

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:

Bojanc, D., 2013. Projekt mostu za pešce pri Ribjem trgu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Beg, D., somentor Sinur, F.): 58 str.

Datum arhiviranja: 18-06-2015

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:

Bojanc, D., 2013. Projekt mostu za pešce pri Ribjem trgu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Beg, D., co-supervisor Sinur, F.): 58 pp.

Archiving Date: 18-06-2015

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



**PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GRADBENIŠTVO (UN)
MODUL KONSTRUKCIJE**

Kandidat:

DENIS BOJANC

PROJEKTIRANJE MOSTU ZA PEŠCE PRI RIBJEM TRGU

Diplomska naloga št.: 67/B-GR

DESIGN OF FOOTBRIDGE IN RIBJI TRG

Graduation thesis No.: 67/B-GR

Mentor:

prof. dr. Darko Beg

Predsednik in član komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. dr. Franc Sinur

Ljubljana, 25. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Denis Bojanc izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom "Projektiranje mostu za pešce pri Ribjem trgu".

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana,

Denis Bojanc

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.21(043.2)
Avtor:	Denis Bojanc
Mentor:	Darko Beg, prof. dr.
Somentor	Franc Sinur, asist. dr.
Naslov:	Projektiranje mostu za pešce pri Ribjem trgu
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	58 str., 5 pregl., 58 sl., 3 pril.
Ključne besede:	jeklene konstrukcije, most za pešce, virendeel nosilec

Izвлеček

V diplomski nalogi je predstavljen projekt zasnove mostu za pešce pri Ribjem trgu. Namen projekta je izdelati zasnovo jeklenega mostu, ki bi nadomestil obstoječo študentsko brv čez Ljubljano. Most je projektiran v skladu z Evrokod standardi. V nalogi je predstavljena zasnova mostu, od ideje, do računskega modela ter reševanje problemov povezanih z letem. V nalogi sem se osredotočil na iskanje ustrezne zasnove mostu, ki bo v čim večji meri odgovarjala zahtevam, ki so bile podane v projektni nalogi.

Nekatere zahteve projektne naloge niso bile v celoti upoštevane, saj sem želel ustvariti neko lastno idejo in ob tem pridobiti čim več znanja s področja projektiranja gradbenih konstrukcij. Zaradi nosilne konstrukcije mostu in zadostne širine pohodne ploskve je most v celoti nekoliko širši, kot je zahtevano v projektni nalogi. Ravno zaradi nosilne konstrukcije je most tudi bolj vpadljiv, kot narekujejo projektne zahteve.

Ko je bila določena zasnova mostu, so se določile obtežbe, ki ustrezajo izbrani konstrukciji. Nato je bila izvedena statična analiza in dimenzioniranje mostu, s katero je bilo dokazano, da je most varen za uporabo. Glavni problem pri projektiranju mostu je bilo zagotavljanje ustrezne frekvence mostu v mejnem stanju uporabnosti. Le-ta namreč ni bila v skladu z Evrokod zahtevami, zato bi se za most morala izvesti dinamična analiza, ki pa ni del te diplomske naloge.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 624.21(043.2)
Author: Denis Bojanc
Supervisor: Darko Beg, prof. dr.
Cosupervisor: Franc Sinur, assist. dr.
Title: Design of footbridge in Ribji trg
Document type: Graduation thesis – university studies
Scope and tools: 58 p., 5 tab., 58 fig., 3 anx.
Keywords: steel structures, footbridge, virendeel girder

Abstract

In graduation thesis the project of designing a footbridge in Ribji trg is discussed. The project deals with design of a steel pedestrian bridge which would replace current student footbridge over river Ljubljanica. The bridge is designed according to Eurocode standards. In this thesis the whole project, from basic idea to the final-model of the bridge is captured, including the solving of problems associated with such a design. Main objective of the thesis was to build appropriate design model so that desired behaviour of the footbridge is achieved.

Some of the project's demands were not completely met, because I wanted to create personal idea of a footbridge and alongside gain as much knowledge about designing structures as possible. Supporting structure and width of walking surface make bridge a bit wider than project's demands declare. Because of supporting structure it's also more eye catching than it's supposed to be. Once the computational model was build, the loads were determined. The static analysis and design of the structure were done, which proved the safety of the bridge in the ultimate limit state. Main barrier in designing the footbridge was the adequacy of it's natural frequency. Demands from Eurocode standards for it were not met, so thorough dynamic analysis should be executed. That analysis is not part of this graduation thesis.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Darku Begu in somentorju asist. dr. Francu Sinurju.

Posebna zahvala očetu in mami za pomoč, podporo in motivacijo tekom študija.

KAZALO

<i>STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA</i>	<i>I</i>
<i>IZJAVE</i>	<i>II</i>
<i>BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK</i>	<i>III</i>
<i>BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT</i>	<i>IV</i>
<i>ZAHVALA</i>	<i>V</i>
1 UVOD	1
1.1 <i>Zgodovina mostov</i>	1
1.2 <i>Splošno o mostovih za pešce</i>	2
2 ZASNOVA	3
2.1 <i>Opis problema</i>	3
2.2 <i>Opis konstrukcije</i>	3
2.2.1 <i>Nosilni sistem</i>	3
2.2.2 <i>Prenos obtežbe</i>	4
2.3 <i>Dimenzije mostu</i>	5
2.4 <i>Material</i>	6
3 OBTEŽBA	9
3.1 <i>Lastna teža</i>	9
3.2 <i>Stalna teža</i>	10
3.3 <i>Spremenljiva obtežba</i>	11
3.3.1 <i>Obtežba pešcev - vertikalno</i>	11
3.3.2 <i>Obtežba pešcev – horizontalno</i>	11
3.3.3 <i>Servisno vozilo</i>	11
3.3.4 <i>Koncentrirana obtežba</i>	11
3.4 <i>Obtežba snega</i>	12
3.5 <i>Obtežba vetra</i>	13
3.5.1 <i>Vpliv vetra na nosilno konstrukcijo</i>	15
3.5.2 <i>Vpliv vetra na ograjo</i>	16
3.6 <i>Vpliv temperature</i>	17
3.6.1 <i>Vpliv temperature na pohodno ploskev</i>	17
3.6.2 <i>Vpliv temperature na nosilno konstrukcijo</i>	17
3.7 <i>Potres</i>	18
3.7.1 <i>Stalna teža in masa konstrukcije</i>	19
3.7.2 <i>Vertikalni potres</i>	19
3.7.2.1 <i>Togost konstrukcije</i>	19
3.7.2.2 <i>Nihajni čas</i>	19
3.7.2.3 <i>Nadomestna sila za vertikalni potres</i>	19
3.7.3 <i>Horizontalni potres</i>	20
3.7.3.1 <i>Togost konstrukcije</i>	20
3.7.3.2 <i>Nihajni čas</i>	20
3.7.3.3 <i>Nadomestna sila za horizontalen potres</i>	20
4 OBREMENITVE	21
4.1 <i>Mejna stanja</i>	21
4.1.1 <i>Mejno stanje nosilnosti</i>	21
4.1.2 <i>Mejno stanje uporabnosti</i>	21
4.2 <i>Kombinacije obtežb</i>	22
5 GLOBALNA ANALIZA	24
5.1 <i>Splošno</i>	24
5.2 <i>Linearna analiza</i>	24
5.3 <i>Izbočne sile</i>	24
5.4 <i>Začetne nepopolnosti</i>	24
5.5 <i>Nelinearna analiza</i>	25
5.6 <i>Stabilnost konstrukcije</i>	25
5.7 <i>Lastne frekvence</i>	27
5.8 <i>Pomiki</i>	27

6	DIMENZIONIRANJE	28
6.1	<i>Parcialni faktorji</i>	28
6.2	<i>Razporeditev jeklenih profilov po mostu</i>	28
6.3	<i>Uklonske krivulje</i>	29
6.4	<i>Nosilec okroglega prereza</i>	30
6.4.1	Obremenitve	30
6.4.2	Podatki profila	30
6.4.3	Klasifikacija prereza	30
6.4.4	Odpornost prereza na natezne obremenitve	31
6.4.5	Odpornost prereza na upogibni moment	31
6.4.6	Strižna odpornost prereza	31
6.4.7	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	31
6.4.8	Kombinacija upogibnega momenta in striga	31
6.4.9	Stabilnost elementa	32
6.5	<i>Nosilec kvadratnega prereza</i>	33
6.5.1	Obremenitve	33
6.5.2	Podatki profila	33
6.5.3	Klasifikacija prereza	33
6.5.4	Odpornost prereza na tlačno obremenitev	34
6.5.5	Odpornost prereza na upogibni moment	34
6.5.6	Strižna odpornost prereza	35
6.5.7	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	35
6.5.8	Kombinacija upogibnega momenta in striga	35
6.5.9	Stabilnost elementa	35
6.5.10	Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta	36
6.6	<i>Vertikalni nosilci okroglega prereza</i>	38
6.6.1	Obremenitve	38
6.6.2	Podatki profila	38
6.6.3	Klasifikacija prereza	39
6.6.4	Odpornost prereza na tlačno obremenitev	39
6.6.5	Odpornost prereza na upogibni moment	39
6.6.6	Strižna odpornost prereza	39
6.6.7	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	40
6.6.8	Kombinacija upogibnega momenta in striga	40
6.6.9	Stabilnost elementa	40
6.6.10	Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta	41
6.7	<i>Ojačitev okroglega prereza na sredini mostu</i>	43
6.7.1	Obremenitve	43
6.7.2	Podatki profila	43
6.7.3	Klasifikacija prereza	43
6.7.4	Odpornost prereza na tlačno obremenitev	44
6.7.5	Odpornost prereza na upogibni moment	44
6.7.6	Strižna odpornost prereza	44
6.7.7	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	44
6.7.8	Kombinacija upogibnega momenta in striga	45
6.7.9	Stabilnost elementa	45
6.7.10	Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta	45
6.8	<i>Prečni nosilec HEA140</i>	47
6.8.1	Obremenitve	47
6.8.2	Podatki profila	47
6.8.3	Klasifikacija prereza	47
6.8.4	Odpornost prereza na natezne obremenitve	48
6.8.5	Odpornost prereza na upogibni moment	48
6.8.6	Strižna odpornost prereza	48
6.8.7	Kombinacija osne sile in upogibnega momenta	49
6.8.8	Kombinacija upogibnega momenta in striga	49
6.8.9	Stabilnost elementa	49
6.8.10	Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta	51
6.9	<i>Povezje iz okroglih palic</i>	52

6.9.1	Obremenitve	52
6.9.2	Podatki profila	52
6.9.3	Odpornost prereza na natezne obremenitve	52
6.10	<i>Dimenzioniranje zvara</i>	53
6.10.1	Načini porušitve	53
6.10.2	Obremenitve	53
6.10.3	Odpornost stika na osno obremenitev	53
6.10.4	Odpornost stika na momente	55
7	ZAKLJUČEK	56
VIRI		57

KAZALO SLIK

<i>Sl. 1: Most Arkadiko(levo) in most Alcantara (desno)</i>	1
<i>Sl. 2: Iron Bridge (levo) in prvi varjeni most čez reko Słudwia Maurzyce blizu Łowicz (desno)</i>	2
<i>Sl. 3: Most Gateshead Millennium (levo) in most Sky v Maleziji (desno)</i>	3
<i>Sl. 4: Vzdolžni prerez prvotne zasnove mostu</i>	4
<i>Sl. 5: Vzdolžni prerez končne zasnove mostu</i>	4
<i>Sl. 6: Prenos obtežbe po nosilni konstrukciji</i>	4
<i>Sl. 7: Vzdolžni profil</i>	5
<i>Sl. 8: Prerez A-A</i>	5
<i>Sl. 9: Prerez B-B</i>	5
<i>Sl. 10: Tloris</i>	5
<i>Sl. 11: 3D model mostu</i>	6
<i>Sl. 12: WPC deske</i>	7
<i>Sl. 13: Sistem pritrjevanja desk</i>	7
<i>Sl. 14: Sek. nosilna konstrukcija</i>	8
<i>Sl. 15: Položaj sekundarne nosilne konstrukcije</i>	8
<i>Sl. 16: Primer mat steklene ograje</i>	8
<i>Sl. 17: Prečni prerez sekundarne nosilne konstrukcije</i>	10
<i>Sl. 18: Delitev Slovenije na cone po obtežbi snega (SIST EN 1991-1-3)</i>	12
<i>Sl. 19: Delitev Slovenije na cone po hitrosti vetra</i>	13
<i>Sl. 20: Koeficient sile za mostove</i>	14
<i>Sl. 21: Diagram faktorja izpostavljenosti</i>	15
<i>Sl. 22: Indikativne vrednosti faktorja vitkosti Ψ_{λ}</i>	15
<i>Sl. 23: Korelacija med najnižjo/najvišjo temperaturo v senci (T_{\min}/T_{\max}) in najnižjo/najvišjo enakomerno temperaturo mostu ($T_{e,\min}/T_{e,\max}$)</i>	17
<i>Sl. 24: Lastna + stalna obtežba</i>	22
<i>Sl. 25: Koristna obtežba 1</i>	22
<i>Sl. 26: Koristna obtežba 2</i>	22
<i>Sl. 27: Koristna obtežba 3</i>	22
<i>Sl. 28: Koristna obtežba 4</i>	22
<i>Sl. 29: Kombinacija snega 1</i>	23
<i>Sl. 30: Kombinacija snega 2</i>	23
<i>Sl. 31: Kombinacija snega 3</i>	23
<i>Sl. 32: Kombinacija snega 4</i>	23
<i>Sl. 33: Delovanje vetra</i>	23
<i>Sl. 34: Začetne deformacije mostu</i>	25
<i>Sl. 35: Vnos začetnih nepopolnosti</i>	25
<i>Sl. 36: Prečna ojačitev</i>	25
<i>Sl. 37: Dodano povezje</i>	26
<i>Sl. 38: Dodana vmesna ojačitev mostu</i>	26
<i>Sl. 39: Deli mostu po prečnih prerezih</i>	28
<i>Sl. 40: Pozicija glavnih nosilcev okroglega prereza in pozicija največjih notranjih sil</i>	30
<i>Sl. 41: Pozicija glavnih nosilcev kvadratnega prereza in pozicija največjih notranjih sil</i>	33
<i>Sl. 42: Pozicija vertikalnih nosilcev okroglega prereza in pozicija največjih notranjih sil</i>	38
<i>Sl. 43: Pozicija ojačitve okroglega prereza</i>	43
<i>Sl. 44: Pozicija prečnih nosilcev HEA140 in pozicija največjih notranjih sil</i>	47
<i>Sl. 45: Pozicija povezja in pozicija največjih notranjih sil</i>	52
<i>Sl. 46: Pozicija dimenzioniranega zvara</i>	53

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Uporabljeni elementi in njihova teža</i>	9
<i>Preglednica 2: Kategorije terena po Sloveniji</i>	13
<i>Preglednica 3: Obtežne kombinacije mejnih stanj</i>	21
<i>Preglednica 4: Izbira uklonske krivulje glede na prečni prerez</i>	29
<i>Preglednica 5: Faktorji nepopolnosti uklonskih krivulj</i>	29

1 UVOD

1.1 Zgodovina mostov

”Le kaj se skriva na drugi strani te reke?” so se najverjetneje spraševali ljudje pred tisočimi leti. Ko so hodili vzdolž reke, so zagledali podrt drevo, ki jim je omogočalo prehod preko vode in s tem odkrivanje novih nepoznanih pokrajin. Tako se je najverjetneje začelo človeško zanimanje za konstrukcije, ki jih dandanes poznamo kot mostove. Ljudje so tako sčasoma sami začeli podirati drevesa, da so lahko premostili manjše kotline ali potoke. Kasneje so odkrili, da lahko z uporabo različnih materialov, kot je npr. kamen, sami zgradijo bolj trden, stabilen most. Eden izmed najstarejših, danes ohranjenih kamnitih ločnih mostov je Arkadiko most (Sl. 1) iz časov antične Grčije. Zgrajen naj bi bil nekje v 13. stoletju pr.n.št.



Sl. 1: Most Arkadiko(levo) in most Alcántara (desno)

Za mojstrske graditelje mostov veljajo stari Rimljani, ki so s svojimi kamnitimi ločnimi mostovi in akvadukti premagovali, za takratne razmere, ogromne razdalje. Nekatere njihove mojstrovine stojijo še danes. Primer le-tega je most Alcántara (Sl. 1) čez reko Tanguis v Španiji. Rimljani so tudi odkrili prvo obliko cementa, ki je omogočal bolj homogeno obnašanje konstrukcij. Tako so lahko gradili mostove še večjih razsežnosti.

Hubert Gautier je bil prvi človek, ki je svoje znanje o mostovih prelil na papir. Tako je leta 1716 izšla prva knjiga o projektiranju mostov. Eden poglobitnih napredkov v razvoju mostov je bila izgradnja Iron Bridge-a (Sl.2) v Coalbrookdale leta 1779. Tedaj je bila železova litina prvič uporabljena pri gradnji mostu.

Pomemben mejnik pri gradnji mostov je bila industrijska revolucija v 19. stol, ko so bili razviti sistemi železovega paličja. Šele ko so izboljšali železo, da je bilo zmožno prevzeti večje natezne sile, so se začeli graditi večji železni mostovi. Leta 1927 je Stefan Bryla zasnoval

prvi varjeni most, ki je bil zgrajen leta 1929 čez reko Studwia Maurzyce blizu Łowicz (Sl.2) na Poljskem.



Sl. 2: Iron Bridge (levo) in prvi varjeni most čez reko Studwia Maurzyce blizu Łowicz (desno)

1.2 Splošno o mostovih za pešce

Poleg prometnih mostov, poznamo tudi mostove, namenjene izključno pešcem in kolesarjem. Tovrstni mostovi so namenjeni hitremu in neoviranemu prečkanju sicer neprehodnih ali težko prehodnih območij.

Kot sem že omenil v uvodu, so se mostovi začeli graditi iz različnih materialov, zato je eden izmed načinov ločevanja mostov, ravno po materialih, iz katerih so zgrajeni:

- leseni,
- jekleni,
- betonski.

Včasih so bili mostovi grajeni tudi iz kamna, vendar se zaradi slabšega obnašanja materiala, danes skoraj ne uporablja več.

Razvoj novih materialov in tehnologije grajenja mostov, ki sta posledica nenehnega razvoja človeštva sta omogočila, da danes poznamo več vrst mostov, ki se predvsem razlikujejo glede na način prenosa obtežbe. Na ta način ločimo:

- viseče,
- ločne,
- prostoležeče,
- kontinuirane,
- palične mostove.

Zaradi relativno male obtežbe, ki jo morajo mostovi za pešce prevzeti so te konstrukcije dokaj prilagodljive. Ker gre za razmeroma lahke in vitke konstrukcije, se lahko njihova pot prilagaja okolici ali objektom, katere premagujejo. Tako lahko po svetu najdemo najrazličnejše oblike mostov, ki so prava paša za oči. Ravno zaradi tega, ker imamo pri

zasnovi mostov za pešce precej proste roke glede njihovega oblikovanja, se je ponekod projektiranje mostov za pešce razvilo že v pravo umetnost. Najrazličnejše, nekaterim celo nedoumljive mostove dandanes gradimo ne le zato ker je to potrebno, ampak enostavno zato, ker jih lahko.



Sl. 3: Most Gateshead Millennium (levo) in most Sky v Maleziji (desno)

2 ZASNOVA

2.1 Opis problema

Naloga je bila premostiti 25m razpetino med bregovoma Ljubljance. Širina mostu ni smela presežati 3.8m, višina nadvodja pa je morala v najnižji točki znašati vsaj 3m. Poleg tega je bila zahteva, da so posegi v obe brežine minimalne, kar mi je določalo robne pogoje, ki sem jih upoštevali pri snovanju mostne konstrukcije.

Že v samem začetku projektiranja mostu za pešce sem želel doseči, da bo konstrukcija kar se da vitka in elegantna. Želel sem ustvariti most, ki ni viden na vsakem koraku. Tako sem prišel do ločnega mostu, kjer pri nosilnosti pomaga še spodaj dodani natezni nosilni pas, ki je glede na vzdolžno os mostu nagnjen za določen kot. Konstrukcijo mostu predstavlja Vierendeel nosilec.

2.2 Opis konstrukcije

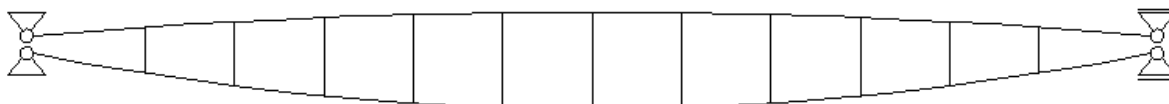
2.2.1 Nosilni sistem

Nosilni sistem se sestoji iz tlačno obremenjenega ločnega elementa, natezno obremenjenega spodnjega dela in stebričkov, ki nosilna podsistema povezujejo v nosilno celoto. Gre v bistvu za Vierendeel nosilec, ki je sam po sebi notranje statično nedoločen. Prvotno zasnovan nosilni sistem je bil prosto vpet v 2 točkah, kot prikazuje spodnja slika (Sl 4).



Sl. 4: Vz dolžni prerez prvotne zasnove mostu

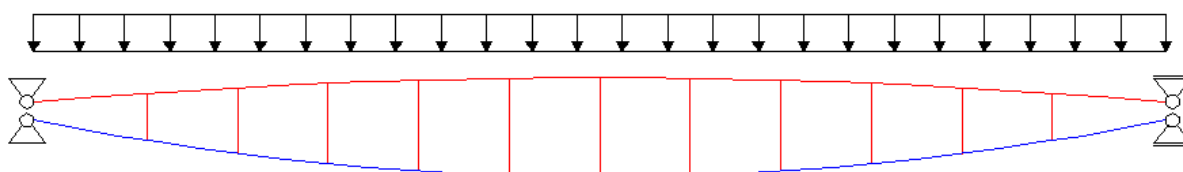
Zaradi težav z lastnimi frekvencami tako zasnovanega mostu, je bilo zasnovano potrebno spremeniti. Edina logična rešitev je bila povečanje togosti konstrukcije in hkratna ohranitev enake mase konstrukcije. Delna rešitev je bila sprememba števil in načinov vpetja nosilnega sistema. To je bilo doseženo tako, da sem ločil skupno vpetje nosilnega sistema, razmaknil točke vpetja za 40 cm in vpel posebej zgornji ločni in spodnji natezni element. Končni nosilni sistem izgleda takole:



Sl. 5: Vz dolžni prerez končne zasnove mostu

2.2.2 Prenos obtežbe

Celotna nosilna konstrukcija je zasnovana tako, da bi se v čim manjši meri razvili upogibni momenti, saj je na ta način konstrukcija lahko kar se da vitka. Da pa je temu zagotovljeno, se vpliv delovanja obtežb prenaša s pomočjo tlačnih in nateznih sil. Spodnja slika prikazuje prenos teh sil po elementih nosilnega sistema. S tem sistemom dobimo velike osne obremenitve v obeh pasovih ter manjše, v nekaterih primerih celo zanemarljive, upogibne momente in prečne sile. V vertikalah delujejo tlačne sile, upogibni momenti in prečne sile (Vierendeel nosilec).

