

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Vresk, P., 2014. Jeklen most za pešce čez reko Savo v Radečah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Korelc, J., somentor Sinur, F.): 35 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
*Civil and Geodetic  
Engineering*



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Vresk, P., 2014. Jeklen most za pešce čez reko Savo v Radečah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Korelc, J., co-supervisor Sinur, F.): 35 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidatka

**PETRA VRESK**

## **JEKLEN MOST ZA PEŠCE ČEZ REKO SAVO V RADEČAH**

Diplomska naloga št.: 143/B-GR

## **STEEL FOOTBRIDGE OVER THE SAVA RIVER IN RADEČE**

Graduation thesis No.: 143/B-GR

**Mentor:**

prof. dr. Jože Korelc

**Somentor:**

doc. dr. Franc Sinur

/

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

Ljubljana, 23. 09. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

**IZJAVE**

Podpisana **Petra Vresk** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »**Jeklen most za pešce čez reko Savo v Radečah**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Petra Vresk

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK</b>	624.014.2:624.2(043.2)
<b>Avtor</b>	Petra Vresk
<b>Mentor</b>	prof. dr. Jože Korelc
<b>Somentor</b>	doc. dr. Franc Sinur
<b>Naslov</b>	Jeklen most za pešce čez reko Savo v Radečah
<b>Tip dokumenta</b>	Diplomska naloga – univerzitetni študij
<b>Obseg in oprema</b>	35 str., 4 pregl., 41 sl., 8 pril.
<b>Ključne besede</b>	Zasnova, jeklo, most za pešce, ločni most, obtežbe, obremenitve, statična analiza, lastne frekvence, dimenzioniranje

### **Izvleček**

Diplomska naloga obravnava zasnovo, statično analizo in dimenzioniranje jeklenega peš mostu čez reko Savo, v Radečah, z razponom 100 m. Pri zasnovi mostu smo prišli do ideje za ločni most z lokom nad prekladno konstrukcijo. Sledila je analiza obtežb ter njihovih kombinacij za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti. V analizi nismo zajeli dinamičnih vplivov vetra in potresa. Izvedena je bila statična analiza in dimenzioniranje elementov. Elementi so dimenzionirani glede na dobljene notranje veličine s programom Scia Engineer. Zaradi vitkosti konstrukcije pri dimenzioniranju mostu, ni bilo kritično mejno stanje nosilnosti, ampak mejno stanje uporabnosti; Lastne frekvence mostu niso bile v obočju priporočenih mej. Tako bi bilo dodatno potrebno izvesti detajlno dinamično analizo mostu.

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDC</b>	624.014.2:624.2(043.2)
<b>Autor</b>	Petra Vresk
<b>Supervisor</b>	prof. Jože Korelc, Ph.D.
<b>Co – advisor</b>	assist. prof. Franc Sinur, Ph.D.
<b>Title</b>	Steel footbridge over the Sava river in Radeče
<b>Document type</b>	Graduation thesis – university studies
<b>Notes</b>	35 p., 4 tab., 41 fig., 8 anx.
<b>Key words</b>	Concept, steel, footbridge, arch bridge, loads, loadings, static analysis, natural frequencies, dimensioning

**Abstract**

The thesis deals with the design, static analysis and dimensioning of a steel footbridge bridge over the Sava River in Radeče with a span of 100 m. In designing the bridge, we produced an idea to create an arch bridge over a deck construction. The thesis also contains an analysis of loads and their combinations for the ultimate limit state and serviceability limit state. It is important to note that dynamic influences of wind and earthquake were excluded from the analysis. We conducted a static analysis and element dimensioning. The elements were dimensioned using the Scia Engineer software according to the calculated internal forces. The construction of the bridge was slender. As a result, the serviceability limit state in the dimensioning process was more problematic than the ultimate limit state. Natural frequencies of the bridge were not within the recommended limits. To this end, a more detailed dynamic analysis of the bridge would be necessary.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. Francu Sinurju, ki me je vodil in bil na voljo pri nastajanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se družini, mami Emi, očetu Karolu, bratom Andreju, Milanu in Gašperju, ki so mi omogočili študij ter me vzpodbujali tekom študija.

Posebej se zahvaljujem Dejanu ter prijateljem za podporo in vzpodbudo med študijem.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD [1]</b>	<b>1</b>
1.1	Delitev mostov	1
1.1.1	Glede na obliko in konstrukcijo	1
1.1.2	Glede na material	1
1.1.3	Glede na funkcijo	2
<b>2</b>	<b>ZASNOVA MOSTU</b>	<b>3</b>
2.1	Definicija problema	3
2.2	Izbira konstrukcije	3
2.3	Dimenzije mostu	5
2.4	Prenos obtežbe	5
2.5	Razporeditev jeklenih profilov po mostu	6
2.6	Navodila za montažo [1]	7
2.7	Uporabljeni materiali	7
2.7.1	Jeklo	7
2.7.2	Jeklene vrvi	7
2.7.3	Pohodna površina	8
2.7.4	Ograja	11
<b>3</b>	<b>VPLIVI NA KONSTRUKCIJO</b>	<b>13</b>
3.1	Lastna teža [18]	13
3.2	Stalna teža [18]	13
3.2.1	Ograja	13
3.2.2	Pohodna površina	14
3.3	Spremenljiva obtežba [19]	14
3.3.1	Obtežba pešcev vertikalno	14
3.3.2	Obtežba pešcev horizontalno	14
3.3.3	Obtežba pešcev na ograjo	15
3.3.4	Servisno vozilo	15
3.4	Obtežba snega [20]	15
3.5	Obtežba vetra [21]	16
3.5.1	Vpliv vetra na nosilno konstrukcijo	18
3.5.2	Vpliv vetra na spodnji nosilec zaradi ograje	18
3.6	Vpliv temperature [22]	20
<b>4</b>	<b>OBREMENITVE [23]</b>	<b>22</b>
4.1	Mejna stanja	22
4.2	Kombinacije obtežb	22



<b>5</b>	<b>GLOBALNA ANALIZA</b>	<b>25</b>
5.1	Splošno o globalni analizi	25
5.2	Linearna analiza	25
5.3	Stabilnost konstrukcije	25
5.3.1	Začetne globalne nepopolnosti [24]	25
5.4	Nelinearna analiza	26
5.5	Lastne frekvence	26
5.6	Pomiki	28
<b>6</b>	<b>DIMENZIONIRANJE [27], [29]</b>	<b>29</b>
6.1	Zgornji nosilci okroglega prereza	29
6.1.1	Podatki o profilu	29
6.1.2	Obremenitve	29
6.1.3	Klasifikacija prereza	30
6.1.4	Odpornost prereza na tlačno obremenitev	30
6.1.5	Odpornost prereza na upogibni moment	30
6.1.6	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	30
6.1.7	Strižna odpornost prereza	31
6.1.8	Kombinacija striga in upogibnega momenta	31
6.1.9	Stabilnost	31
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>34</b>
	<b>VIRI</b>	<b>35</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Tabela 1: Obtežne kombinacije za mejna stanja nosilnosti	24
Tabela 2: Obtežne kombinacije za mejna stanja uporabnosti	24
Tabela 3: Začetne globalne nepopolnosti s pripadajočimi amplitudami	25
Tabela 4: Lastne frekvence	26

## KAZALO SLIK

Slika 1: Ločni mostovi	1
Slika 2: Prvi litoželezni most na svetu – Iron Bridge [4]	2
Slika 3: Te Rewa Rewa [5]	2
Slika 4: Pozicija zasnovanega mostu [6]	3
Slika 5: Jekleni most v Radečah [7]	3
Slika 6: Prva zasnova ločnega mostu	4
Slika 7: Končna oblika mostu	4
Slika 8: Dimenzije mostu v 3D	5
Slika 9: Osne sile N (obrnjena kvadratna parabola)	5
Slika 10: Upogibni moment $M_y$ (obrnjena kvadratna parabola)	6
Slika 11: Razporeditev jeklenih profilov po mostu	6
Slika 12: Elementi iz jekla S275	7
Slika 13: Elementi iz jeklenih vrvi	8
Slika 14: Prerez jeklene vrvi $6 \times 47$ IWRC [11]	8
Slika 15: Primer WPC pohodne površine [12]	8
Slika 16: Potek IPE100 nosilcev prečno na most	9
Slika 17: Primer WPC nosilcev in WPC desk [14]	9
Slika 18: Pozicija WPC nosilcev vzdolžno na most	10
Slika 19: Prerez WPC nosilca	10
Slika 20: Primer jeklene ograje z vrvmi [16]	11
Slika 21: Jeklen stebriček	11
Slika 22: Prerez jeklenega nosilca na vrhu ograje	12
Slika 23: Moment in sila na spodnji nosilec zaradi koristne obtežbe pešcev na ograjo	15
Slika 24: Delitev Slovenije na cone po obtežbi snega [20]	16
Slika 25: Delitev Slovenije na vetrovne cone [21]	16
Slika 26: Koeficient sile glede na tip mostu [21]	17
Slika 27: Diagrami faktorja izpostavljenosti [21]	17
Slika 28: Povezava med najvišjo/najnižjo temperaturo zraka v senci ter najvišjo/najnižjo temperaturo konstrukcije [22]	20
Slika 29: Prvotne podpore na mostu	21
Slika 30: Podpore na mostu po delni optimizaciji	21
Slika 31: Končne podpore na mostu	21
Slika 32: Lastna + stalna obtežba	22
Slika 33: Koristna obtežba celota	23
Slika 34: Koristna obtežba leva polovica	23
Slika 35: Koristna obtežba desna polovica	23
Slika 36: Veter	24
Slika 37: 1. prečna nihajna oblika ( $f_0 = 0,45$ Hz)	27
Slika 38: 1. vertikalna nihajna oblika ( $f_0 = 0,67$ Hz)	27
Slika 39: 1. torzijska nihajna oblika ( $f_0 = 4,14$ Hz)	27
Slika 40: Preoblikovanje mostu za zagotavljanje lastnih frekvenc	28
Slika 41: Pozicije zgornjih nosilcev	29
Slika A.1: Naris mostu	A.1
Slika A.2: Stranski ris mostu	A.1
Slika A.3: Tloris mostu	A.2
Slika A.4: 3D model mostu	A.2

Slika C.1: Lastna in stalna obtežba	C.1
Slika C.2: Koristna obtežba	C.1
Slika C.3: Obtežba vetra	C.2
Slika C.4: Obtežba temperature (+ in -)	C.2
Slika D.1: Uklon v ravnini loka [24]	D.1
Slika D.2: Uklon izven ravnine loka [24]	D.1
Slika E.1: Osne sile N	E.1
Slika E.2: Torzijski moment $M_x$	E.1
Slika E.3: Upogibni moment $M_y$	E.2
Slika E.4: Upogibni moment $M_z$	E.2
Slika E.5: Prečna sila $V_y$	E.3
Slika E.6: Prečna sila $V_z$	E.3
Slika F.1: Pomik $u_x$	F.1
Slika F.2: Pomik $u_y$	F.1
Slika F.3: Pomik $u_z$	F.2
Slika G.1: Kompaktnost prerezov [29]	G.1
Slika G.2: Izbira uklonske krivulje glede na prečni prerez [29]	G.2
Slika G.3: Faktorji nepopolnosti uklonskih krivulj [29]	G.2
Slika H.1: Pozicije zgornjih prečk	H.1
Slika H.2: Pozicije vrvi	H.6
Slika H.3: Pozicije spodnjih nosilcev	H.7
Slika H.4: Pozicije spodnjih prečk	H.11
Slika H.5: Pozicije konzol	H.15
Slika H.6: Pozicije povezji	H.19

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

$A$	Površina prereza
$B$	Višina mostu
$C_m$	Faktor nadomestnega upogibnega momenta
$D$	Premer prereza
$G$	Teža
$H$	Višina mostu
$I$	Vztrajnostni moment prečnega prereza
$L$	Dolžina mostu
$M_{Ed}$	Projektna vrednost upogibnega momenta
$M_{Rd}$	Upogibna nosilnost
$N_{b,Rd}$	Projektna uklonska nosilnost tlačениh palic
$N_{Ed}$	Projektna vrednost osne sile
$N_{Rd}$	Oсна nosilnost
$T$	Temperatura
$V$	Volumen
$V_{Ed}$	Projektna vrednost prečne sile
$V_{Rd}$	Strižna nosilnost
$W$	Odpornostni moment prečnega prereza
$e_0$	Amplituda
$f_u$	Nominalna vrednost natezne trdnosti
$f_y$	Nominalna vrednost napetosti tečenja
$g$	Stalna obtežba
$h$	Višina prereza
$i$	Vztrajnostni radij
$k_{yy}$	Interakcijski faktorji
$l_u$	Uklonska dolžina
$n$	Število elementov
$s$	Obtežba snega
$t$	Debelina prereza
$u$	Pomik
$v$	Obtežba vetra
$q$	Spremenljiva obtežba
$\alpha$	Faktor nepopolnosti
$\gamma$	Specifična prostorninska teža
$\gamma_{M0}$	Delni varnostni faktor pri kontroli nosilnosti prereza
$\gamma_{M1}$	Delni varnostni faktor pri kontroli stabilnosti
$\theta$	Nagnjenost zgornjega loka mostu proti notranjosti
$\bar{\lambda}$	Relativna vitkost
$\chi$	Redukcijski faktor upogibnega uklona
$\chi_{LT}$	Redukcijski faktor bočne zvrnitve
$MSN$	Mejno stanje nosilnosti
$MSU$	Mejno stanje uporabnosti
$TDR$	Teorija drugega reda



## 1 UVOD [1]

Most je inženirski objekt s katerim premostimo vodne gladine, doline, soteske, ceste, železnice ter drugo komunalno infrastrukturo. V ožjem smislu je most objekt, ki služi prehodu prometnice preko vodne gladine. Sama oblika in izvedba mostu sta odvisni od razpona mostu in obremenitev, ki jih mora most prenašati ter od vrste temeljnih tal.

### 1.1 Delitev mostov

Mostove delimo glede na obliko in konstrukcijo, glede na material in glede na funkcijo mostu.

#### 1.1.1 Glede na obliko in konstrukcijo

Glede na obliko in konstrukcijo mostove delimo na:

- gredne mostove,
- obokane mostove,
- palične mostove,
- mostove s poševnimi zategami,
- viseče mostove in
- ločne mostove.

**Ločni mostovi** so oblikovani podobno kot obok. Zaradi svoje oblike imajo večjo nosilnost in manjšo porabo materiala. Ločni mostovi se razlikujejo glede na pozicijo loka, ali je ta pod (slika 1.a) ali nad (slika 1.b) prekladno konstrukcijo.



a) Solkanski most [2]



b) Most na Dubaju [3]

Slika 1: Ločni mostovi

#### 1.1.2 Glede na material

Glede na material iz katerega je zgrajena nosilna konstrukcija mostu, jih delimo na:

- lesene mostove,
- kamnite mostove,
- betonske mostove,
- mostove iz armiranega in prednapetega betona,

- sovprežne mostove,
- mostove iz umetnih mas in
- jeklene mostove.

**Jekleni mostovi:** gradnja le-teh je predvsem odvisna od razvoja jeklenih materialov. Prednosti jeklenih mostov so v manjši lastni teži, premagovanju velikih razpetin, enostavnosti za montažo, industrijski izdelavi, možni hitri gradnji ter možnosti demontaže. Slabost pa je korozija in zmanjšana odpornost na požar. Na sliki 2 je prvi litoželezni most na svetu.



Slika 2: Prvi litoželezni most na svetu – Iron Bridge [4]

### 1.1.3 Glede na funkcijo

Glede na funkcijo mostove delimo na:

- mostove za živali (ekodukti),
- mostove za pešce,
- cestne mostove,
- železniške mostove in
- večfunkcijske mostove.

**Mostovi za pešce** so izključno namenjeni pešcem in kolesarjem za hitro in neovirano prečkanje. Zaradi manjših obremenitev, kot pri ostalih mostovih, so tu možne najrazličnejše oblike mostov. Na sliki 3 je primer mostu za pešce.



Slika 3: Te Rewa Rewa [5]



## 2 ZASNOVA MOSTU

### 2.1 Definicija problema

Naloga je bila premostiti 100 m dolgo razpetino z enim samim razponom čez reko Savo v Radečah, kot prikazuje slika 4.



Slika 4: Pozicija zasnovanega mostu [6]

Izbira konstrukcije naj ne bi bila podobna že obstoječemu mostu (slika 5), torej izbira klasične palične konstrukcije je bila zavržena že na samem začetku.

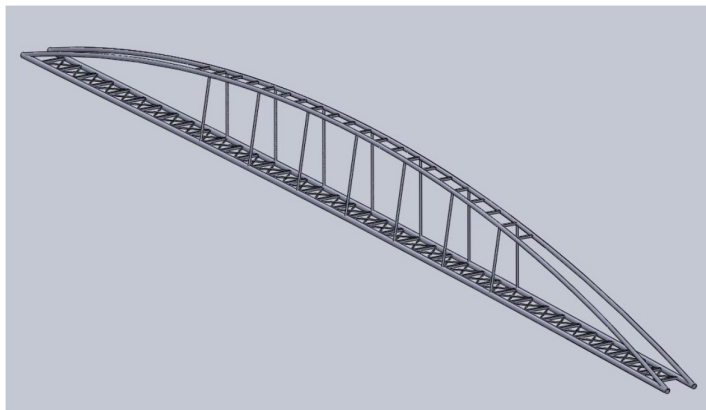


Slika 5: Jekleni most v Radečah [7]

Zaradi visoke gladine reke Save, smo se morali odločiti za konstrukcijo, katera ne sega pod pohodno površino mostu. Posledično smo prišli do ideje za ločni most z lokom nad prekladno konstrukcijo.

### 2.2 Izbira konstrukcije

**Prva zasnova ločnega mostu** je bila sledeča: dolžina mostu 100 m, višina 8 m ter širina 3 m. Zgornja loka mostu sta rahlo nagnjena proti notranjosti mostu. Začetno zasnovo smo zmodelirali v SolidWorks – u (slika 6).

