosi 0,283 metra.

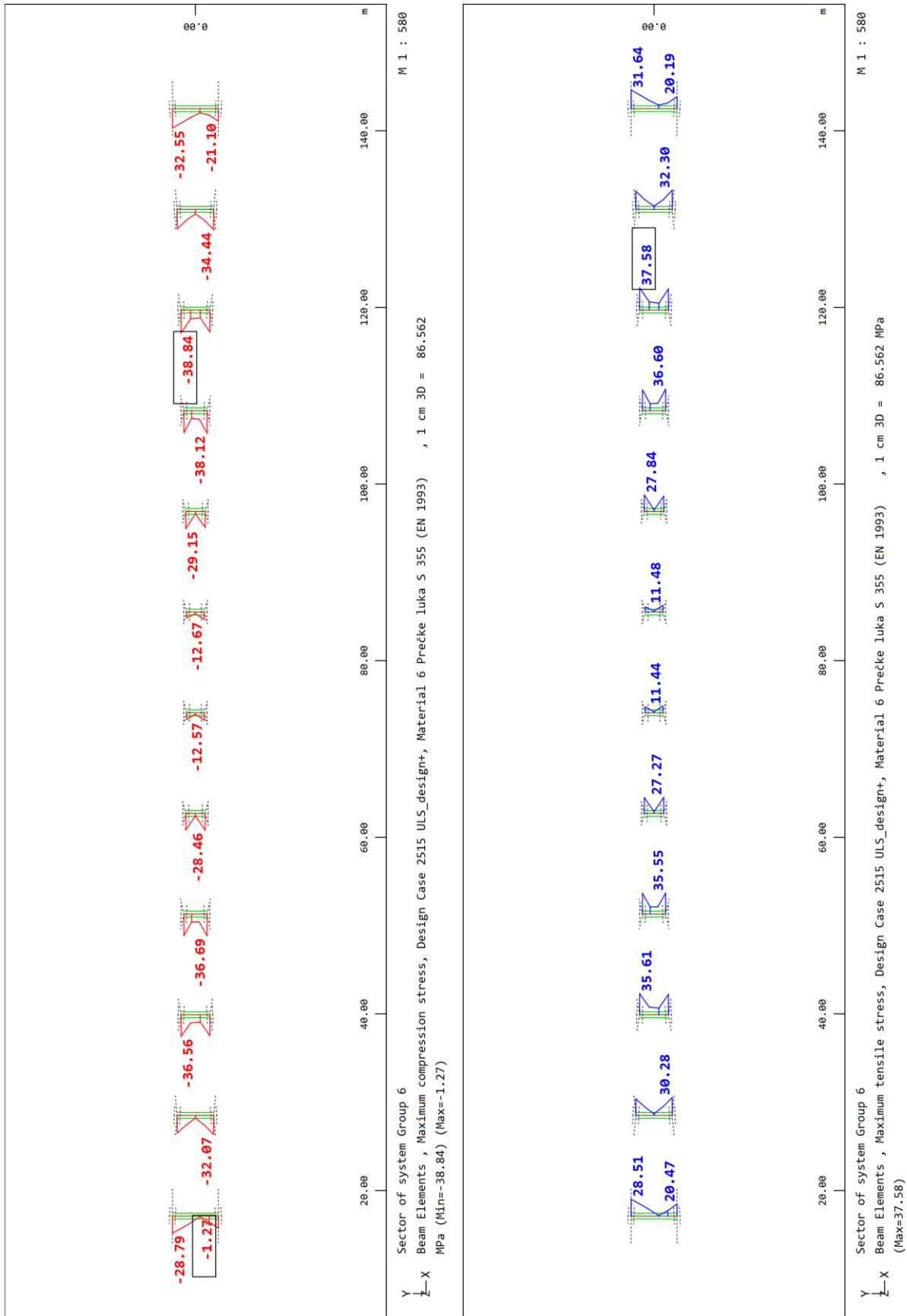
Imperfekcija se unosi u model putem SSD-a na način da se dodaje novi ASE koji sadrži nelinearne kombinacije s imperfekcijom.

Naprezanja u elementima nakon unesene početne imperfekcije (nelinearan proračun u software-u):

- Naprezanja u luku LC 2515
- Naprezanja u prečkama luka LC 2515




Slika 196. Naprezanja u luku nakon unosa imperfekcije LC 2515

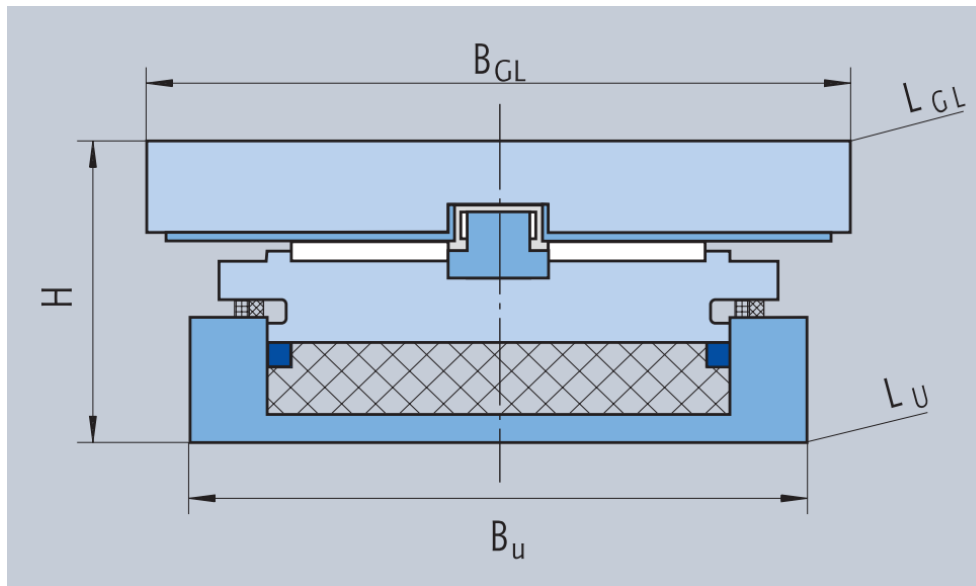


Slika 197. Naprezanje u prečkama luka nakon unosa imperfekcije LC 2510

## 12. DIMENZIONIRANJE LEŽAJEVA I PRIJELAZNIH NAPRAVA

Tablica 20. Dimenzioniranje ležajeva i prijelaznih naprava [8]

Dispozicija ležaja:					
					