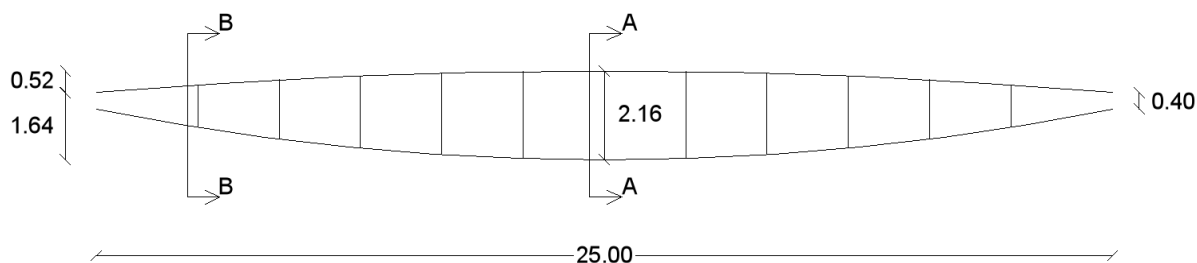


- tlačno obremenjeni elementi
- natežno obremenjeni elementi

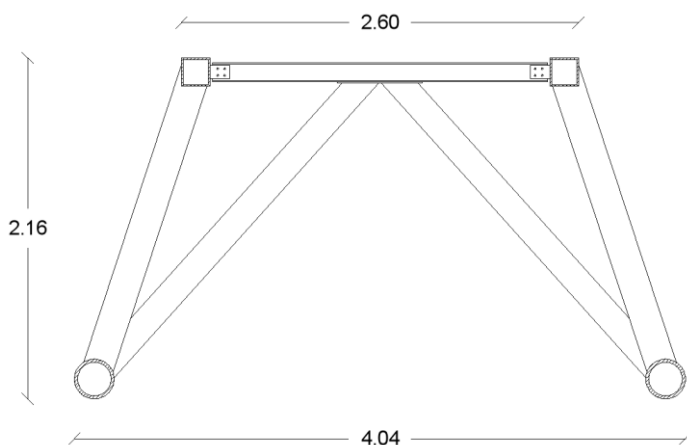
Sl. 6: Prenos obtežbe po nosilni konstrukciji

2.3 Dimenzije mostu

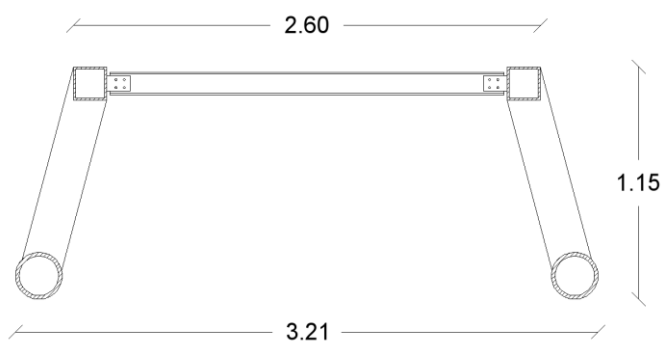
Na spodnjih slikah so podane dimenzije mostu. Dolžina mostu je 25 m, višina na obeh robovih je 0.4 m, na sredini pa 2.16 m. Širina zgornjega loka (pohodni del) je 2.60 m, širina spodnjega loka pa se vzdolž mostu spreminja. Ob vpetju je širina spodnjega pasu enaka zgornjemu, na sredini mostu, kjer je most hkrati najširši, pa znaša širina 4.04 m.



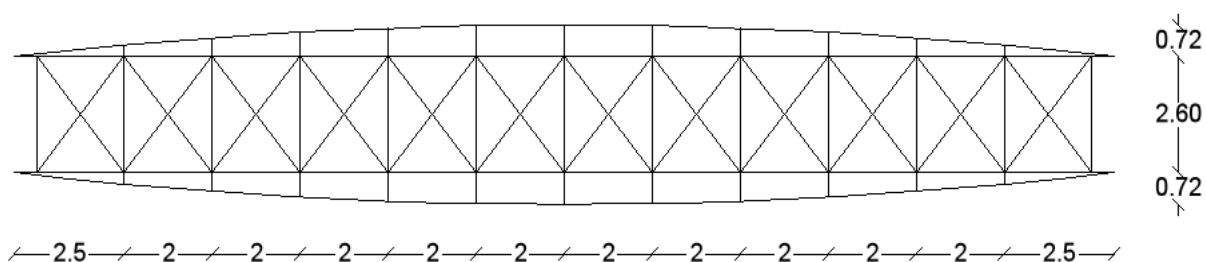
Sl. 7: Vzdolžni profil



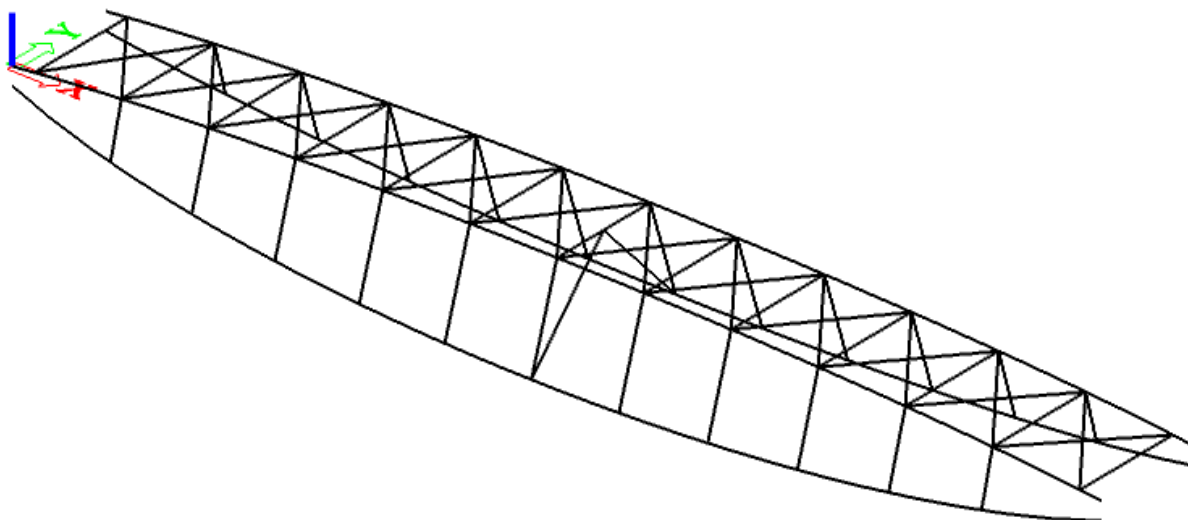
Sl. 8: Prerez A-A



Sl. 9: Prerez B-B



Sl. 10: Tloris



Sl. 11: 3D model mostu

2.4 Material

Ob prvotni zasnovi so bili vsi elementi mostu iz jekla S275. V nadaljevanju se je izkazalo, da je bilo zaradi interakcije osnih sil in upogibnega momenta ponekod potrebno izboljšati material. Tako so bili v konstrukciji uporabljeni različni trdnostni razredi jekla. Nosilna konstrukcija (zgornji tlačeni pas, vertikalni elementi in spodnji natezni pas) je iz jekla S460, ojačitev na sredini mostu in prečni HEA profili so iz jekla S355, povezje pa iz jekla S235.

Jeklo:

- f_y – napetost na meji tečenja
- f_u – natezna trdnost

S235:

- $f_y = 235 \text{ MPa} = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
- $f_u = 360 \text{ MPa} = 36.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

S355:

- $f_y = 355 \text{ MPa} = 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
- $f_u = 490 \text{ MPa} = 49.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

S460:

- $f_y = 440 \text{ MPa} = 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$
- $f_u = 550 \text{ MPa} = 55.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

Vijaki: M12

Vijaki se uporabijo pri spajanju prečnih nosilcev HEA140 na vzdolžna nosilca kvadratnega prereza.

- f_{yb} – napetost na meji tečenja
- f_{ub} – natezna trdnost
- d – premer vijaka

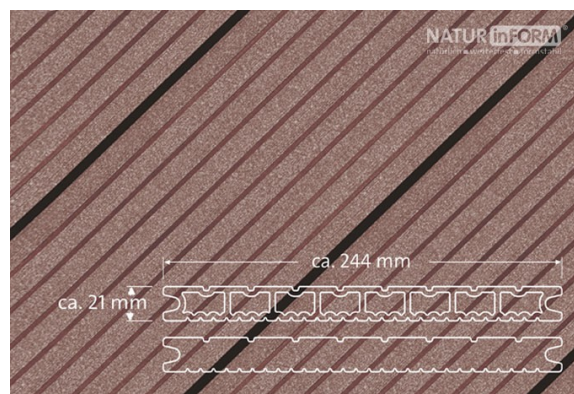
- $f_{yb} = 64 \frac{kN}{cm^2}$
- $f_{ub} = 80 \frac{kN}{cm^2}$
- $d = 12 mm$

Pohodna površina:

Sestavljajo jo WPC (Wood-Polymer Composition) deske. WPC je material, odporen na vremenske vplive in ne potrebuje dodatne nege. Sestoji iz mešanice lesnih vlaken in okolju prijaznih polimerov (razmerje 70:30). Njegova montaža je zelo preprosta, deske pa so tudi 100% reciklirne.

Karakteristike WPC desk:

- *specifična teža* = $3 \frac{kg}{m}$
- *dimenzije*: 5000/244/21mm



Sl. 12: WPC deske



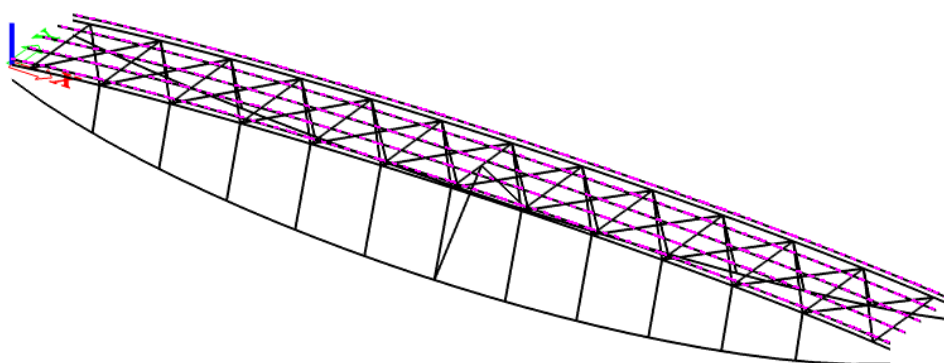
Sl. 13: Sistem pritrdjevanja desk

Montaža tovrstnih pohodnih desk je silno enostavna. S pomočjo posebnih nastavkov (Sl. 13) in samoreznih vijakov je montaža hitra in preprosta.

Sekundarna konstrukcija (Sl. 14), je prav tako dobavljiva skupaj s pohodnimi deskami in je tudi iz enakega materiala.



Sl. 14: Sek. nosilna konstrukcija



Sl. 15: Položaj sekundarne nosilne konstrukcije

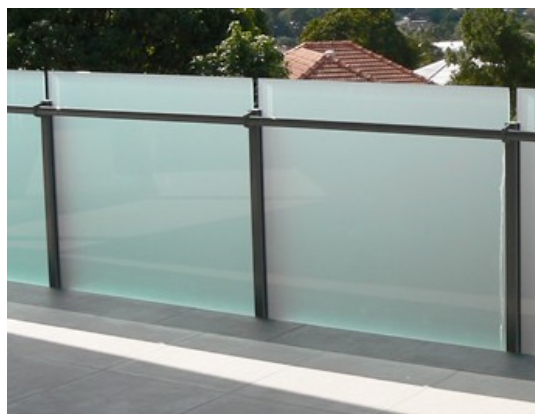
Ograja:

Ograja mostu je iz matiranega, lameliranega stekla, saj v primeru poškodbe ali razbitja ne želimo, da bi drobci padali v Ljubljano. Posamezne plasti stekla so kaljene. Ograja je na nosilno konstrukcijo pritrjena s stebrički iz nerjavečega jekla.

Karakteristike ograje:

- γ – specifična prostorninska teža
- h – višina ograje
- d – debelina stekla

- $\gamma = 2500 \frac{kg}{m^3}$
- $h = 110 \text{ cm}$
- $d = 2 \times 8 \text{ mm}$



Sl. 16: Primer mat steklene ograje












3 OBTEŽBA

Obravnavane obtežbe so:

- lastna teža,
- stalna teža,
- koristna obtežba,
- sneg,
- veter,
- temperatura.

3.1 Lastna teža

Specifična prostorninska teža jekla je $7850 \frac{kg}{m^3}$

KOM	Ime	Prečni prerez	Dimenzije [mm]	Dolžina [m]	Spec. teža [kg/m]	Teža [kg]
2	Spodnji nosilec		280 / 22.0	25.25	151.5	7648.9
2	Zgornji nosilec		200 / 200 / 12.5	25.04	72.3	3619.6
4	Vertikala 1		244.5 / 20.0	1.19	110.7	525.8
4	Vertikala 2		219.1 / 20.0	1.62	98.1	635.7
4	Vertikala 3		219.1 / 20.0	1.92	98.1	753.4
4	Vertikala 4		219.1 / 20.0	2.12	98.1	831.9
4	Vertikala 5		219.1 / 20.0	2.24	98.1	879
2	Vertikala 6		219.1 / 20.0	2.28	98.1	447.3
2	Opora		193.7 / 8.0	2.96	36.7	217.3
13	Prečka		HEA140	2.6	24.6	833.1
24	Povezje		RND14	3.28	1.2	95.2
Skupna teža [kg]						16487.2

Preglednica 1: Uporabljeni elementi in njihova teža

Teža na tekoči meter mostu znaša:

$$g_{lastna} = \frac{16487.2 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{25 \text{ m}} = 6469.6 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 6.4696 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

3.2 Stalna teža

V stalno obtežbo je vključena pohodna površina, sekundarna nosilna konstrukcija ter ograja.

Pohodna površina + sekundarna nosilna konstrukcija:

$$g_{deske} = \frac{3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000} = 0.0294 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$l_{deske} = 2.5 \text{ m}$$

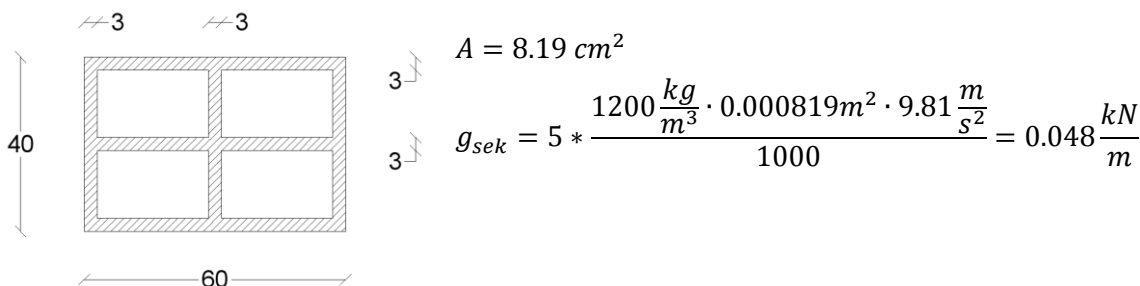
Širina deske je 244 mm, postavljene so na razdalji 7 mm.

- število desk čez celoten most:

$$n_{desk} = \frac{25040 \text{ mm}}{(244 + 7) \text{ mm}} = 99.8 \rightarrow 100 \text{ desk}$$

$$g_{desk} = \frac{0.0294 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2.5 \text{ m} \cdot 100}{25.04 \text{ m}} = 0.294 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- 5 sekundarnih nosilcev:



Sl. 17: Prečni prerez sekundarne nosilne konstrukcije

$$g_{pohodna} = g_{desk} + g_{sek} = 0.294 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.048 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 0.342 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ograja:

$$g_{ograjja} = \frac{2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2 \cdot 8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot 1.1 \text{ m}}{1000} = 0.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{stalna} = g_{pohodna} + g_{ograjja} = 0.342 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.432 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 0.774 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

3.3 Spremenljiva obtežba

3.3.1 Obtežba pešcev - vertikalno

Po standardu EN 1991-2 (5.3.2.1(1)) je priporočena vrednost nadomestne obtežbe pešcev na mostove, kjer je možnost nastanka gneče, enaka:

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

prevedeno na linijsko obtežbo:

$$q_{p,v} = 5 \frac{kN}{m^2} \cdot 2.6 m = 13 \frac{kN}{m}.$$

3.3.2 Obtežba pešcev – horizontalno

Pri projektiranju mostu za pešce je po EN 1991-2 (5.4), priporočeno upoštevati horizontalno obtežbo, ki jo povzročajo pešci. Obtežba deluje v smeri vzdolžne osi mostu. Le-ta je ocenjena na 10 % vrednosti vertikalne obtežbe pešcev ali 60 % vrednosti teže servisnega vozila. Merodajna je večja izmed slednjih vrednosti.

$$Q_{flk} = 0.1 \cdot \left(5 \frac{kN}{m^2} \cdot 25m \cdot 2.6m \right) = 32.5 kN,$$

prevedeno na linijsko obtežbo:

$$q_{p,h} = \frac{32.5 kN}{25 m} = 1.3 \frac{kN}{m}.$$

3.3.3 Servisno vozilo

Most je namenjen izključno pešcem, zato servisnega vozila ne upoštevamo.

3.3.4 Koncentrirana obtežba

Koncentrirana sila se upošteva le za lokalne vplive na konstrukcijo. Po EN 1991-2 (5.3.2.2) je priporočena vrednost:

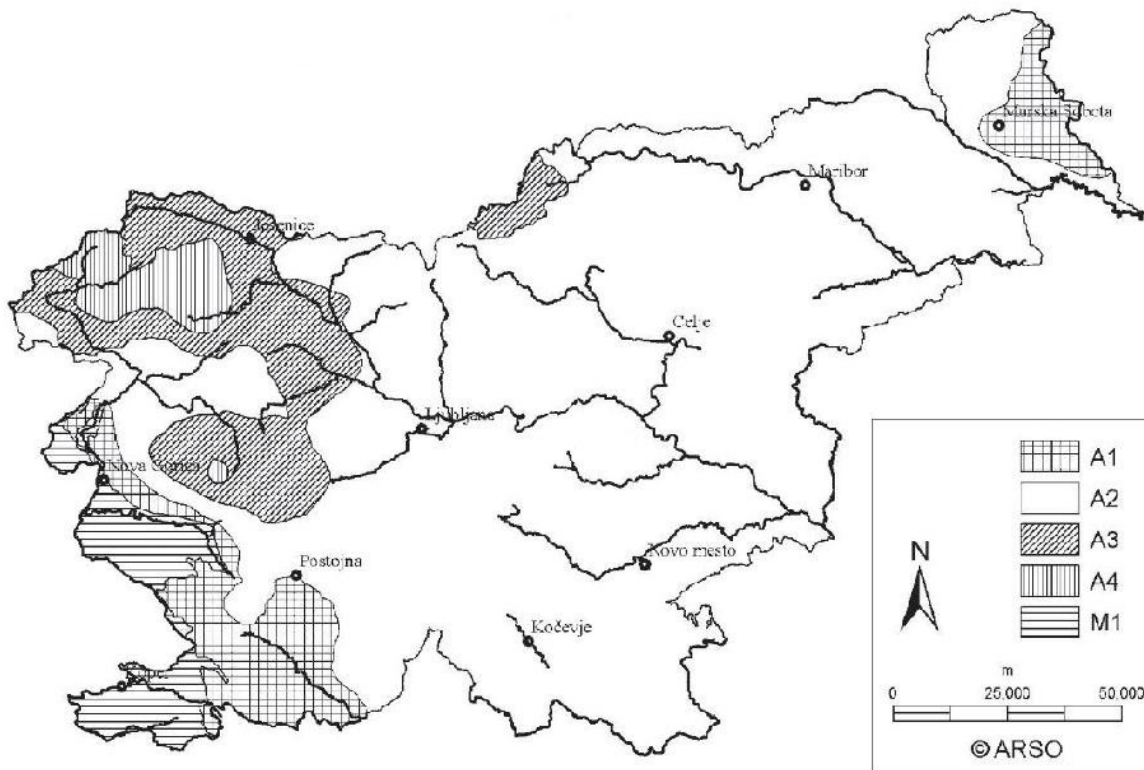
$$Q_{fwk} = 10 kN.$$

Privzamemo da sila deluje na $10 cm^2$.

V primeru, da je za most predvidena uporaba servisnega vozila, se koncentrirane sile ne upoštevata.

3.4 Obtežba snega

Z upoštevanjem slovenskega nacionalnega dodatka k EN 1991-1-3, je most umeščen v območje A2 (Sl. 18):



Sl. 18: Delitev Slovenije na cone po obtežbi snega (SIST EN 1991-1-3)

Za to območje velja obtežba snega:

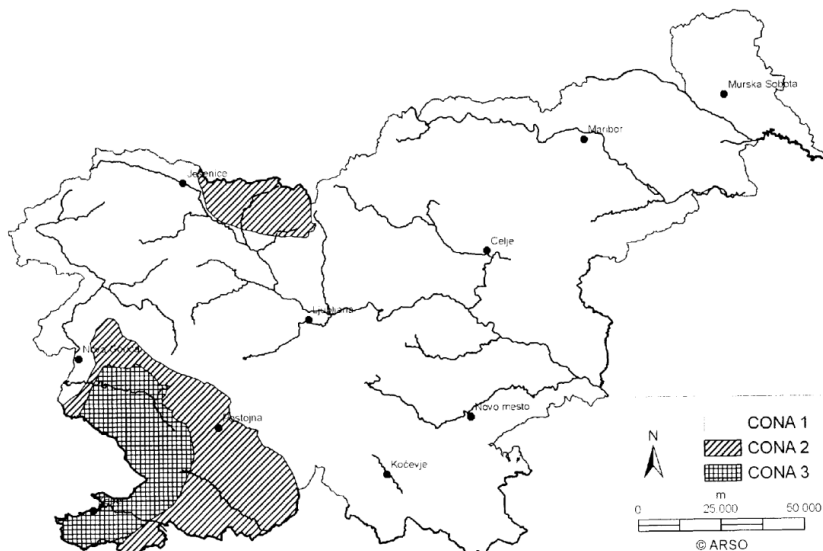
$$S_k = 1.293 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$$

A – nadmorska višina

$$S_k = 1.293 \cdot \left[1 + \left(\frac{290.35m}{728} \right)^2 \right] = 1.5 \frac{kN}{m^2}$$

3.5 Obtežba vetra

Po nacionalnem dodatku k SIST EN 1991-1-4, je Slovenija razdeljena na različne vetrovne cone, kot prikazuje spodnja slika (Sl. 19):



Sl. 19: Delitev Slovenije na cone po hitrosti vetra

Znotraj teh con so podane različne osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$ v odvisnosti od nadmorske višine. Projektiran most leži v coni 1, kateri pripadajo naslednje osnovne hitrosti vetra:

- $20 \frac{m}{s}$ pod 800 m nad. v.,
- $25 \frac{m}{s}$ pd 800 do 1600 m nad. v.,
- $30 \frac{m}{s}$ od 1600 do 2000 m nad. v.,
- $40 \frac{m}{s}$ nad 2000 m nad. v.