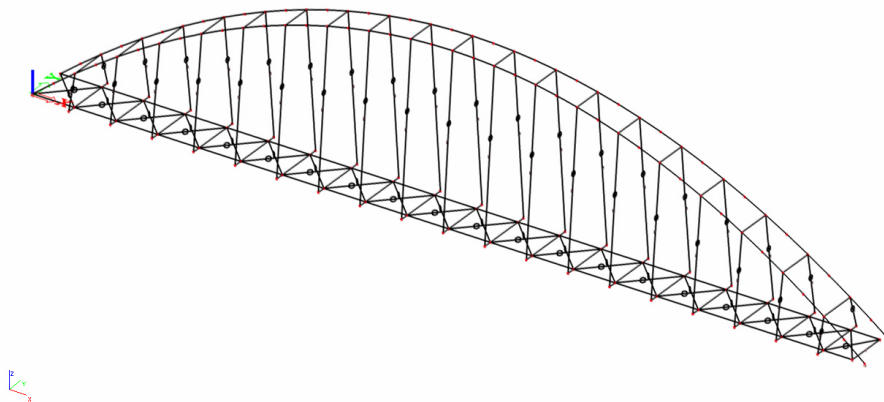


Slika 6: Prva zasnova ločnega mostu

Nato so sledile iteracije popravkov. Višina mostu je bila prenizka, saj bi ob začetni višini prišlo do preskoka sistema. Sledila je višja puščica mostu in sicer 20 m [8]. Zgornja loka opisujeta obliko obrnjene kvadratne parabole nagnjene za kot  $\theta$  proti notranjosti mostu. Tudi širino mostu smo povečali na 5 m, zaradi večje uporabnosti mostu (pešci in kolesarji) ter boljše togosti prečno na most. Namesto prvotnih vertikalnih klasičnih jeklenih elementov smo izbrali vrvi, ki ležijo na medsebojni razdalji 5 m po celotni dolžini mostu. Spodnji del mostu (vzdolžna dva nosilca s prečkami ter povezji) je ostal enak, le da so bile na zunanji strani vzdolžnih nosilcev dodane konzole dolžine 1 m na mestu vsake vrvi. Konzole služijo za pritrnitev vrvi ter lažjo umestitev ograje ob pohodni površini. Med zgornjima lokoma so, zaradi uklona in večje togosti zgornjih lokov izven ravnine, prečke nameščene na enakih medsebojnih razdaljah, kot vrvi. Tako nam zgornji del mostu loka s pripadajočimi prečkami predstavlja Vierendeel nosilec.

Pohodna konstrukcija ima zelo majhno torzijsko togost. Pri taki zasnovi je potrebno veliko pozornosti posvetiti dinamiki vetra, saj se lahko zgodi, da vzbujanje vetra povzroči resonanco mostu. [9]

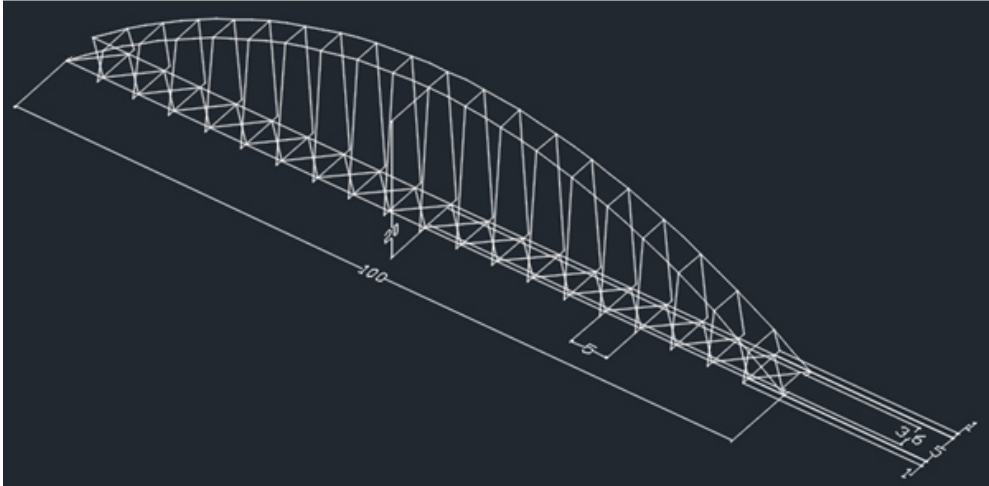
**Končna oblika mostu** je razvidna iz slike 7. Tako zasnovani most lahko poimenujemo kot: jekleni ločni most za pešce z lokom nad prekladno konstrukcijo.



Slika 7: Končna oblika mostu

### 2.3 Dimenzije mostu

Dimenzije mostu so tako sledeče: dolžina mostu  $L = 100$  m, višina mostu  $H = 20$  m, pohodna širina mostu  $B = 5$  m, poleg tega so na vsaki strani mostu dodane 1 m dolge konzole, kot je razvidno iz slike 8.



Slika 8: Dimenzije mostu v 3D

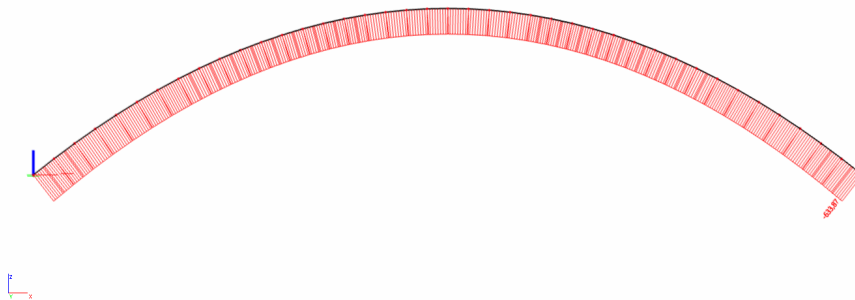
Natančnejši prostorski prikaz mostu je v prilogi A.

### 2.4 Prenos obtežbe

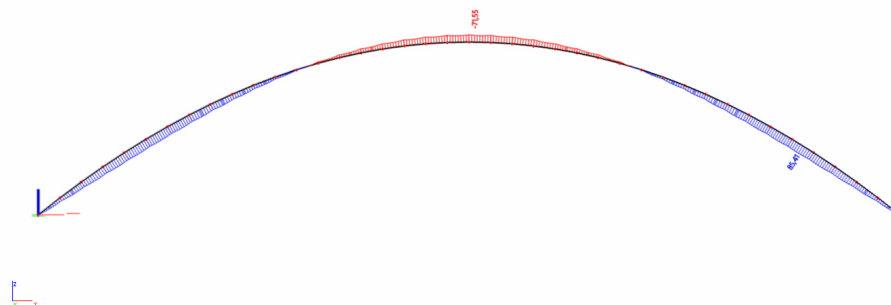
Obtežba se prenaša iz spodnjega dela mostu, preko nateznih vrvi, na tlačena loka mostu, ki ju povezujejo prečke.

Projekcija zgornjega loka na ravnini  $x - z$  je v obliki obrnjene kvadratne parabole ( $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$ ), nato pa je le – ta nagnjena za kot  $\theta$  proti notranjosti mostu. S pomočjo programskega orodja Matlab, smo pripravili DXF datoteko osnovnih linij mostu (priloga B) ter jo uvozili v Scia Engineer.

Da zgornji lok v  $x - z$  ravnini opisuje obrnjeno obliko kvadratne parabole, smo se prepričali tako, da je bil zgornji lok (brez naklona – v ravnini  $x-z$ ) obtežen le z lastno težo in na obeh straneh členkasto nepomično podprt. Obrnjena kvadratna parabola je lep približek obrnjene verižnice, kar posledično pomeni tlačeni lok brez velikih upogibnih momentov; razvidno iz slike 9 in 10.



Slika 9: Osne sile  $N$  (obrnjena kvadratna parabola)

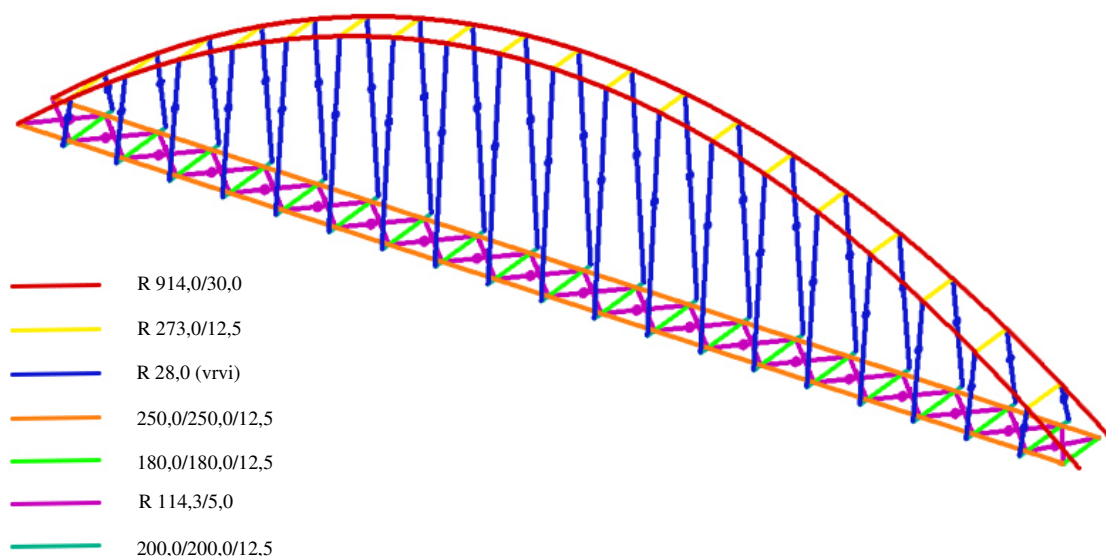


Slika 10: Upogibni moment  $M_y$  (obrnjena kvadratna parabola)

Dejansko sta loka mostu nagnjena izven  $x - z$  ravnine za kot  $\theta$ , zato pridejo rezultati notranjih veličin rahlo drugačni, saj so v loku večji upogibni momenti. Do večjih upogibnih momentov pri zgornjih lokih pride predvsem zaradi upoštevanja globalnih nepopolnosti ter zaradi postavitve koristne obtežbe le na eno stran mostu.

## 2.5 Razporeditev jeklenih profilov po mostu

Na mostu je uporabljenih pet različnih prerezov jeklenih profilov. Iz slike 11 so razvidne pozicije jeklenih profilov na mostu.



Slika 11: Razporeditev jeklenih profilov po mostu

## 2.6 Navodila za montažo [1]

Zgornji del mostu (loka in zgornje prečke) je razdeljen na 5 večjih segmentov. Ti segmenti se zvarijo v delavnici, nato pa so pripeljani na mesto gradnje mostu. Predvidena je prostokonzolna gradnja loka in zgornjih prečk po segmentih, s pomočjo poševnih zateg na obeh straneh mostu. Tudi spoji segmentov so varjeni na mestu gradnje.

Nato se postopoma členkasto pritrjujejo vrvi na zgornja loka.

Spodnji del mostu (spodnja nosilca, spodnje prečke, povezja in konzole) se predhodno zvari v delavnici na 5 večjih segmentov. Prav tako kot zgornji del mostu so segmenti spodnjega dela mostu pripeljani na mesto gradnje mostu. Iz obeh strani mostu segmente členkasto pritrdimo preko vrvi. Spoji segmentov spodnjega dela so prav tako varjeni na mestu gradnje mostu.

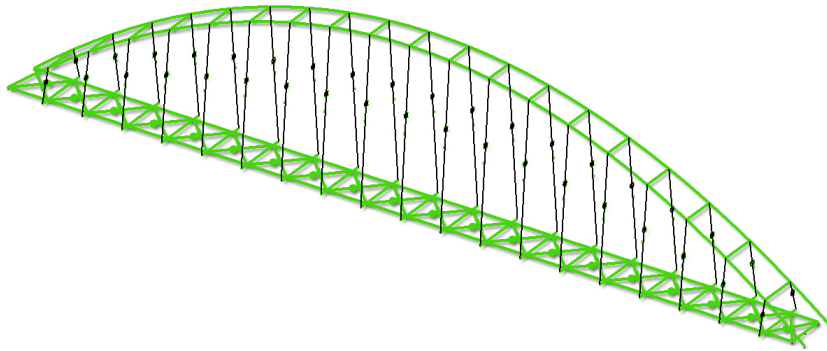
Vsi spoji so varjeni, razen priključki vrvi so členkasti. Ker so spoji varjeni zagotavljajo večjo togost in stabilnost konstrukcije.

## 2.7 Uporabljeni materiali

### 2.7.1 Jeklo

Celoten most je iz jekla S275, razen jeklenih vrvi (slika 12).

#### Jeklo S275



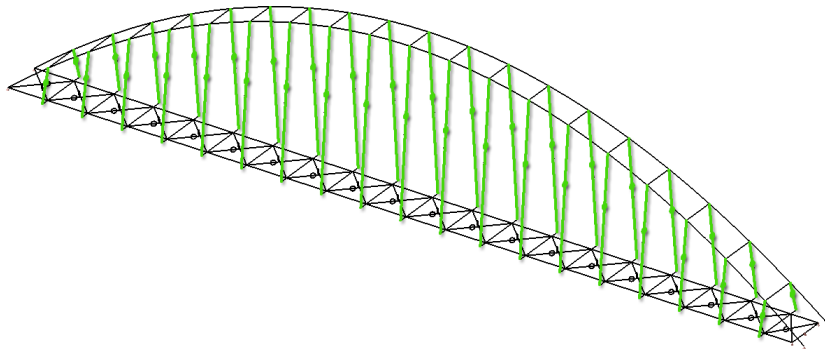
Slika 12: Elementi iz jekla S275

$$f_y = 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_u = 43,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

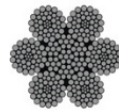
### 2.7.2 Jeklene vrvi

Jeklene vrvi uvrščamo med jeklene natezne elemente in so brez upogibne togosti. Same po sebi niso korozijsko odporne, zato je potrebna protikorozijska zaščita. Jeklene vrvi so vertikalni elementi mostu, kot prikazuje slika 13.



Slika 13: Elementi iz jeklenih vrvi

### Karakteristike izbranih jeklenih vrvi [10]:



Slika 14: Prerez jeklene vrvi 6 x 47 IWRC [11]

- 6 x 47 IWRC z jeklenim jedrom,
- premer 28 mm,
- specifična teža 3,16  $\frac{\text{kg}}{\text{m}}$  ter
- 495 kN minimalne nosilnosti vrvi glede na nominalni premer vrvi pri natezni trdnosti 1770 Mpa.

$$f_y = \frac{495 \text{ kN}}{\pi \cdot (2,8 \text{ cm})^2 / 4} = 80,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

### 2.7.3 Pohodna površina

Pri izbiri pohodne površine je bil cilj izbrati čim lažjo pohodno površino, zaradi obtežbe le-te.



Slika 15: Primer WPC pohodne površine [12]

Na sliki 15 je prikazan primer izbrane pohodne površine mostu. Pohodna površina je sestavljena iz WPC desk, WPC nosilcev ter sekundarne jeklene nosilne konstrukcije.

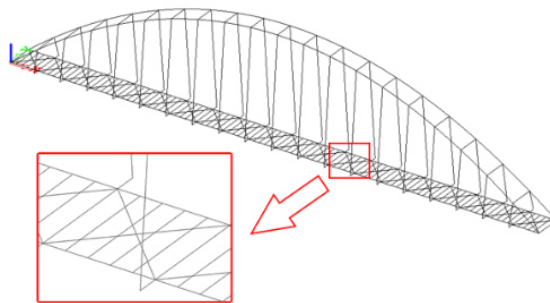
WPC (Wood-Polymer Composites) je material, ki združuje vse kakovostne lastnosti lesa in PVC - ja. WPC izdelki imajo visoko nosilnost, ne drsijo, odporni so na vremenske vplive in skozi življenjsko dobo ne potrebujejo dodatne nege [13].

### Sekundarna nosilna konstrukcija:

Zaradi prevelike razdalje med nosilci, na katere naj bi bili pritrjeni WPC nosilci, so dodani jekleni IPE profili. IPE profili so privarjeni pravokotno na spodnja vzdolžna nosilca, na razdalji 1 m (slika 16), kar skupaj znaša  $80 \times IPE100$  profilov ( $n_{IPE}$ ).

$$n_{IPE} = 4 \cdot \frac{100 \text{ m}}{5 \text{ m}} = 80$$

Nameščeni so tako, da skupaj z elementi mostu ustvarijo ravno površino, na katero so nato položeni WPC nosilci. Kljub temu, da so prečni elementi mostu manjši kot vzdolžna dva nosilca so spoji izvedeni tako, da so zgornji deli elementov poravnani zaradi namestitve pohodne površine.

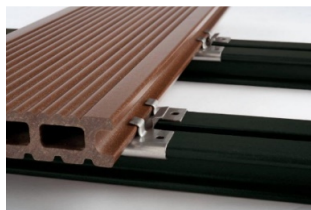


Slika 16: Potek IPE100 nosilcev prečno na most

Dolžina posameznega IPE elementa je 5 m, specifična teža izbranega IPE100 profila pa znaša  $8,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ . Dejanska dolžina IPE elementov je manjša, in sicer za širino enega vzdolžnega nosilca mostu. Upoštevana je bolj stroga predpostavka obtežbe, tako smo na varni strani, saj s tem upoštevamo večjo stalno težo.

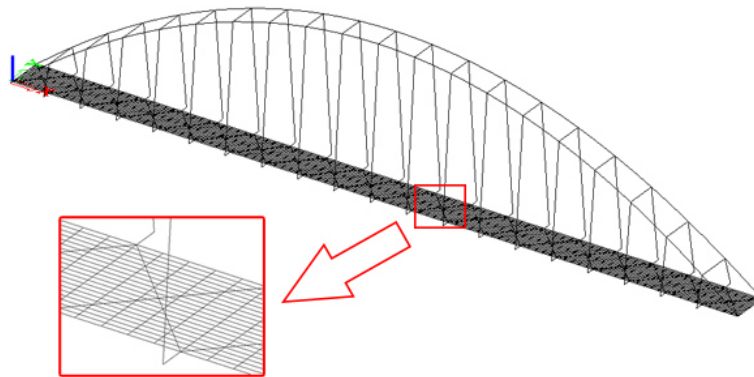
### WPC nosilci:

WPC nosilci so nameščeni na ravno površino, katero ustvarijo IPE elementi ter ostali nosilni elementi mostu. Dobavljivi so skupaj z WPC deskami (slika 17).



Slika 17: Primer WPC nosilcev in WPC desk [14]

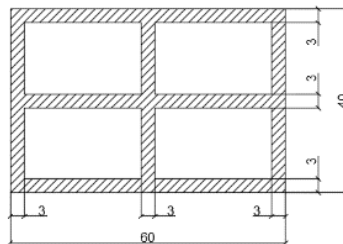
WPC nosilci so pritrjeni na medsebojni razdalji 0,25 m vzdolž mostu, kar skupaj znaša 21 WPC nosilcev ( $n_{WPCnosilcev}$ ), razvidno iz slike 18.



Slika 18: Pozicija WPC nosilcev vzdolžno na most

$$n_{WPCnosilcev} = \frac{5 \text{ m}}{0,25 \text{ m}} + 1 = 21$$

Prerez WPC nosilcev je prikazan na spodnji sliki.