SMJER	DJELOVANJE	LC U MODELU	Tražena vrijednost iz Wingrafa	U1	U2
				TGa3, TF3	TGa3, TGe3
VERTIKALNE REAKCIJE	Stalno TLAK	4250	Spring force in global z	1401,6	1401,6
	Promet TLAK	4	Spring force in global z	1038,9	1038,9
	Promet VLAK	/	Spring force in global z	0	0
	Vjetar opterećen (+/-)	/	Spring force in global z	0	0
	Vjetar neopterećen (+/-)	9	Spring force in global z	141,4	141,4
	Temperatura TLAK	86	Spring force in global z	0	0
	Temperatura VLAK	85	Spring force in global z	0	0
Potres svi smjerovi (TLAK/VLAK)	9038, 9338, 9638	Spring force in global z	237,6	194,2	
POPREČNE REAKCIJE	Vjetar opterećen (+/-)	/	Spring force in global y	0	0
	Vjetar neopterećen (+/-)	61	Spring force in global y	156	156
	Potres y smjer (+/-)	9338	Spring force in global y	151,6	149,6
UZDUŽNE REAKCIJE	Vjetar opterećen (+/-)	/	Spring force in global x	0	0
	Kočenje (+/-)	7	Spring force in global x	0	0
	Vjetar neopterećen (+/-)	62	Spring force in global x	262,6	0
	Temperatura pozitivna	85	Spring force in global x	0	0
	Temperatura negativna	86	Spring force in global x	0	0
	Potres x smjer (+/-)	9038	Spring force in global x	1265,7	0
VERTIKALNE KOMBINACIJE REAKCIJA	1. MAX: Stalno + Promet + Temperatura + Vjetar opt.			2440,5	2440,5
	2. MAX: Stalno + Temperatura + Vjetar neopterećen			1543	1543
	5. MAX: Stalno + Potres + 0,5xTemperatura			1639,2	1595,8
	3. MIN: Stalno + Promet + Temperatura + Vjetar opt.			362,7	362,7
	4. MIN: Stalno + Temperatura + Vjetar neopterećen			1260,2	1260,2
	6. MIN: Stalno + Potres + 0,5xTemperatura			801,3	844,7
Uzdužne kombinacije reakcija	1. Kočenje + Vjetar opterećen + Temperatura			0	0
	2. Temperatura + Vjetar neopterećen			262,6	0
	3. Potres x smjer + 0,5x Temperatura			1265,7	0
UZDUŽNI POMACI	Temperatura pozitivna	85	Node displacement in global x	0	64,75
	Temperatura negativna	86	Node displacement in global x	0	60,51
	Potres x smjer (+/-)	9001	Node displacement in global x	9,93	13,35
POPREČNI POMACI	Vjetar	7	Node displacement in global y	0	0
	Potres y smjer (+/-)	9301	Node displacement in global y	0	0
UZDUŽNA KOMBINACIJA POMAKA		0,4xPotres x smjer + 0,5xTemperatura		3,972	37,715
		ODABRANA PRIJELAZNA NAPRAVA		<b>D80</b>	<b>D80</b>

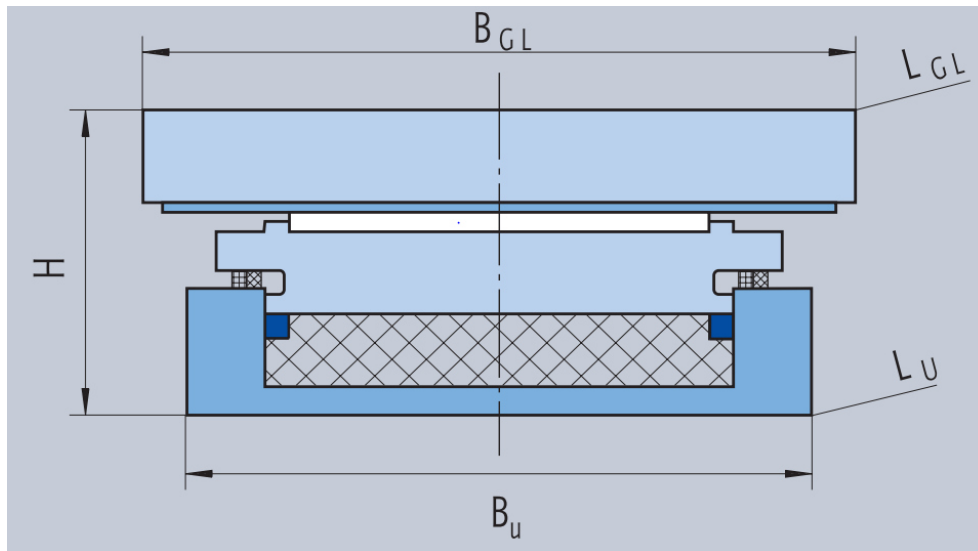


Slika 198. TGe ležaj [10]

Permissible concrete pressure = 26 N/mm <sup>2</sup>										
type of bearing	load V kN	H mm	B <sub>u</sub> L <sub>u</sub> mm	B <sub>GL</sub> mm	ex = ±50 mm		ex = ±100 mm		ex = ±150 mm	
					L <sub>GL</sub> mm	weight kg	L <sub>GL</sub> mm	weight kg	L <sub>GL</sub> mm	weight kg
TGe - 1	1000	117	270 330	440	118	555	134	670	150	
TGe - 2	2000	123	360 420	530	167	645	186	760	204	
TGe - 3	3000	129	420 480	590	213	705	237	820	261	
TGe - 4	4000	136	490 550	660	292	775	316	890	339	
TGe - 5	5000	145	550 610	720	363	835	404	950	445	
TGe - 6	6000	149	590 650	760	421	875	460	990	499	
TGe - 7	7000	156	640 700	810	491	925	539	1040	586	
TGe - 8	8000	162	690 750	860	576	975	629	1090	681	
TGe - 9	9000	169	720 780	890	639	1005	698	1120	757	
TGe - 10	10000	175	760 820	930	732	1045	796	1160	859	
TGe - 11	11000	180	800 860	970	823	1085	892	1200	961	
TGe - 12	12000	186	840 900	1010	930	1125	1000	1240	1069	
TGe - 13	13000	188	860 920	1030	977	1145	1054	1260	1130	
TGe - 14	14000	195	900 960	1070	1102	1185	1179	1300	1256	
TGe - 15	15000	201	930 990	1100	1205	1215	1287	1330	1369	
TGe - 16	16000	203	960 1020	1130	1299	1245	1386	1360	1472	
TGe - 17	17000	209	990 1050	1160	1408	1275	1505	1390	1601	
TGe - 18	18000	217	1020 1080	1190	1562	1305	1659	1420	1755	
TGe - 19	19000	222	1050 1110	1220	1680	1335	1787	1450	1894	
TGe - 20	20000	226	1070 1130	1240	1766	1355	1877	1470	1988	
TGe - 22	22000	236	1130 1190	1300	2049	1415	2164	1530	2278	
TGe - 24	24000	243	1180 1240	1350	2289	1465	2420	1580	2551	
TGe - 26	26000	250	1220 1280	1410	2536	1535	2677	1660	2817	
TGe - 28	28000	263	1270 1330	1460	2919	1585	3072	1710	3224	
TGe - 30	30000	270	1320 1380	1510	3212	1635	3374	1760	3535	