Vpliv vetra je odvisen tudi od okolja v katerem je objekt lociran Po SIST EN 1991-1-4 (4.3.2(1)) ločimo:

Kategorija terena	
0	Morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju
I	Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir
II	Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami), na razdalji najmanj 20 višin ovir
III	Področja z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd)
IV	Področje, kjer je najmanj 15% površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m

Preglednica 2: Kategorije terena po Sloveniji

Osnovna hitrost vetra je določena z izrazom:

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

kjer je:

- c_{dir} – smerni faktor za različne smeri vetra (priporočena vrednost je 1),
- c_{season} – faktor letnega časa (priporočena vrednost je 1).

$$v_b = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 20 \frac{m}{s} = 20 \frac{m}{s}$$

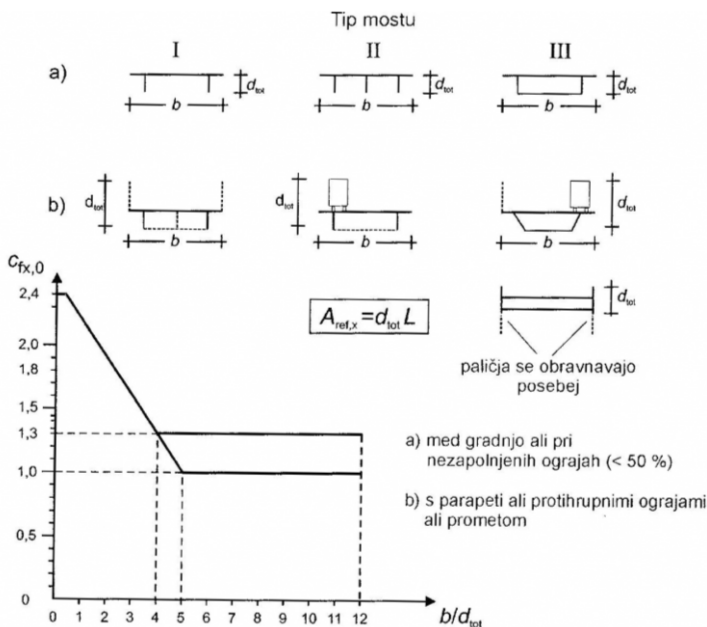
Sila vetra prečno na most določimo po poenostavljeni metodi.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C_{p,e} \cdot A_{ref},$$

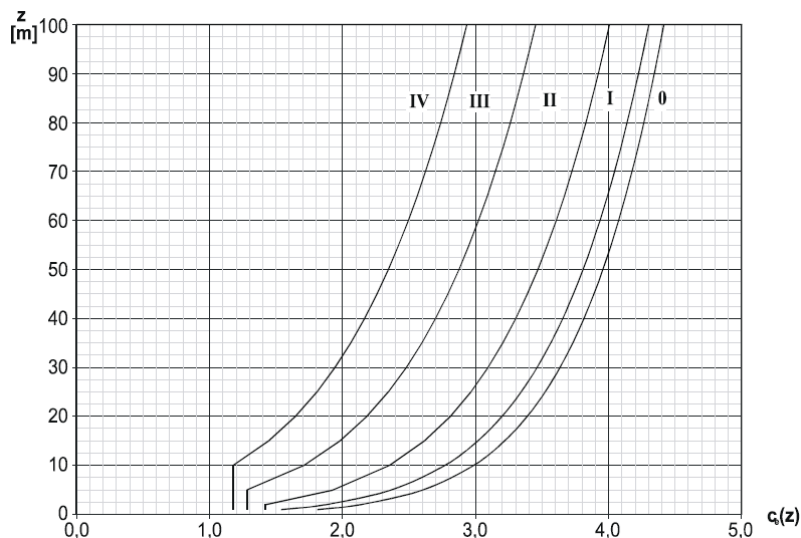
kjer je:

- ρ – gostota zraka (po nacionalnem dodatku je $1.25 \frac{kg}{m^3}$),
- C – faktor obtežbe vetra,
- A_{ref} – referenčna površina.

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{4 m}{2.16 m + 1.1 m} = 1.23$$



Sl. 20: Koefficient sile za mostove



Sl. 21: Diagram faktorja izpostavljenosti

3.5.1 Vpliv vetra na nosilno konstrukcijo

$$A_{ref} = 20.25 \cdot 0.24 + 0.2 \cdot 25 + 23.4 \cdot 0.1937 = 14.39 \text{ m}^2$$

Zapolnjenost nosilne konstrukcije:

$$\varphi = \frac{A_{ref}}{A_c} = \frac{14.39}{39} = 0.369 \rightarrow \varphi = 0.5$$

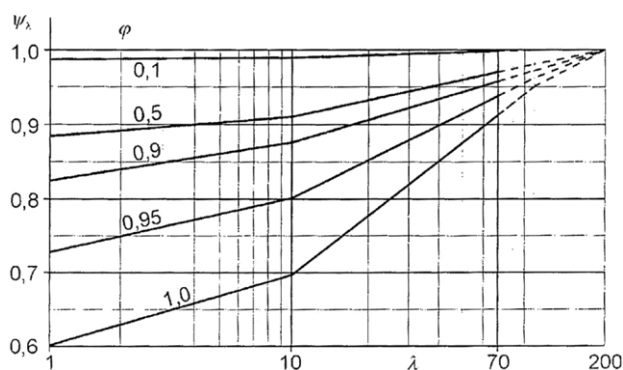
Vitkost nosilne konstrukcije:

- krožni cilindri

$$l \geq 50 : \lambda = 0.7 \cdot \frac{l}{b} = 0.7 \cdot \frac{25}{1.28} = 13.67$$

$$l < 15 : \lambda = \frac{l}{b} = \frac{25}{1.28} = 19.53$$

$$\lambda = 19.53 + (19.53 - 13.67) \cdot \frac{10}{35} = 17.86$$



Sl. 22: Indikativne vrednosti faktorja vitkosti ψ_{λ} , kot funkcija zapolnjenosti φ in vitkosti λ

Iz Sl. 22 razberemo: $\psi_{\lambda,x} = 0.93$.

$$C_{p,e} = C_{f,x} \cdot \psi_{\lambda,x} = 2.1 \cdot 0.93 = 1.953,$$

kjer $C_{f,x}$ odčitamo iz diagrama podanega na sliki Sl. 20.

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \frac{kg}{m^3} \left(20 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 1.953 \cdot 14.39 m^2 = 5620.7 N \doteq 5.62 kN,$$

prevedeno na površinsko obtežbo:

$$f_w = \frac{5.62 kN}{14.39 m^2} = 0.39 \frac{kN}{m^2}.$$

3.5.2 Vpliv vetra na ograjo

$$C = c_e \cdot c_{f,x} = 1.2 \cdot 2.1 = 2.52$$

- c_e – faktor izpostavljenosti (razberemo s Sl. 21, $z = 0$)
- $c_{f,x}$ – koeficient sile za mostove (razberemo s Sl. 20 – $c_{f,x} = c_{f,x,0}$)

$$A_{ref} = 25 m \cdot 1.1 m = 27.5 m^2$$

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \frac{kg}{m^3} \left(20 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 2.52 \cdot 27.5 m^2 = 17325 N = 17.325 kN,$$

prevedeno na površinsko obtežbo:

$$f_w = \frac{17.325 kN}{27.5 m^2} = 0.63 \frac{kN}{m^2}.$$

Moment, ki ga povzroča delovanje vetra na nosilec:

Stebrički iz nerjevečega jekla, ki nosijo steklene panele so postavljeni na razdalji 2m. Sila vetra povzroča ob vpetju stebričkov dodaten moment. Sila, ki deluje na stebriček je:

$$F_{w,stab.} = 0.32 \frac{kN}{m^2} \cdot 1.1 m \cdot 2 m = 0.704 kN.$$

Delovanje sile vetra predpostavim na sredini ograje, se pravi na višini $h = 0.55 m$. Tedaj ob vpetju posameznega stebrička deluje moment:

$$M_{w,stab.} = 0.704 kN \cdot 0.55 m = 0.387 kNm$$

Sila ki deluje ob vpetju stebrička:

$$F_{w,vpetje} = 0.704 kN$$

3.6 Vpliv temperature

Montaža mostu je predvidena v spomladanskem času, zato je temperatura v času gradnje predvidena na:

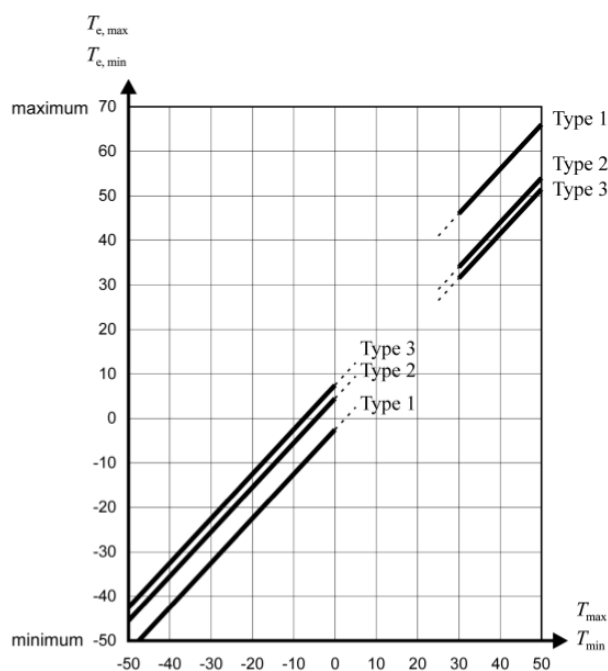
$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

3.6.1 Vpliv temperature na pohodno ploskev

Pohodna ploskev sestavljajo deske iz lesno-plastičnega kompozitnega materiala. Ker so deske tanke, zanemarimo vpliv temperaturne razlike v vertikalni smeri. Pohodna površina je iz več desk, zato zanemarimo vpliv spremembe temperature v horizontalni smeri.

3.6.2 Vpliv temperature na nosilno konstrukcijo

Pohodna ploskev mostu je kompoziten material, zato je po Evrokod standardih to most tipa 2 (Sl. 23).



Sl. 23: Korelacija med najnižjo/najvišjo temperaturo v senci (T_{min}/T_{max}) in najnižjo/najvišjo enakomerno temperaturo mostu ($T_{e,min}/T_{e,max}$)

Najnižja predvidena temperatura mostu je:

$$T_{e,min} = -40^{\circ}\text{C},$$

najvišja predvidena temperatura mostu pa je:

$$T_{e,max} = 50^{\circ}\text{C}.$$

Da bi preprečili prevelik vpliv temperaturne spremembe na osne sile v tlačnem pasu, je desna podpora mostu drsna. S tem je omogočeno neovirano raztezanje mostu.

3.7 Potres

Potresna obtežba je bila določena po EC8, kjer smo upoštevali elastični projektni spekter s povratno dobo 475 let. Most leži na tleh tipa B, zato velja projektni pospešek $a_g = 0.25 \cdot g$. Most je uvrščen v kategorijo pomembnosti I. To so podpovprečno pomembni mostovi, ki niso ključnega pomena takoj po potresu ter za vzdrževanje komunikacij. Za ozemlje Slovenije je bila ugotovljena zveza med faktorjem pomembnosti in povratno dobo potresa. Za povratno dobo 475 let, velja faktor pomembnosti: $\gamma_1 = 1.0$.

Vodoravni elastični spekter odziva:

- $0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right]$
- $T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$
- $T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$
- $T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$

Navpični elastični spekter odziva:

- $0 \leq T \leq T_B : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3.0 - 1) \right]$
- $T_B \leq T \leq T_C : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0$
- $T_C \leq T \leq T_D : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$
- $T_D \leq T \leq 4s : S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$

$S_e(T)$ – elastični spekter odziva

a_g – projektni pospešek tal

S – faktor tal

η – faktor vpliva dušenja z referenčno vrednostjo $\eta = 1$ pri 5% viskoznega dušenja

T – nihajni čas linearne sistema z eno prostostno stopnjo

T_B, T_C, T_D – nihajni časi odvisni od tipa tal

Parametri za elastičen spekter odziva za tip tal B v Sloveniji:

- $S = 1.2$
- $T_B = 0.15$
- $T_C = 0.5$
- $T_D = 2.0$

Parametri, ki opisujejo navpične spektre odziva:

- $a_{vg}/a_g = 0.9$
- $T_B = 0.05$
- $T_C = 0.15$
- $T_D = 1.0$

3.7.1 Stalna teža in masa konstrukcije

$$\sum G = L \cdot (g_{lastna} + g_{stalna}) = 25m \cdot \left(6469.6 \frac{N}{m} + 774 \frac{N}{m}\right) = 181090 N$$

$$m = \frac{\sum G}{g} = \frac{181090 N}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 18459.7 kg$$

3.7.2 Vertikalni potres

3.7.2.1 Togost konstrukcije

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{1000 kN}{0.1398 m} = 7153 \frac{kN}{m} = 7153 \cdot 10^3 \frac{N}{m}$$

P – koncentrirana sila s katero obremenimo most na sredini vzdolžnega profila

δ – vertikalni pomik konstrukcije zaradi koncentrirane sile P (uporaba programa SCIA)

3.7.2.2 Nihajni čas

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{18459.7 kg}{7153000 \frac{N}{m}}} = 0.319 s$$

Elastični spekter odziva:

$$T_C \leq T \leq T_D = 0.15 s \leq 0.319 s \leq 1.0 s$$

$$S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{T_C}{T}\right] = 2.21 \frac{m}{s^2} \cdot 1.0 \cdot 3.0 \cdot \left[\frac{0.15 s}{0.319 s}\right] = 3.118 s$$

$$a_{vg} = 0.9 \cdot a_g = 0.9 \cdot 0.25 \cdot g = 0.9 \cdot 0.25 \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 2.21 \frac{m}{s^2}$$

3.7.2.3 Nadomestna sila za vertikalni potres

$$F_{b,z} = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda = 3.118 s \cdot 18459.7 kg \cdot 1.0 = 57557.3 N \doteq 57.6 kN$$

$S_d(T)$ – projektni spekter

λ – korekcijski faktor

3.7.3 Horizontalni potres

3.7.3.1 Togost konstrukcije

$$k = \frac{P}{\delta} = \frac{1000 \text{ kN}}{0.2019 \text{ m}} = 4953 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 4953 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

P – koncentrirana sila s katero obremenimo most na sredini vzdolžnega profila

δ – horizontalni pomik konstrukcije zaradi koncentrirane sile P (uporaba programa SCIA)

3.7.3.2 Nihajni čas

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{18459.7 \text{ kg}}{4953000 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} = 0.384 \text{ s}$$

Elastični spekter odziva:

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = 0.15 \text{ s} \leq 0.384 \text{ s} \leq 0.5 \text{ s}$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 = 2.453 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.2 \cdot 1.0 \cdot 2.5 = 7.359 \text{ s}$$

$$a_g = 0.1 \cdot g = 0.25 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.453 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

3.7.3.3 Nadomestna sila za horizontalen potres

$$F_{b,y} = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda = 7.359 \text{ s} \cdot 18459.7 \text{ kg} \cdot 1.0 = 135833.9 \text{ N} \doteq 135.9 \text{ kN}$$

$S_d(T)$ – projektni spekter

λ – korekcijski faktor

4 OBREMENTIVNE

4.1 Mejna stanja

4.1.1 Mejno stanje nosilnosti

V mejnem stanju nosilnosti (MSN) mora konstrukcija prevzeti podane obremenitve. Pri tem moramo preveriti, da ne pride do lokalne (kontrola nosilnosti prereza) ali pa globalne odpovedi konstrukcije (kontrola lokalne in globalne stabilnosti konstrukcije oz. konstrukcijskih elementov).

4.1.2 Mejno stanje uporabnosti

V mejnem stanju uporabnosti je pomembno obnašanje konstrukcije, njen videz ter udobje ljudi. Temeljijo na kriterijih pomikov, nihanj, deformacij ter poškodbah na objektih.

Kombinacija vplivov za stalna in začasna projektna stanja:

	Stalna + lastna	koristna	sneg	veter	Temp. +	Temp. -
MSN 1	1.35	1.50	0.9	/	/	/
MSN 2	1.35	1.50	/	0.9	/	/
MSN 3	1.35	1.50	/	/	0.9	/
MSN 4	1.35	1.50	/	/	/	0.9
MSU 1	1.0	1.0	0.6	/	/	/
MSU 2	1.0	1.0	/	0.6	/	/
MSU 3	1.0	1.0	/	/	0.6	/
MSU 4	1.0	1.0	/	/	/	0.6
MSU lastna fr.	1.0	0.3 · 1.0	/	/	/	/

Preglednica 3: Obtežne kombinacije mejnih stanj

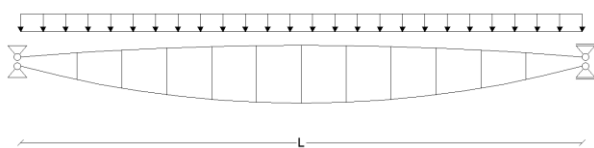
4.2 Kombinacije obtežb

Kombinacije obtežb so bile določene neodvisno od uporabe računalniških programov, saj je bila na ta način mogoča kontrola kombinacij obtežb.

Obtežbe na konstrukcijo so:

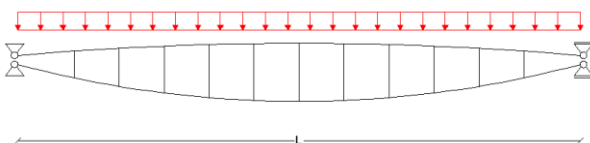
- lastna + stalna,
- koristna,
- sneg,
- veter.

Lastna + stalna:

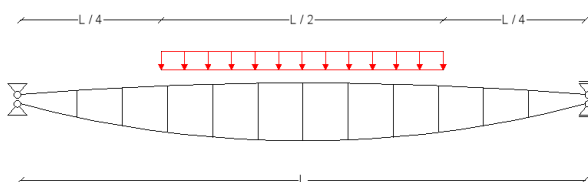


Sl. 24: Lastna + stalna obtežba

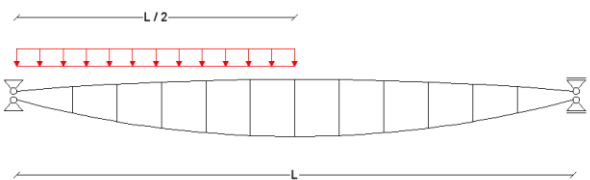
Postavitev koristne obtežbe:



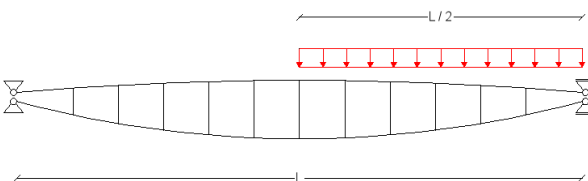
Sl. 25: Koristna obtežba 1



Sl. 26: Koristna obtežba 2

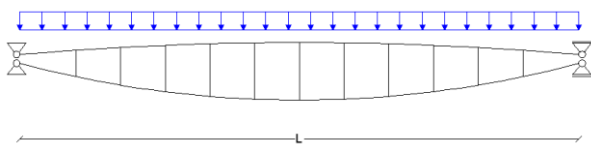


Sl. 27: Koristna obtežba 3

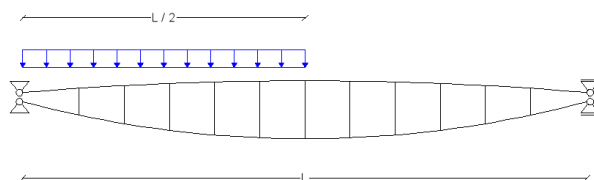


Sl. 28: Koristna obtežba 4

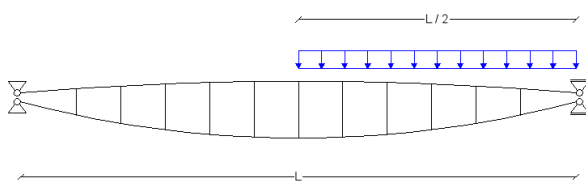
Postavitev obtežbe snega:



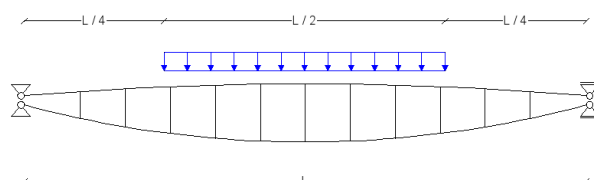
Sl. 29: Kombinacija snega 1



Sl. 30: Kombinacija snega 2



Sl. 31: Kombinacija snega 3

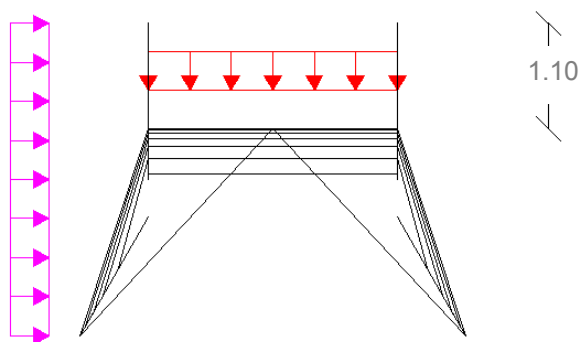


Sl. 32: Kombinacija snega 4

Za izračun napetosti sem vse zgoraj prikazane postavitev koristne obtežbe (Sl.25 – Sl.28) kombiniral z vsemi postavitvami snega (Sl.29 – Sl.32). Prav tako sem vse zgoraj prikazane postavitve koristne obtežbe (Sl.25 – Sl.28) kombiniral še z obtežbo vetra, ki pa deluje po celotni bočni površini mostu (sl.33).