Slika 19: Prerez WPC nosilca

$$A = 8,19 \text{ cm}^2$$

A – površina prereza WPC nosilca

### WPC deske [15]:

WPC deske pritrdimo prečno na WPC nosilce s pomočjo posebnih nastavkov in samo-vreznih vijakov, kot je razvidno iz slike 17. Dimenzije WPC desk so 5000/244/21 mm, tako da je skupaj 399 desk ( $n_{desk}$ ), zaradi 7 mm razmaka med njimi. Specifična teža desk znaša  $3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

$$n_{desk} = \frac{100000 \text{ mm}}{(244+7) \text{ mm}} = 398,4 \rightarrow n_{desk} = 399$$



## 2.7.4 Ograja

Ograja mostu se sestoji iz jeklenih stebričkov, horizontalnih vrvi in horizontalnega nosilca (slika 20).

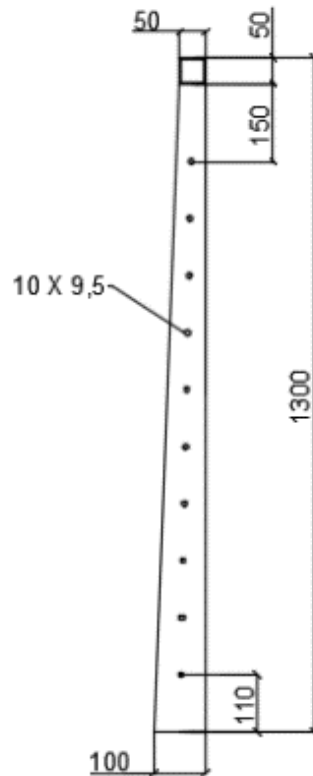


Slika 20: Primer jeklene ograje z vrvmi [16]

### Jekleni stebrički:

Jekleni stebrički so iz nerjavečega jekla (slika 21), umeščeni na razdalji 2,5 m vzdolž mostu na vsaki strani, kar skupaj znaša 82 stebričkov (število stebričkov na posamezni strani je  $n_{stebričkov} = 41$ ). Debelina stebrička je 1,2 cm.

$$n_{stebričkov} = \frac{100 \text{ m}}{2,5 \text{ m}} + 1 = 41$$



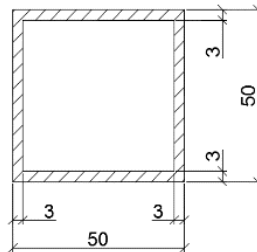
Slika 21: Jeklen stebriček

**Jeklene vrvi [17]:**

Nameščenih je 10 nerjavečih jeklenih vrvi, premera  $\Phi$  9,5 mm na medsebojni vertikalni razdalji 11 cm (slika 21). Specifična teža ene vrvi znaša  $0,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

**Jekleni nosilci:**

Jekleni nosilci škatlastega prereza (slika 22) so pritrjeni na vrhu stebrička (slika 21) in so prav tako kot vrvi, vzporedni s pohodno površino (slika 15).



Slika 22: Prerez jeklenega nosilca na vrhu ograje

$$A = 5,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\gamma = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A – Površina prereza jeklenega nosilca

$\gamma$  – specifična prostorninska teža jekla

**Spoje med nerjavečim in klasičnim jeklom** je potrebno pravilno protikorozijsko zaščititi. Take vrste spoj zaščitimo tako, da na mestu spoja klasično jeklo pravilno zaščitimo proti koroziji.

### 3 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO

#### 3.1 Lastna teža [18]

Skupna teža mostu znaša 183307 kg = 183,3 ton. Od tega je 78 % lastne teže zgornjih dveh lokov.

Lastna teža na tekoči meter mostu ( $g_{lastna}$ ) je:

$$g_{lastna} = \frac{183307 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{100 \text{ m}} = 17982 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 18,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastna teža konstrukcije je v Scia Engineer izračunana in upoštevana samodejno.

#### 3.2 Stalna teža [18]

##### 3.2.1 Ograja

Pri obtežbi zaradi ograje smo vpliv nadomestili s točkovnimi silami na mestu stebričkov. Pri določitvi točkovne sile smo upoštevali teže stebrička, nosilca in vrvi.

$G_S$  – teža stebrička

$G_N$  – teža nosilca na en stebriček

$G_V$  – teža vrvi na en stebriček

$V_S$  – volumen stebrička (odštete luknje na mestih jeklenih vrvi)

$G$  – skupna teža na mestu stebrička

$$V_S = \left( \left( \frac{10 \text{ cm} + 5 \text{ cm}}{2} \right) \cdot 125 \text{ cm} - \frac{(1,2 \text{ cm})^2 \cdot \pi \cdot 10}{4} \right) \cdot 1,2 \text{ cm} = 1111,43 \text{ cm}^3 \\ = 1,11143 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$G_S = \left( 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,11143 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \right) = 85,589 \text{ N} = 0,0856 \text{ kN}$$

$$G_N = \left( 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \right) \cdot 2,5 \text{ m} = 106,66 \text{ N} = 0,1067 \text{ kN}$$

$$G_V = \left( 10 \cdot 0,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot 2,5 \text{ m} = 88,29 \text{ N} = 0,08829 \text{ kN}$$

Ker so stebrički na razdalji 2,5 m je vplivna dolžina enega stebrička polovica te razdalje na vsako stran, torej skupaj 2,5 m.

$$G = G_S + G_N + G_V = 0,0856 \text{ kN} + 0,1067 \text{ kN} + 0,08829 \text{ kN} = 0,281 \text{ kN}$$

Pri vseh stebričkih je upoštevana enaka obtežba, vendar bi lahko pri zadnjih stebričkih upoštevali manjšo, zaradi polovičnega prispevka teže nosilca in teže vrvi (vplivna dolžina polovico manjša). V našem primeru smo upoštevali večjo obtežbo in smo tako na varni strani.

### 3.2.2 Pohodna površina

V stalno obtežbo pri pohodni površini je vključena obtežba zaradi sekundarne nosilne konstrukcije (IPE elementi), WPC nosilcev ter WPC desk. Vpliv pohodne površine smo nadomestili z linijsko obtežbo.

$g_{IPE100}$  – teža sekundarne nosilne konstrukcije na enoto dolžine mostu

$g_{WPCnos}$  – teža WPC nosilcev na enoto dolžine mostu

$g_{WPCdeske}$  – teža WPC desk na enoto dolžine mostu

$g_{poh.pov.}$  – teža pohodne površine na enoto dolžine mostu

$$n_{IPE} = 80$$

$$g_{IPE100} = \frac{5 \text{ m} \cdot 8,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{100 \text{ m}} \cdot 80 = 317,84 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 0,318 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{WPCnosilcev} = 21$$

$$g_{WPCnos} = \left( 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,000819 \text{ m}^2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \cdot 21 = 202,47 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 0,203 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$n_{desk} = 399$$

$$g_{WPCdesk} = \frac{5 \text{ m} \cdot 3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{100 \text{ m}} \cdot 399 = 587,13 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 0,587 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{poh.pov.} = g_{IPE100} + g_{WPCnos} + g_{WPCdesk} = 0,318 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,203 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0,587 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 1,108 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.3 Spremenljiva obtežba [19]

#### 3.3.1 Obtežba pešcev vertikalno

Po standardu EN 1991-2, kjer je možnost nastanka gneče, je priporočena vrednost nadomestne vertikalne obtežbe pešcev na mostove ( $q_{fk}$ ):

$$q_{fk} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Vertikalno obtežbo pešcev prevedemo na linijsko obtežbo ( $q_{p,v}$ ), na enoto dolžine mostu:

$$q_{p,v} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 5 \text{ m} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

#### 3.3.2 Obtežba pešcev horizontalno

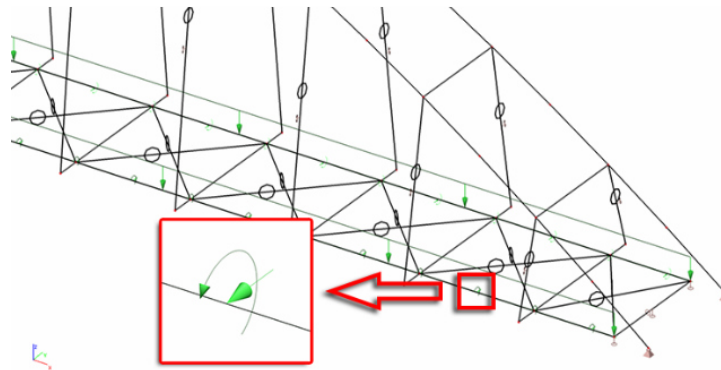
Za mostove, ki so izključno namenjeni pešcem, je priporočeno upoštevati horizontalno obtežbo, katero povzročajo pešci, po standardu EN 1991-2. Ta obtežba deluje v smeri vzdolžne osi mostu in je ocenjena na 60 % vrednosti teže servisnega vozila ali 10 % vrednosti vertikalne obtežbe pešcev. Ker je most

namenjen izključno pešcem, je merodajna 10 % vrednost vertikalne obtežbe pešcev. Obtežba pešcev horizontalno ( $q_{p,h}$ ) je tako enaka:

$$q_{p,h} = 0,1 \cdot \left( 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 5 \text{ m} \right) = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.3.3 Obtežba pešcev na ograjo

Ker obstaja možnost, da se pešci naslonijo na ograjo je potrebno upoštevati tudi ta vpliv. Priporočena vrednost obtežbe pešcev na ograjo znaša  $1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ . Obtežba pešcev na ograjo deluje v smeri prečno na ograjo in povzroča silo ( $Q_O$ ) ter moment ( $M_O$ ), na mestu, kjer je stebriček pritrjen na most (slika 23).



Slika 23: Moment in sila na spodnji nosilec zaradi koristne obtežbe pešcev na ograjo

$$Q_O = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2,5 \text{ m} = 2,5 \text{ kN}$$

$$M_O = 2,5 \text{ kN} \cdot 1,3 \text{ m} = 3,25 \text{ kNm}$$

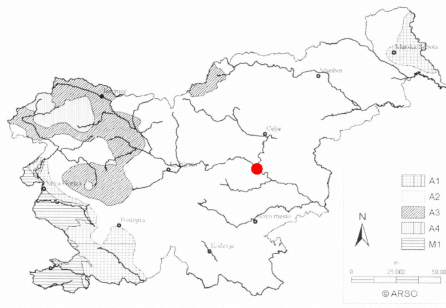
Kot je bilo omenjeno že pri stalni obtežbi ograje, je tu vplivna širina stebrička prav tako 2,5 m. Tudi tokrat so bili upoštevani enaki momenti in sile pri vseh stebričkih.

### 3.3.4 Servisno vozilo

Ker je most namenjen izključno pešcem in kolesarjem, obtežbe servisnega vozila ne upoštevamo.

## 3.4 Obtežba snega [20]

Most leži v Radečah in po slovenskem nacionalnem dodatku k standardu EN 1991-1-3 (Slika 24) spada v cono A2.



Slika 24: Delitev Slovenije na cone po obtežbi snega [20]

Temu območju pripada obtežba snega  $s_k$ :

$$s_k = 1,293 \cdot \left(1 + \left(\frac{A}{728}\right)^2\right) = 1,293 \cdot \left(1 + \left(\frac{194,1}{728}\right)^2\right) = 1,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

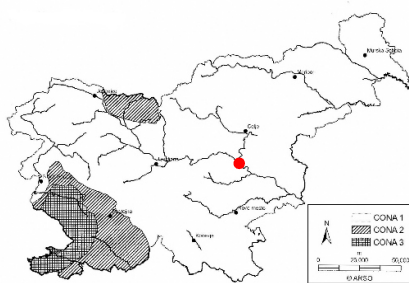
A – nadmorska višina [m]

Na mostu ne pričakujemo sočasne polne obremenitve obtežbe snega in obteže pešcev, zato je v analizi upoštevana le večja od teh. Tako v analizi mostu obtežba snega ni merodajna.

### 3.5 Obtežba vetra [21]

Ker je pri konstrukciji izrazita ena dimenzija, je tako merodajna obtežba vetra le v prečni smeri, v vzdolžni in vertikalni smeri je obtežba vetra zanemarljiva.

Slovenija je po nacionalnem dodatku k standardu EN 1991-1-4 razdeljena na različne vetrovne cone. Vsaki coni je v odvisnosti od nadmorske višine predpisana osnovna hitrost vetra. Za projektiran most velja, da leži v coni 1 pod 800 m nadmorske višine (slika 25).



Slika 25: Delitev Slovenije na vetrovne cone [21]

Tako znaša temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra ( $v_{b,0}$ ):

$$v_{b,0} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Osnovno hitrost vetra ( $v_b$ ) izračunamo:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

$c_{dir}$  – smerni faktor za različne smeri vetra

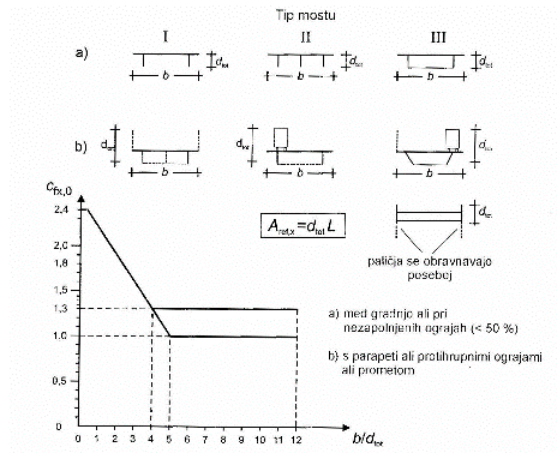
$c_{season}$  – faktor letnega časa

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 \frac{m}{s} = 20 \frac{m}{s}$$

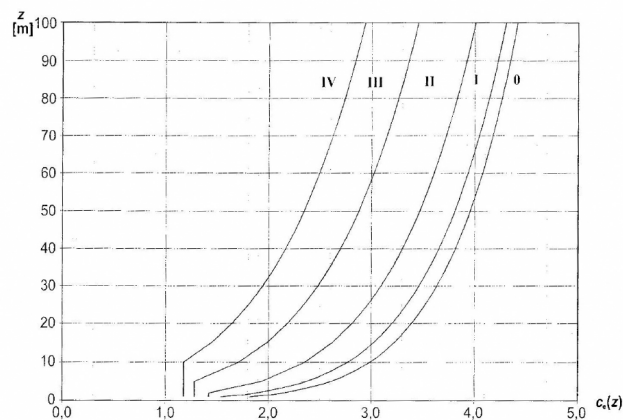
Kategorijo terena I smo predpostavili (jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir). Predpostavili smo tudi višino od najnižje možne gladine reke Save do mostu ;  $z_0 = 10$  m.

Obtežbo vetra določimo ločeno na posamezne elemente mostu. Zaradi obsežnosti problema smo določitev obtežbe vetra na elemente konstrukcije močno poenostavili. Naj še enkrat poudarimo, da bi bila potrebna detajlna dinamična analiza delovanja vetra na most.

Koeficient  $C_{f,x} = 1,3$  (običajni mostovi).



Slika 26: Koeficient sile glede na tip mostu [21]



Slika 27: Diagrami faktorja izpostavljenosti [21]

### 3.5.1 Vpliv vetra na nosilno konstrukcijo

#### SPODNJI NOSILEC

$$z = 10 \text{ m}$$

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 2,8$

$$h_1 = 0,25 \text{ m}$$

$h_1$  – višina spodnjega nosilca

$$f_{w,1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 2,8 \cdot 1,3 \cdot 0,25 \text{ m} = 0,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### ZGORNJI NOSILEC (LOK)

$$z = z_0 + H = 10 \text{ m} + 20 \text{ m} = 30 \text{ m}$$

$$H = 20 \text{ m (višina mostu)}$$

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 3,4$

$$h_2 = 0,9 \text{ m}$$

$h_2$  – premer zgornjega loka

$$f_{w,2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 3,4 \cdot 1,3 \cdot 0,9 \text{ m} = 0,99 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### VRVI

Pri vrveh poračunamo obtežbo glede na vrvi, ki ima največjo višino  $z$ . Zaradi upoštevanja večje obtežbe pri ostalih vrveh smo tako na varni strani.

$$z = z_0 + H = 10 \text{ m} + 20 \text{ m} = 30 \text{ m}$$

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 3,4$

$$h_3 = 0,028 \text{ m}$$

$h_3$  – premer jeklenih vrvi

$$f_{w,3} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_3 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 3,4 \cdot 1,3 \cdot 0,028 \text{ m} = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.5.2 Vpliv vetra na spodnji nosilec zaradi ograje

#### JEKLENI STEBRIČKI OGRAJE

$$z = z_0 + h_s = 10 \text{ m} + 1,25 \text{ m} = 11,25 \text{ m}$$



$h_s$  – višina stebrička

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 2,9$

$$h_4 = 0,012 \text{ m}$$

$h_4$  – širina stebrička

$$f_{w,4} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 2,9 \cdot 1,3 \cdot 0,012 \text{ m} = 0,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### JEKLENI NOSILCI NA OGRAJI

$$z = z_0 + h_n = 10 \text{ m} + 1,3 \text{ m} = 11,3 \text{ m}$$

$h_n$  – višina do jeklenega nosilca

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 2,9$

$$h_5 = 0,05 \text{ m}$$

$h_5$  – premer jeklenega nosilca, ki je na vrhu ograje

$$f_{w,5} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 2,9 \cdot 1,3 \cdot 0,05 \text{ m} = 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### JEKLENE VRVI NA OGRAJI

$$z = z_0 + h_v = 10 \text{ m} + 1,1 \text{ m} = 11,1 \text{ m}$$

$h_v$  – višina do zgornje jeklene vrvi na ograji

Za vse jeklene vrvi na ograji vzamemo višino zgornje vrvi in smo tako na varni strani saj je s tem upoštevana večja obtežba zaradi vetra.