Slika 199. Specifikacija lončastih ležajeva TGe [10]

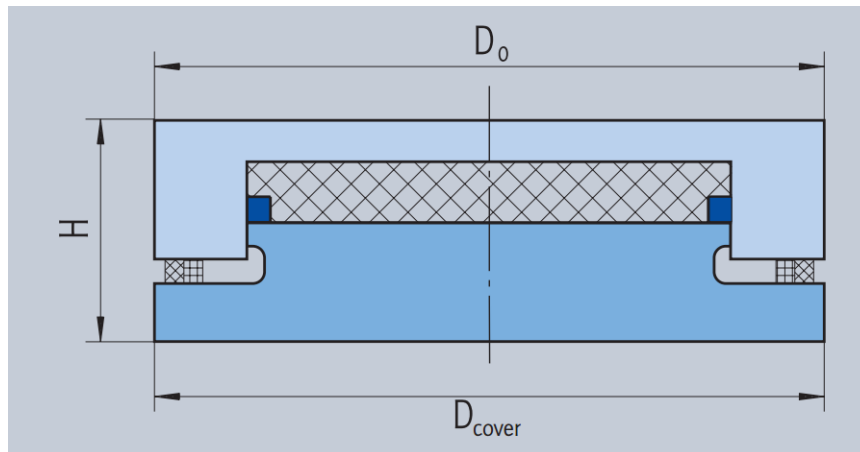




Slika 200. TGa ležaj [10]

Permissible concrete pressure = 26 N/mm <sup>2</sup>										
type of bearing	load V kN	H mm	B <sub>U</sub> L <sub>U</sub> mm	B <sub>GL</sub> mm	ex = ±50 mm		ex = ±100 mm		ex = ±150 mm	
					L <sub>GL</sub> mm	weight kg	L <sub>GL</sub> mm	weight kg	L <sub>GL</sub> mm	weight kg
TGa - 1	1000	100	270	320	440	85	555	96	670	106
TGa - 2	2000	107	360	410	530	130	645	143	760	156
TGa - 3	3000	113	420	470	590	168	705	186	820	204
TGa - 4	4000	120	480	530	650	212	765	238	880	264
TGa - 5	5000	129	530	580	700	264	815	296	930	328
TGa - 6	6000	133	570	620	740	308	855	344	970	380
TGa - 7	7000	138	610	660	780	358	895	399	1010	439
TGa - 8	8000	144	650	700	820	414	935	462	1050	509
TGa - 9	9000	151	680	740	850	476	965	525	1080	574
TGa - 10	10000	156	710	770	880	532	995	586	1110	639
TGa - 11	11000	162	750	810	920	615	1035	673	1150	731
TGa - 12	12000	174	790	850	960	725	1075	789	1190	852
TGa - 13	13000	175	810	880	980	768	1095	835	1210	902
TGa - 14	14000	182	840	910	1010	847	1125	922	1240	997
TGa - 15	15000	188	870	940	1040	940	1155	1015	1270	1090
TGa - 16	16000	190	900	970	1070	1008	1185	1093	1300	1177
TGa - 17	17000	195	930	1000	1100	1108	1215	1193	1330	1277
TGa - 18	18000	199	950	1030	1120	1174	1235	1262	1350	1350
TGa - 19	19000	204	980	1060	1150	1280	1265	1374	1380	1467
TGa - 20	20000	208	1010	1080	1180	1374	1295	1471	1410	1568
TGa - 22	22000	219	1060	1130	1230	1586	1345	1692	1460	1798
TGa - 24	24000	224	1100	1180	1270	1746	1385	1860	1500	1973
TGa - 26	26000	231	1150	1230	1320	1963	1435	2086	1550	2208
TGa - 28	28000	240	1190	1270	1360	2180	1475	2311	1590	2442
TGa - 30	30000	246	1230	1320	1420	2400	1545	2549	1670	2698

Slika 201. Specifikacija lončastih ležajeva TGa [10]



Slika 202. TF ležaj [10]

Permissible concrete pressure = 26 N/mm <sup>2</sup>					
type of bearing	load V kN	H mm	D <sub>cover</sub> mm	D <sub>o</sub> mm	weight kg
TF - 1	1000	70	270	270	36
TF - 2	2000	80	360	360	62
TF - 3	3000	90	430	430	93
TF - 4	4000	94	490	490	119
TF - 5	5000	101	550	550	155
TF - 6	6000	106	600	600	192
TF - 7	7000	112	650	650	235
TF - 8	8000	116	690	690	269
TF - 9	9000	124	730	730	322
TF - 10	10000	131	770	770	380
TF - 11	11000	135	810	810	427
TF - 12	12000	139	840	840	468
TF - 13	13000	145	880	880	544
TF - 14	14000	150	910	910	598
TF - 15	15000	155	940	940	654
TF - 16	16000	158	970	970	714
TF - 17	17000	161	1000	1000	768
TF - 18	18000	168	1030	1030	856
TF - 19	19000	170	1060	1060	913
TF - 20	20000	175	1090	1090	994
TF - 22	22000	183	1140	1140	1127
TF - 24	24000	190	1190	1190	1277
TF - 26	26000	198	1240	1240	1449
TF - 28	28000	203	1280	1280	1570
TF - 30	30000	210	1330	1330	1754

Slika 203. Specifikacija lončastih ležajeva TF [10]

Odabrani su ležajevi:

Tablica 21. Odabrani ležajevi na mostu

Ležaj na mostu	F <sub>z</sub> [kN]	F <sub>y</sub> [kN]	F <sub>x</sub> [kN]	Tip ležaja
U1	2440,6	156,0	1265,7	TGa3/TF3
U2	2440,6	156,0	0	TGa3/TGe3





### 13. PRILOZI (NACRTI)

Popis nacрта:

1. Pogled na most (1:200)
2. Uzdužni presjek mosta, tlocrt gornjeg i donjeg ustroja, shema ležajeva (1:200)
3. Karakteristični poprečni presjek mosta (1:50)
4. Poprečni presjek mosta u polju (1:50)
5. Poprečni presjek mosta nad upornjakom (1:50)
6. Uzdužni presjek upornjaka, tlocrt upornjaka, pogled na upornjak s prednje strane (1:50)
7. Situacija na DOF-u (1:500)