Vrednosti osnih, prečnih sil in momentov pri dimenzioniranju (6.poglavje), so največje vrednosti ovojnice, ki so bile pridobljene pri vseh zgoraj omenjenih kombinacijah.

Lastna + stalna + koristna + veter:



Sl. 33: Delovanje vetra

Ograja pri mostu je polna, zato je na tem delu mostu obremenitev z vetrom največja. Ostala konstrukcija mostu je propustna, tako tam veter vpliva le na zelo majhni površini. Upoštevano je, da veter deluje na celotni površini okroglih profilov, čeprav vemo, da dejansko temu ni tako. S tem sem želel poustvariti čim bolj stroge pogoje obtežb, da dobim kar se da neugodno delovanje.

5 GLOBALNA ANALIZA

5.1 Splošno

Globalna analiza konstrukcije je bila izvedena s pomočjo računalniškega programa Scia Engineer. Obravnavane so bile:

- linearna analiza,
- geometrijsko nelinearna analiza z upoštevanjem začetnih nepopolnosti in
- stabilnost konstrukcije.

5.2 Linearna analiza

Izvedena je bila geometrijska linearna analiza, katere dobljene notranje sile so kasneje uporabljene pri dimenzioniranju mostu. Pri nelinearni analizi, ob upoštevanju začetnih nepopolnosti, notranje sile odstopajo v povprečju le za 1%.

5.3 Izbočne sile

Preverjen je bil vpliv izbočnih sil na horizontalno povezje med zgornjima tlačnima pasovoma. Izbočne sile zanemarljivo malo prispevajo k notranjim silam (1-2% povečanje).

$$q_d = \beta \frac{\sum_{i=1}^m N_{Ed,i}}{L} = \frac{1}{56} \cdot 2 \cdot \frac{555.93 \text{ kN}}{25 \text{ m}} = 0.794 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

β – koeficient, odvisen od št. podprtih elementov

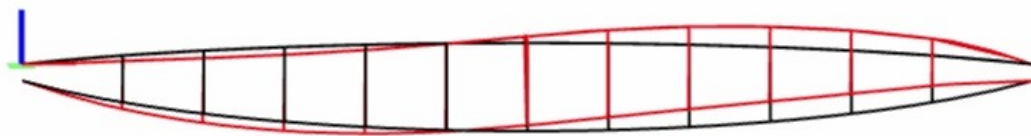
L – dolžina mostu

$N_{Ed,i}$ – tlačna sila v posameznem zgornjem loku mostu

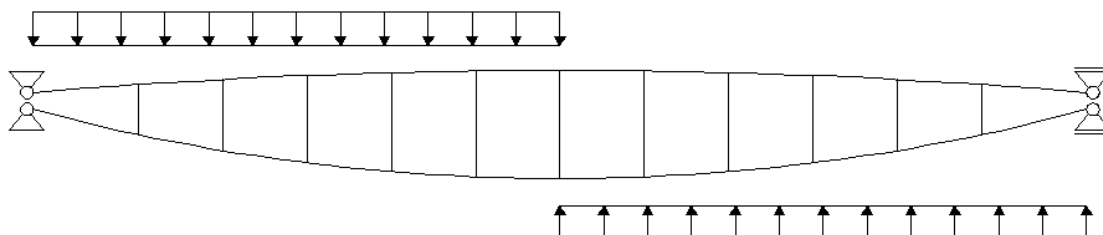
5.4 Začetne nepopolnosti

Začetne nepopolnosti mostu so bile določene na podlagi zahteve Evrokoda EN1993-2, da začetna vertikalna deformacija ne sme presegati $\frac{L}{600}$, kjer je L dolžina celotnega mostu.

Tedaj začetna deformacija (Sl.34) ni smela znašati več kot 4.17 cm. Začetno obliko predstavlja deformacijska oblika, ki je bila določena z linearnim izračunom. Nadomestna obtežba je bila podana, kot prikazuje Sl.35.



Sl. 34: Začetne deformacije mostu



Sl. 35: Vnos začetnih nepopolnosti

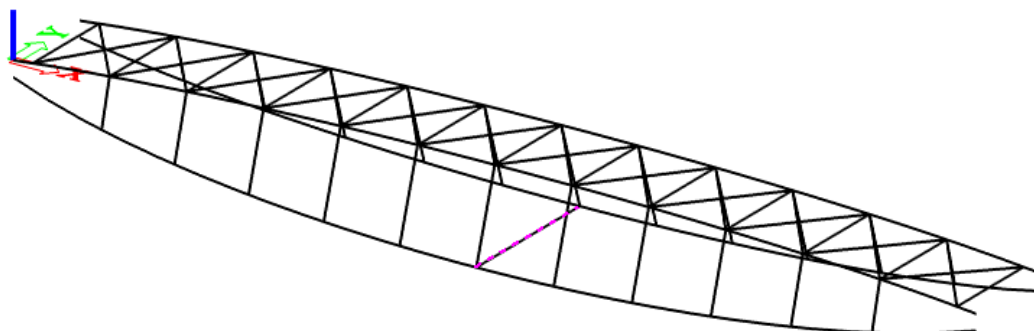
5.5 Nelinearna analiza

Ob upoštevanju teorije drugega reda je bila izvršena globalna nelinearna analiza konstrukcije. Pri tem so bile upoštevane začetne nepopolnosti, kot so opisane v poglavju 5.4.

5.6 Stabilnost konstrukcije

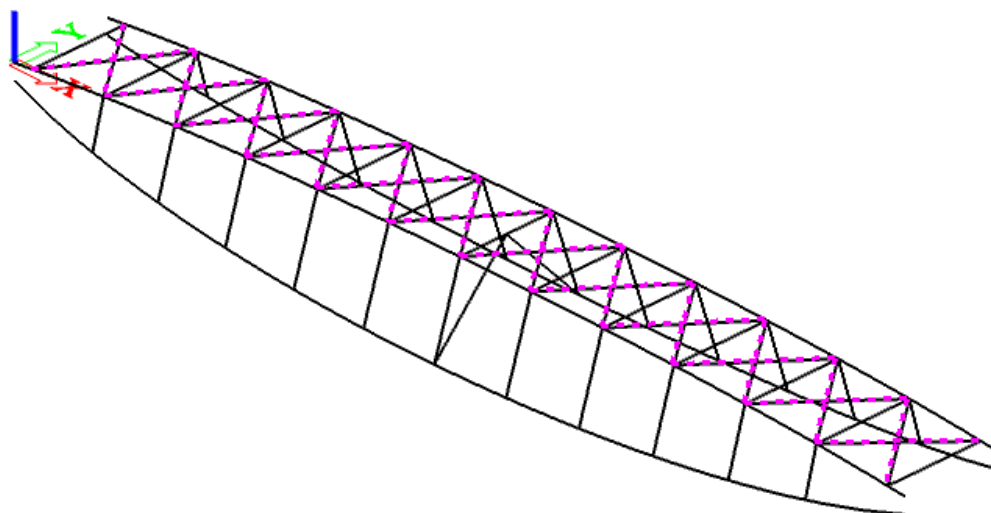
Sprva v konstrukcijo niso bila nameščena nikakršna povezja niti ojačitve. V takšnem primeru, bi za zagotavljanje stabilnosti tlačnega pasu potrebovali izjemno velike nosilce, kar pa ne bi bilo ekonomično. Zato je bilo potrebno najti čim bolj učinkovito in estetsko rešitev.

Sprva je bila med spodnjima okroglima nosilcema nameščena vmesna opora (Sl.36). Stabilnostni problem je bil s tem odpravljen, vendar pa je bila to estetsko zelo neprivlačna rešitev. Zato sem začel iskati nove rešitve.



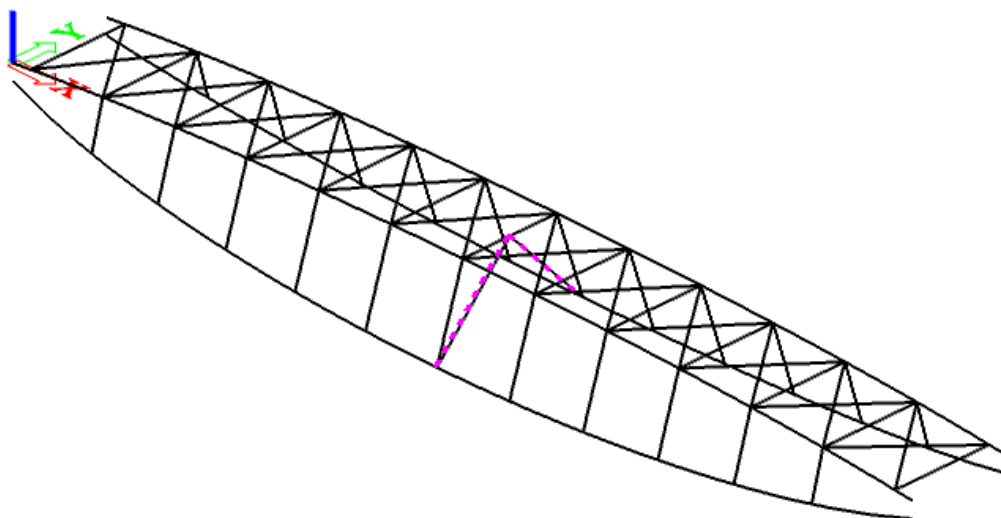
Sl. 36: Prečna ojačitev

Na koncu sem prišel do zaključka, da bo za preprečitev globalnega uklona najboljše dodati povezje (Sl. 37) med vsakim HEA 140 profilom, ki služijo kot prečke in povezujejo levi ter desni lok mostu.



Sl. 37: Dodano povezje

Tem povezjem pa sem kasneje dodal še preprosto oporo na sredini mostu (Sl. 38), ki je znatno odpravila vse probleme stabilnosti, faktor varnosti proti globalni nestabilnosti konstrukcije pa je $\gamma_{cr} = 21$.



Sl. 38: Dodana vmesna ojačitev mostu

5.7 Lastne frekvence

Glavna težava pri projektiranju tako zasnovanega mostu je bila zagotovitev ustreznih nihajnih frekvenc.

Kakorkoli sem spreminjal konstrukcijo, da bi ji izboljšal togost, je na koncu pomagala le ena rešitev: togo, nepomično vpet most. Tovrstno vpetje mostu je rešilo probleme lastnega nihanja, saj je bila dosežena vertikalna lastna frekvenca 5.1 Hz.

Vendar pa to vpetje ni bilo možno zaradi prevelikih osnih sil, ki so se razvile zaradi delovanja temperaturnih sprememb in bi posledično moral občutno povečati nosilce mostu.

Tako je vpetje mostu ostalo enako, kot je bilo predstavljeno v prejšnjih poglavjih (Sl. 5).

Lastni frekvenci mostu v tem primeru znašata:

$$v_{hor.} = 1.73 \text{ Hz} < 2.5 \text{ Hz} = v_{hor.,min} \quad \times \text{ (pogoj ni izpolnjen)}$$

$$v_{vert.} = 3.38 \text{ Hz} < 5 \text{ Hz} = v_{vert.,min} \quad \times \text{ (pogoj ni izpolnjen)}$$

Zavedam se, da je na tem mestu potrebna podrobna dinamična analiza konstrukcije, vendar zaradi obsežnosti problema, ta analiza v tej diplomski nalogi ni obravnavana.

5.8 Pomiki

Največji vertikalni pomik mostu (Sl. B3, Priloga B) znaša:

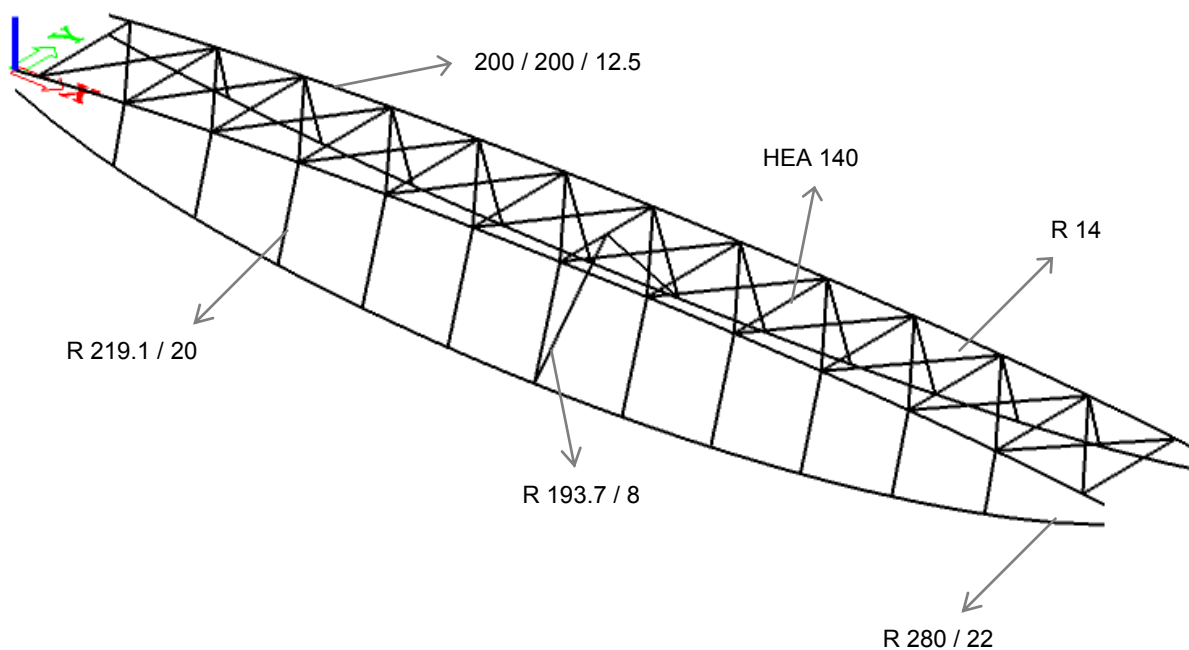
$$u_{z,max} = 56.2 \text{ mm, kar je enako razmerju } \frac{L}{445}.$$

6 DIMENZIONIRANJE

6.1 Parcialni faktorji

- $\gamma_{M0} = 1.0$ – nosilnost prečnih prerezov ne glede na razred kompaktnosti
- $\gamma_{M1} = 1.0$ – odpornost obremenjenih neto prečnih prerezov proti pretrgu
- $\gamma_{M0} = 1.25$ – nosilnost spojev

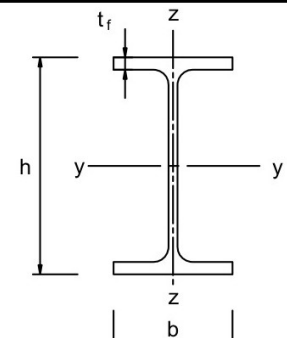
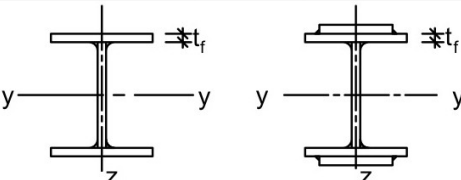

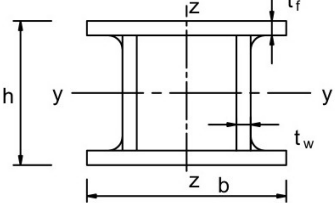
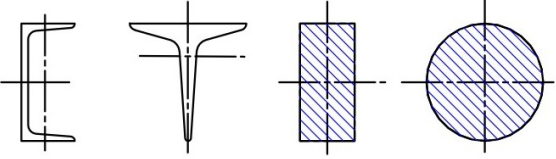
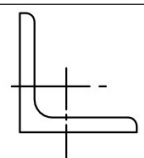
6.2 Razporeditev jeklenih profilov po mostu



Sl. 39: Deli mostu po prečnih prerezih

Glej prilogo: Pozicijski načrt.

6.3 Uklonske krivulje

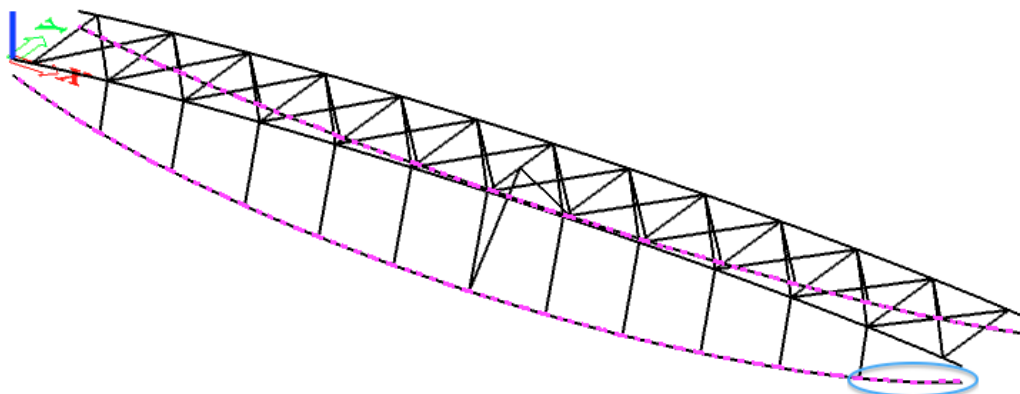
Cross section	Limits	Buckling about axis	Buckling curve	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Rolled sections 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a
			z-z	b
	$h/b \leq 1,2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y	b
			z-z	c
	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b	
		z-z	c	
	$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d	
		z-z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

Preglednica 4: Izbira uklonske krivulje glede na prečni prerez

Uklonska krivulja	a_0	a	b	c	d
Faktor nepopolnosti α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

Preglednica 5: Faktorji nepopolnosti uklonskih krivulj

6.4 Nosilec okroglega prereza



Sl. 40: Pozicija glavnih nosilcev okroglega prereza in pozicija največjih notranjih sil

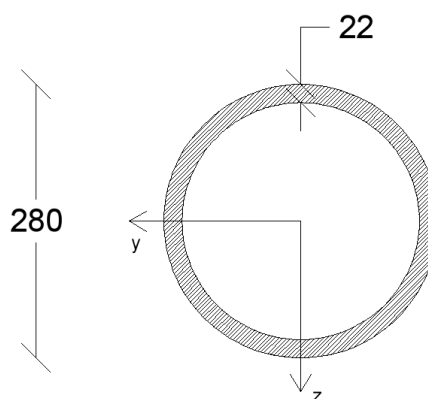
6.4.1 Obremenitve

Največje obremenitve so dobljene v MSN, kjer je Q prevladujoča obtežba.

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 522.29 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= 121.79 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 301.5 \text{ kNm} \\ V_{y,Ed} &= 119.38 \text{ kN} \\ V_{z,Ed} &= 48.68 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.4.2 Podatki profila

$$\begin{aligned} A &= 192.98 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 15945.0 \text{ cm}^4 \\ I_z &= 15945.0 \text{ cm}^4 \\ W_{el,y} &= 1138.9 \text{ cm}^3 \\ W_{el,z} &= 1138.9 \text{ cm}^3 \\ W_{pl,y} &= 1577.0 \text{ cm}^3 \\ W_{pl,z} &= 1577.0 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



6.4.3 Klasifikacija prereza

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{440}} = 0.7308 \\ \frac{d}{t} &= \frac{280}{24} = 11.67 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \cdot 0.7308^2 = 26.7 \end{aligned}$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti. V izračunih obravnavamo, da prerez ne presega 3. razreda kompaktnosti, torej dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

6.4.4 Odpornost prereza na natezne obremenitve

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{192.98 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 8491.12 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = 0.06 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 522.29 \text{ kN} \leq 8491.12 \text{ kN}$$

6.4.5 Odpornost prereza na upogibni moment

- okoli z osi:

$$M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1138.89 \text{ cm}^3 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 50111.16 \text{ kNcm} = 501.11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} = 0.60 \leq 1 \rightarrow M_{z,Ed} \leq M_{el,z,Rd} \rightarrow 301.5 \text{ kNm} \leq 501.11 \text{ kNm}$$

- okoli y osi:

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1138.89 \text{ cm}^3 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 50111.16 \text{ kNcm} = 501.11 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = 0.243 \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 121.79 \text{ kNm} \leq 501.11 \text{ kNm}$$

6.4.6 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 192.98 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 3268.23 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = 0.024 \leq 1.0 \rightarrow V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd} \rightarrow 119.38 \text{ kN} \leq 3268.23 \text{ kN}$$

6.4.7 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{522.29 \text{ kN}}{8491.12 \text{ kN}} + \frac{121.79 \text{ kNm}}{501.11 \text{ kNm}} + \frac{301.5 \text{ kNm}}{501.11 \text{ kNm}} = 0.906 \leq 1.0$$

6.4.8 Kombinacija upogibnega momenta in striga

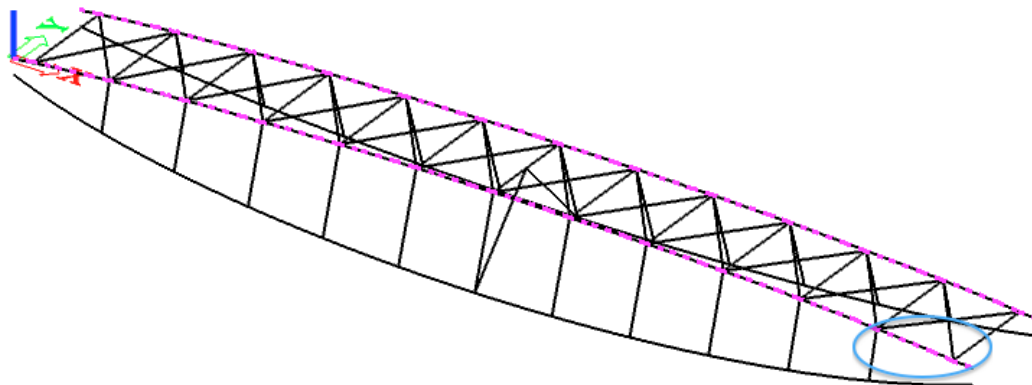
$$V_{y,Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$
$$119.38 \text{ kN} \leq 0.5 \cdot 3268.23 \text{ kN} = 1634.12 \text{ kN}$$

Kontrola ni potrebna.

6.4.9 Stabilnost elementa

Račun lokalnega uklona ter bočne zvrnitve ni potreben, saj je nosilec v celoti natezno obremenjen.