Iz slike 27 odčitamo koeficient izpostavljenosti:  $C_e = 2,9$

$$h_6 = 0,0095 \text{ m}$$

$h_6$  – premer jeklene vrvi na orgaji

$$f_{w,6} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f,x} \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2 \cdot 2,9 \cdot 1,3 \cdot 0,0095 \text{ m} = 0,009 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**Vpliv vetra na ograjo povzroča prečno silo in moment na spodnji nosilec.**

**Prečna sila:**

$$F_{w,s} = 1,25 \text{ m} \cdot 0,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 2,5 \text{ m} \cdot 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 10 \cdot \left(2,5 \text{ m} \cdot 0,009 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) = 0,36 \text{ kN}$$

**Moment:**

$$M_{w,s} = \left(2,5 \text{ m} \cdot 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot 1,275 \text{ m} + \left(1,25 \text{ m} \cdot 0,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot \left(\frac{1,25}{2}\right) \text{ m} + \left(2,5 \text{ m} \cdot 0,009 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot (0,11 \text{ m} + 0,22 \text{ m} + 0,33 \text{ m} + 0,44 \text{ m} + 0,55 \text{ m} + 0,66 \text{ m} + 0,77 \text{ m} + 0,88 \text{ m} + 0,99 \text{ m} + 1,1 \text{ m}) = 0,31 \text{ kNm}$$

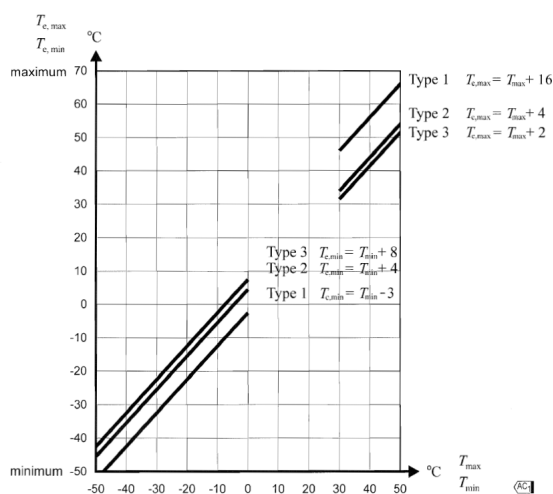
### 3.6 Vpliv temperature [22]

Vpliv temperature je upoštevan po SIST EN 1991-1-5. Mesto merjenja temperature so Radeče ;  $T_{min} = -22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{max} = 37,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Čas montaže mostu je bil predviden v spomladanskem času, tako da je predvidena temperatura  $T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Enakomerna sprememba temperature

Ker je pohodna površina iz kompozitnega materiala je most tipa 2.

$T_{e,min}$  in  $T_{e,max}$  odčitamo iz slike 28 oziroma izračunamo.



Slika 28: Povezava med najvišjo/najnižjo temperaturo zraka v senci ter najvišjo/najnižjo temperaturo konstrukcije [22]

$$T_{e,min} = T_{min} + 4 = -22,9\text{ }^{\circ}\text{C} + 4\text{ }^{\circ}\text{C} = -18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 4 = 37,9\text{ }^{\circ}\text{C} + 4\text{ }^{\circ}\text{C} = 41,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 20\text{ }^{\circ}\text{C} - (-18,9\text{ }^{\circ}\text{C}) = 38,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 41,9\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$T_0$  – temperatura v času montaže

$T_{min}$  – najnižja zunanja temperatura v senci

$T_{max}$  – najvišja zunanja temperatura v senci

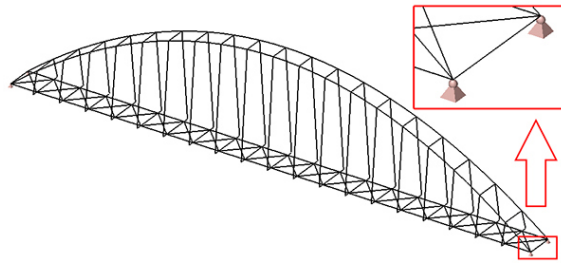
$T_{e,min}$  – najnižja temperatura konstrukcije

$T_{e,max}$  – najvišja temperatura konstrukcije

$\Delta T_{N,con}$  – enakomerna sprememba temperature (skrček)

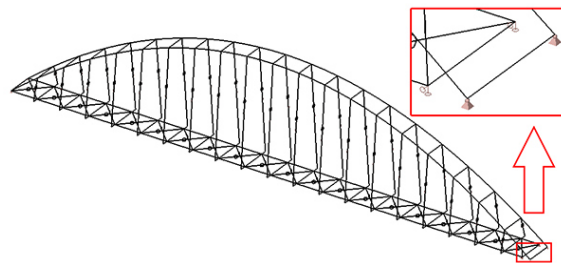
$\Delta T_{N,exp}$  – enakomerna sprememba temperature (raztezek)

Prvotno je bil most zasnovan tako, da so bile 4 nepomične členkaste podpore, kar je razvidno iz slike 29.



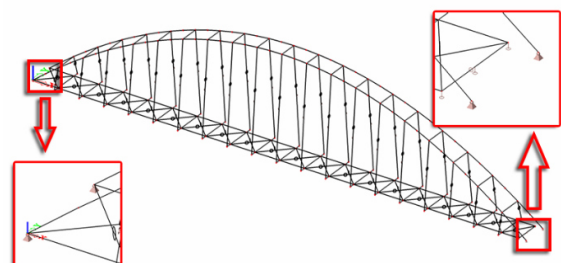
Slika 29: Prvotne podpore na mostu

Zaradi delovanja temperature je bilo potrebno na eni strani mostu ločiti spodnji in zgornji del mostu in sicer tako, da se spodnji del mostu na eni strani lahko prosto razteza; namestili smo pomične podpore v x-smeri (slika 30).



Slika 30: Podpore na mostu po delni optimizaciji

V spodnjih zadnjih dveh prečkah, ki sta nepomično podprti (slika 30) so se zaradi delovanja temperature pojavile velike tlačne osne sile. V izogib temu smo ti dve prečki odstranili, saj se reakcije prenesejo direktno v temeljni blok. Podobna težava se je pojavila v predzadnji prečki, saj je bila tudi ta nepomično členkasto podprta. Težavo smo rešili tako, da smo nepomični podpori spremenili v pomični podpori v x in y-on smeri. Dodati je bilo potrebno na sredini prečke podporo, ki je pomična le v x-smeri (slika 31).



Slika 31: Končne podpore na mostu

Neenakomerna sprememba temperature ni bila upoštevana.

Vse obtežbe na konstrukcijo so nazorno prikazane v prilogi C.

## 4 OBREMENITVE [23]

### 4.1 Mejna stanja

V mejnem stanju nosilnosti (MSN) mora konstrukcija prevzeti dane obremenitve. Pri dani obremenitvi ne sme priti do lokalne ali globalne odpovedi konstrukcije. Za zagotavljanje lokalne odpornosti naredimo kontrolo nosilnosti prereza, za zagotavljanje globalne nosilnosti pa je potrebno preveriti lokalno in globalno stabilnost posameznih elementov oziroma konstrukcije.

Mejno stanje uporabnosti (MSU) pa temelji na kriterijih pomikov, deformacij ter nihanj. V mejnem stanju uporabnosti smo preverili pomike mostu, da le-ti niso bili prekoračeni. Pri takšni konstrukciji je v MSU bolj kritično zagotavljanje dovoljenih lastnih frekvenc, katere smo tudi preverjali in jih z izboljšanjem konstrukcije skušali popraviti tako, da bi bile v dovoljenih območjih.

### 4.2 Kombinacije obtežb

Kombinacije obtežb smo določili brez uporabe računalniških programov. Na tak način smo lahko kontrolirali kombinacije in postavitve le-teh.

Upoštevane obtežbe na konstrukcijo so:

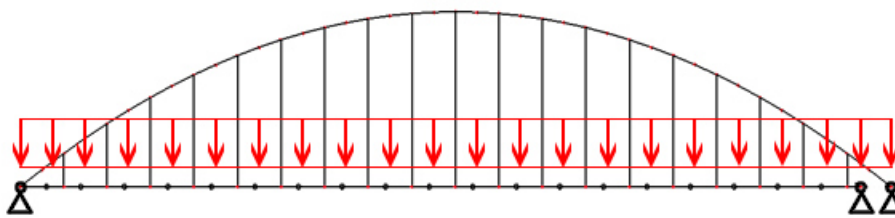
- lastna + stalna obtežba,
- koristna obtežba,
- veter in
- temperatura.

Obtežbe snega nismo upoštevali, ker ne obstaja možnost, da bi hkrati delovala polna koristna obtežba in obtežba snega, zato smo v analizi upoštevali le koristno obtežbo, ki je bistveno večja.

Obtežba potresa prav tako ni bila upoštevana v analizi.

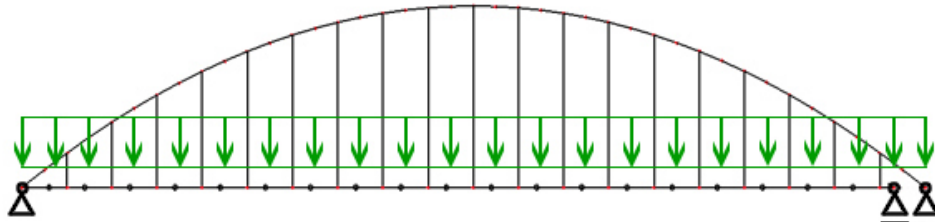
Na spodnjih slikah so prikazane postavitve obtežb.

#### Lastna + stalna obtežba:

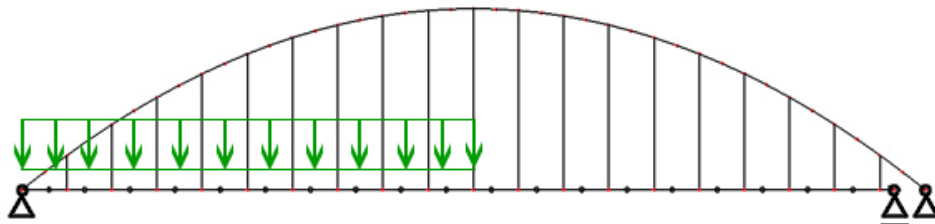


Slika 32: Lastna + stalna obtežba

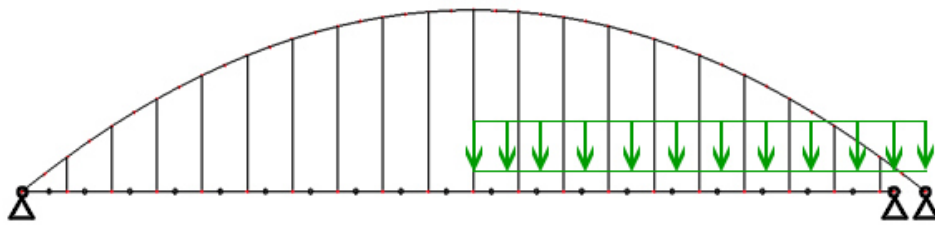
**Koristna obtežba:**



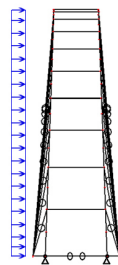
*Slika 33: Koristna obtežba celota*



*Slika 34: Koristna obtežba leva polovica*



*Slika 35: Koristna obtežba desna polovica*

**Veter:**

Slika 36: Veter

Kombinirali smo:

- lastna + stalna obtežba, veter in vse različne postavitve koristne obtežbe,
- lastna + stalna obtežba, temperatura (+) in vse različne postavitve koristne obtežbe,
- lastna + stalna obtežba, temperatura (-) in vse različne postavitve koristne obtežbe.

Kombinirali smo tako, da je enkrat prevladujoča koristna obtežba, enkrat pa je prevladujoči vpliv temperature.

Obtežne kombinacije s faktorji so bolj nazorno prikazane v spodnji tabeli.

Tabela 1: Obtežne kombinacije za mejna stanja nosilnosti

	Vodilna koristna obtežba			Vodilna temperatura	
	MSN1	MSN2	MSN3	MSN4	MSN5
Lastna + stalna	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Koristna	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot 0,6$	$1,5 \cdot 0,6$
Veter	$1,5 \cdot 0,6$	0	0	0	0
Temperatura +	0	$1,5 \cdot 0,6$	0	1,5	0
Temperatura -	0	0	$1,5 \cdot 0,6$	0	1,5

Pri vseh kombinacijah so znotraj teh še tri kombinacije, ki so posledica različne postavitve koristne obtežbe, kot je razvidno iz zgornjih slik.

Tabela 2: Obtežne kombinacije za mejna stanja uporabnosti

	MSU1	MSU2	MSU3
Lastna + stalna	1,0	1,0	1,0
Koristna	$1,0 \cdot 0,3$	$1,0 \cdot 0,3$	$1,0 \cdot 0,3$
Veter	$1,0 \cdot 0,3$	0	0
Temperatura +	0	$1,0 \cdot 0,3$	0
Temperatura -	0	0	$1,0 \cdot 0,3$

Tudi pri mejnem stanju uporabnosti so znotraj teh kombinacij upoštevane še kombinacije z različnimi postavitvami koristne obtežbe.

## 5 GLOBALNA ANALIZA

### 5.1 Splošno o globalni analizi

S pomočjo računalniškega programa Scia Engineer je bila izvršena globalna analiza konstrukcij. Obravnavali smo linearno analizo, linearno stabilnost konstrukcije in nelinearno analizo z upoštevanjem začetnih nepopolnosti.

### 5.2 Linearna analiza

Izvedli smo linearno analizo s pomočjo katere smo določili začetne dimenzije posameznih profilov mostu.

### 5.3 Stabilnost konstrukcije

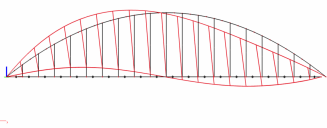
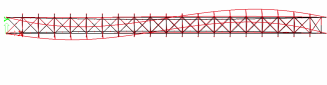
Pri računu linearne stabilnosti smo ugotovili, da je potrebno pri globalni analizi upoštevati teorijo drugega reda (TDR), saj je bil  $\alpha_{CR} < 10$ .  $\alpha_{CR}$  je mejni obtežni faktor s katerim še lahko pomnožimo obtežbo mostu, da bo konstrukcija globalno še stabilna. Pri TDR je potrebno zajeti globalne in lokalne nepopolnosti. Globalne nepopolnosti konstrukcije smo zajeli tako, da smo upoštevali globalne začetne nepopolnosti, lokalne nepopolnosti pa smo zajeli z uklonskimi krivuljami.

#### 5.3.1 Začetne globalne nepopolnosti [24]

Začetne globalne nepopolnosti so lahko v ravnini loka ali izven ravnine loka [25], kar je razvidno iz tabele 2, kjer so prikazane dejanske začetne globalne nepopolnosti mostu.

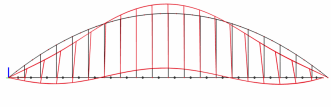

Dovoljene začetne amplitude smo določili na podlagi standarda EN 1993-2:2006 iz dodatka D; tabela z obliko in amplitudo nepopolnosti za lok (priloga D).

Tabela 3: Začetne globalne nepopolnosti s pripadajočimi amplitudami

Začetna globalna nepopolnost	Oblika nepopolnosti	Amplitude
	Nesimetrični uklon v ravnini loka.	$l = 100 \text{ m}$ $e_0 = \frac{l}{600} = \frac{100 \text{ m}}{600} = 166,67 \text{ mm}$
	Uklon izven ravnine loka.	$l = 50 \text{ m}$ $l \geq 20 \text{ m}$ $l_1 = \sqrt{20 \cdot l[\text{m}]} = \sqrt{20 \cdot 50} = 31,63 \text{ m}$ $e_0 = \frac{l_1}{300} = \frac{31,63 \text{ m}}{300} = 105,4 \text{ mm}$

se nadaljuje...

...nadaljevanje tabele 2.

	<p>Simetrični uklon v ravnini loka.</p>	$l = 100 \text{ m}$ $l \geq 20 \text{ m}$ $l_1 = \sqrt{20 \cdot l[\text{m}]} = \sqrt{20 \cdot 100} = 44,72 \text{ m}$ $e_0 = \frac{l_1}{300} = \frac{44,72 \text{ m}}{300} = 149,1 \text{ mm}$
	<p>Uklon izven ravnine loka.</p>	$s = \frac{109,83 \text{ m}}{3} = 36,61 \text{ m}$ <p>(109,83 m je dolžina loka)</p> $e_0 = \frac{s}{300} = \frac{36,61 \text{ m}}{300} = 122,03 \text{ mm}$

#### 5.4 Nelinearna analiza

V konstrukcijo smo vnesli začetne globalne nepopolnosti in nato izvedli nelinearno analizo. Konstrukcijo mostu smo dimenzionirali na notranje količine dobljene z nelinearno analizo. Dimenzionirali smo na ovojnico notranjih sil za vse možne kombinacije. Ovojnica dobljenih notranjih sil, na katere smo dimenzionirali, je razvidna iz priloge E.

#### 5.5 Lastne frekvence

Glavna težava pri projektiranju mostu je bila zagotoviti dovoljene lastne frekvence.

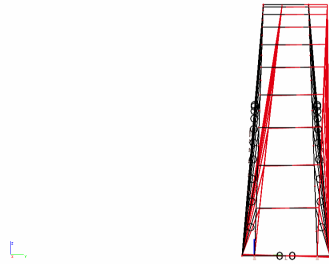
Lastne frekvence mostu pripadajo masni kombinaciji v kateri sta vključeni lastna in stalna teža. Prvih 10 lastnih nihajnih oblik in pripadajočih frekvenc je razvidnih iz tabele 4.

Tabela 4: Lastne frekvence

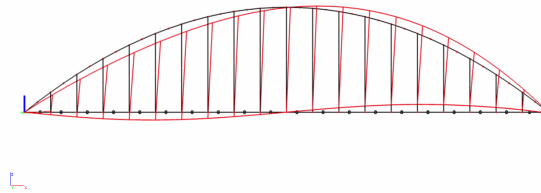
Nihajna oblika	Smer	$f_0$ [Hz]
1	Prečno	0,45
2	Vertikalno	0,67
3	Prečno	0,93
4	Vertikalno	1,57
5	Prečno	1,78
6	Prečno	2,01
7	Vertikalno	2,84
8	Prečno	3,47
9	Torzijsko	4,14
10	Vertikalno	4,26



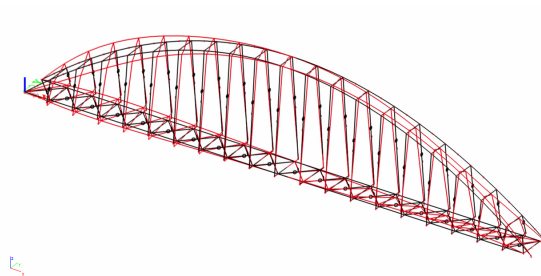
Na spodnjih slikah so prikazane tri različne nihajne oblike mostu.