## 14. POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz promatranih naselja i dijela rijeke Save na karti .....	1
Slika 2. Pogled na lokaciju projekta iz mjesta Tišina Kaptolska .....	3
Slika 3. Pogled na prilaznu cestu rampi i mjesto upornjaka U2 na desnoj obali .....	3
Slika 4. Pogled na lokaciju projekta iz naselja Tišina Erdedska i prikaz postojeće skele .....	3
Slika 5. prikaz postojeće skele i mjesta upornjaka U1 na lijevoj obali .....	4
Slika 6. Prikaz odabranog položaja projekta mosta sa približnim položajima osnovnih elemenata ..	5
Slika 7. Skica poprečnog presjeka u polju.....	8
Slika 8. Skica glavnog nosača za proračun.....	9
Slika 9. Skica za proračun težine ortotropne ploče .....	10
Slika 10. Dodatna vlastita težina od ploče .....	10
Slika 11. Dodatno stalno opterećenje .....	11
Slika 12. Pješačko opterećenje po cijeloj dužini mosta .....	12
Slika 13. Pješačko opterećenje na lijevoj polovici mosta uzdužno .....	12
Slika 14. Pješačko opterećenje na desnoj polovici mosta uzdužno .....	13
Slika 15. Prometno opterećenje na upornjaku U1 i polovici mosta .....	13
Slika 16. Prometno opterećenje na upornjaku U2 i polovici mosta .....	14
Slika 17. Smjerovi djelovanja vjetra na rasponski sklop .....	14
Slika 18. Karta osnovnih brzina vjetra $v_{b,0}$ [2] .....	15
Slika 19. Dijagram za određivanje koeficijenta izloženosti [3] .....	16
Slika 20. Dijagram za određivanje koeficijenta oblika [3] .....	17
Slika 21. Skica poprečnog presjeka mosta za određivanje referentne visine .....	18
Slika 22. Dijagram za određivanje koeficijenta sile $c_{f0}$ [3].....	18
Slika 23. Opterećenje vjetrom poprečno na most.....	22
Slika 24. Opterećenje vjetrom uzdužno na most .....	22
Slika 25. Opterećenje vjetrom vertikalno na most .....	23
Slika 26. Karta najviših temperatura zraka [4] .....	24
Slika 27. Karta najnižih temperatura zraka [4] .....	24
Slika 28. Dijagram za očitavanje $T_{e,min}$ i $T_{e,max}$ [4].....	25
Slika 29. Najveća razlika pozitivne proračunske temperature.....	28
Slika 30. Najveća razlika negativne proračunske temperature .....	28
Slika 31. Gornji rub nosača topliji od donjeg.....	29
Slika 32. Donji rub nosača topliji od gornjeg.....	29
Slika 33. Temperatura luka jednoliko ljeto .....	30
Slika 34. Temperatura luka jednoliko zima.....	30
Slika 35. Ubrzanje tla $a_g$ za Tišinu Kaptolsku [6] .....	32
Slika 36. Ubrzanje tla $a_g$ za Tišinu Erdedsku [6] .....	33
Slika 37. Elastični horizontalni spektar .....	37
Slika 38. Elastični vertikalni sprektar.....	42
Slika 39. Spektar za x-smjer .....	42
Slika 40. Spektar za y-smjer.....	43
Slika 41. Spektar za z-smjer .....	44

Slika 42. Prvi mod izvijanja; vlastita frekvencija za prvi mod: $f = 0,34$ Hz, period za prvi mod: $T = 2,94$ s.....	45
Slika 43. Drugi mod izvijanja; vlastita frekvencija za drugi mod: $f = 0,82$ Hz, period za drugi mod: $T = 1,22$ s.....	45
Slika 44. Treći mod izvijanja; vlastita frekvencija za treći mod: $f = 0,98$ Hz, period za treći mod: $T = 1,02$ s.....	46
Slika 45. Četvrti mod izvijanja; vlastita frekvencija za četvrti mod: $f = 1,06$ Hz, period za prvi mod: $T = 0,94$ s.....	46
Slika 46. Peti mod izvijanja; vlastita frekvencija za peti mod: $f = 1,31$ Hz, period za peti mod: $T = 0,76$ s.....	47
Slika 47. Šesti mod izvijanja; vlastita frekvencija za šesti mod: $f = 1,81$ Hz, period za šesti mod: $T = 0,55$ s.....	47
Slika 48. Efektivna duljina $L_e$ za kontinuirane nosače i raspodjela sudjelujuće širine [7] .....	48
Slika 49. Sudjelujuća širina nosača [7].....	49
Slika 50. Raspodjela normalnih naprezanja po širini ploče [7].....	50
Slika 51. Poprečni presjek poprečnog nosača.....	50
Slika 52. Poprečni presjek poprečnog nosača sa efektivnim širinama.....	50
Slika 53. Poprečni presjek poprečnog nosača nad upornjakom sa sudjelujućim širinama.....	51
Slika 54. Poprečni presjek poprečnog nosača u polju.....	51
Slika 55. Poprečni presjek poprečnog nosača na upornjaku.....	52
Slika 56. Dispozicija ležajeva.....	53
Slika 57. Materijali korišteni u modelu .....	54
Slika 58. Poprečni presjek lijevog glavnog nosača s karakteristikama presjeka .....	57
Slika 59. Poprečni presjek desnog glavnog nosača s karakteristikama presjeka .....	59
Slika 60. Poprečni presjek lijevog glavnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka .....	61
Slika 61. Poprečni presjek desnog glavnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka .....	63
Slika 62. Poprečni presjek poprečnog nosača u polju s karakteristikama presjeka .....	65
Slika 63. Poprečni presjek poprečnog nosača nad upornjakom s karakteristikama presjeka .....	67
Slika 64. Poprečni presjek vješaljki s karakteristikama presjeka.....	68
Slika 65. Poprečni presjek luka s karakteristikama presjeka .....	69
Slika 66. Poprečni presjek prečki luka s karakteristikama presjeka.....	70
Slika 67. Modificirane debljine ploče.....	73
Slika 68. Rasponski sklop LC 4250 My (Stalno opterećenje).....	77
Slika 69. Rasponski sklop LC 4250 Nx (Stalno opterećenje).....	77
Slika 70. Rasponski sklop LC 4250 Vz (Stalno opterećenje).....	78
Slika 71. Luk LC 4250 My (Stalno opterećenje).....	78
Slika 72. Luk LC 4250 Nx (Stalno opterećenje).....	79
Slika 73. Luk LC 4250 Vz (Stalno opterećenje) .....	79
Slika 74. Luk LC 4250 Mz (Stalno opterećenje).....	80
Slika 75. Rasponski sklop LC 4 My (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	81
Slika 76. Rasponski sklop LC 4 Nx (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	81
Slika 77. Rasponski sklop LC 4 Vz (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	82
Slika 78. Rasponski sklop LC 5 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	82