6.5 Nosilec kvadratnega prereza



Sl. 41: Pozicija glavnih nosilcev kvadratnega prereza in pozicija največjih notranjih sil

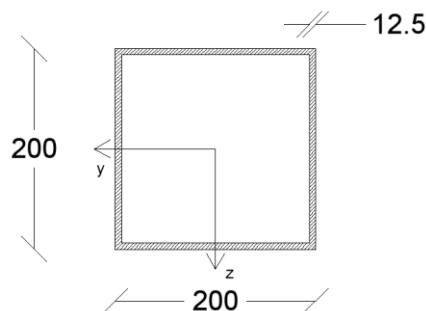
6.5.1 Obremenitve

Največje obremenitve so dobljene v MSN, kjer je Q prevladujoča obtežba.

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= -555.93 \text{ kN} \\M_{y,Ed} &= 153.06 \text{ kNm} \\M_{z,Ed} &= -32.33 \text{ kNm} \\V_{y,Ed} &= 23.61 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= 70.78 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.5.2 Podatki profila

$$\begin{aligned}A &= 92.1 \text{ cm}^2 \\I_y &= 5336.0 \text{ cm}^4 \\I_z &= 5336.0 \text{ cm}^4 \\W_{el,y} &= 534.0 \text{ cm}^3 \\W_{el,z} &= 534.0 \text{ cm}^3 \\W_{pl,y} &= 634.13 \text{ cm}^3 \\W_{pl,z} &= 634.13 \text{ cm}^3\end{aligned}$$



6.5.3 Klasifikacija prereza

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{440}} = 0.7308 \\ \alpha \cdot c &= \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a\right)\end{aligned}$$

$$c = h - 2 \cdot t = 200 - 2 \cdot 12.5 = 175 \text{ mm} = 17.5 \text{ cm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{555.93 \text{ kN}}{2 \cdot 1.25 \text{ cm} \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 5.05 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{17.5} \cdot \left(\frac{17.5}{2} + 5.05 \right) = 0.79 \rightarrow \alpha = 0.79 > 0.5$$

$$\alpha > 0.5: \frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{17.5}{1.25} \leq \frac{396 \cdot 0.7308}{13 \cdot 0.79 - 1}$$

$$14 \leq 31.22$$

Prerez je znotraj 1. razreda kompaktnosti. V izračunih obravnavamo, da prerez ne presega 3. razreda kompaktnosti, torej dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

6.5.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 4052.4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = 0.137 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 555.93 \text{ kN} \leq 4052.4 \text{ kN}$$

6.5.5 Odpornost prereza na upogibni moment

- okoli z osi:

$$M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{534 \text{ cm}^3 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 23496 \text{ kNcm} = 234.96 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} = 0.133 \leq 1 \rightarrow M_{z,Ed} \leq M_{el,z,Rd} \rightarrow 31.22 \text{ kNm} \leq 234.96 \text{ kNm}$$

- okoli y osi:

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{534 \text{ cm}^3 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 23496 \text{ kNcm} = 234.96 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} = 0.59 \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 139.16 \text{ kNm} \leq 234.96 \text{ kNm}$$

6.5.6 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{((20 - 2 \cdot 1.25) \cdot 2.5) \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 1111.4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = 0.03 \leq 1.0 \rightarrow V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd} \rightarrow 70.78 \text{ kN} \leq 1111.4 \text{ kN}$$

6.5.7 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{555.93 \text{ kN}}{4052.4 \text{ kN}} + \frac{153.06 \text{ kNm}}{234.96 \text{ kNm}} + \frac{32.33 \text{ kNm}}{234.96 \text{ kNm}} = 0.926 \leq 1.0$$

6.5.8 Kombinacija upogibnega momenta in striga

$$V_{y,Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$70.78 \text{ kN} \leq 0.5 \cdot 1111.4 \text{ kN} = 555.7 \text{ kN}$$

Kontrola ni potrebna.

6.5.9 Stabilnost elementa

- uklon:

$$l_u = 2m$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5336.0 \text{ cm}^4}{92.1 \text{ cm}^2}} = 7.61 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot 0.7308 = 68.62$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{200 \text{ cm}}{7.61 \text{ cm} \cdot 68.62} = 0.383$$

Iz preglednice 3 razberemo, da našemu prerezu ustreza uklonska krivulja a_0 , nato pa iz preglednice 4 razberemo faktor nepopolnosti $\alpha = 0.13$.

$$\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2) = 0.5(1 + 0.13(0.383 - 0.2) + 0.383^2) = 0.585$$

$$\chi = \chi_y = \chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.585 + \sqrt{0.585^2 - 0.383^2}} = 0.973$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.973 \cdot 92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = 3942.99 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.14 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 555.93 \text{ kN} \leq 3942.99 \text{ kN}$$

Ni nevarnosti uklona.

6.5.10 Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta

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

$$\frac{555.93 \text{ kN}}{0.973 \cdot 92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.6194 \frac{15306 \text{ kNcm} + \emptyset}{1.0 \cdot 534 \text{ cm}^3 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.6194 \frac{3233 \text{ kNcm} + \emptyset}{534 \text{ cm}^3 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.63 \leq 1$$

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

$$\frac{555.93 \text{ kN}}{0.973 \cdot 92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.496 \frac{15306 \text{ kNcm} + \emptyset}{1.0 \cdot 534 \text{ cm}^3 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.6194 \frac{3233 \text{ kNcm} + \emptyset}{534 \text{ cm}^3 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.549 \leq 1$$

Prerez je v 3. razredu kompaktnosti, zato velja: $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$.

Interakcijske faktorje k_{ij} obravnavamo za elemente, ki niso občutljivi na bočno zvrnitev.

$$C_{my} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot 0 = 0.6 \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y} \right)$$

$$k_{yy} = 0.6 \left(1 + 0.6 \cdot 0.383 \frac{555.93 \text{ kN}}{0.973 \cdot 92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right) \leq 0.6 \left(1 + 0.6 \frac{555.93 \text{ kN}}{0.973 \cdot 92.1 \text{ cm}^2 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.6194 \leq 0.6507$$

$$C_{mz} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.6 + 0.4 \cdot 0 = 0.6 \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.6$$

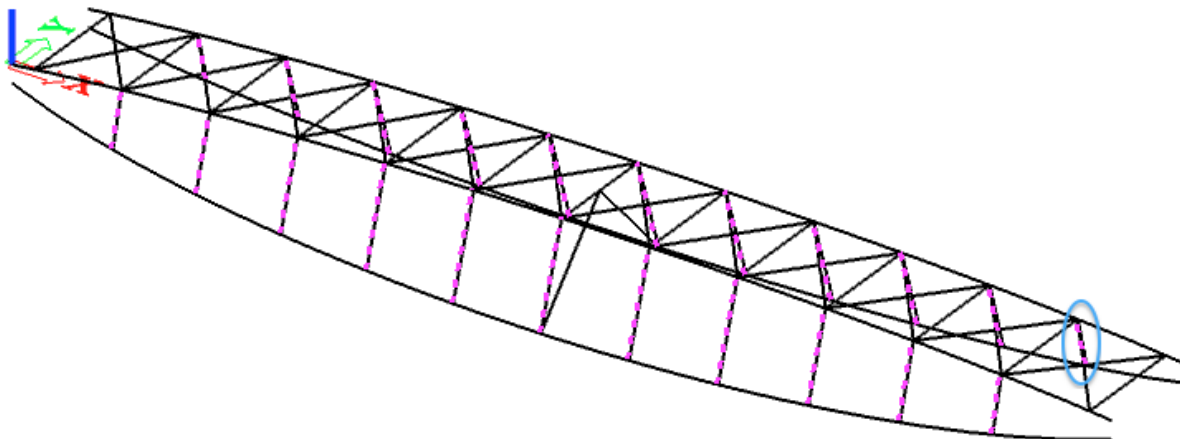
$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y} \right)$$

$$k_{zz} = 0.6 \left(1 + 0.6 \cdot 0.383 \frac{555.93kN}{\frac{0.973 \cdot 92.1cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}}{1.0}} \right) \leq 0.6 \left(1 + 0.6 \frac{555.93kN}{\frac{0.973 \cdot 92.1cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}}{1.0}} \right)$$
$$k_{zz} = 0.6194 \leq 0.6507$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0.6194$$

$$k_{zy} = 0.8 \cdot k_{yy} = 0.8 \cdot 0.6194 = 0.496$$

6.6 Vertikalni nosilci okroglega preseza



Sl. 42: Pozicija vertikalnih nosilcev okroglega preseza in pozicija največjih notranjih sil

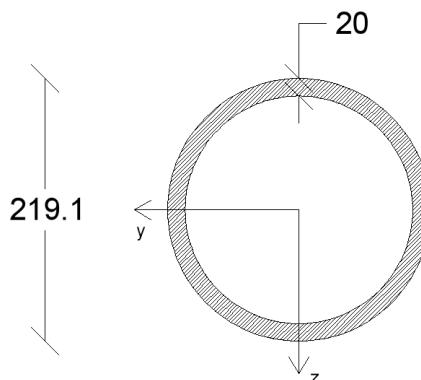
6.6.1 Obremenitve

Največje osne sile so dobljene v MSN, kjer je Q prevladujoča obtežba, največje prečne sile in momenti pa so doseženi v MSN ob delovanju vetra. Največje obremenitve so podane za najkrajše vertikalne elemente. Pri projektiranju zvara med vertikalnimi elementi in spodnjim nateznim pasom se je izkazalo, da je potrebno najkrajše vertikalne ojačati (Poglavje 6.10). Dimenzije teh vertikal so: $d/t = 244.5/20$.

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= -38.75 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= -36.50 \text{ kNm} \\ M_{z,Ed} &= 245.40 \text{ kNm} \\ V_{y,Ed} &= -367.98 \text{ kN} \\ V_{z,Ed} &= 39.31 \text{ kN} \end{aligned}$$

6.6.2 Podatki profila

$$\begin{aligned} A &= 125 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 6261.0 \text{ cm}^4 \\ I_z &= 6261.0 \text{ cm}^4 \\ W_{el,y} &= 572.0 \text{ cm}^3 \\ W_{el,z} &= 572.0 \text{ cm}^3 \\ W_{pl,y} &= 782.94 \text{ cm}^3 \\ W_{pl,z} &= 782.94 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



6.6.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{440}} = 0.7308$$

$$\frac{d}{t} = \frac{219.1}{20} = 10.96 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \cdot 0.7308^2 = 26.7$$

Prerez je znotraj 1. razreda kompaktnosti.

6.6.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{125 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 5500.0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = 0.007 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 38.75 \text{ kN} \leq 5500.0 \text{ kN}$$

6.6.5 Odpornost prereza na upogibni moment

- okoli z osi:

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{782.94 \text{ cm}^3 \cdot 44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 34449.36 \text{ kNcm} = 344.49 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0.51 \leq 1 \rightarrow M_{z,Ed} \leq M_{pl,z,Rd} \rightarrow 245.40 \text{ kNm} \leq 501.11 \text{ kNm}$$

- okoli y osi:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{782.94 \text{ cm}^3 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 34449.36 \text{ kNcm} = 344.49 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} = 0.066 \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{pl,y,Rd} \rightarrow 33.08 \text{ kNm} \leq 501.11 \text{ kNm}$$

6.6.6 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 125 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 2116.95 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}} = 0.107 \leq 1.0 \rightarrow V_{y,Ed} \leq V_{pl,y,Rd} \rightarrow 340.61 \text{ kN} \leq 2116.95 \text{ kN}$$

6.6.7 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{38.75 \text{ kN}}{5500.0 \text{ kN}} + \frac{36.50 \text{ kNm}}{344.49 \text{ kNm}} + \frac{245.40 \text{ kNm}}{344.49 \text{ kNm}} = 0.825 \leq 1.0$$

6.6.8 Kombinacija upogibnega momenta in striga

$$V_{y,Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$367.98 \text{ kN} \leq 0.5 \cdot 2116.95 \text{ kN} = 1058.48 \text{ kN}$$

Kontrola ni potrebna.

6.6.9 Stabilnost elementa

- uklon:

$$l_u = 2.278 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{6261.0 \text{ cm}^4}{125 \text{ cm}^2}} = 7.08 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot 0.7308 = 68.62$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{227.8 \text{ cm}}{7.08 \text{ cm} \cdot 68.62} = 0.469$$

Iz preglednice 3 razberemo, da našemu prerezu ustreza uklonska krivulja a_0 , nato pa iz preglednice 4 razberemo faktor nepopolnosti $\alpha = 0.13$.

$$\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2) = 0.5(1 + 0.13(0.469 - 0.2) + 0.469^2) = 0.627$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.627 + \sqrt{0.627^2 - 0.469^2}} = 0.96$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.96 \cdot 125 \text{ cm}^2 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = 5280 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.007 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 38.75 \text{ kN} \leq 5280 \text{ kN}$$

Ni nevarnosti uklona.

Ker je prerez simetričen, velja zgornji izračun tako za uklon okoli y in okoli z osi.

6.6.10 Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta

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

$$\frac{38.75kN}{0.96 \cdot 125cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} + 0.481 \frac{3650kNcm + \emptyset}{1.0 \cdot 782.94 cm^3 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} + 0.401 \frac{24540kNcm + \emptyset}{782.94 cm^3 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} =$$

$$\frac{38.75kN}{1.0} + 0.481 \frac{3650kNcm + \emptyset}{1.0} + 0.401 \frac{24540kNcm + \emptyset}{1.0} =$$

$$= 0.344 \leq 1$$

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

$$\frac{38.75kN}{0.96 \cdot 125cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} + 0.385 \frac{3650kNcm + \emptyset}{1.0 \cdot 782.94 cm^3 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} + 0.401 \frac{24540kNcm + \emptyset}{782.94 cm^3 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} =$$

$$\frac{38.75kN}{1.0} + 0.385 \frac{3650kNcm + \emptyset}{1.0} + 0.401 \frac{24540kNcm + \emptyset}{1.0} =$$

$$= 0.334 \leq 1$$

Prerez je v 1. razredu kompaktnosti, zato velja: $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$.

Interakcijske faktorje k_{ij} obravnavamo za elemente, ki niso občutljivi na bočno zvrnitev.

$$C_{my} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot (-0.3) = 0.48 \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.48$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.48 \left(1 + 0.6 \cdot 0.469 \frac{38.75kN}{0.96 \cdot 125cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} \right) \leq 0.48 \left(1 + 0.6 \frac{38.75kN}{0.96 \cdot 125cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.481 \leq 0.482$$

$$C_{mz} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.6 + 0.4 \cdot (-1) = 0.2 \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.4$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

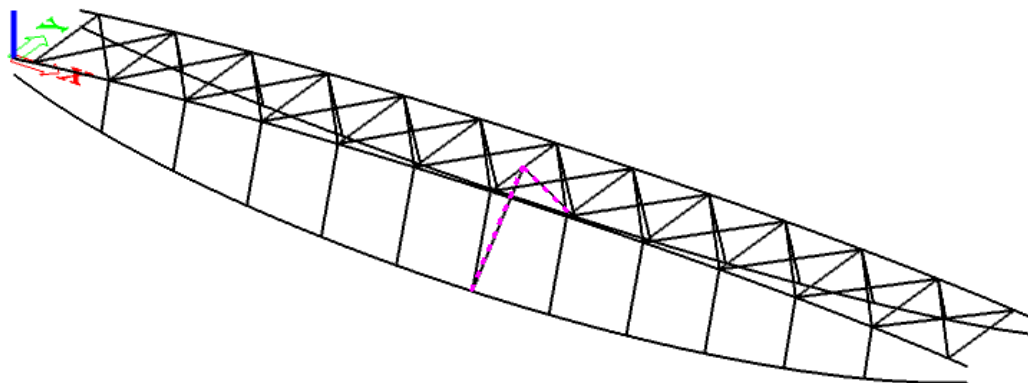
$$k_{zz} = 0.4 \left(1 + 0.6 \cdot 0.469 \frac{38.75 kN}{\frac{0.96 \cdot 125 cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}}{1.0}} \right) \leq 0.4 \left(1 + 0.6 \frac{38.75 kN}{\frac{0.96 \cdot 125 cm^2 \cdot 44 \frac{kN}{cm^2}}{1.0}} \right)$$

$$k_{zz} = 0.401 \leq 0.402$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0.401$$

$$k_{zy} = 0.8 \cdot k_{yy} = 0.8 \cdot 0.481 = 0.385$$

6.7 Ojačitev okroglega prereza na sredini mostu



Sl. 43: Pozicija ojačitve okroglega prereza

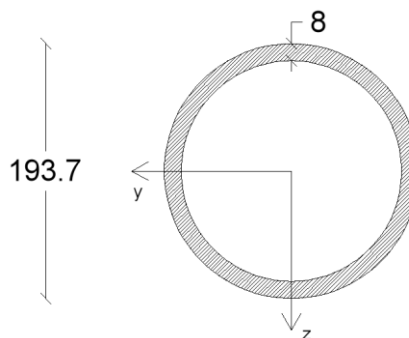
6.7.1 Obremenitve

Največje osne sile so dobljene v MSN ob delovanju vetra, največje prečne sile in momenti pa so doseženi v MSN, kjer je Q prevladujoča obtežba.

$$\begin{aligned}N_{Ed} &= -82.42 \text{ kN} \\M_{y,Ed} &= -53.45 \text{ kNm} \\M_{z,Ed} &= 0.36 \text{ kNm} \\V_{y,Ed} &= 0.12 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= 25.33 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.7.2 Podatki profila

$$\begin{aligned}A &= 46.7 \text{ cm}^2 \\I_y &= 2016.0 \text{ cm}^4 \\I_z &= 2016.0 \text{ cm}^4 \\W_{el,y} &= 208.0 \text{ cm}^3 \\W_{el,z} &= 208.0 \text{ cm}^3 \\W_{pl,y} &= 271.69 \text{ cm}^3 \\W_{pl,z} &= 271.69 \text{ cm}^3\end{aligned}$$



6.7.3 Klasifikacija prereza

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.8136$$

$$\frac{d}{t} = \frac{193.7}{8} = 24.21 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \cdot 0.8136^2 = 33.1$$

Prerez je znotraj 1. razreda kompaktnosti. V izračunih obravnavamo, da prerez ne presega 3. razreda kompaktnosti, torej dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

6.7.4 Odpornost prereza na tlačno obremenitev

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{46.7 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 1657.85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 82.0 \text{ kN} \leq 1657.85 \text{ kN}$$

6.7.5 Odpornost prereza na upogibni moment

- okoli y osi:

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{208 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 7384 \text{ kNcm} = 73.84 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 53.45 \text{ kNm} \leq 73.84 \text{ kNm}$$

- okoli z osi:

Moment $M_{z,Ed}$ je zanemarljivo majhen, zato odpornost prereza na upogibni moment okoli z osi ni upoštevana.

6.7.6 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 46.7 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 638.11 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 25.33 \text{ kN} \leq 638.11 \text{ kN}$$

6.7.7 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1.0$$

$$\frac{82.0 \text{ kN}}{1657.85 \text{ kN}} + \frac{53.45 \text{ kNm}}{73.84 \text{ kNm}} + \frac{0.36 \text{ kNm}}{73.84 \text{ kNm}} = 0.778 \leq 1.0$$

6.7.8 Kombinacija upogibnega momenta in striga

$$V_{y,Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,y,Rd}$$

$$25.33 \text{ kN} \leq 0.5 \cdot 638.11 \text{ kN} = 319.06 \text{ kN}$$

Kontrola ni potrebna.

6.7.9 Stabilnost elementa

- uklon:

$$l_u = 2.956 \text{ m}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2016.0 \text{ cm}^4}{46.7 \text{ cm}^2}} = 6.57 \text{ cm}$$

$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot 0.8136 = 76.4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{295.6 \text{ cm}}{6.57 \text{ cm} \cdot 76.4} = 0.589$$

Iz preglednice 3 razberemo, da našemu prerezu ustreza uklonska krivulja α_0 , nato pa iz preglednice 4 razberemo faktor nepopolnosti $\alpha = 0.13$.

$$\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2) = 0.5(1 + 0.13(0.589 - 0.2) + 0.589^2) = 0.699$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.699 + \sqrt{0.699^2 - 0.589^2}} = 0.93$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.93 \cdot 46.7 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = 1541.8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.053 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 82.0 \text{ kN} \leq 1541.8 \text{ kN}$$

Ni nevarnosti uklona.

Ker je prerez simetričen, velja zgornji izračun tako za uklon okoli y in okoli z osi.

6.7.10 Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta

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

$$\frac{82.42 \text{ kN}}{0.93 \cdot 46.7 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.448 \frac{5345 \text{ kNcm} + \emptyset}{1.0 \cdot 208 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0.611 \frac{36 \text{ kNcm} + \emptyset}{208 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} =$$

$$\frac{82.42 \text{ kN}}{1.0} + 0.448 \frac{5345 \text{ kNcm} + \emptyset}{1.0} + 0.611 \frac{36 \text{ kNcm} + \emptyset}{1.0} =$$

$$= 0.381 \leq 1$$

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

$$\frac{82.42kN}{0.93 \cdot 46.7cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + 0.3584 \frac{5345kNcm + \emptyset}{1.0 \cdot 208cm^3 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + 0.611 \frac{36kNcm + \emptyset}{208cm^3 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} =$$

$$\frac{1.0}{1.0} = 0.316 \leq 1$$

Prerez je v 3. razredu kompaktnosti, zato velja: $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$.