Slika 37: 1. prečna nihajna oblika ( $f_0 = 0,45 \text{ Hz}$ )



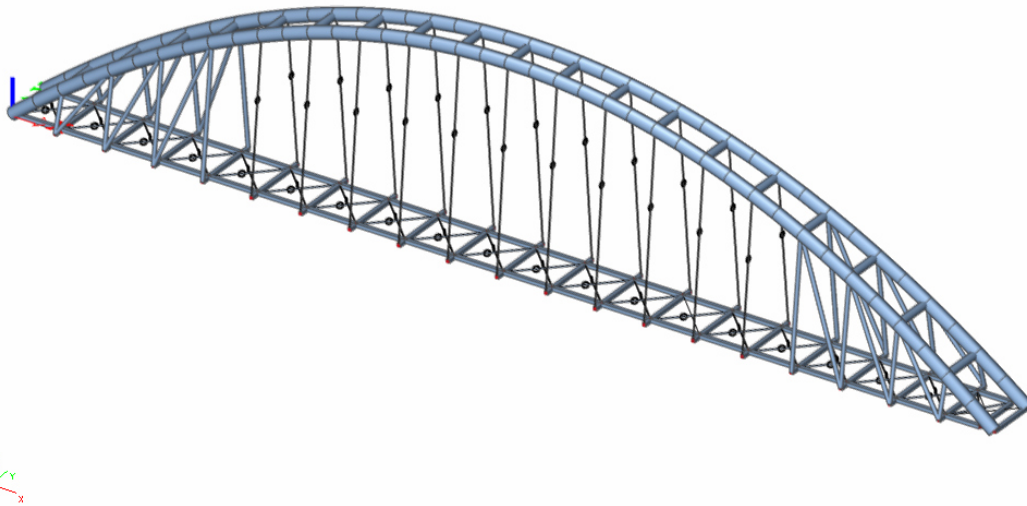
Slika 38: 1. vertikalna nihajna oblika ( $f_0 = 0,67 \text{ Hz}$ )



Slika 39: 1. torzijska nihajna oblika ( $f_0 = 4,14 \text{ Hz}$ )

Iz priporočila so za most kritične vertikalne nihajne oblike z lastno frekvenco med 1,25 in 2,3 Hz ter prečne nihajne oblike z lastno frekvenco med 0,5 do 1,2 Hz [26]. Ker je večina dobljenih lastnih frekvenc mostu v območju kritičnih lastnih frekvenc, most ne izpolnjuje pogojev za omejitev lastnih frekvenc.

Konstrukcijo mostu smo spreminjali, da bi izboljšali togost in s tem zadostili pogojem lastnih frekvenc. Most smo togo vpeli na obeh straneh vendar ni bilo bistvenih sprememb glede lastnih frekvenc. Nato smo na vsaki strani mostu namesto štirih vrvi namestili tlačno odporne elemente ter jim dodali še istovrstne diagonalne elemente (slika 40). Prišli smo do skoraj dovoljenih lastnih frekvenc, problem je bila samo še ena nihajna oblika, vendar le za malo.



Slika 40: Preoblikovanje mostu za zagotavljanje lastnih frekvenc

Cilj v diplomski nalogi ni bil spreminjanje konstrukcije, posledično je konstrukcija mostu ostala nespremenjena (kot je predstavljeno v prejšnjih poglavjih). Zavedati pa se moramo, da **most ne izpolnjuje pogojev glede priporočil za lastne frekvence**.

Izvesti bi bilo potrebno dodatne dinamične analize, kjer bi za različne načine vzbujanja konstrukcije izračunali odziv konstrukcije in pospeške vozlišč. Če konstrukcija ne bi zadostila največjim dovoljenim pospeškom, je ena izmed možnih rešitev, ki ne vpliva na zastavljeno zasnovano nosilne konstrukcije, namestitvev dušilcev s katerimi bi dosegli povečano dušenje konstrukcije. Ponovno bi izvedli dinamično analizo in preverili ali ustreza kriterijem. [26]

## 5.6 Pomiki

Maksimalni vertikalni pomik mostu znaša  $u_z = 123,5 \text{ mm} = 12,35 \text{ cm}$  na dolžini 50 m, kar znaša približno  $\frac{l}{400} = \frac{5000 \text{ cm}}{400} \cong 12,35 \text{ cm}$ .

Vsi pomiki mostu so točno razvidni v prilogi F.

## 6 DIMENZIONIRANJE [27], [29]

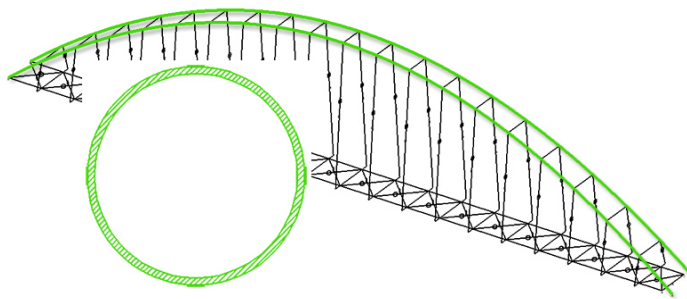
Jekleni del konstrukcije smo dimenzionirali po standardu EN 1993-2 in EN 1993-1-1. Pomembna razlika med projektiranjem jeklenih stavb in jeklenih mostov je, da se pri projektiranju jeklenih mostov uporablja faktor  $\gamma_{M1} = 1,1$  namesto faktor  $\gamma_{M1} = 1,0$ .

Nosilnost prerezov in stabilnost elementov smo preverili na najbolj obremenjenih posameznih elementih, in sicer glede na ovojnico notranjih sil.

Vpliv globalnih nepopolnosti je v analizi konstrukciji upoštevan pri nelinearni analizi, zato jasno dobimo večje notranje sile. Pri kontroli nosilnosti lahko zato za uklonske razdalje posameznih elementov uporabimo sistemske dolžine.

V elementih kjer so se pojavile tlačne osne sile smo preverili stabilnost elementov ter s tem zajeli lokalne nepopolnosti. Ker so elementi zaprtega prečnega prereza bočna zvrnitev nikoli ni merodajna.

### 6.1 Zgornji nosilci okroglega prereza



Slika 41: Pozicije zgornjih nosilcev

#### 6.1.1 Podatki o profilu

$$D = 914 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm}$$

$$A = 833 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 814780 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 17829 \text{ cm}^3$$

#### 6.1.2 Obremenitve

$$N_{Ed} = -1768,1 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 3552,9 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 250,9 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = -30,8 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = +253,6 \text{ kN}$$

### 6.1.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{D}{t} = \frac{914 \text{ mm}}{30 \text{ mm}} = 30,47 \leq 50 \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,924^2 = 42,73$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

### 6.1.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 22907,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 1678,3 \text{ kN} \leq 22907 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1768,1 \text{ kN}}{22907,5 \text{ kN}} = 0,08 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### 6.1.5 Odpornost prereza na upogibni moment

Zaradi simetričnosti prereza preverjeno le na maksimalni upogibni moment.

$$M_{el,y,Rd} = M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17829 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 490297,5 \text{ kNcm} = 4903 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 3552,9 \text{ kNm} \leq 4903 \text{ kNm} \rightarrow \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{3552,9 \text{ kNm}}{4903 \text{ kNm}} = 0,73 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### 6.1.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1768,1 \text{ kN}}{22907 \text{ kN}} + \frac{3552,9 \text{ kNm}}{4903 \text{ kNm}} + \frac{250,9 \text{ kNm}}{4903 \text{ kNm}} = 0,85 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### 6.1.7 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 8817,1 \text{ kN}$$

Preverjeno le na maksimalno prečno silo.

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 253,6 \text{ kN} \leq 8817,1 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{253,6 \text{ kN}}{8817,1 \text{ kN}} = 0,03 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### 6.1.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

$$253,6 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 8817,1 \text{ kN} = 4408,6 \text{ kN}$$

Kontrola kombinacije striga in upogibnega momenta ni potrebna.

### 6.1.9 Stabilnost

**Upogibni uklon:**

$$l_u = 542,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{814780 \text{ cm}^4}{833 \text{ cm}^2}} = 31,3 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{542,4 \text{ cm}}{31,3 \text{ cm} \cdot 86,8} = 0,20$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,20 - 0,2) + 0,20^2) = 0,52$$

$$\chi = 1,0, \text{ ker je } \bar{\lambda} \leq 0,2$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 20825 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 1768,1 \text{ kN} \leq 20825 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1768,1 \text{ kN}}{20825 \text{ kN}} = 0,09 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

**Tlačno in upogibno obremenjeni elementi:**

Prerez je v prvem razredu kompaktnosti, zato velja  $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$ .

Element ni občutljiv na bočno zvrnitev.

Vzeli smo, da je moment po elementu konstanten, zato velja, da je  $\psi = 1,0$ .

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,20 \cdot \frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right) \\ \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,01 \leq 1,05$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,20 \cdot \frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right) \\ \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{zz} = 1,01 \leq 1,05$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 1,01$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,01 = 0,81$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,01 \cdot \frac{355290 \text{ kNcm} + 0 \cdot 1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 17829 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,01 \\ \cdot \frac{25090 \text{ kNcm} + 0 \cdot 1768,1 \text{ kN}}{17829 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,94 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$
$$\frac{1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 833 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 0,81 \cdot \frac{355290 \text{ kNcm} + 0 \cdot 1768,1 \text{ kN}}{1,0 \cdot 17829 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,01$$
$$\cdot \frac{25090 \text{ kNcm} + 0 \cdot 1768,1 \text{ kN}}{17829 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,79 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

Dimenzioniranje ostalih elementov mostu je dodano v prilogi H.

## 7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je predstavljen razvoj mostu od same ideje do dimenzioniranja elementov.

Ideja je bila zasnovati most za pešce, ki ne bo podoben že obstoječemu paličnemu mostu čez reko Savo v Radečah. Izbrali smo koncept jeklenega ločnega mostu za pešce z lokom nad prekladno konstrukcijo. Zgornja loka sta v obliki obrnjene kvadratne parabole, nagnjene za nekaj stopinj proti notranjosti. Obrnjena kvadratna parabola je dober približek obrnjene verižnice, kar posledično pomeni, da sta bila zgornja loka predvsem tlačno obremenjena. Zaradi nagnjenosti zgornjih lokov proti notranjosti ter upoštevanja globalnih nepopolnosti konstrukcije pa se v loku pojavijo tudi večji upogibni momenti.

Izbrali smo kvaliteto jekla za nosilno konstrukcijo in sicer je nosilna konstrukcija iz jekla S275. Vertikalni elementi mostu so natezno obremenjene jeklene vrvi. Določili smo pohodno površino, ki zajema sekundarno nosilno konstrukcijo IPE100, WPC nosilce ter WPC deske. Zaradi določitve obtežb smo opredelili tudi ograjo mostu, katera se sestoji iz jeklenih stebričkov in vodoravnih jeklenih vrvi.

Definirali smo obtežbe na most, in sicer lastno obtežbo, stalno obtežbo, obtežbo pešcev, obtežbo snega, obtežbo vetra ter vpliv temperature. Obtežbe potresa v analizo nismo vključili.

Določili smo obtežne kombinacije za mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti, kjer smo upoštevali vse možne kombinacije prej omenjenih obtežb.

Izvedli smo globalno analizo konstrukcije. Izvedena je bila linearna analiza mostu na podlagi katere smo definirali začetne prereze elementov. Nato je bila izvedena linearna stabilnost konstrukcije, kjer smo ugotovili, da je bilo potrebno izvesti še nelinearno analizo z upoštevanjem začetnih nepopolnosti, saj je bil  $\alpha_{CR} < 10$ . V konstrukcijo so bile vnesene globalne nepopolnosti konstrukcije, lokalne nepopolnosti konstrukcije pa so zajete v preverjanju stabilnosti posameznih elementov mostu.

Sledilo je dimenzioniranje elementov glede na ovojnico notranjih veličin dobljenih z nelinearno analizo konstrukcije.

Zaradi velikega razpona mostu je konstrukcija izjemno vitka, zato je bilo kritično mejno stanje uporabnosti in ne mejno stanje nosilnosti. Posledično konstrukcija ne izpolnjuje zahtev o lastnih frekvencah in bi bilo potrebno izvesti dodatno dinamično analizo mostu.

Pridobljenega je veliko novega znanja predvsem pa si sedaj bolj nazorno predstavljamo delo projektanta gradbenih konstrukcij.



## VIRI

- [1] Most. 2014.  
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Most> (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [2] Solkanski most.  
[http://kraji.eu/slovenija/solkanski\\_most/slo](http://kraji.eu/slovenija/solkanski_most/slo) (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [3] Dubai.  
<http://www.funonthenet.in/articles/dubai-bridge.html> (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [4] Ironbridge. 2007.  
<http://www.fcet.staffs.ac.uk/jdwl/ironbridge.html> (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [5] Te Rewa Rewa Bridge. 2014.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Te\\_Rewa\\_Rewa\\_Bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/Te_Rewa_Rewa_Bridge) (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [6] Google Maps, Radeče.  
<https://www.google.si/maps/preview> (Pridobljeno 7. 8. 2014.)
- [7] Železni most čez Savo. 2013.  
<http://www.ktrc-radece.si/arhitekturna-dediscina/zelezni-most-cez-savo/> (Pridobljeno 14.8. 2014.)
- [8] Jason S. et. al.: Span-to-rise ratios in concrete arches: threshold values for efficient behaviour, Proceeding of 6th International Conference on Arch Bridges, 11-13 Oktober, 2010, str. 665 - 673.
- [9] Tacoma Narrows Bridge (1940). 2014.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma\\_Narrows\\_Bridge\\_%281940%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma_Narrows_Bridge_%281940%29)
- [10] Wire Rope Specification. 2012.  
<http://www.steelwirerope.com/WireRopes/Constructions/GeneralEngineering/6x47-IWRC-wire-rope.html#U7vGPrHLOSo> (Pridobljeno 8. 7. 2014.)
- [11] Wire Rope. 2012.  
<http://www.steelwirerope.com/WireRopes/Constructions/GeneralEngineering/6x47-IWRC-wire-rope.html> (Pridobljeno 8. 7. 2014.)
- [12] Wood plastic wall panel.  
[http://www.bombayharbor.com/Product/36818/Wood\\_Plastic\\_Wpc\\_Decking\\_Joist\\_Lhma030.html](http://www.bombayharbor.com/Product/36818/Wood_Plastic_Wpc_Decking_Joist_Lhma030.html) (Pridobljeno 30.6. 2014.)
- [13] Navodila za vgradnjo in vzdrževanje WPC zunanjih talnih oblog. 2011.  
<http://www.alpod.si/tehnica-navodila/navodila-za-vgradnjo-in-vzdrzevanje-wpc-zunanjih-talnih-oblog/> (Pridobljeno 30.6. 2014.)
- [14] WPC: Vorteile und Nachteile. 2014.  
<http://www.holz-service-24.de/wpc-vorteile-und-nachteile/> (Pridobljeno 30.6. 2014.)
- [15] Navodila za vgradnjo in vzdrževanje WPC zunanjih talnih oblog. 2011.  
<http://www.alpod.si/tehnica-navodila/navodila-za-vgradnjo-in-vzdrzevanje-wpc-zunanjih-talnih-oblog/> (Pridobljeno 30.6. 2014.)
- [16] Mostovi kot znamenitost. 2012.  
<http://www.mladina.si/109610/mostovi-kot-znamenitost/> (Pridobljeno 21.6. 2014.)
- [17] Wire Rope - Strength.  
[http://www.engineeringtoolbox.com/wire-rope-strength-d\\_1518.html](http://www.engineeringtoolbox.com/wire-rope-strength-d_1518.html) (Pridobljeno 30.6. 2014.)

- [18] SIST EN 1991-1-1:2002. Action on structures-Part 1-1: General actions - Densities, self – weight, imposed loads for buildings.
- [19] SIST EN 1991-1-2:2004. Action on structures – Part 2: Traffic loads on bridges.
- [20] SIST EN 1991-1-3:2003. Action on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads.
- [21] SIST EN 1991-1-4:2004. Action on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions.
- [22] SIST EN 1991-1-5:2003. Action on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions.
- [23] SIST EN 1990:2000. Basic of structural design.
- [24] SIST EN 1993-2:2006. Design of steel structures – Part 2: Steel bridges.
- [25] R.C. Spoorenberg et. al.: Design rules for out-of – plane stability of roller bent steel arches with FEM, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 79, No. 9931, 2012, str. 9 - 21.
- [26] Design of Footbridges: Guideline.  
<http://www.stb.rwth-aachen.de/projekte/2007/HIVOSS/download.php> (Pridobljeno 21.6. 2014.)
- [27] SIST EN 1993-1-1:2005. Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [28] Knjižnica DXFLib.  
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/33884-dxflib> (Pridobljeno 25.4. 2014)
- [29] Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.

**Ostali viri:**

Beg, D. (ur.), Pogačnik, A. (ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 1077 str.

Nemetschek Group. 1974. Program za projektiranje in analizo gradbenih konstrukcij: Scia Engineer.