Slika 79. Rasponski sklop LC 5 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	83
Slika 80. Rasponski sklop LC 5 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	83
Slika 81. Rasponski sklop LC 6 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	84
Slika 82. Rasponski sklop LC 6 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	84
Slika 83. Rasponski sklop LC 6 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	85
Slika 84. Rasponski sklop LC 10 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta).....	85
Slika 85. Rasponski sklop LC 10 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta).....	86
Slika 86. Rasponski sklop LC 10 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta).....	86
Slika 87. Rasponski sklop LC 11 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta).....	87
Slika 88. Rasponski sklop LC 11 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta).....	87
Slika 89. Rasponski sklop LC 11 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta).....	88
Slika 90. Luk LC 4 My (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	88
Slika 91. Luk LC 4 Nx (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	89
Slika 92. Luk LC 4 Vz (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	89
Slika 93. Luk LC 4 Mz (Prometno opterećenje na cijelom mostu).....	90
Slika 94. Luk LC 5 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	90
Slika 95. Luk LC 5 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	91
Slika 96. Luk LC 5 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	91
Slika 97. Luk LC 5 Mz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i lijevoj polovici širine mosta).....	92
Slika 98. Luk LC 6 My (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	92
Slika 99. Luk LC 6 Nx (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	93
Slika 100. Luk LC 6 Vz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	93
Slika 101. Luk LC 6 Mz (Prometno opterećenje na cijelom rasponu mosta i desnoj polovici širine mosta).....	94
Slika 102. Luk LC 10 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta).....	94
Slika 103. Luk LC 10 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta).....	95

Slika 104. Luk LC 10 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta) .....	95
Slika 105. Luk LC 10 Mz (Prometno opterećenje nad upornjakom U1 i polovici raspona mosta) .....	96
Slika 106. Luk LC 11 My (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta) .....	96
Slika 107. Luk LC 11 Nx (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta) .....	97
Slika 108. Luk LC 11 Vz (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta).....	97
Slika 109. Luk LC 11 Mz (Prometno opterećenje nad upornjakom U2 i polovici raspona mosta) .....	98
Slika 110. Rasponski sklop LC 7 My (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru) .....	99
Slika 111. Rasponski sklop LC 7 Nx (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru).....	99
Slika 112. Rasponski sklop LC 7 Vz (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru) .....	100
Slika 113. Rasponski sklop LC 8 My (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru) .....	100
Slika 114. Rasponski sklop LC 8 Nx (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru).....	101
Slika 115. Rasponski sklop LC 8 Vz (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru) .....	101
Slika 116. Rasponski sklop LC 9 My (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru) .....	102
Slika 117. Rasponski sklop LC 9 Nx (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru) .....	102
Slika 118. Rasponski sklop LC 9 Vz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru) .....	103
Slika 119. Luk LC 7 My (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru).....	103
Slika 120. Luk LC 7 Nx (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru).....	104
Slika 121. Luk LC 7 Vz (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru).....	104
Slika 122. Luk LC 8 My (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru).....	105
Slika 123. Luk LC 8 Nx (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru) .....	105
Slika 124. Luk LC 8 Vz (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru).....	106
Slika 125. Luk LC 9 My (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru).....	106
Slika 126. Luk LC 9 Nx (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru).....	107
Slika 127. Luk LC 9 Vz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru).....	107
Slika 128. Luk LC 9 Mz (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru).....	108
Slika 129. Rasponski sklop LC 93 My (Temperaturna kombinacija zima).....	109
Slika 130. Rasponski sklop LC 93 Nx (Temperaturna kombinacija zima).....	109
Slika 131. Rasponski sklop LC 93 Vz (Temperaturna kombinacija zima).....	110
Slika 132. Rasponski sklop LC 92 My (Temperaturna kombinacija ljeto).....	110
Slika 133. Rasponski sklop LC 92 Nx (Temperaturna kombinacija ljeto) .....	111
Slika 134. Rasponski sklop LC 92 Vz (Temperaturna kombinacija ljeto).....	111
Slika 135. Luk LC 87 Nx (Jednolika temperatura luk (ljeto)).....	112
Slika 136. Luk LC 88 Nx (Jednolika temperatura luk (zima)).....	112
Slika 137. Rasponski sklop LC 9016 My (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru).....	113
Slika 138. Rasponski sklop LC 9011 Nx (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	113
Slika 139. Rasponski sklop LC 9013 Vz (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru).....	114
Slika 140. Rasponski sklop LC 9316 My (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru).....	114
Slika 141. Rasponski sklop LC 9311 Nx (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	115
Slika 142. Rasponski sklop LC 9013 Vz (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	115
Slika 143. Luk LC 9011 Nx (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	116
Slika 144. Luk LC 9016 My (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru).....	116
Slika 145. Luk LC 9017 Mz (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	117
Slika 146. Luk LC 9311 Nx (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru).....	117
Slika 147. Luk LC 9316 My (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	118