Interakcijske faktorje k_{ij} obravnavamo za elemente, ki niso občutljivi na bočno zvrnitev.

$$C_{my} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot (-0.4) = 0.44 \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.44$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.44 \left(1 + 0.6 \cdot 0.589 \frac{82.42kN}{0.93 \cdot 46.7cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right) \leq 0.44 \left(1 + 0.6 \frac{82.42kN}{0.93 \cdot 46.7cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.448 \leq 0.454$$

$$C_{mz} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.6 + 0.4 \cdot 0 = 0.6 \geq 0.4 \rightarrow C_{mz} = 0.6$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

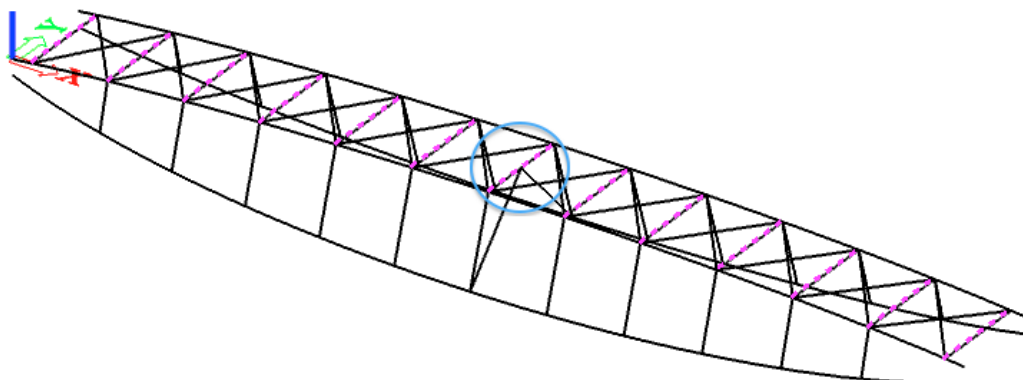
$$k_{zz} = 0.6 \left(1 + 0.6 \cdot 0.589 \frac{82.42kN}{0.93 \cdot 46.7cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right) \leq 0.6 \left(1 + 0.6 \frac{82.42kN}{0.93 \cdot 46.7cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right)$$

$$k_{zz} = 0.611 \leq 0.619$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 0.611$$

$$k_{zy} = 0.8 \cdot k_{yy} = 0.8 \cdot 0.448 = 0.3584$$

6.8 Prečni nosilec HEA140



Sl. 44: Pozicija prečnih nosilcev HEA140 in pozicija največjih notranjih sil

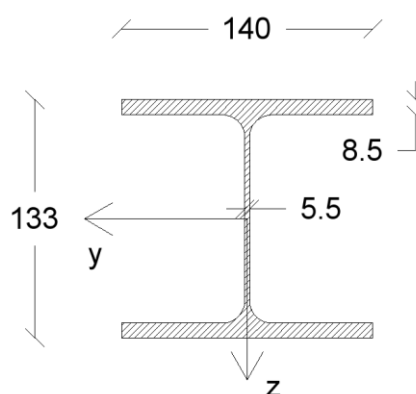
6.8.1 Obremenitve

Največje natezna osna sila, prečne sile in momenti so dobljeni v MSN, kjer je Q prevladujoča obtežba, največja tlačna osna sila pa deluje v MSN ob delovanju temperaturnih vplivov.

$$\begin{aligned}N_{t,Ed} &= 36.72 \text{ kN} \\N_{c,Ed} &= -30.38 \text{ kN} \\M_{y,Ed} &= -47.44 \text{ kNm} \\M_{z,Ed} &= -0.15 \text{ kNm} \\V_{y,Ed} &= 0.12 \text{ kN} \\V_{z,Ed} &= 41.88 \text{ kN}\end{aligned}$$

6.8.2 Podatki profila

$$\begin{aligned}A &= 31.4 \text{ cm}^2 \\I_y &= 1030.0 \text{ cm}^4 \\I_z &= 389.0 \text{ cm}^4 \\W_{el,y} &= 155.0 \text{ cm}^3 \\W_{el,z} &= 55.60 \text{ cm}^3 \\W_{pl,y} &= 174.0 \text{ cm}^3 \\W_{pl,z} &= 84.8 \text{ cm}^3\end{aligned}$$



6.8.3 Klasifikacija prereza

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.8136 \\ \alpha \cdot c &= \frac{c}{2} + a \rightarrow \alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a\right)\end{aligned}$$

$$c = h - 2 \cdot t = 133 - 2 \cdot 8.5 - 2 \cdot 12 = 92 \text{ mm} = 9.2 \text{ cm}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{25.29 \text{ kN}}{2 \cdot 0.85 \text{ cm} \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.42 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{9.2} \cdot \left(\frac{9.2}{2} + 0.42 \right) = 0.546 \rightarrow \alpha = 0.546 > 0.5$$

$$\alpha > 0.5: \frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{9.2}{0.85} \leq \frac{396 \cdot 0.8136}{13 \cdot 0.546 - 1}$$

$$10.82 \leq 52.83$$

Prerez je znotraj 1. razreda kompaktnosti. V izračunih obravnavamo, da prerez ne presega 3. razreda kompaktnosti, torej dimenzioniramo na elastično nosilnost prereza.

6.8.4 Odpornost prereza na natezne obremenitve

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{31.4 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 1114.7 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 36.72 \text{ kN} \leq 1114.7 \text{ kN}$$

6.8.5 Odpornost prereza na upogibni moment

- okoli y osi:

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{155 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 5502.5 \text{ kNcm} = 55.03 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{el,y,Rd} \rightarrow 47.44 \text{ kNm} \leq 55.03 \text{ kNm}$$

- okoli z osi:

Moment $M_{z,Ed}$ je zanemarljivo majhen, zato odpornost prereza na upogibni moment okoli z osi ni upoštevana.

6.8.6 Strižna odpornost prereza

$$V_{pl,z,Rd} = V_{pl,y,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{((13.3 - 2 \cdot 0.85) \cdot 0.55) \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 130.76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow V_{z,Ed} \leq V_{pl,z,Rd} \rightarrow 41.88 \text{ kN} \leq 130.76 \text{ kN}$$

6.8.7 Kombinacija osne sile in upogibnega momenta

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,z,Rd}} \leq 1.0$$
$$\frac{36.72 \text{ kN}}{1114.7 \text{ kN}} + \frac{47.44 \text{ kNm}}{55.03 \text{ kNm}} + \frac{0.15 \text{ kNm}}{55.03 \text{ kNm}} = 0.898 \leq 1.0$$

6.8.8 Kombinacija upogibnega momenta in striga

$$V_{z,Ed} \leq 0.5 \cdot V_{pl,z,Rd}$$
$$41.88 \text{ kN} \leq 0.5 \cdot 130.76 \text{ kN} = 65.38 \text{ kN}$$

Kontrola ni potrebna.

6.8.9 Stabilnost elementa

- uklon okoli y osi:

$$l_u = 2.60 \text{ m}$$
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1030.0 \text{ cm}^4}{31.4 \text{ cm}^2}} = 5.73 \text{ cm}$$
$$\lambda_1 = 93.9 \cdot \varepsilon = 93.9 \cdot 0.8136 = 76.4$$
$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i_y \cdot \lambda_1} = \frac{260.0 \text{ cm}}{5.73 \text{ cm} \cdot 76.4} = 0.594$$
$$\frac{h}{b} = \frac{133 \text{ mm}}{140 \text{ mm}} = 0.95 \leq 1.2 \text{ in } t_f \leq 100 \text{ mm}$$

Ob upoštevanju zgornjega izraza, iz preglednice 3 razberemo, da našemu prerezu za uklon okoli y osi ustreza uklonska krivulja d , nato pa iz preglednice 4 razberemo faktor nepopolnosti $\alpha = 0.76$.

$$\phi = 0.5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2) = 0.5(1 + 0.76(0.594 - 0.2) + 0.594^2) = 0.826$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.826 + \sqrt{0.826^2 - 0.594^2}} = 0.714$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.714 \cdot 31.4 \text{ cm}^2 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = 795.9 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = 0.038 \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \rightarrow 30.38 \text{ kN} \leq 795.9 \text{ kN}$$

Ni nevarnosti uklona okoli y osi.

- uklon okoli z osi:

Moment $M_{z,Ed}$ je zanemarljivo majhen, zato nevarnost lokalnega uklona okoli z osi ni upoštevana.

- bočna zvrnitev:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{k_z L} \sqrt{EI_z G I_t + \frac{\pi^2 EI_z EI_\omega}{(k_\omega L)^2}}$$

I_z = vztrajnostni moment okoli šibke osi

I_t = torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni torziji

I_ω = torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji

L = razmak med bočnimi podporami (bočno podprt celoten prerez ali vsaj tlačen pas)

k_z = uklonski koeficient za uklon okoli šibke osi

k_ω = robni pogoji za vbočenje prereza

C_1 = koeficient, ki zajema vpliv poteka upogibnih momentov vzdolž nosilca

$$k_z = 1.0; k_\omega = 1.0; C_1 = 1.35$$

$$M_{cr} = 1.35 \frac{\pi}{1 \cdot 260 \text{ cm}} \sqrt{21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} 389 \text{ cm}^4 \cdot 8070 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} 8.13 \text{ cm}^4 + \frac{\pi^2 \left(21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}\right)^2 389 \text{ cm}^4 \cdot 15060 \text{ cm}^6}{(1.0 \cdot 260 \text{ cm})^2}} =$$

$$= 161980.8 \text{ kNcm} = 1619.8 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{155 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{161980.8 \text{ kNcm}}} = 0.184$$

Tedaj velja:

$$\chi_{LT} = 1.0 \text{ pri } \bar{\lambda}_{LT} = 0.184 \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} W_y f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{1.0 \cdot 155.0 \text{ cm}^3 \cdot 35.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1.0} = 5502.5 \text{ kNcm} = 55.03 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd} \rightarrow 47.44 \text{ kNm} \leq 55.03 \text{ kNm}$$

Ni nevarnosti bočne zvrnitve.

6.8.10 Kombinacija tlačne sile in upogibnega momenta

Moment $M_{z,Ed}$ je zanemarljivo majhen, zato njegov delež v izračunu ni upoštevan.

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

$$\frac{30.38kN}{0.714 \cdot 31.4cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + 0.608 \frac{4744kNcm + \emptyset}{1.0 \cdot 155cm^3 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + \emptyset = 0.562 \leq 1$$

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

$$\frac{30.38kN}{0.714 \cdot 31.4cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + 0.4864 \frac{4744kNcm + \emptyset}{1.0 \cdot 155cm^3 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} + \emptyset = 0.458 \leq 1$$

Prerez je v 3. razredu kompaktnosti, zato velja: $e_{N,y} = e_{N,z} = 0$.

Interakcijske faktorje k_{ij} obravnavamo za elemente, ki niso občutljivi na bočno zvrnitev.

$$C_{my} = 0.6 + 0.4\psi \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6 + 0.4 \cdot 0 = 0.6 \geq 0.4 \rightarrow C_{my} = 0.6$$

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + 0.6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$$

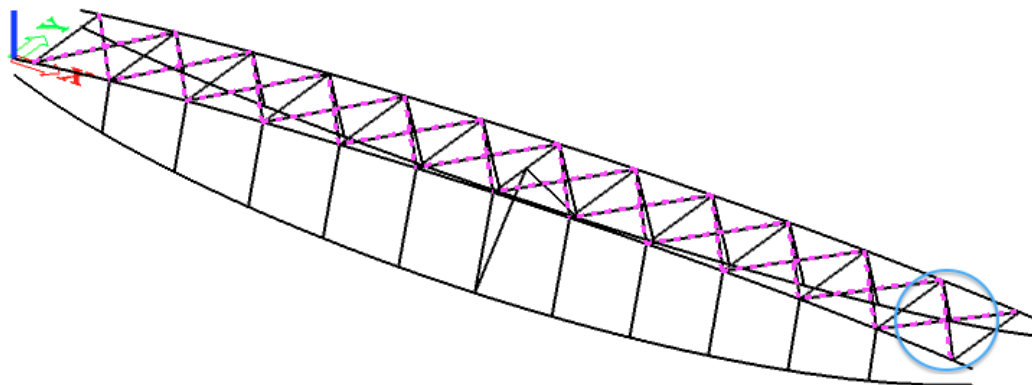
$$k_{yy} = 0.6 \left(1 + 0.6 \cdot 0.594 \frac{30.38kN}{0.714 \cdot 31.4cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right) \leq 0.6 \left(1 + 0.6 \frac{30.38kN}{0.714 \cdot 31.4cm^2 \cdot 35.5 \frac{kN}{cm^2}} \right)$$

$$k_{yy} = 0.608 \leq 0.614$$

$$k_{zy} = 0.8 \cdot k_{yy} = 0.8 \cdot 0.608 = 0.4864$$

6.9 Povezje iz okroglih palic

Povezje je projektirano tako, da prenaša le natezne osne sile. Preverjen je bil tudi vpliv izbočnih sil, vendar je zanemarljiv.



Sl. 45: Pozicija povezja in pozicija največjih notranjih sil

6.9.1 Obremenitve

Največja natezna osna sila je dosežena v MSN ob delovanju temperaturnih vplivov.

$$N_{Ed} = -9.03 \text{ kN}$$

6.9.2 Podatki profila

$$A = 1.54 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 0.189 \text{ cm}^4$$

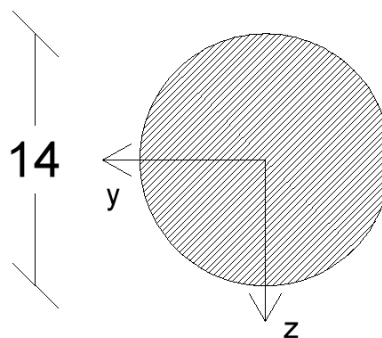
$$I_z = 0.189 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = 0.269 \text{ cm}^3$$

$$W_{el,z} = 0.269 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 0.457 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 0.457 \text{ cm}^3$$



6.9.3 Odpornost prereza na natezne obremenitve

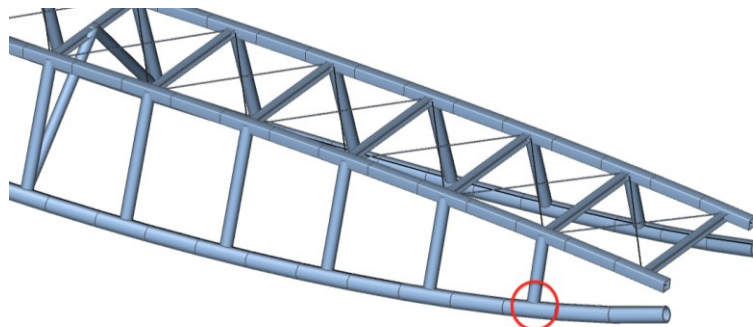
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.54 \text{ cm}^2 \cdot 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1} = 36.19 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 9.03 \text{ kN} \leq 36.19 \text{ kN}$$

6.10 Dimenzioniranje zvara

6.10.1 Načini porušitve

Dimenzioniran zvar je na spoju vertikalnih nosilcev okroglega prereza in glavnih nosilcev okroglega prereza, kot je prikazano na spodnji sliki (Sl. 46). Zvar je polnonosilen.



Sl. 46: Pozicija dimenzioniranega zvara

6.10.2 Obremenitve

Največje obremenitve se pojavijo v najkrajšem vertikalnem elementu. Spodnje dimenzije prereza se nanašajo na omenjeni element.

$$N_{0,Ed} = 522.29 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed} = -38.75 \text{ kN}$$

$$M_{op,1,Ed} = -36.50 \text{ kNm}$$

$$M_{ip,1,Ed} = 245.40 \text{ kNm}$$

6.10.3 Odpornost stika na osno obremenitev

$$N_{1,Rd} = \frac{\gamma^{0.2} k_p f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_1} (2.8 + 14.2 \beta^2) =$$
$$= \frac{6.364^{0.2} \cdot 0.483 \cdot 44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot (2.2 \text{ cm})^2}{\sin 72^\circ} (2.8 + 14.2 \cdot 0.7825^2) = 1800 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 38.75 \text{ kN} \leq 1800 \text{ kN}$$

$\gamma_{M5} = 1.0$ – varnostni faktor za nosilnost vozlišč paličnih nosilcev iz votlih profilov

$\theta_1 = 72^\circ$ – kot med pasom in palico

γ – razmerje med premerom pasu in dvojno debelino stene prečnega prereza pasu

β – razmerje zunanjih premerov med palico in pasom

f_{y0} – meja tečenja pasu

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{280 \text{ mm}}{2 \cdot 22 \text{ mm}} = 6.364$$

$$\beta = \frac{d_1}{d_0} = \frac{244.5 \text{ mm}}{280 \text{ mm}} = 0.873$$

Izračun k_p (tlak):

$$k_p = 1 - 0.3n_p(1 + n_p) = 1 - 0.3 \cdot 0.9048 \cdot (1 + 0.9048) = 0.483$$

$$n_p = \frac{\frac{\sigma_{p,Ed}}{f_{y0}}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{39.81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}}{1.0} = 0.9048$$

$$\sigma_{p,Ed} = \frac{N_{p,Ed}}{A_0} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}} = \frac{510.32 \text{ kN}}{192.98 \text{ cm}^2} + \frac{12179 \text{ kNcm}}{1138.9 \text{ cm}^3} + \frac{30150 \text{ kNcm}}{1138.9 \text{ cm}^3} = 39.81 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$N_{p,Ed} = N_{0,Ed} - \sum_{i>0} N_{i,Ed} \cos\theta_i = 522.29 \text{ kN} - 38.75 \text{ kN} \cdot \cos 72^\circ = 510.32 \text{ kN}$$

Prebojna strižna porušitev:

- daljši vertikalni elementi

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0 \rightarrow 219.1 \text{ mm} \leq 280 \text{ mm} - 2 \cdot 22 \text{ mm} \rightarrow 219.1 \text{ mm} \leq 236 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \sin\theta_1}{2 \sin^2\theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{44.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3}} \cdot 2.2 \text{ cm} \cdot \pi \cdot 21.91 \text{ cm} \frac{1 + \sin 72^\circ}{2 \sin^2 72^\circ}}{1.0} = 3394.37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \rightarrow 38.75 \text{ kN} \leq 3394.37 \text{ kN}$$

- krajši (merodajni) vertikalni elementi

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0 \rightarrow 244.5 \text{ mm} \leq 280 \text{ mm} - 2 \cdot 22 \text{ mm} \rightarrow 244.5 \text{ mm} \leq 236 \text{ mm}$$

Kontrola prebojne porušitve ni potrebna.

6.10.4 Odpornost stika na momente

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{4.85 \frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \sqrt{\gamma} \beta k_p}{\gamma_{M5}} = \frac{4.85 \frac{44.0 \frac{kN}{cm^2} \cdot (2.2cm)^2 \cdot 24.45cm}{\sin 72^\circ} \sqrt{6.364} \cdot 0.873 \cdot 0.483}{1.0} = 282.44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{ip,1,Ed} \leq M_{ip,1,Rd} \rightarrow 245.40 \text{ kNm} \leq 282.44 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} t_0^2 d_1}{\sin \theta_1} \frac{2.7}{1 - 0.81\beta} k_p}{\gamma_{M5}} = \frac{44.0 \frac{kN}{cm^2} \cdot (2.2cm)^2 \cdot 24.45cm}{\sin 72^\circ} \cdot \frac{2.7}{1 - 0.81 \cdot 0.873} \cdot 0.483 = 243.78 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{op,1,Ed}}{M_{op,1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{op,1,Ed} \leq M_{op,1,Rd} \rightarrow 36.50 \text{ kNm} \leq 243.78 \text{ kNm}$$

Prebojna strižna porušitev:

- daljši vertikalni elementi

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0 \rightarrow 219.1 \text{ mm} \leq 280 \text{ mm} - 2 \cdot 22 \text{ mm} \rightarrow 219.1 \text{ mm} \leq 236 \text{ mm}$$

$$M_{ip,1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} d_1^2 t_0}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3\sin \theta_1}{4\sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{44.0 \frac{kN}{cm^2} \cdot (21.91cm)^2 \cdot 2.2cm}{\sqrt{3}} \frac{1 + 3\sin 72^\circ}{4\sin^2 72^\circ} = 285.72 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{ip,1,Ed} \leq M_{ip,1,Rd} \rightarrow 255.92 \text{ kNm} \leq 285.72 \text{ kNm}$$

$$M_{op,1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} d_1^2 t_0}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin \theta_1}{4\sin^2 \theta_1}}{\gamma_{M5}} = \frac{44.0 \frac{kN}{cm^2} \cdot (21.91cm)^2 \cdot 2.2cm}{\sqrt{3}} \frac{3 + \sin 72^\circ}{4\sin^2 72^\circ} = 292.98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{op,1,Ed}}{M_{op,1,Rd}} \leq 1.0 \rightarrow M_{op,1,Ed} \leq M_{op,1,Rd} \rightarrow 36.50 \text{ kNm} \leq 292.98 \text{ kNm}$$

- krajši (merodajni) vertikalni elementi

$$d_1 \leq d_0 - 2t_0 \rightarrow 244.5 \text{ mm} \leq 280 \text{ mm} - 2 \cdot 22 \text{ mm} \rightarrow 244.5 \text{ mm} \leq 236 \text{ mm}$$

Kontrola prebojne porušitve ni potrebna.

7 ZAKLJUČEK

Pri izdelavi diplomske naloge je bilo uporabljenega veliko znanja, pridobljenega tekom študijskih let.

Most je bil projektiran v skladu z Evrokod standardi in je ustrezal vsem priporočilom ter zahtevam Evrokod standardov. Izjema so bile lastne frekvence mostu. Le tem sem posvetil precej časa, vendar sem na koncu ugotovil, da če poskusim ta problem rešiti s predimenzioniranjem konstrukcije, le-ta ne bo več tako vitka in elegantna kot sem si na začetku zamislil. Potrebno bi bilo opraviti še izračun dinamičnega odziva konstrukcije, ki pa v tej nalogi ni bil zajet.

Tekom projektiranja mostu in izdelave diplomske naloge, sem velikokrat naletel na ovire, kar se tiče stabilnosti in nosilnosti konstrukcije, zato sem moral tako samo zasnovo mostu, kot tudi konstrukcijske elemente sproti prilagajati.

Zanimiv del naloge je bil tudi izris detajla mostu, kjer sem si izbral drsno podporo. Poizkušal sem ustvariti neko svojo podporo, vendar je bila ta bodisi preveč idealistično zastavljena, bodisi preveč zahtevna za izdelavo. Na koncu sem pristal pri standardni drsni podpori, ki omogoča premikanje mostu s pomočjo podloženih valjev.

Med projektiranjem mostu sem pridobil veliko novega znanja, predvsem pa vpogled v dejansko delo projektanta gradbenih konstrukcij. Potrebne je bilo veliko samostojnosti ter iznajdljivosti, da je konstrukcija taka kot sem si jo na začetku zamislil – všečna za oko, hkrati pa varna in v skladu s standardi.

VIRI

Slike:

Pont_mycénien_de_Kazarma_2.jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/Pont_mycénien_de_Kazarma_2.jpg

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

Bridge Alcantara.JPG

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d5/Bridge_Alcantara.JPG

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

1009110_b4012cf7.jpg

http://s0.geograph.org.uk/geophotos/01/00/91/1009110_b4012cf7.jpg

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

Maurzyce 2009 (0).jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/ffd/Maurzyce_2009_%280%29.jpg/800px-Maurzyce_2009_%280%29.jpg

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

Gateshead millennium bridge open.jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Gateshead_millennium_bridge_open.jpg

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

Langkawi-Skybridge.jpg

<http://www.escape traveler.com/wp-content/uploads/2012/04/Langkawi-Skybridge.jpg>

(Pridobljeno 4. 5. 2013)

wpc-rationelle.jpg

<http://www.naturinform.com/en/images-wpc/wpc-rationelle.jpg>

(Pridobljeno 5. 5. 2013)

Ostale slike so iz lastnega arhiva.