## SEZNAM PRILOG

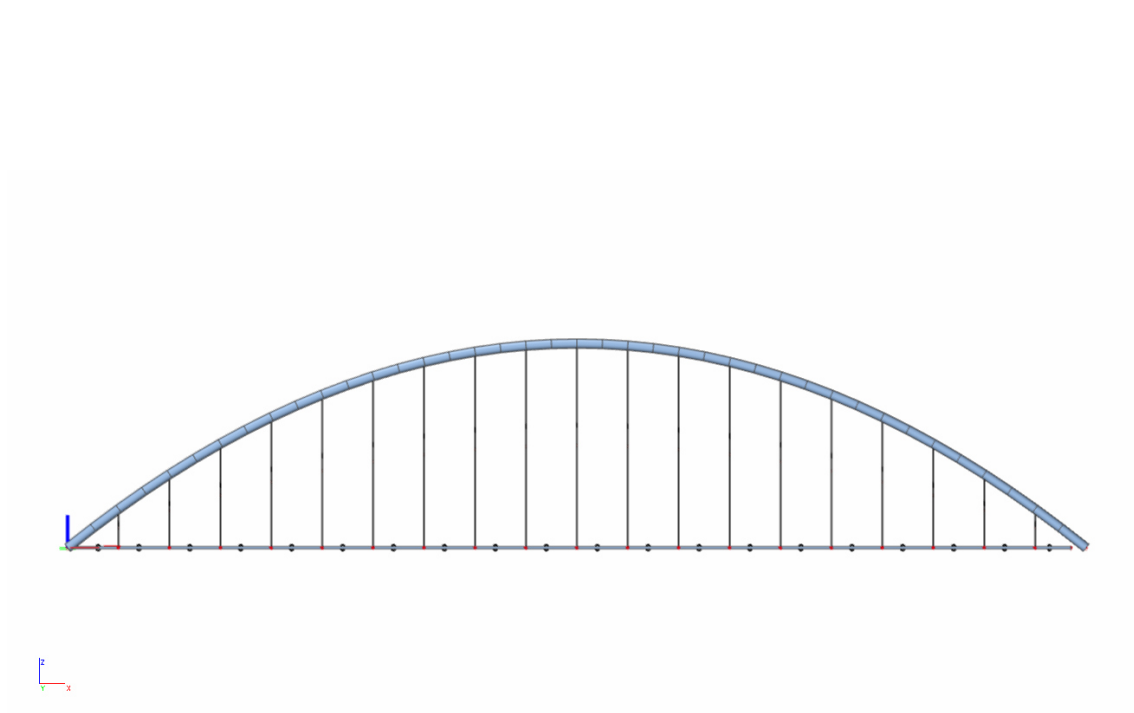
<b>PRILOGA A: PROSTORSKI PRIKAZ MOSTU</b>	<b>A.1</b>
<b>PRILOGA B: MATLAB</b>	<b>B.1</b>
<b>PRILOGA C: OBTEŽBE</b>	<b>C.1</b>
<b>PRILOGA D: TABELA Z OBLIKO IN AMPLITUDO NEPOPOLNOSTI ZA LOK</b>	<b>D.1</b>
<b>PRILOGA E: NOTRANJE SILE (OVOJNICA)</b>	<b>E.1</b>
<b>PRILOGA F: POMIKI</b>	<b>F.1</b>
<b>PRILOGA G: DIMENZIONIRANJE</b>	<b>G.1</b>
<b>PRILOGA H: DIMENZIONIRANJE PREOSTALIH ELEMENTOV [26],[28]</b>	<b>H.1</b>
H.1 Zgornje prečke okroglega prereza	H.1
H.1.1 Podatki o profilu	H.1
H.1.2 Obremenitve	H.1
H.1.3 Klasifikacija prereza	H.1
H.1.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev	H.2
H.1.5 Odpornost prereza na upogibni moment	H.2
H.1.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	H.2
H.1.7 Strižna odpornost prereza	H.2
H.1.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta	H.3
H.1.9 Stabilnost	H.3
H.2 Vrvi okroglega prereza	H.6
H.2.1 Podatki o profilu	H.6
H.2.2 Obremenitve	H.6
H.2.3 Odpornost prereza na natezno obremenitev	H.6
H.3 Spodnji nosilci kvadratnega prereza	H.7
H.3.1 Podatki o profilu	H.7
H.3.2 Obremenitve	H.7
H.3.3 Klasifikacija prereza	H.7
H.3.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev	H.8
H.3.5 Odpornost prereza na upogibni moment	H.8
H.3.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	H.8
H.3.7 Strižna odpornost prereza	H.8
H.3.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta	H.9
H.3.9 Stabilnost	H.9
H.4 Spodnje prečke kvadratnega prereza	H.11
H.4.1 Podatki o profilu	H.11
H.4.2 Obremenitve	H.11

H.4.3 Klasifikacija prereza	H.11
H.4.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev	H.12
H.4.5 Odpornost prereza na upogibni moment	H.12
H.4.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	H.12
H.4.7 Strižna odpornost prereza	H.12
H.4.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta	H.13
H.4.9 Stabilnost	H.13
H.5 Konzole kvadratnega prereza	H.15
H.5.1 Podatki o profilu	H.15
H.5.2 Obremenitve	H.15
H.5.3 Klasifikacija prereza	H.15
H.5.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev	H.16
H.5.5 Odpornost prereza na upogibni moment	H.16
H.5.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	H.16
H.5.7 Strižna odpornost prereza	H.16
H.5.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta	H.17
H.5.9 Stabilnost	H.17
H.6 Povezja okroglega prereza	H.19
H.6.1 Podatki o profilu	H.19
H.6.2 Obremenitve	H.19
H.6.3 Klasifikacija prereza	H.19
H.6.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev	H.20
H.6.5 Stabilnost	H.20

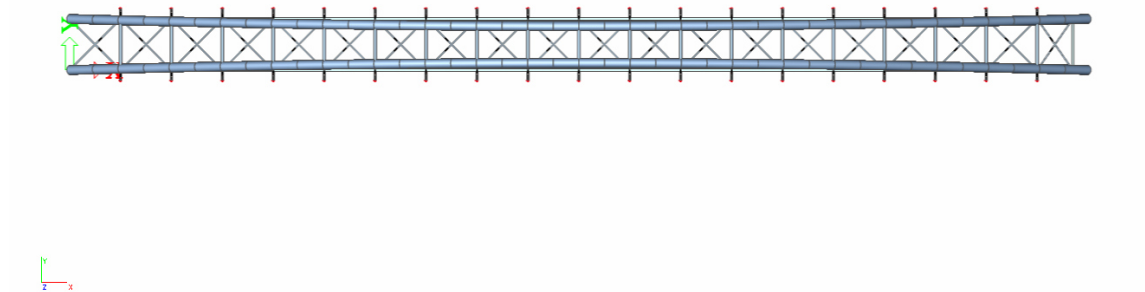
## PRILOGA A: PROSTORSKI PRIKAZ MOSTU



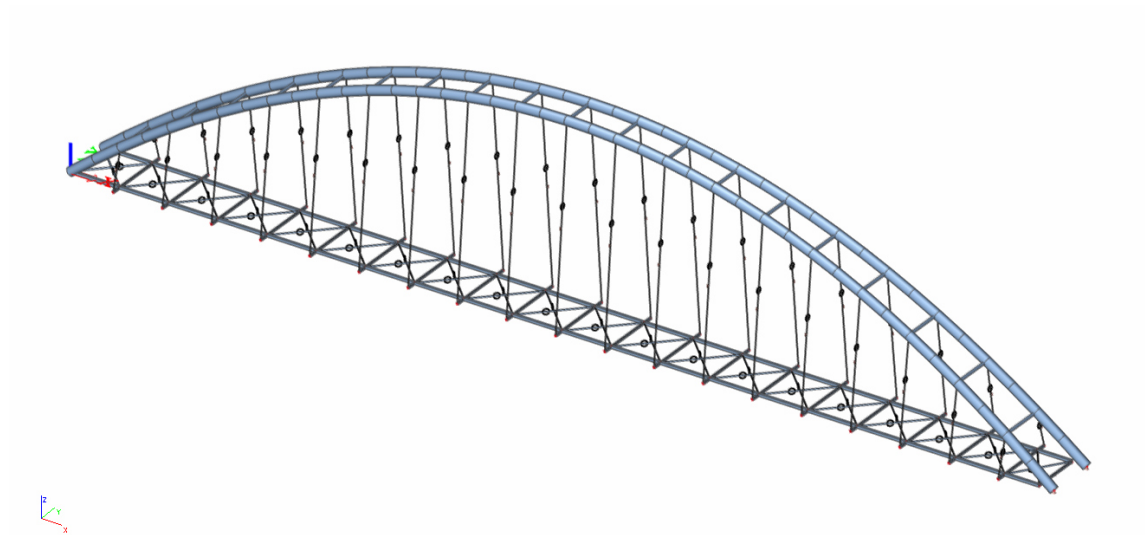
*Slika A.1: Naris mostu*



*Slika A.2: Stranski ris mostu*



*Slika A.3: Tloris mostu*



*Slika A.4: 3D model mostu*

## PRILOGA B: MATLAB

Pri izvozu mostu v formatu DXF je uporabljena knjižnica DXFLib [28].

```
clc;
clear all;
warning('off','all');

%% Definicija parametrov
L = 100
beta = 2.0
konzola = 1.0
korak = 5/2
sirinaMostu = 5
visinaMostu = 20
korakOkvir = 5;

%% Odpri datoteko za izvoz
imeIzvoza = 'Most.dxf'
delete(imeIzvoza)
FID = dxf_open(imeIzvoza);

%% Zgornji lok
syms a3 a2 a1 alpha
H = visinaMostu/cosd(beta);

S = vpasolve([a3*(0)^2 + a2*(0) + a1 == 0,...
             a3*(L)^2 + a2*(L) + a1 == 0,...
             a3*(L/2)^2 + a2*(L/2) + a1 - H == 0], [a3, a2, a1]);

a3 = double(S.a3);
a2 = double(S.a2);
a1 = double(S.a1);

S = @(x) (a3*(x).^2 + a2*(x) + a1);

digits(4)
x = [0:korak:L];
y = S(x)*sind(beta);
z = S(x)*cosd(beta);
for i = 1:length(x)-1
    dxf_polyline(FID, double(x(i:i+1))', double(y(i:i+1))',
double(z(i:i+1))');
end

%%drugi lok
y = S(x)*sind(-beta) + sirinaMostu;
z = S(x)*cosd(-beta);
for i = 1:length(x)-1
    dxf_polyline(FID, double(x(i:i+1))', double(y(i:i+1))',
double(z(i:i+1))');
end

%% Spodnji lok
x = [0, L];
y = zeros([1, length(x)]);
z = zeros([1, length(x)]);
dxf_polyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));
```

```
y = y + sirinaMostu;
dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));

%% Zgornje povezave
X = [korakOkvir:korakOkvir:L - korakOkvir];
for x = X
    z = [S(x)*cosd(beta), S(x)*cosd(-beta)];
    y = [S(x)*sind(beta), S(x)*sind(-beta) + sirinaMostu];
    x = [x, x];
    dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));
end

%% Spodnje konzole
for x = X
    y = [0 - konzola, sirinaMostu + konzola];
    z = [0, 0];
    x = [x, x];
    dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));
end

x = [0, 0];
y = [0, sirinaMostu];
z = [0, 0];
dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));

x = [L, L];
dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));

%% Straske vrvi
for x = X
    z = [S(x)*cosd(beta), 0];
    y = [S(x)*sind(beta), 0 - konzola];
    x_ = [x, x];
    dxfpolyline(FID, double(x_(:)), double(y(:)), double(z(:)));

    z = [S(x)*cosd(-beta), 0];
    y = [S(x)*sind(-beta) + sirinaMostu, sirinaMostu + konzola];
    dxfpolyline(FID, double(x_(:)), double(y(:)), double(z(:)));
end

%% Spodnje krizne povezave
X = [0:korakOkvir:L];
i = 0;
for i = 1:length(X) - 1
    x = [X(i), X(i+1)];
    y = [0, sirinaMostu];
    z = [0, 0];
    dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));

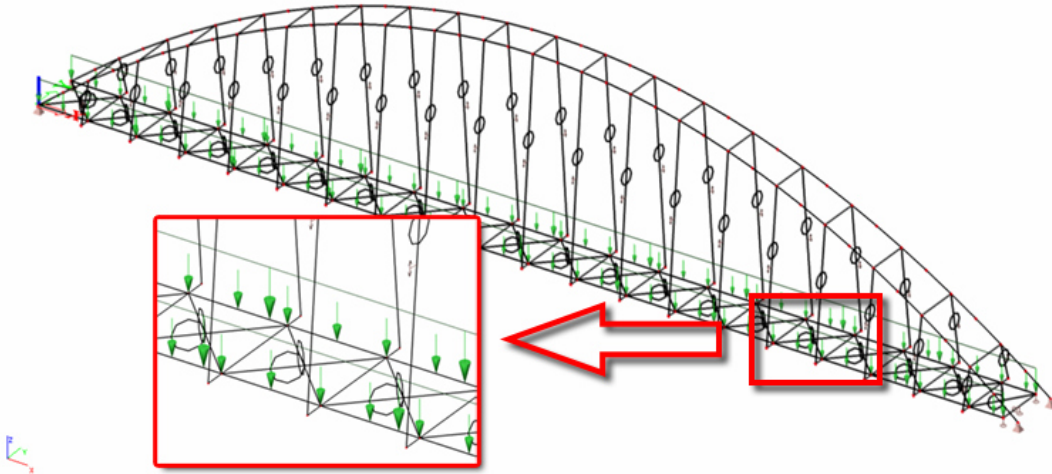
    y = [sirinaMostu, 0];
    dxfpolyline(FID, double(x(:)), double(y(:)), double(z(:)));

    i = i + 1;
end

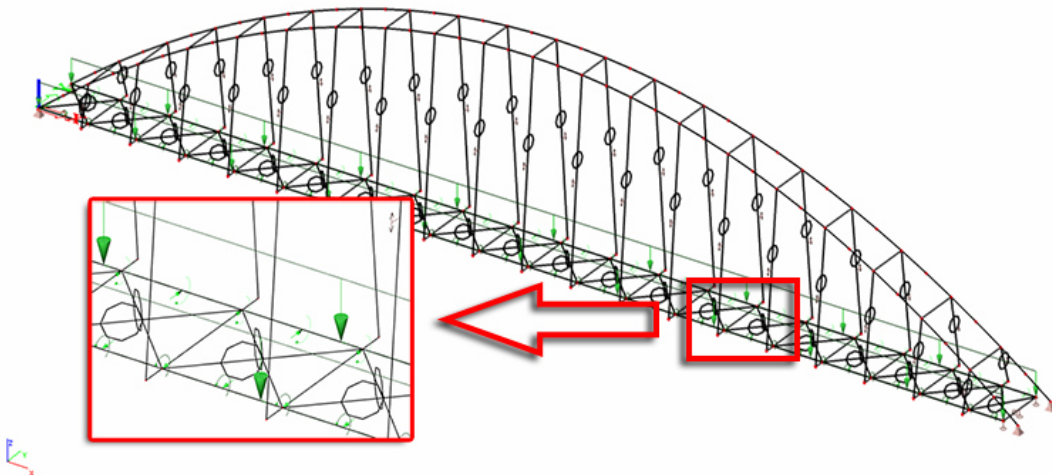
%% Zapri datoteko
dxfclose(FID);
disp('Most izvozen!')
```



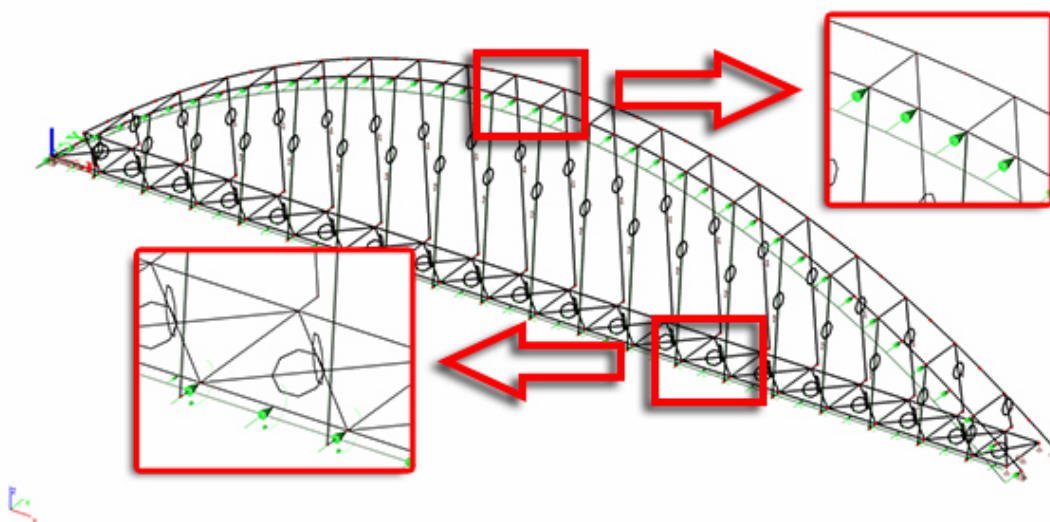
### PRILOGA C: OBTEŽBE



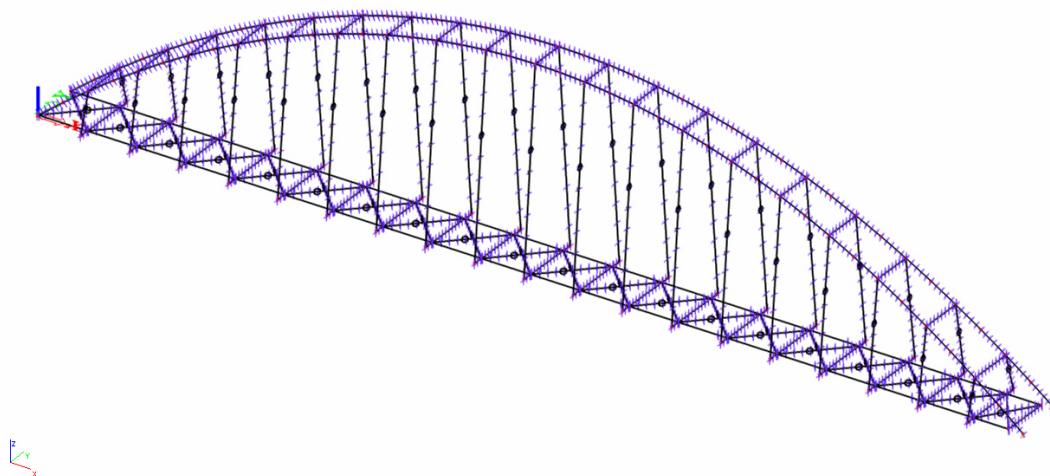
Slika C.1: Lastna in stalna obtežba



Slika C.2: Koristna obtežba

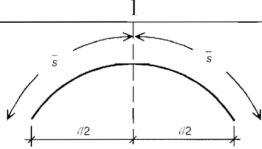
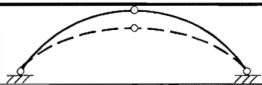




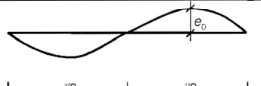


Slika C.3: Obtežba vetra

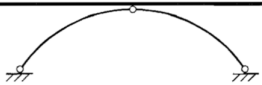
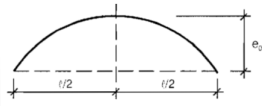




Slika C.4: Obtežba temperature (+ in -)

**PRILOGA D: TABELA Z OBLIKO IN AMPLITUDO NEPOPOLNOSTI ZA LOK**

	1	2	3			
			$e_0$ according to classification of cross section to buckling curve			
		shape of imperfection (sinus or parabola)	a	b	c	d
1			$\frac{s}{300}$	$\frac{s}{250}$	$\frac{s}{200}$	$\frac{s}{150}$
2	  		$\frac{l}{600}$	$\frac{l}{500}$	$\frac{l}{400}$	$\frac{l}{300}$

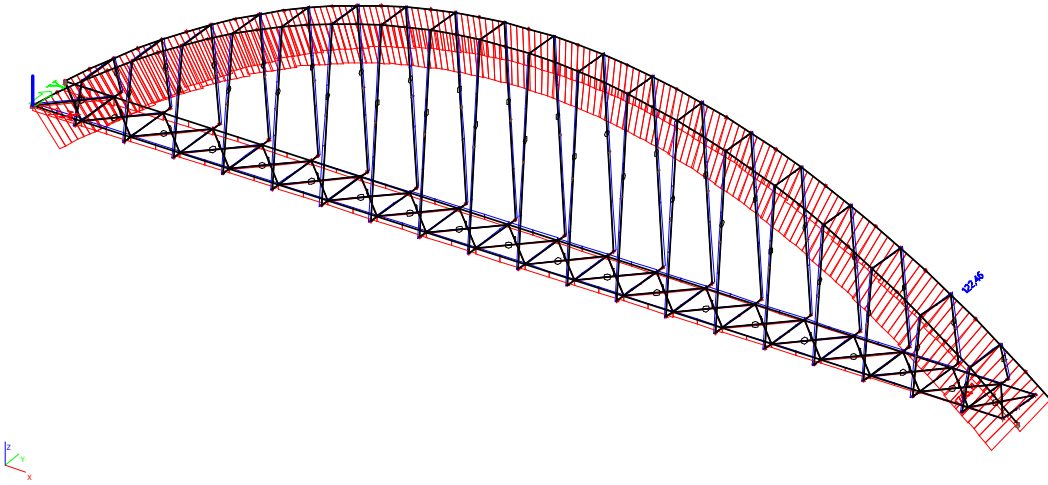
Slika D.1: Uklon v ravnini loka [24]