Slika 148. Luk LC 9317 Mz (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	118
Slika 149. Uzdužna sila u vješaljka LC 4250 (Stalno opterećenje).....	119
Slika 150. Uzdužna sila u vješaljka LC 9 (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru) .....	119
Slika 151. Uzdužna sila u vješaljka LC 4 (Pješačko opterećenje na cijelom mostu) .....	120
Slika 152. Uzdužna sila u vješaljka LC 9020 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	120
Slika 153. Uzdužna sila u vješaljka LC 9320 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru).....	121
Slika 154. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 4 (Prometno opterećenje na cijelom mostu) .....	123
Slika 155. Uzdužni pomak ležajeva za LC 8 (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru) .....	123
Slika 156. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 81 (Najveća razlika pozitivne računске temperature).....	124
Slika 157. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 82 (Najveća razlika negativne računске temperature).....	124
Slika 158. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 85 (Temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave +) .....	125
Slika 159. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 86 (Temperaturno opterećenje za ležajeve i prijelazne naprave -).....	125
Slika 160. Pomak ležajeva u uzdužnom smjeru za LC 9001 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	126
Slika 161. Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru LC 8 (Opterećenje vjetrom u uzdužnom smjeru)..	128
Slika 162. Ležajne reakcije u uzdužnom smjeru LC 9038 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	128
Slika 163. Ležajne reakcije u poprečnom smjeru LC 7 (Opterećenje vjetrom u poprečnom smjeru) .....	129
Slika 164. Ležajne reakcije u poprečnom smjeru LC 9338 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	129
Slika 165. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 4250 (Stalno opterećenje).....	130
Slika 166. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 4 (Prometno opterećenje na cijelom mostu) .	130
Slika 167. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9 (Opterećenje vjetrom u vertikalnom smjeru) .....	131
Slika 168. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9038 (Potresno opterećenje u uzdužnom smjeru) .....	131
Slika 169. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9338 (Potresno opterećenje u poprečnom smjeru) .....	132
Slika 170. Ležajne reakcije u vertikalnom smjeru LC 9638 (Potresno opterećenje u vertikalnom smjeru) .....	132
Slika 171. Težina mosta.....	135
Slika 172. Naprezanja rasponskom sklopu LC 2109.....	137
Slika 173. Naprezanja rasponskom sklopu LC 2110.....	138
Slika 174. Naprezanja hrptu glavnog nosača LC 2109.....	139
Slika 175. Naprezanja hrptu glavnog nosača LC 2110.....	140
Slika 176. Naprezanja hrptu glavnog nosača LC 2111 .....	141
Slika 177. V. Mises naprezanja u hrptu glavnog nosača LC 2109, LC 2110, LC 2111 .....	142
Slika 178. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2109.....	143

Slika 179. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2102 .....	144
Slika 180. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2101.....	145
Slika 181. Naprezanja u poprečnom nosaču LC 2101 .....	146
Slika 182. Naprezanja u luku LC 2103 .....	147
Slika 183. Naprezanja u luku LC 2102 .....	148
Slika 184. Naprezanja u prečkama luka LC 2101 .....	149
Slika 185. Naprezanja u prečkama luka LC 2106 .....	150
Slika 186. Uzdužna sila u vješaljka LC 2133 .....	151
Slika 187. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu max $N_{xx}$ i pripadajući moment $M_{xx}$ LC 2125.....	153
Slika 188. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu min $N_{xx}$ i pripadajući moment $M_{xx}$ LC 2126 .....	154
Slika 189. Naprezanja u ploči za moment max $M_{xx}$ i pripadajuću uzdužnu silu $N_{xx}$ LC 2121.....	155
Slika 190. Naprezanja u ploči za moment min $M_{xx}$ i pripadajuću uzdužnu silu $N_{xx}$ LC 2122.....	156
Slika 191. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu max $N_{xx}$ i pripadajući moment $M_{xx}$ LC 2125 .....	157
Slika 192. Naprezanja u ploči za uzdužnu silu min $N_{xx}$ i pripadajući moment $M_{xx}$ LC 2126 .....	158
Slika 193. Naprezanja u ploči za moment max $M_{xx}$ i pripadajuću uzdužnu silu $N_{xx}$ LC 2121.....	159
Slika 194. Naprezanja u ploči za moment min $M_{xx}$ i pripadajuću uzdužnu silu $N_{xx}$ LC 2122.....	160
Slika 195. Prikaz parametara za proračun stabilnosti limova [8].....	163
Slika 196. Naprezanja u luku nakon unosa imperfakcije LC 2515 .....	173
Slika 197. Naprezanje u prečkama luka nakon unosa imperfakcije LC 2510 .....	174
Slika 198. TGe ležaj [10].....	176
Slika 199. Specifikacija lončastih ležajeva TGe [10] .....	176
Slika 200. TGa ležaj [10] .....	177
Slika 201. Specifikacija lončastih ležajeva TGa [10] .....	177
Slika 202. TF ležaj [10].....	178
Slika 203. Specifikacija lončastih ležajeva TF [10] .....	178
Slika 204. Prijelazne naprave [10] .....	179
Slika 205. Prijelazna naprava D80 .....	179



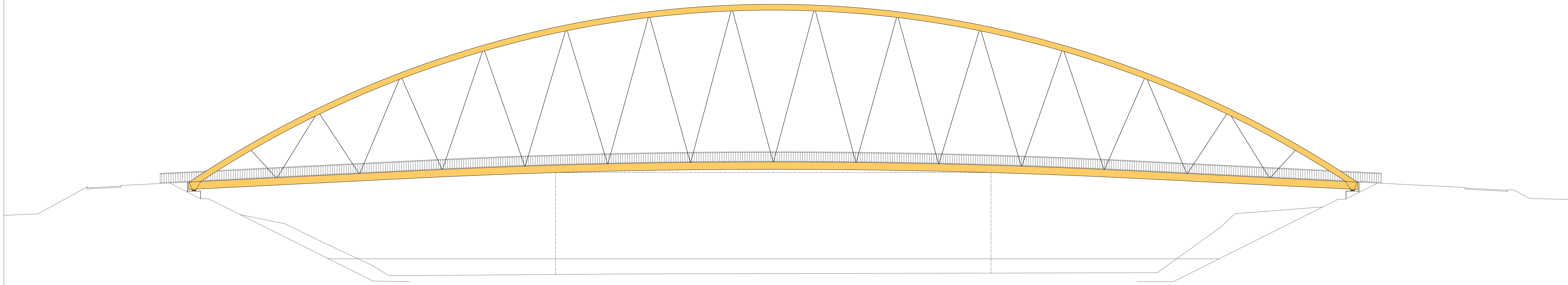
## 15. POPIS TABLICA

Tablica 1. Postupak proračuna djelovanja vjetra na rasponski sklop [2] .....	15
Tablica 2. Kategorije terena za određivanje koeficijenta izloženosti [3] .....	16
Tablica 3. Tablica za određivanje referentne visine [3] .....	17
Tablica 4. Preporučene vrijednosti komponente linearne temperaturne razlike [4] .....	26
Tablica 5. Preporučene vrijednosti faktora $k_{sur}$ [4] .....	26
Tablica 6. Kategorije tla [5] .....	31
Tablica 7. Parametri a horizontalni spektar [5] .....	31
Tablica 8. Parametri za vertikalni sprektar [5] .....	31
Tablica 9. Prikaz elastičnog spektra .....	34
Tablica 10. prikaz elastičnog spektra .....	38
Tablica 11. Koeficijent redukcije $\beta$ za sudjelujuću širinu [7] .....	49
Tablica 12. Popis ispisanih reznih sila .....	75
Tablica 13. Popis ispisanih pomaka .....	122
Tablica 14. Popis ispisanih reakcija .....	127
Tablica 15. Parcijalni koeficijenti sigurnosti i koeficijenti kombinacije [8] .....	133
Tablica 16. Izrazi za određivanje klase poprečnog presjeka [9] .....	161
Tablica 17. Izrazi za proračun redukcijskog faktora za posmična naprezanja [8] .....	166
Tablica 18. Izrazi za proračun redukcijskog faktora za posmična naprezanja [8] .....	169
Tablica 19. Određivanje parametara za proračun stabilnosti luka [9] .....	171
Tablica 20. Dimenzioniranje ležajeva i prijelaznih naprava [8] .....	175
Tablica 21. Odabrani ležajevi na mostu .....	178