Standardi:

SIST EN 1990: Basis of structural design; 2002

SIST EN 1991-1-1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings; 2002

SIST EN 1991-1-3: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads; 2003

SIST EN 1991-1-4: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions; 2004

SIST EN 1991-1-5: Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions; 2003

SIST EN 1991-2: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges; 2004

SIST EN 1993-1-1: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings; 2005

SIST EN 1993-1-8: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints; 2005

SIST EN 1998-1: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings; 2003

Priročniki:

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

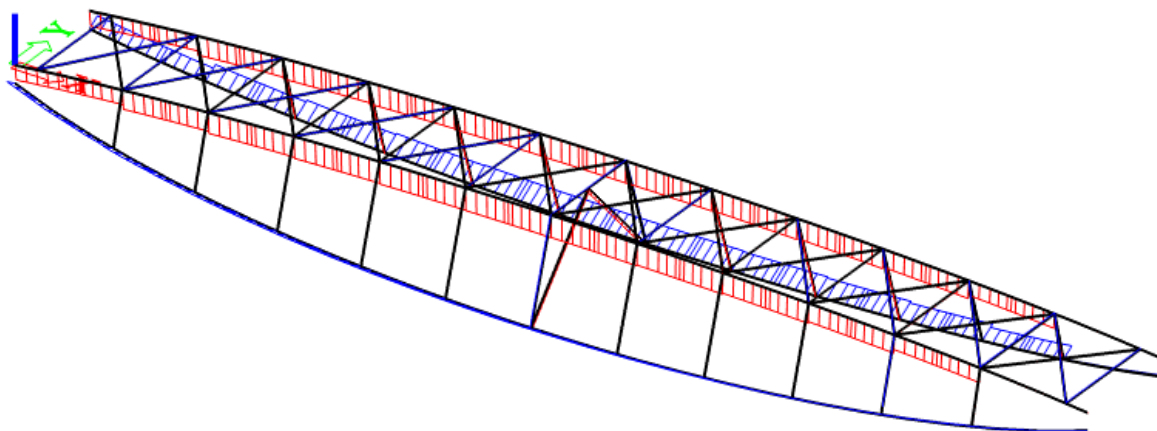
Računalniški programi:

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

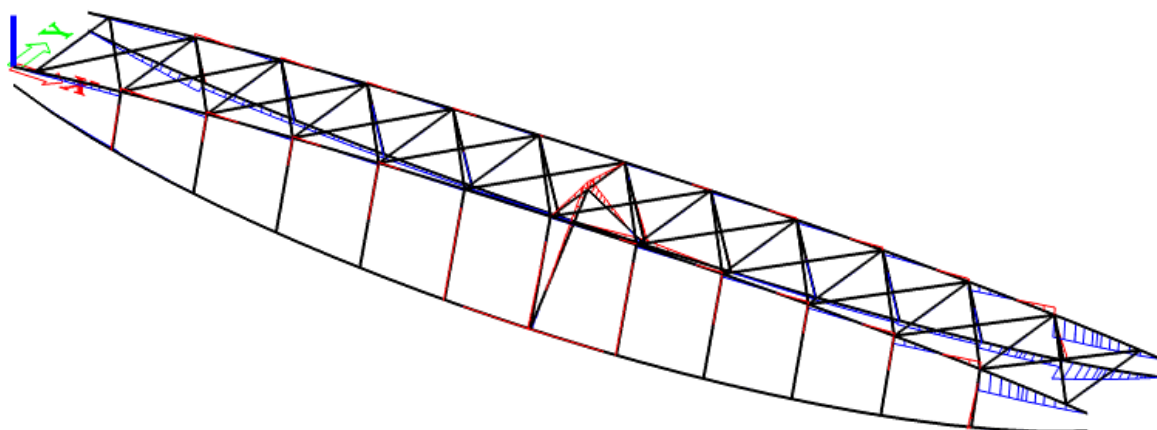
SEZNAM PRILOG

Priloga A: Notranje sile mostu, izračunane s programom SCIA Engineer	A1
<i>Sl. A1: Osne sile</i>	A1
<i>Sl. A2: Upogibni moment M_Y</i>	A1
<i>Sl. A3: Upogibni moment M_Z</i>	A1
<i>Sl. A4: Torzijski moment M_X</i>	A2
<i>Sl. A5: Prečna sila V_Y</i>	A2
<i>Sl. A6: Prečna sila V_Z</i>	A2
Priloga B: Pomiki mostu, izračunani s programom SCIA Engineer	B1
<i>Sl. B1: Največji pomiki v x smeri</i>	B1
<i>Sl. B2: Največji pomiki v y smeri</i>	B1
<i>Sl. B3: Največji pomiki v z smeri</i>	B1
Priloga C: Obtežbe mostu, prikazane s programom SCIA Engineer	C1
<i>Sl. C1: Stalna obtežba in izbočne sile</i>	C1
<i>Sl. C2: Koristna obtežba</i>	C1
<i>Sl. C3: Obtežba snega</i>	C1
<i>Sl. C4: Obtežba vetra</i>	C2
<i>Sl. C5: Delovanje temperature</i>	C2
Priloga D: Prostorski prikaz mostu	D1
<i>Sl. D1: Prostorski prikaz 1</i>	D1
<i>Sl. D2: Prostorski prikaz 2</i>	D1
<i>Sl. D3: Pogled v smeri osi mostu</i>	D1

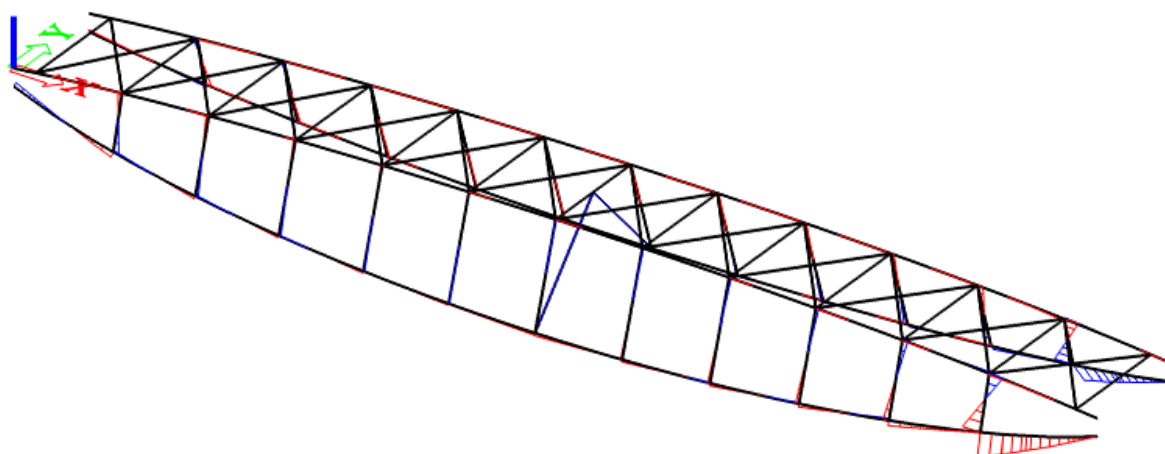
Priloga A: Notranje sile mostu, izračunane s programom SCIA Engineer



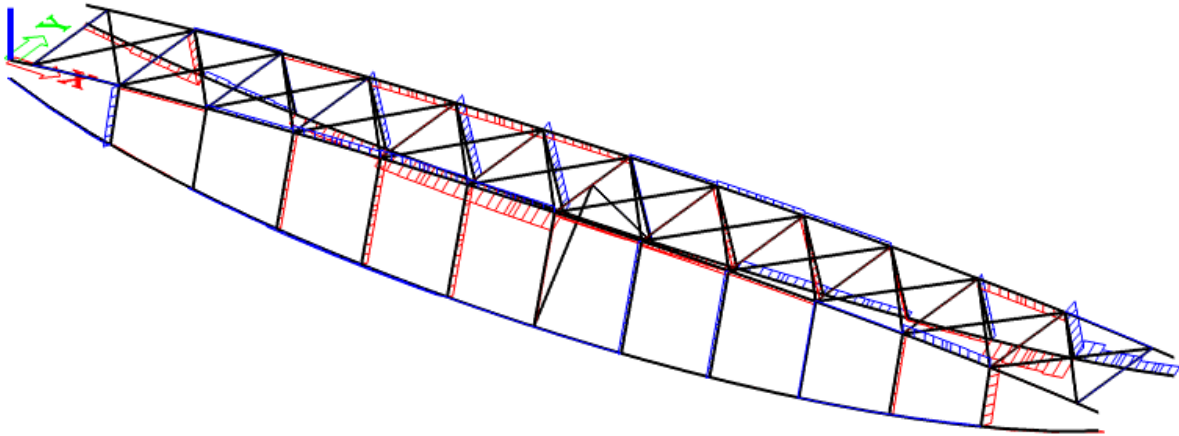
Sl. A1: Osne sile



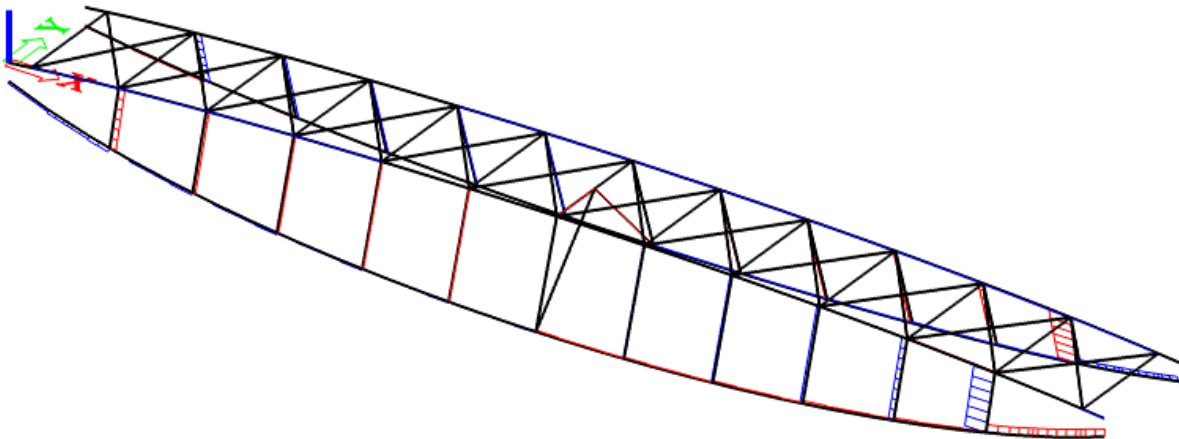
Sl. A2: Upogibni moment M_y



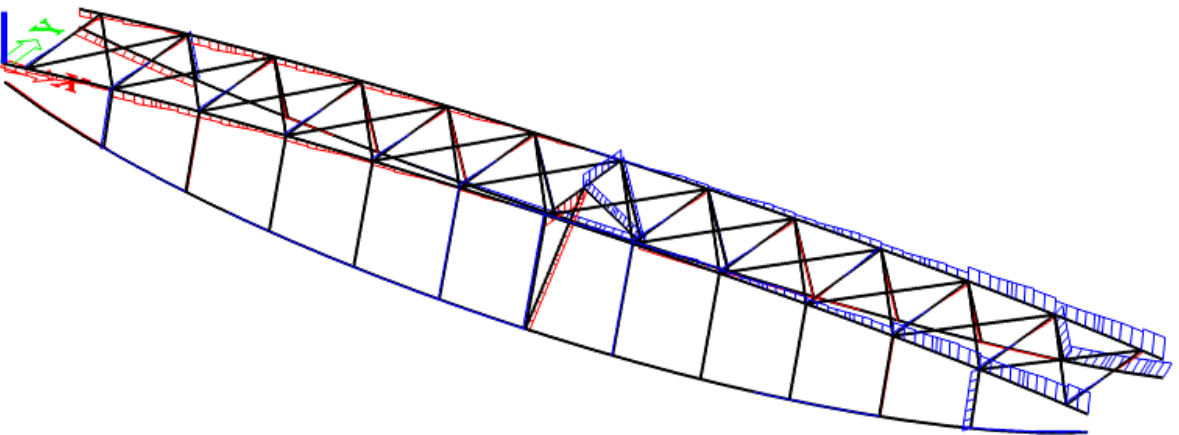
Sl. A3: Upogibni moment M_z



Sl. A4: Torzijski moment M_x

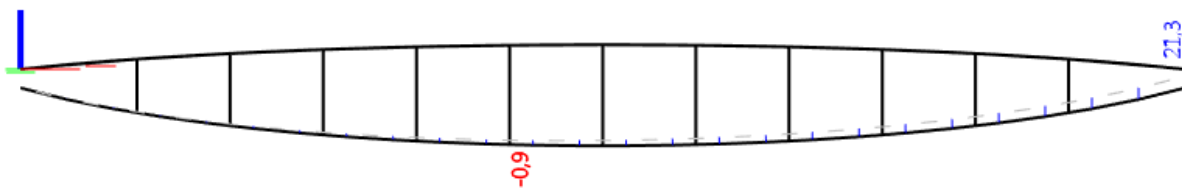


Sl. A5: Prečna sila V_y

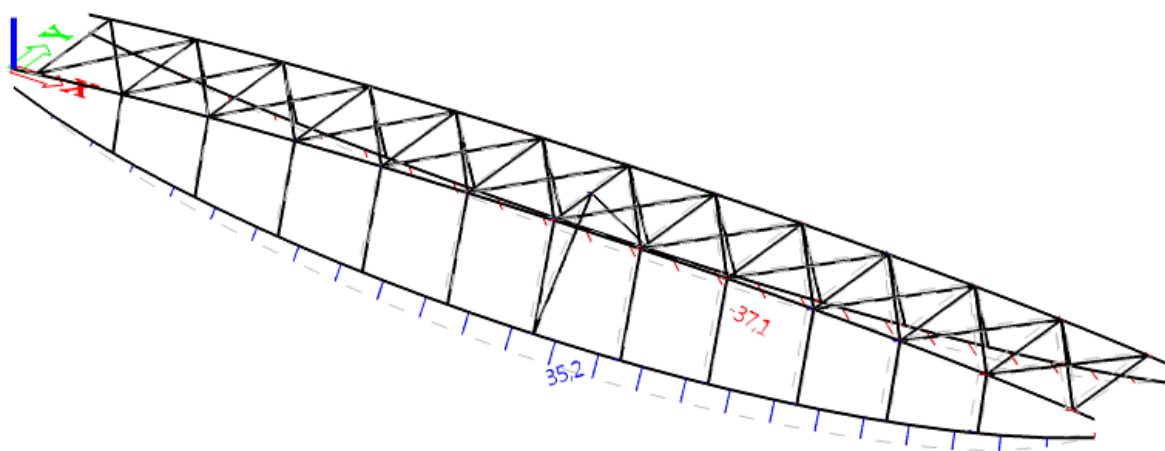


Sl. A6: Prečna sila V_z

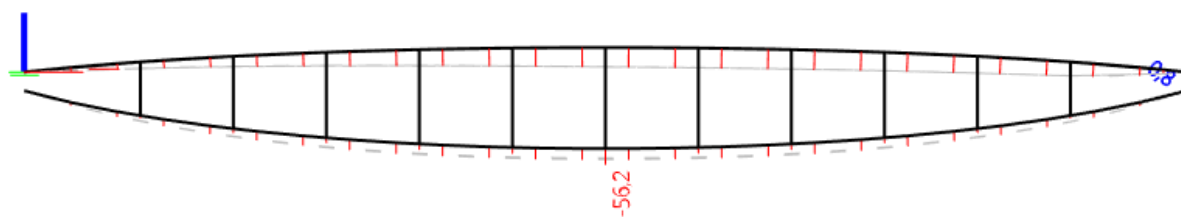
Priloga B: Pomiki mostu, izračunani s programom SCIA Engineer



Sl. B1: Največji pomiki v x smeri

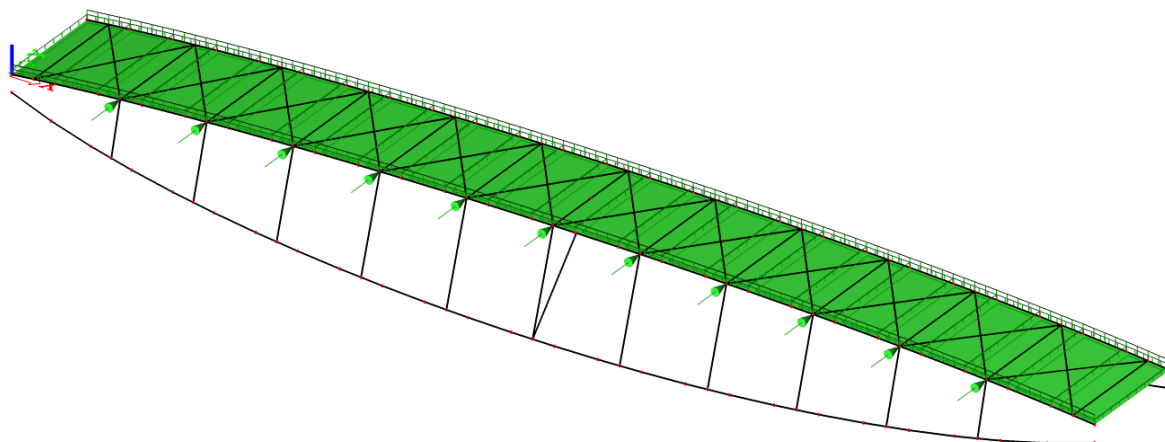


Sl. B2: Največji pomiki v y smeri

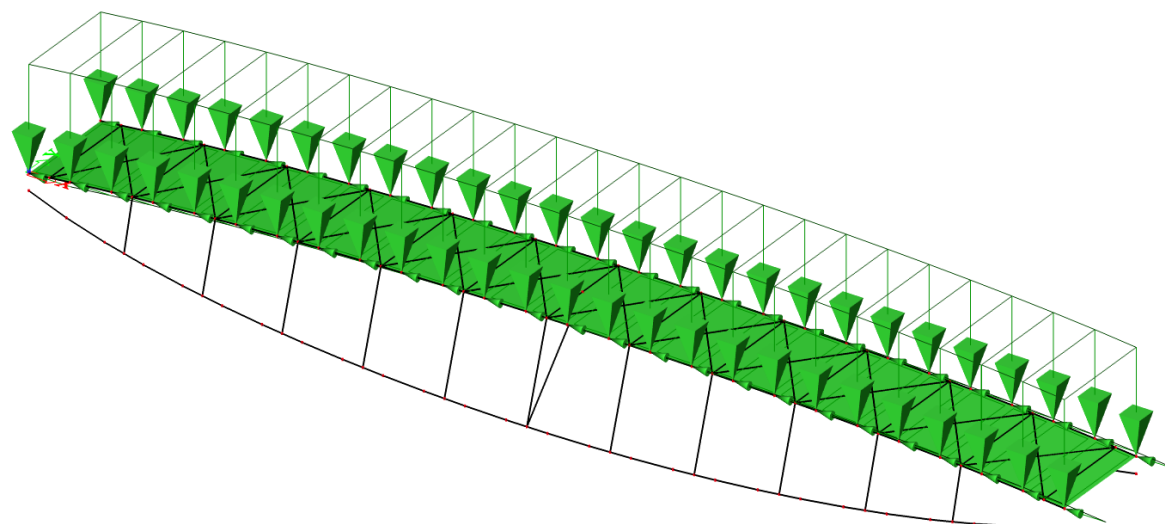


Sl. B3: Največji pomiki v z smeri

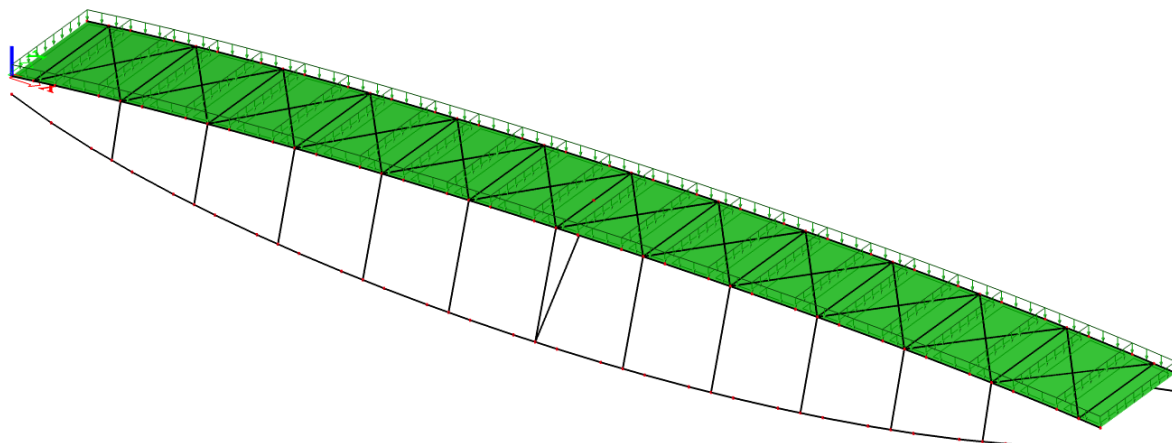
Priloga C: Obtežbe mostu, prikazane s programom SCIA Engineer