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

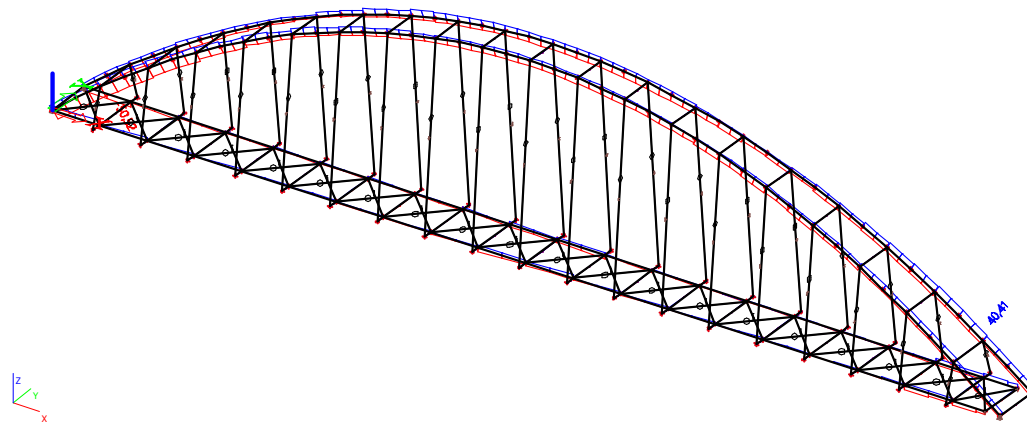
Slika D.2: Uklon izven ravnine loka [24]



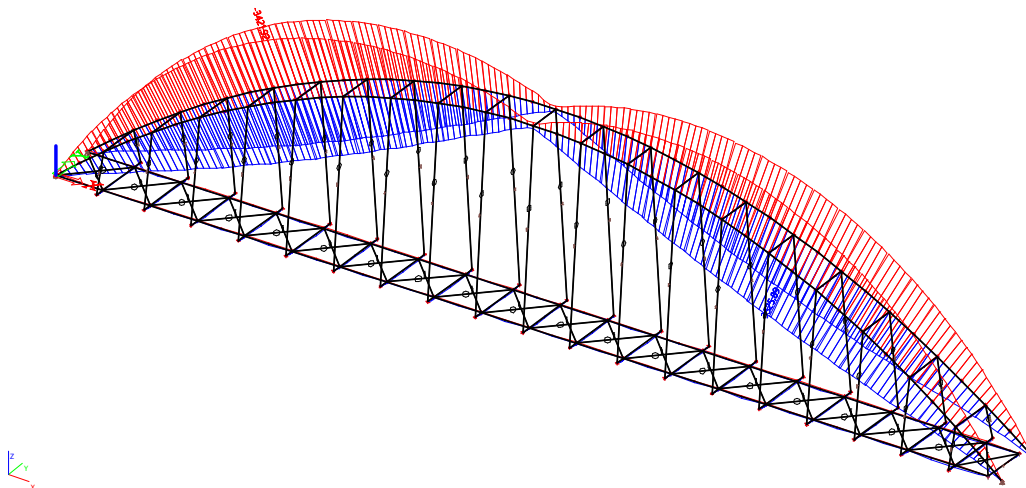
**PRILOGA E: NOTRANJE SILE (OVOJNICA)**



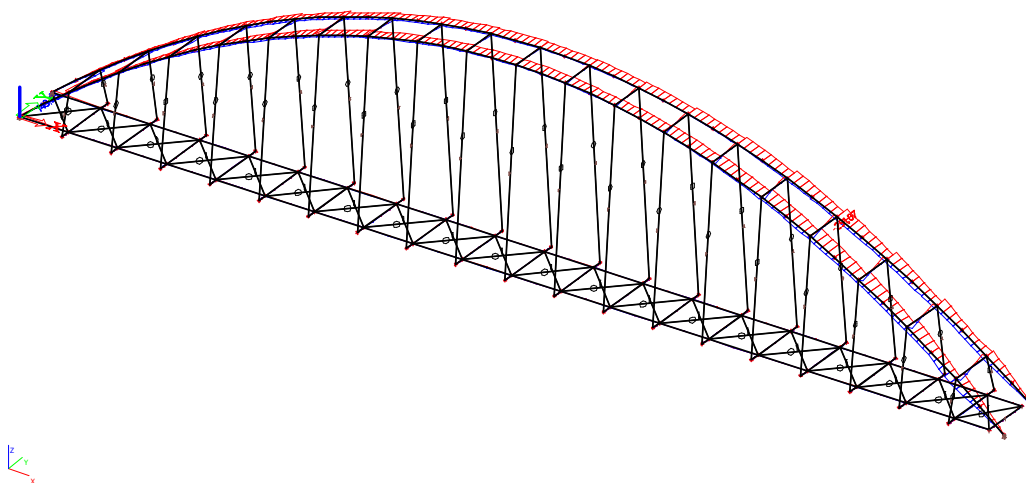
*Slika E.1: Osne sile  $N$*



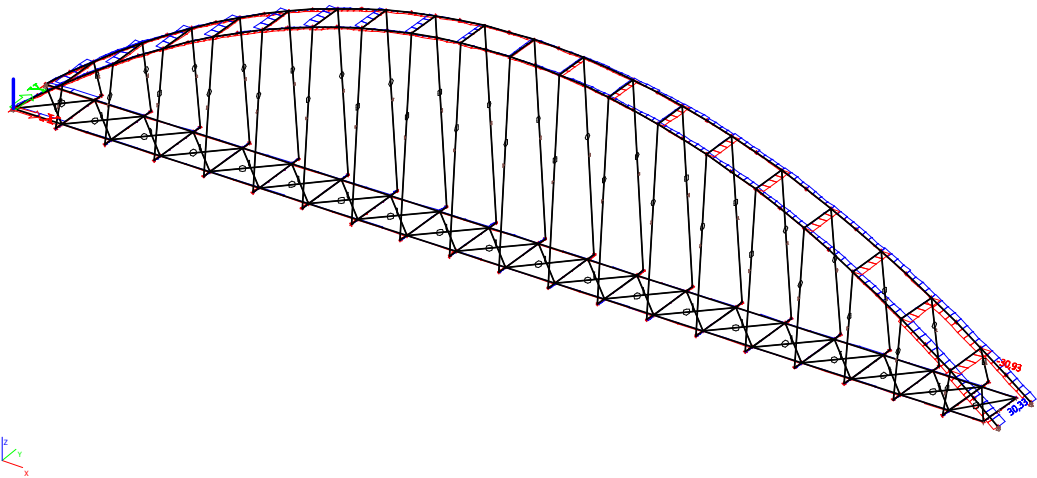
*Slika E.2: Torzijski moment  $M_x$*



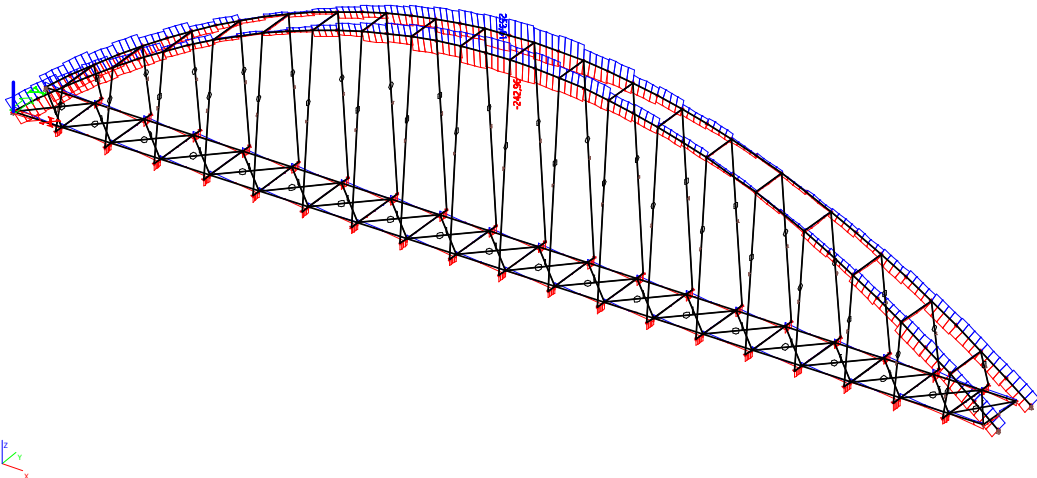
Slika E.3: Upogibni moment  $M_y$



Slika E.4: Upogibni moment  $M_z$



Slika E.5: Prečna sila  $V_y$

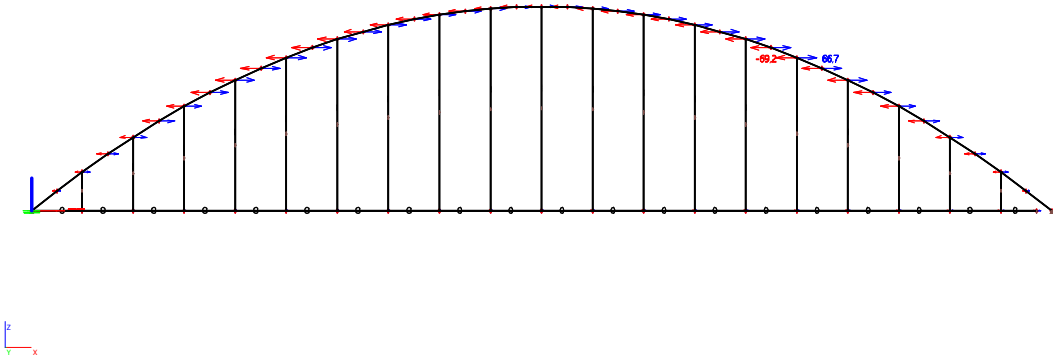


Slika E.6: Prečna sila  $V_z$

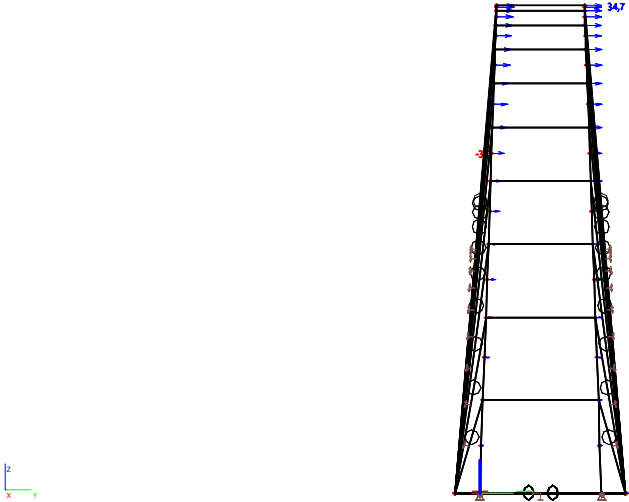




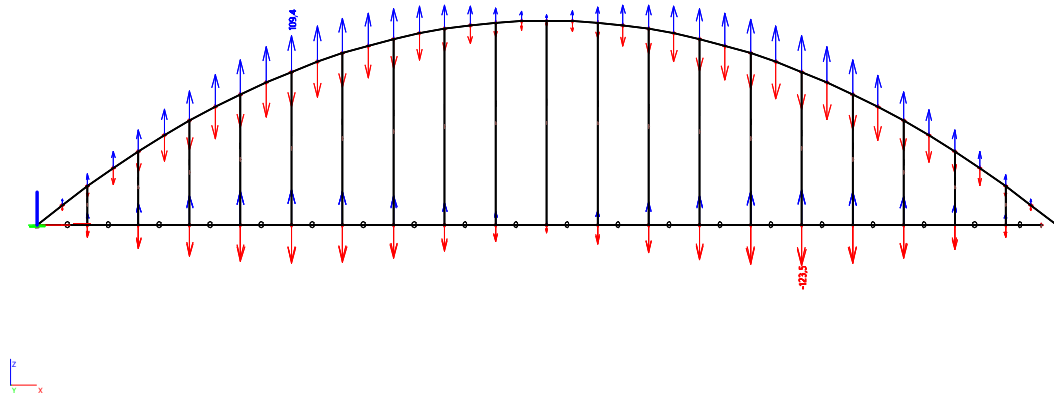
**PRILOGA F: POMIKI**



Slika F.1: Pomik  $u_x$

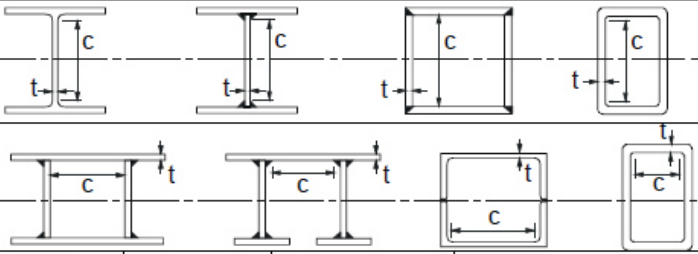
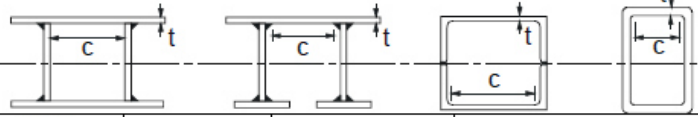
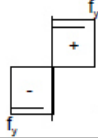


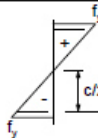
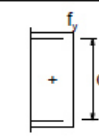
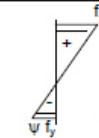
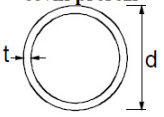


Slika F.2: Pomik  $u_y$

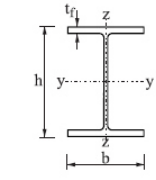
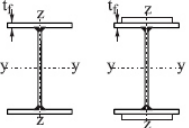

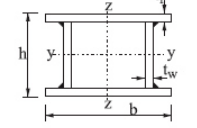
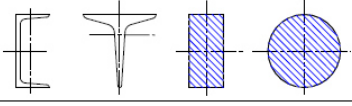



Slika F.3: Pomik  $u_z$

**PRILOGA G: DIMENZIONIRANJE**

notranji tlačeni deli						
				Os upogiba		
				Os upogiba		
razred kompaktnosti	upogib	tlak		upogib in tlak		
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$		pri $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1}$ pri $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$		
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$		pri $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1}$ pri $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$		
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$		pri $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67+0,33\psi}$ pri $\psi \leq -1$ : $c/t \leq 62\varepsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$		
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
cevni prerezi						
						
razred kompaktnosti	prerez v tlaku in/ali v upogibu					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
	<b>OPOMBA</b> Za $d/t > 90\varepsilon^2$ glej EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Slika G.1: Kompaktnost prevez [29]

prečni prerez	omejitve	uklon okoli osi	uklonska krivulja	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
vroče valjani prerezi 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a
			z-z	b
	$h/b \leq 1,2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y	b
			z-z	c
$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	
		z-z	c	
$h/b \leq 1,2$	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	
		z-z	c	
varjeni I-prerezi 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	
		z-z	c	
varjeni I-prerezi	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c	
		z-z	d	
vodli prerezi 	vroče izdelani	katera-koli	a	
	hladno oblikovani	katera-koli	c	
varjeni škatlasti prerezi 	splošno (razen kot spodaj)	katera-koli	b	
	debeli zvari: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	katera-koli	c	
U-, T- in polni prerezi 		katera-koli	c	
L-prerezi 		katera-koli	b	

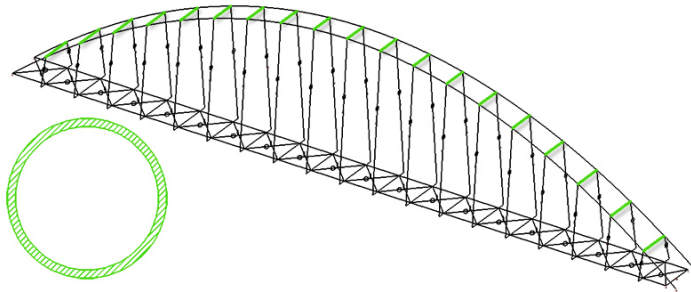
Slika G.2: Izbira uklonske krivulje glede na prečni prerez [29]

uklonska krivulja	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
faktor nepopolnosti $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Slika G.3: Faktorji nepopolnosti uklonskih krivulj [29]

## PRILOGA H: DIMENZIONIRANJE PREOSTALIH ELEMENTOV [26],[28]

### H.1 Zgornje prečke okroglega prereza



Slika H.1: Pozicije zgornjih prečk

#### H.1.1 Podatki o profilu

$$D = 273 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

$$A = 102 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 8697 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 637 \text{ cm}^3$$

#### H.1.2 Obremenitve

$$N_{Ed} = -35,9 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -60,1 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -76,5 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = -30,9 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -26,7 \text{ kN}$$

#### H.1.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{D}{t} = \frac{273 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}} = 21,84 \leq 50 \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,924^2 = 42,7$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

#### H.1.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 2805,0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 35,9 \text{ kN} \leq 2805,0 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{35,9 \text{ kN}}{2805,0 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.1.5 Odpornost prereza na upogibni moment

Zaradi simetričnosti prereza preverjeno le na maksimalni upogibni moment.

$$M_{el,y,Rd} = M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{637 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 17518 \text{ kNcm} = 175,2 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{el,z,Rd} \rightarrow 76,5 \text{ kNm} \leq 175,2 \text{ kNm} \rightarrow \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} = \frac{76,5 \text{ kNm}}{175,2 \text{ kNm}} = 0,44 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.1.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{35,9 \text{ kN}}{2805,0 \text{ kN}} + \frac{60,1 \text{ kNm}}{175,2 \text{ kNm}} + \frac{76,5 \text{ kNm}}{175,2 \text{ kNm}} = 0,80 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.1.7 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1079,7 \text{ kN}$$

Preverjeno le na maksimalno prečno silo.

$$V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd} \rightarrow 30,9 \text{ kN} \leq 1079,7 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{30,9 \text{ kN}}{1079,7 \text{ kN}} = 0,03 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.1.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta

$$V_{y,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$30,9 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 1079,7 \text{ kN} = 539,8 \text{ kN}$$

Kontrola kombinacije striga in upogibnega momenta ni potrebna.

### H.1.9 Stabilnost

#### Upogibni uklon:

$$l_u = 473,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{8697 \text{ cm}^4}{102 \text{ cm}^2}} = 9,23 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{473,4 \text{ cm}}{9,23 \text{ cm} \cdot 86,8} = 0,59$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,59 - 0,2) + 0,59^2) = 0,72$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,59^2}} = 0,89$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,89 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 2278,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 35,9 \text{ kN} \leq 2278,5 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{35,9 \text{ kN}}{2278,5 \text{ kN}} = 0,02 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### Tlačno in upogibno obremenjeni elementi:

Prerez je v prvem razredu kompaktnosti, zato velja  $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$ .