## 16. LITERATURA

- [1] HRN EN 1991-1-2 (Prometno djelovanje)
- [2] Mostovi 2 - predavanje, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet Zagreb
- [3] HRN EN 1991-1-4 (Djelovanje vjetra)
- [4] HRN EN 1991-1-5 (Djelovanje temperature)
- [5] HRN EN 1998-2 (Mostovi izloženi potresu)
- [6] Web: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>
- [7] Horvatić, Dragutin; Šavor, Zlatko: Metalni mostovi / Radić, Jure (ur.), Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih konstruktora, 1998. 438.
- [8] Mostovi 3- konstrukcijske vježbe, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu – Građevinski fakultet Zagreb
- [9] EN 1993-1-1 (Mostovi)
- [10] Mauer ležajevi i prijelazne naprave - katalog

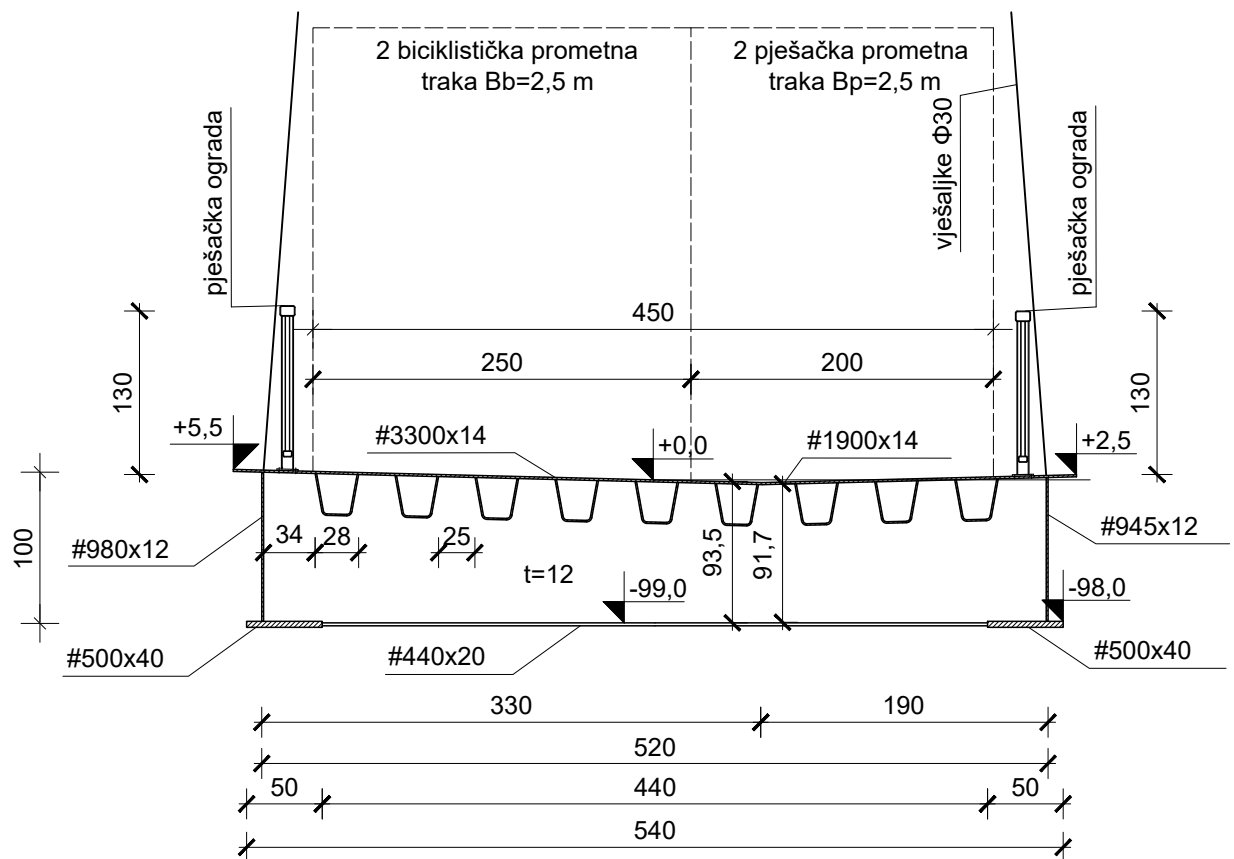
POGLED NA MOST  
MJ 1:200





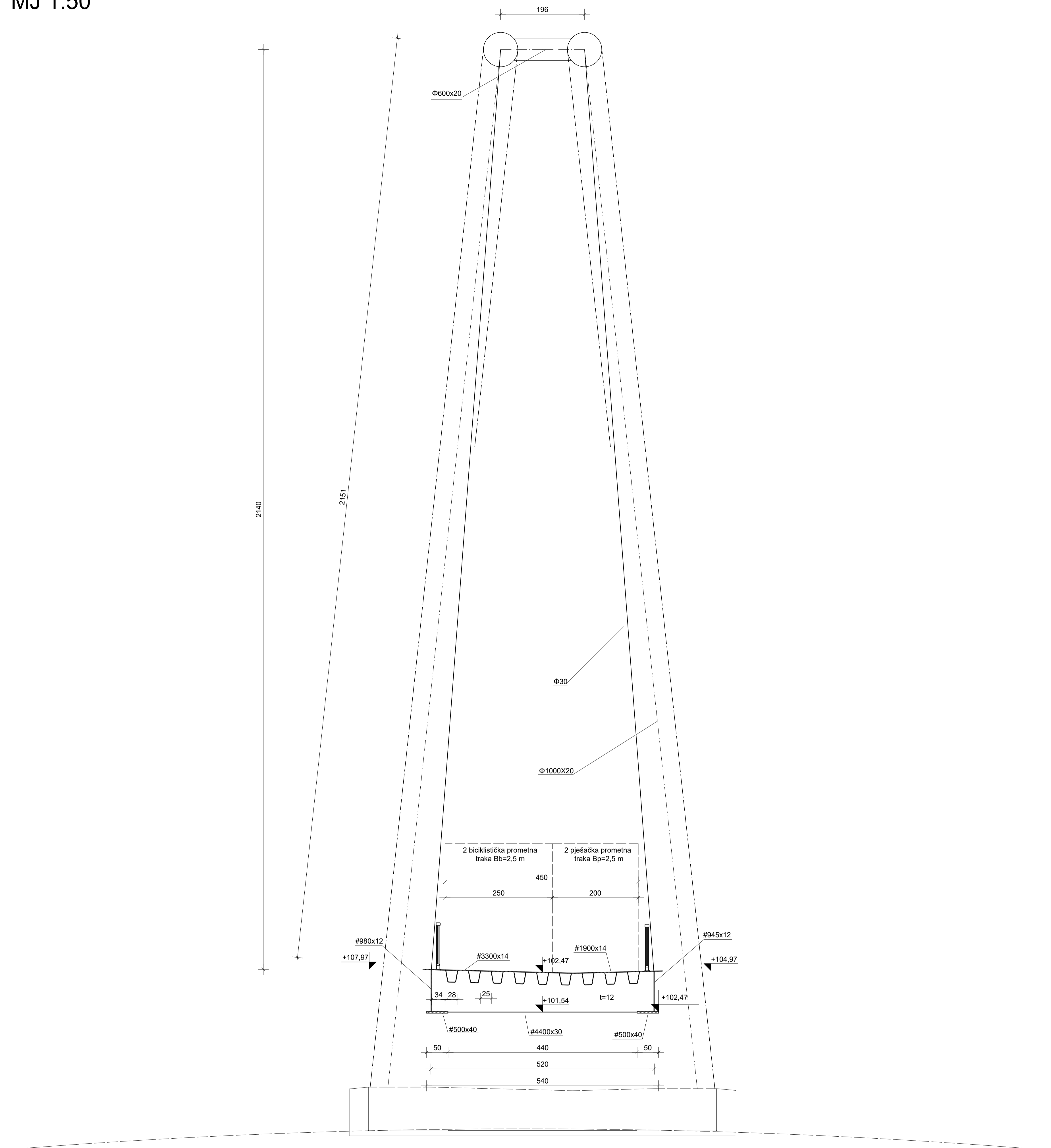
# KARAKTERISTIČNI PRESJEK MOSTA

## MJ 1:50



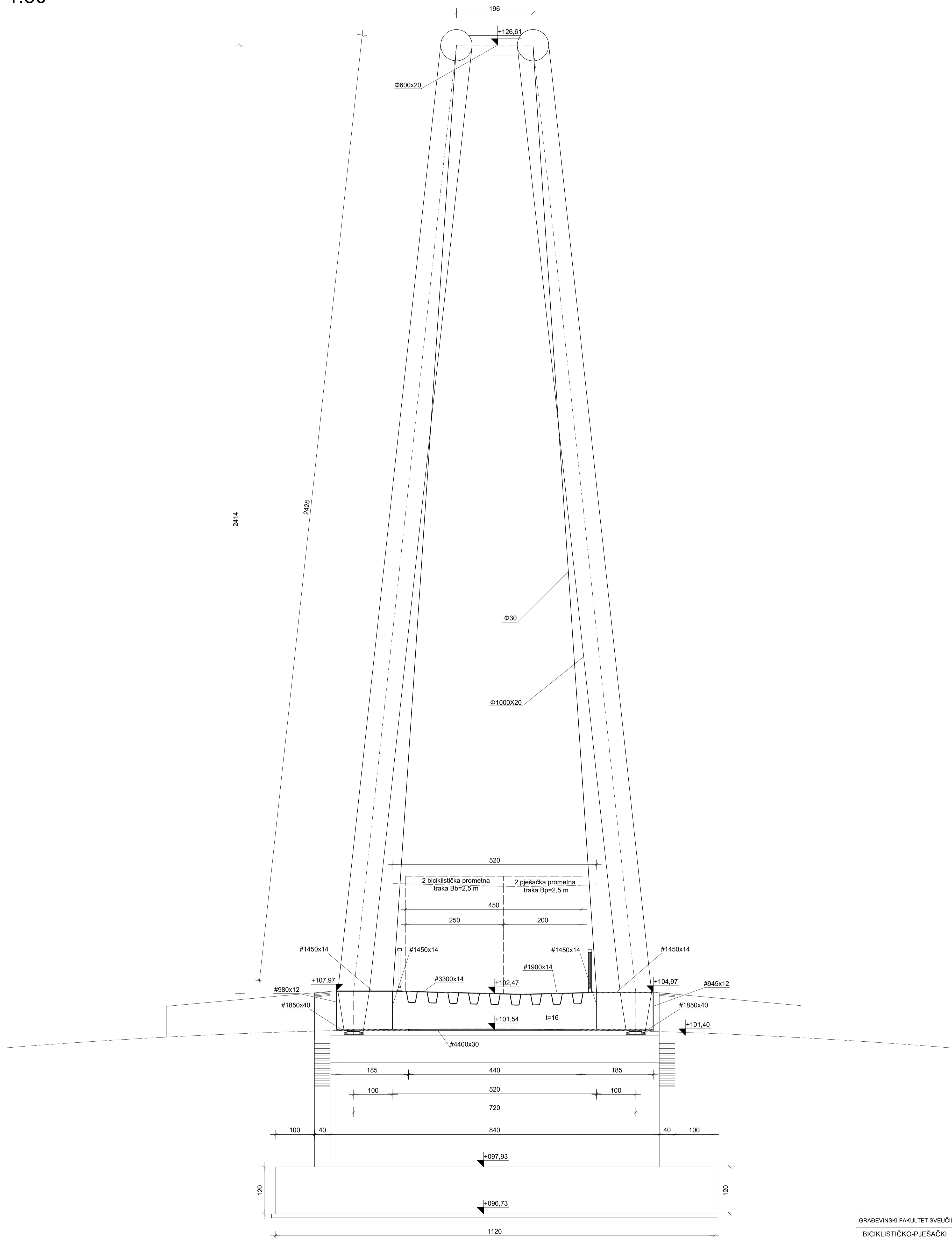
GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
BICIKLISTIČKO-PJEŠAČKI MOST PREKO RIJEKE SAVE	MJERILO: 1:50
DIPLOMSKI RAD IGOR ŽAGAR	KARAKTERISTIČNI PRESJEK MOSTA

POPREČNI PRESJEK MOSTA U POLJU  
MJ 1:50



# POPREČNI PRESJEK MOSTA NAD UOPRNIJAKOM

## MJ 1:50







TIŠINA KAPTOLSKA

TIŠINA ERDEDSKA

159.6

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

BICIKLISTIČKO-PJEŠAČKI  
MOST PREKO RIJEKE SAVE

MJERILO:  
1:500

DIPLOMSKI RAD  
IGOR ŽAGAR

SITUACIJA NA DOF-u