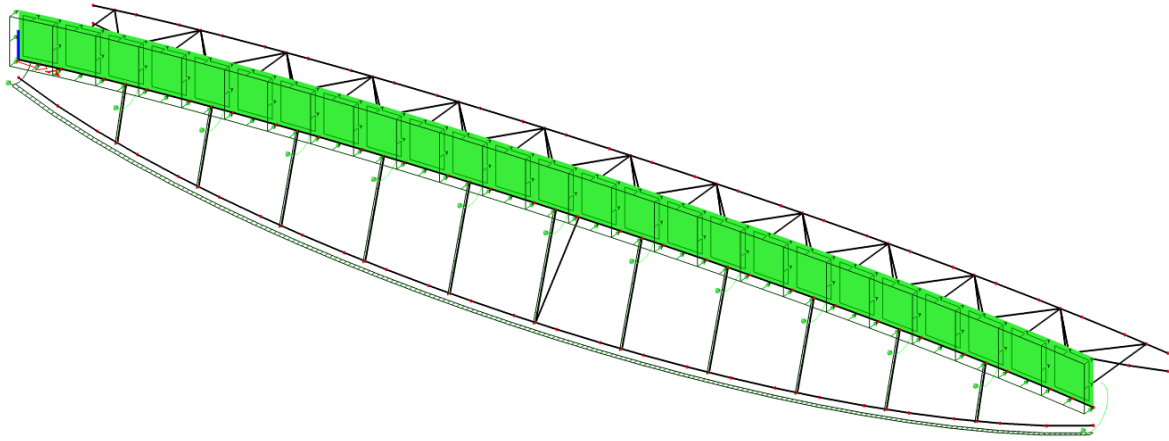
Sl. C1: Stalna obtežba in izbočne sile



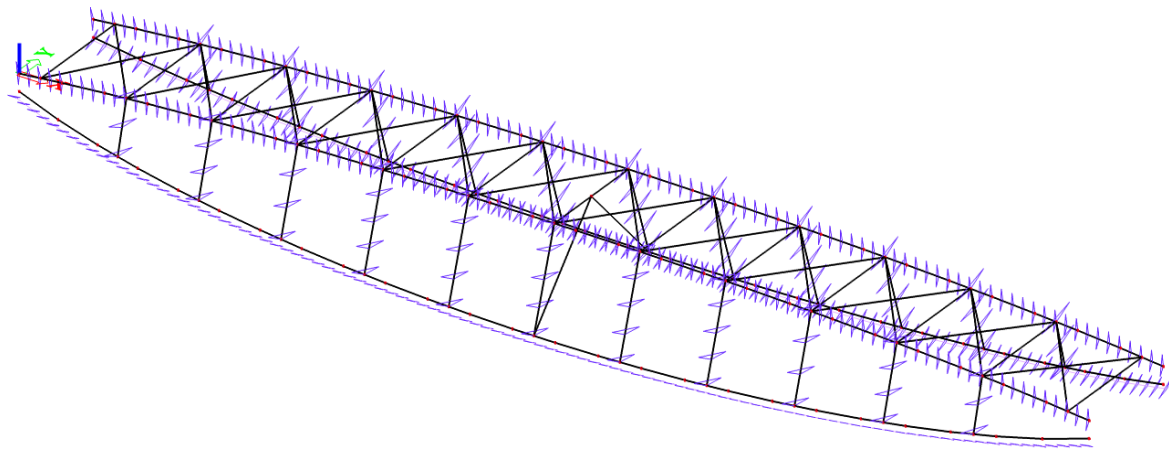
Sl. C2: Koristna obtežba



Sl. C3: Obtežba snega

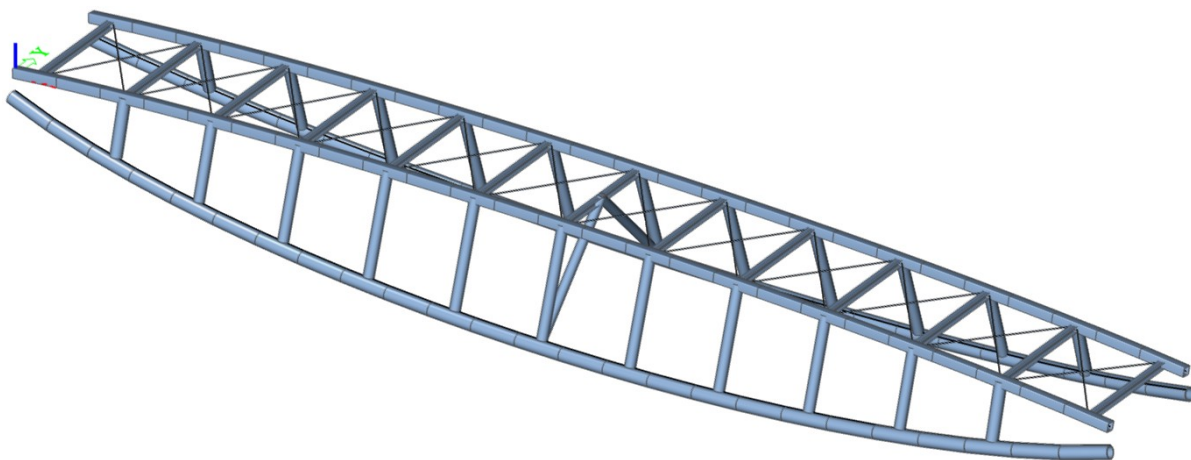


Sl. C4: Obtežba vetra

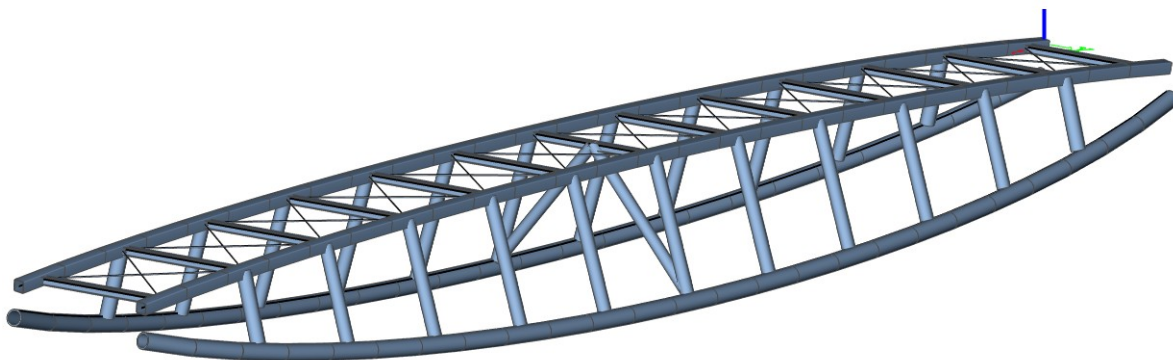


Sl. C5: Delovanje temperature

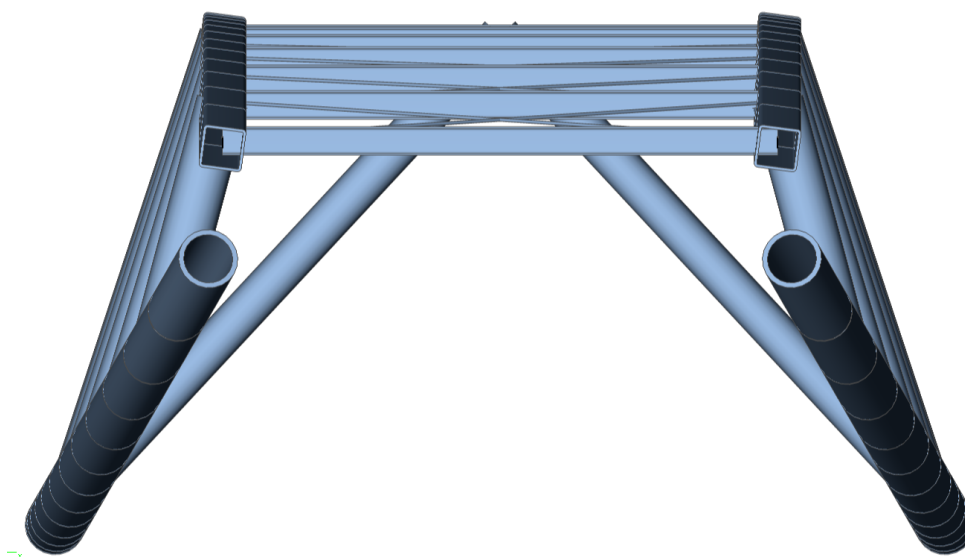
Priloga D: Prostorski prikaz mostu



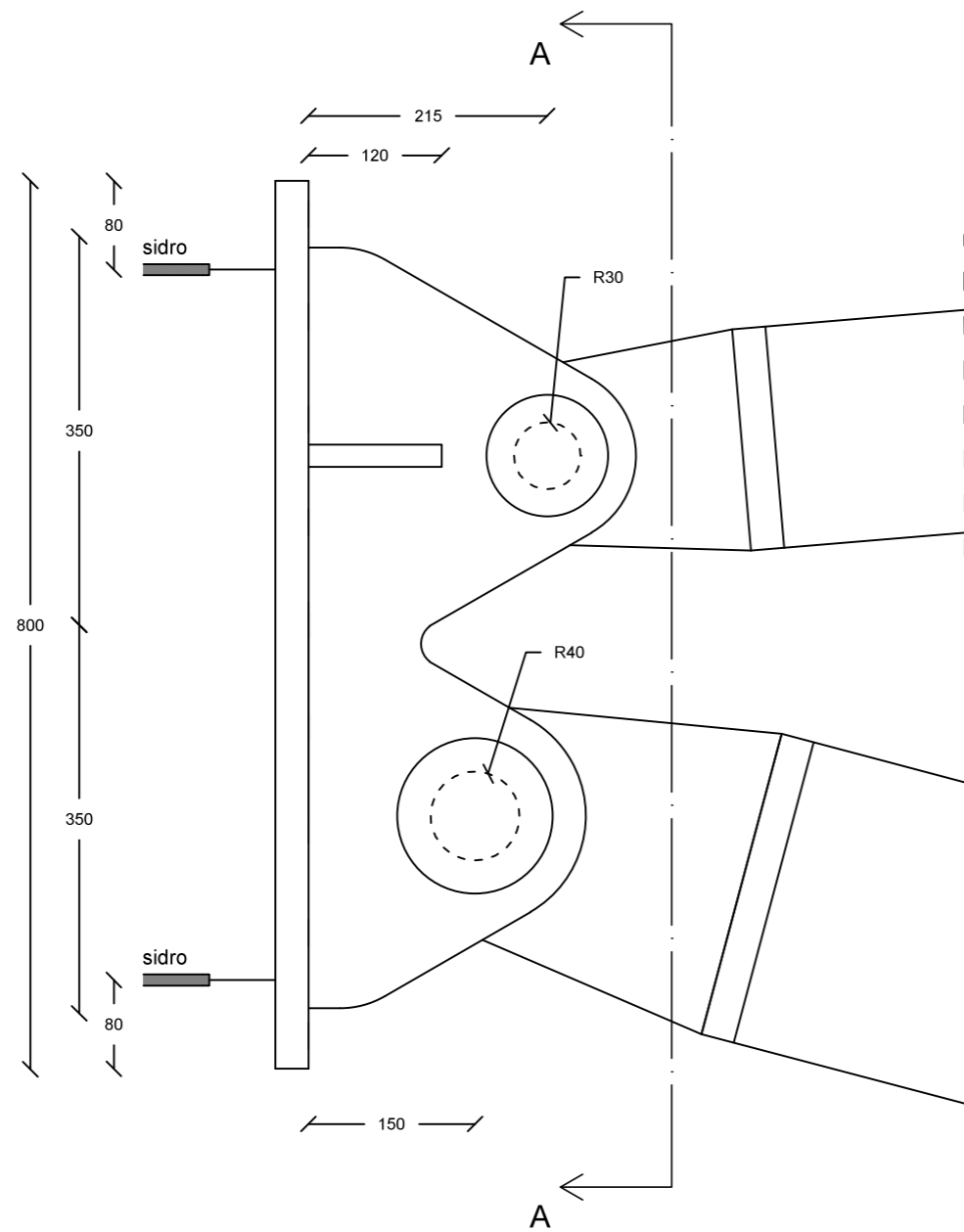
Sl. D1: Prostorski prikaz 1



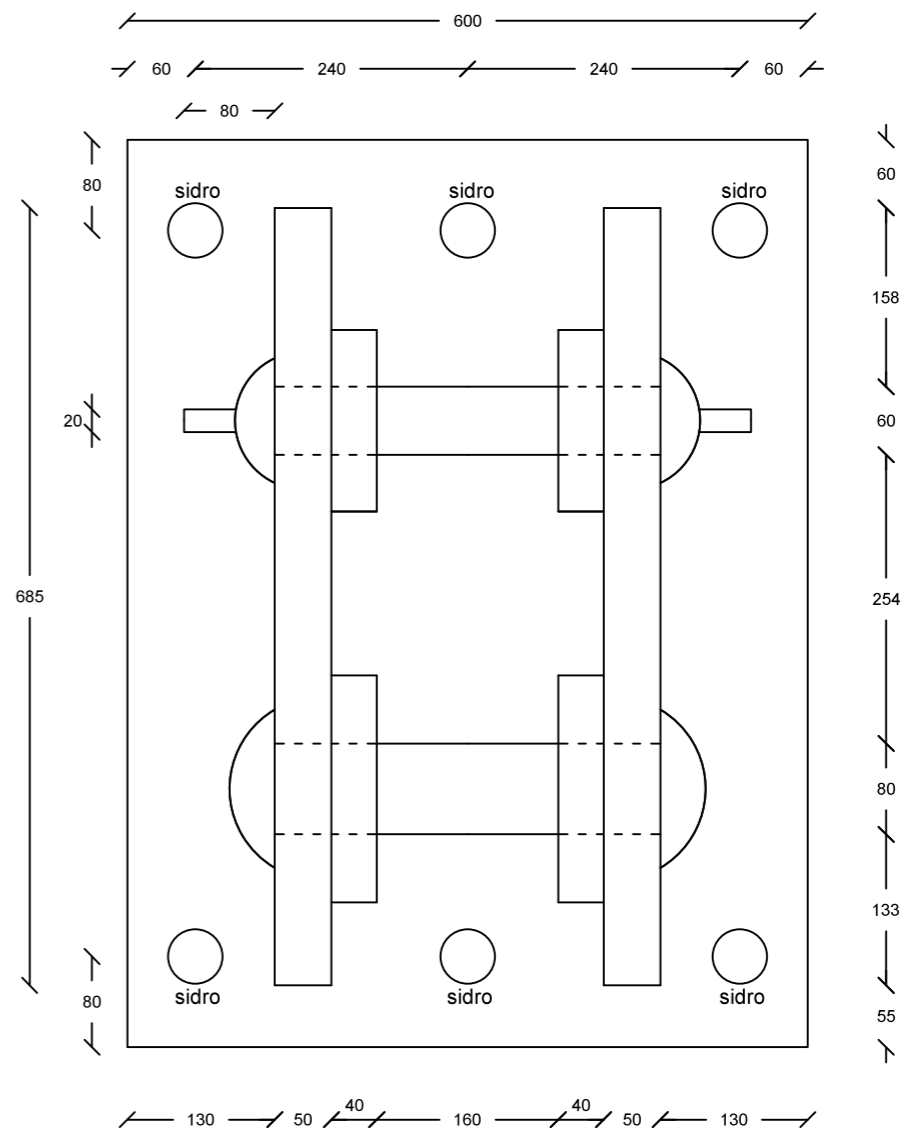
Sl. D2: Prostorski prikaz 2



Sl. D3: Pogled v smeri osi mostu

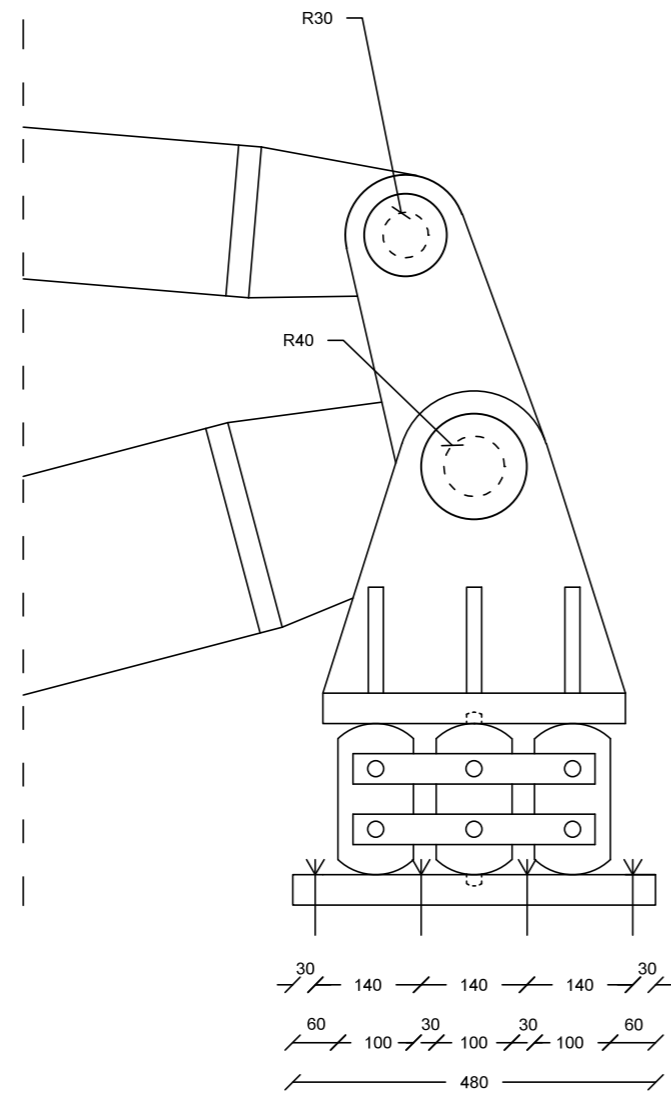


Pogled A-A

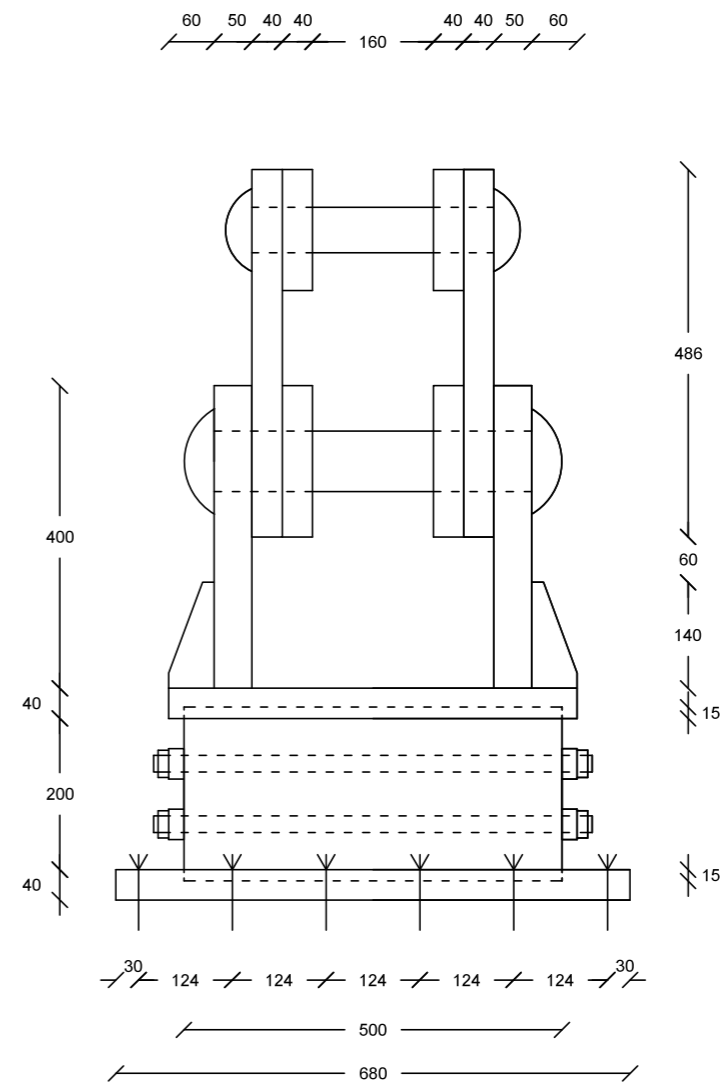


UNIVERZA V LJUBLJANI	
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO	
MERILO:	1:75
VSEBINA:	NEPOMIČNA PODPORA
ŠTUDIJSKO LETO:	2012 / 2013
AVTOR:	DENIS BOJANC

Pogled B-B

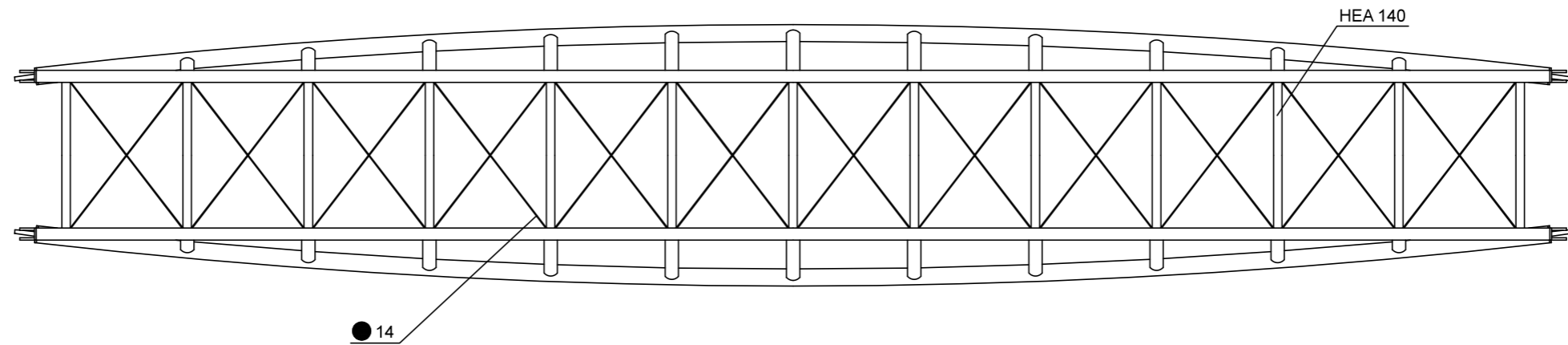


Pogled A-A

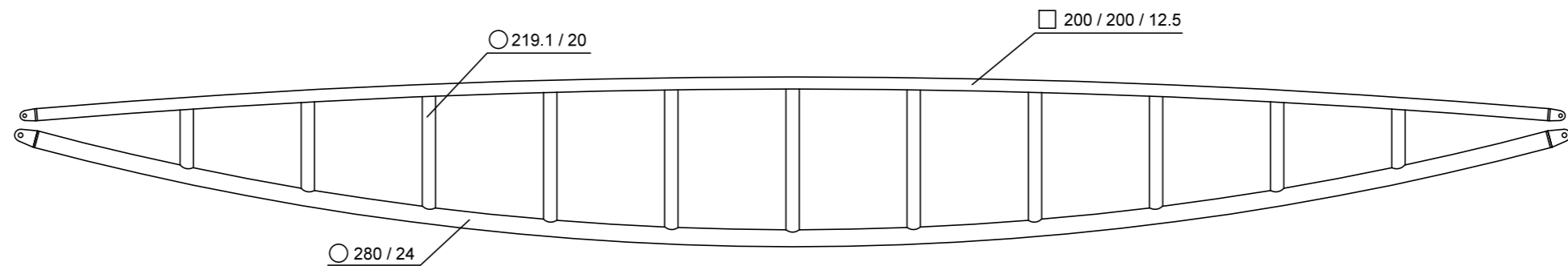


UNIVERZA V LJUBLJANI	
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO	
MERILO:	1:100
VSEBINA:	POMIČNA PODPORA
ŠTUDIJSKO LETO:	2012 / 2013
AVTOR:	DENIS BOJANC

TLORIS



VZDOLŽNI PROFIL



UNIVERZA V LJUBLJANI			
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO			
MERILO:	1:100	VSEBINA:	POZICIJSKI NAČRT
ŠTUDIJSKO LETO:	2012 / 2013	AVTOR:	DENIS BOJANC