Element ni občutljiv na bočno zvrnitev.

Vzeli smo, da je moment po elementu konstanten, zato velja, da je  $\psi = 1,0$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,59 \cdot \frac{35,9 \text{ kN}}{0,89 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right) \\ \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{35,9 \text{ kN}}{0,89 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,006 \leq 1,01$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,59 \cdot \frac{35,9 \text{ kN}}{0,89 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right) \\ \leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{35,9 \text{ kN}}{0,89 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{zz} = 1,006 \leq 1,01$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,006$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,006 = 0,81$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

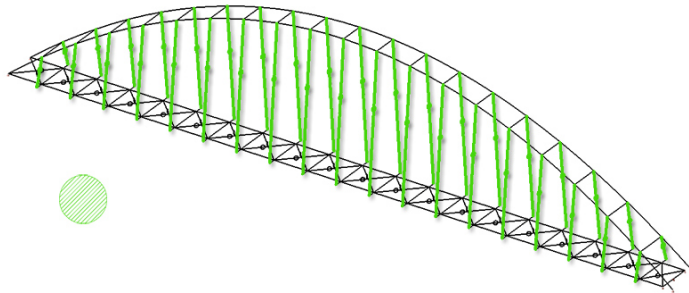
$$\frac{35,9 \text{ kN}}{0,86 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,006 \cdot \frac{6010 \text{ kNcm} + 0 \cdot 35,9 \text{ kN}}{1,0 \cdot 637 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,006 \\ \cdot \frac{7650 \text{ kNcm} + 0 \cdot 35,9 \text{ kN}}{637 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,88 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$



$$\frac{35,9 \text{ kN}}{0,86 \cdot 102 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 0,81 \cdot \frac{6010 \text{ kNcm} + 0 \cdot 35,9 \text{ kN}}{1,0 \cdot 637 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,006$$
$$\cdot \frac{7650 \text{ kNcm} + 0 \cdot 35,9 \text{ kN}}{637 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,80 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

**H.2 Vrvi okroglega prereza**

Slika H.2: Pozicije vrvi

**H.2.1 Podatki o profilu**

$$D = 28 \text{ mm}$$

$$A = \pi \cdot \frac{(2,8 \text{ cm})^2}{4} = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 80,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

**H.2.2 Obremenitve**

Vrvi so zasnovane tako, da prenašajo samo natezne obremenitve.

$$N_{Ed} = 122,5 \text{ kN}$$

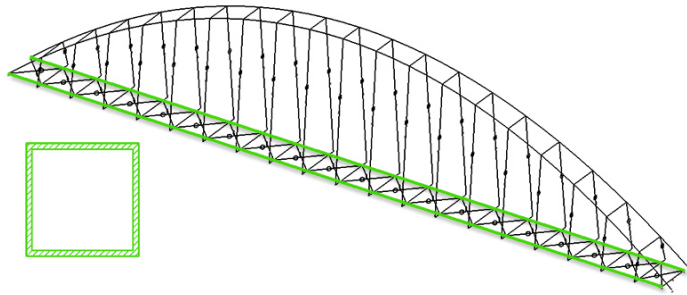
**H.2.3 Odpornost prereza na natezno obremenitev**

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6,16 \text{ cm}^2 \cdot 80,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 495,3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 122,5 \text{ kN} \leq 495,3 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{122,5 \text{ kN}}{495,3 \text{ kN}} = 0,25 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.3 Spodnji nosilci kvadratnega prereza



Slika H.3: Pozicije spodnjih nosilcev

#### H.3.1 Podatki o profilu

$$b = h = 250 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

$$A = 117 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 10920 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 873 \text{ cm}^3$$

#### H.3.2 Obremenitve

$$N_{Ed} = -302,6 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -127,8 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = -55,4 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 19,2 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = 76,3 \text{ kN}$$

#### H.3.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{c}{t} = \frac{225 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}} = 18 \leq 33 \varepsilon^2 = 33 \cdot 0,924^2 = 28,18$$

$$c = h - 2 \cdot t = 250 \text{ mm} - 2 \cdot 12,5 \text{ mm} = 225 \text{ mm}$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

### H.3.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 3217,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 302,6 \text{ kN} \leq 3217,5 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{302,6 \text{ kN}}{3217,5 \text{ kN}} = 0,1 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.3.5 Odpornost prereza na upogibni moment

Zaradi simetričnosti prereza preverjeno le na maksimalni upogibni moment.

$$M_{el,y,Rd} = M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{873 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 24008 \text{ kNcm} = 240,08 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 127,8 \text{ kNm} \leq 240,08 \text{ kNm} \rightarrow \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{127,8 \text{ kNm}}{240,08 \text{ kNm}} = 0,53 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.3.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{302,6 \text{ kN}}{3217,5 \text{ kN}} + \frac{127,8 \text{ kNm}}{240,08 \text{ kNm}} + \frac{55,4 \text{ kNm}}{240,08 \text{ kNm}} = 0,86 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.3.7 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 1238,4 \text{ kN}$$

Preverjeno le na maksimalno prečno silo.

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 76,3 \text{ kN} \leq 1238,4 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{76,3 \text{ kN}}{1238,4 \text{ kN}} = 0,06 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.3.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

$$76,3 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 1238,4 \text{ kN} = 619,2 \text{ kN}$$

Kontrola kombinacije striga in upogibnega momenta ni potrebna.

### H.3.9 Stabilnost

#### Upogibni uklon:

$$l_u = 500 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{10920 \text{ cm}^4}{117 \text{ cm}^2}} = 9,66 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{500 \text{ cm}}{9,66 \text{ cm} \cdot 86,8} = 0,60$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,60 - 0,20) + 0,60^2) = 0,72$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,72 + \sqrt{0,72^2 - 0,60^2}} = 0,89$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 2607,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 302,6 \text{ kN} \leq 2607,4 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{302,6 \text{ kN}}{2607,4 \text{ kN}} = 0,12 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### Tlačno in upogibno obremenjeni elementi:

Prerez je v prvem razredu kompaktnosti, zato velja  $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$ .

Element ni občutljiv na bočno zvrnitev.

Vzeli smo, da je moment po elementu konstanten, zato velja, da je  $\psi = 1,0$ .

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,60 \cdot \frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,04 \leq 1,07$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,60 \cdot \frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{zz} = 1,04 \leq 1,07$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,04$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,04 = 0,83$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,04 \cdot \frac{12780 \text{ kNcm} + 0 \cdot 302,6 \text{ kN}}{1,0 \cdot 873 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,04$$

$$\cdot \frac{5540 \text{ kNcm} + 0 \cdot 302,6 \text{ kN}}{873 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,97 \leq 1,0$$

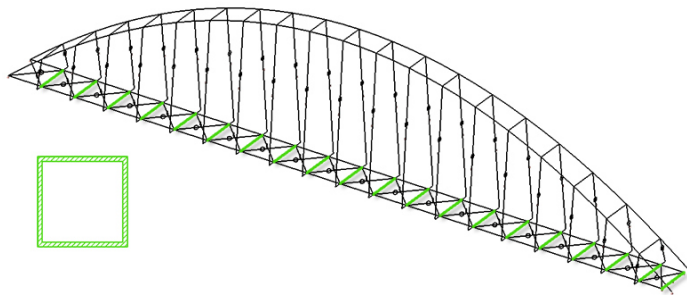
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{302,6 \text{ kN}}{0,89 \cdot 117 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 0,83 \cdot \frac{12780 \text{ kNcm} + 0 \cdot 302,6 \text{ kN}}{1,0 \cdot 873 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,04$$

$$\cdot \frac{5540 \text{ kNcm} + 0 \cdot 302,6 \text{ kN}}{873 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,87 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.4 Spodnje prečke kvadratnega prereza



Slika H.4: Pozicije spodnjih prečk

##### H.4.1 Podatki o profilu

$$b = h = 180 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

$$A = 82,1 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 3790 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 421 \text{ cm}^3$$

##### H.4.2 Obremenitve

$$N_{Ed} = -3,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 89,4 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 5,3 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = -1,9 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -27,7 \text{ kN}$$

##### H.4.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{c}{t} = \frac{155 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}} = 12,4 \leq 33 \varepsilon^2 = 33 \cdot 0,924^2 = 28,18$$

$$c = h - 2 \cdot t = 180 \text{ mm} - 2 \cdot 12,5 \text{ mm} = 155 \text{ mm}$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

#### H.4.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 2257,8 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 3,2 \text{ kN} \leq 2257,8 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{3,2 \text{ kN}}{2257,8 \text{ kN}} = 0,002 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.4.5 Odpornost prereza na upogibni moment

Zaradi simetričnosti prereza preverjeno le na maksimalni upogibni moment.

$$M_{el,y,Rd} = M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{421 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 11577 \text{ kNcm} = 115,77 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 89,4 \text{ kNm} \leq 115,77 \text{ kNm} \rightarrow \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{89,4 \text{ kNm}}{115,77 \text{ kNm}} = 0,77 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.4.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,2 \text{ kN}}{2257,8 \text{ kN}} + \frac{89,4 \text{ kNm}}{115,77 \text{ kNm}} + \frac{5,3 \text{ kNm}}{115,77 \text{ kNm}} = 0,82 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.4.7 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 869,0 \text{ kN}$$

Preverjeno je le na maksimalno prečno silo.

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 27,7 \text{ kN} \leq 869,0 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{27,7 \text{ kN}}{869,0 \text{ kN}} = 0,03 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.



#### H.4.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

$$27,7 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 869,0 \text{ kN} = 434,5 \text{ kN}$$

Kontrola kombinacije striga in upogibnega momenta ni potrebna.

#### H.4.9 Stabilnost

##### Upogibni uklon:

$$l_u = 500 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3790 \text{ cm}^4}{82,1 \text{ cm}^2}} = 6,80 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{500 \text{ cm}}{6,80 \text{ cm} \cdot 86,8} = 0,85$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,85 - 0,2) + 0,85^2) = 0,93$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,93 + \sqrt{0,93^2 - 0,85^2}} = 0,77$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 1574,85 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 3,2 \text{ kN} \leq 1574,85 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{3,2 \text{ kN}}{1574,85 \text{ kN}} = 0,002 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

##### Tlačno in upogibno obremenjeni elementi:

Prerez je v prvem razredu kompaktnosti, zato velja  $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$ .

Element ni občutljiv na bočno zvrnitev.

Vzeli smo, da je moment po elementu konstanten, zato velja, da je  $\psi = 1,0$ .

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,85 \cdot \frac{3,2 \text{ kN}}{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{3,2 \text{ kN}}{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,001 \leq 1,002$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,85 \cdot \frac{3,2 \text{ kN}}{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{3,2 \text{ kN}}{0,89 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{zz} = 1,001 \leq 1,002$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,001$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,001 = 0,80$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,2 \text{ kN}}{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,001 \cdot \frac{8940 \text{ kNcm} + 0 \cdot 3,2 \text{ kN}}{1,0 \cdot 421 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{1,1}} + 1,001$$

$$\cdot \frac{530 \text{ kNcm} + 0 \cdot 3,2 \text{ kN}}{421 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,90 \leq 1,0$$

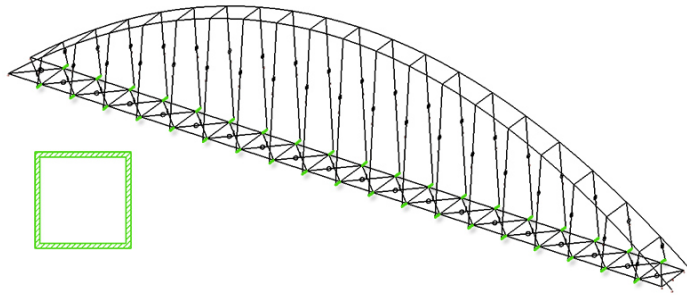
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{3,2 \text{ kN}}{0,77 \cdot 82,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 0,80 \cdot \frac{8940 \text{ kNcm} + 0 \cdot 3,2 \text{ kN}}{1,0 \cdot 421 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{1,1}} + 1,001$$

$$\cdot \frac{530 \text{ kNcm} + 0 \cdot 3,2 \text{ kN}}{421 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,73 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.5 Konzole kvadratnega prereza



Slika H.5: Pozicije konzol

#### H.5.1 Podatki o profilu

$$b = h = 200 \text{ mm}$$

$$t = 12,5 \text{ mm}$$

$$A = 92,1 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 5336 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 534 \text{ cm}^3$$

#### H.5.2 Obremenitve

$$N_{Ed} = -25,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 121,3 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 5,2 \text{ kNm}$$

$$V_{y,Ed} = 5,2 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed} = -121,3 \text{ kN}$$

#### H.5.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{c}{t} = \frac{175 \text{ mm}}{12,5 \text{ mm}} = 14 \leq 33 \varepsilon^2 = 33 \cdot 0,924^2 = 28,18$$

$$c = h - 2 \cdot t = 200 \text{ mm} - 2 \cdot 12,5 \text{ mm} = 175 \text{ mm}$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

#### H.5.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 2532,75 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 25,3 \text{ kN} \leq 2532,75 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{25,3 \text{ kN}}{2532,75 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.5.5 Odpornost prereza na upogibni moment

Zaradi simetričnosti prereza preverjeno le na maksimalni upogibni moment.

$$M_{el,y,Rd} = M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{534 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 14685 \text{ kNcm} = 146,85 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 121,3 \text{ kNm} \leq 146,85 \text{ kNm} \rightarrow \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = \frac{121,3 \text{ kNm}}{146,85 \text{ kNm}} = 0,83 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.5.6 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{25,3 \text{ kN}}{2532,75 \text{ kN}} + \frac{121,3 \text{ kNm}}{146,85 \text{ kNm}} + \frac{5,2 \text{ kNm}}{146,85 \text{ kNm}} = 0,87 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### H.5.7 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,y,Rd} = V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 974,86 \text{ kN}$$

Preverjeno je le na maksimalno prečno silo.

$$V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 121,3 \text{ kN} \leq 974,86 \text{ kN} \rightarrow \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = \frac{121,3 \text{ kN}}{974,86 \text{ kN}} = 0,12 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

### H.5.8 Kombinacija striga in upogibnega momenta

$$V_{z,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$

$$121,3 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 974,86 \text{ kN} = 487,43 \text{ kN}$$

Kontrola kombinacije striga in upogibnega momenta ni potrebna.

### H.5.9 Stabilnost

#### Upogibni uklon:

$$l_u = 200 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{5336 \text{ cm}^4}{92,1 \text{ cm}^2}} = 7,61 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{200 \text{ cm}}{7,61 \text{ cm} \cdot 86,8} = 0,30$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (0,30 - 0,2) + 0,30^2) = 0,56$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,30^2}} = 0,98$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 2249,22 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 25,3 \text{ kN} \leq 2249,22 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{25,3 \text{ kN}}{2249,22 \text{ kN}} = 0,01 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

#### Tlačno in upogibno obremenjeni elementi:

Prerez je v prvem razredu kompaktnosti, zato velja  $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$ .

Element ni občutljiv na bočno zvrnitev.

Vzeli smo, da je moment po elementu konstanten, zato velja, da je  $\psi = 1,0$ .

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,30 \cdot \frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{yy} = 1,002 \leq 1,007$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 = 1,0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zz} = 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot 0,30 \cdot \frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$\leq 1,0 \cdot \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} \right)$$

$$k_{zz} = 1,002 \leq 1,007$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1,002$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,002 = 0,80$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,002 \cdot \frac{12130 \text{ kNcm} + 0 \cdot 25,3 \text{ kN}}{1,0 \cdot 534 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,002$$

$$\cdot \frac{520 \text{ kNcm} + 0 \cdot 25,3 \text{ kN}}{534 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,96 \leq 1,0$$

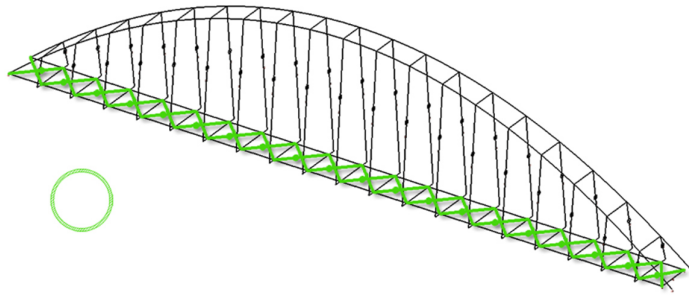
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_i \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_y \cdot f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

$$\frac{25,3 \text{ kN}}{0,98 \cdot 92,1 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 0,80 \cdot \frac{12130 \text{ kNcm} + 0 \cdot 25,3 \text{ kN}}{1,0 \cdot 534 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} + 1,002$$

$$\cdot \frac{520 \text{ kNcm} + 0 \cdot 25,3 \text{ kN}}{534 \text{ cm}^3 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} / 1,1} = 0,78 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

## H.6 Povezja okroglega prereza



Slika H.6: Pozicije povezji

### H.6.1 Podatki o profilu

$$D = 114,3 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$A = 17,2 \text{ cm}^2$$

$$I_y = I_z = I = 257 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = W_{el,z} = W_{el} = 45 \text{ cm}^3$$

### H.6.2 Obremenitve

Povezja so definirana tako, da prenašajo le osne obremenitve.

$$N_{Ed} = -70,7 \text{ kN}$$

### H.6.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924$$

$$\frac{D}{t} = \frac{114,3 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 22,86 \leq 50 \varepsilon^2 = 50 \cdot 0,924^2 = 42,7$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. Dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

**H.6.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev**

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17,2 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 473,0 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \rightarrow 70,7 \text{ kN} \leq 473,0 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{70,7 \text{ kN}}{473,0 \text{ kN}} = 0,15 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.

**H.6.5 Stabilnost****Upogibni uklon:**

$$l_u = 710 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 0,924 = 86,8$$

$$i_y = i_z = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{257 \text{ cm}^4}{17,2 \text{ cm}^2}} = 3,87 \text{ cm}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \cdot \lambda_1} = \frac{710 \text{ cm}}{3,87 \text{ cm} \cdot 86,8} = 2,12$$

Prerezu ustreza uklonska krivulja a.

Razberemo faktor nepopolnosti  $\alpha = 0,21$ .

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,21 \cdot (2,12 - 0,2) + 2,12^2) = 2,94$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,94 + \sqrt{2,94^2 - 2,12^2}} = 0,20$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,20 \cdot 17,2 \text{ cm}^2 \cdot 27,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,1} = 86,33 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 70,7 \text{ kN} \leq 86,33 \text{ kN} \rightarrow \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{70,7 \text{ kN}}{86,33 \text{ kN}} = 0,82 \leq 1,0$$

Kontroli je zadoščeno.